

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 631.171:621.311

ПОГОДЖЕНО

Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження

проф., д.т.н.

вчене звання, науковий ступінь

/КАПЛУН В.В./

підпис

” ” 2023 р.
число місяць рік

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки
та електротехнологій

доц., к.т.н.

вчене звання, науковий ступінь

/ОКУШКО О.В./

підпис

” ” 2023 р.
число місяць рік

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ГІБРИДНОЇ
ВІТРОГЕНЕРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ ШЛЯХОМ ВДОСКОНАЛЕННЯ
КЕРУВАННЯ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

Освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(назва)
(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

д.т.н., професор

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Заблодський М.М.

(ПІБ)

Керівник магістерської роботи

к.т.н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Коробський В.В.

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Проскура А.В.

(ПІБ)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки
та електротехнологій

К.Т.Н., доцент /ОКУШКО О.В./
науковий ступінь, вчене звання підпис ПІБ /11
" " 2023 року
число місяць рік

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Прокурі Андрію Васильовичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Орієнтація освітньої програми освітньо-наукова

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Підвищення енергоефективності гібридної вітрогенераторної установки шляхом вдосконалення керування режимів електроспоживання»

затверджена наказом ректора НУБіП України від "08" 12 2021 р. № 2066 "С"

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2023.05.14

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи:

- Результати науково-дослідницької роботи кафедри ЕЕЕ.
- Публікації співробітників кафедри ЕЕЕ.
- Результати навчально-дослідницької практики.
- Система ПЗР і ТО електрообладнання сільськогосподарських підприємств.
- Нормативні документи: ПУЕ, ПТЕЕС та ПБЕЕС, ДСТУ, ДБН тощо.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

- Виробнича діяльність ВП НУБіП України «НДГ «Ворзель» та аналіз технічного стану енергетичного обладнання.
- Підвищення ефективності функціонування вітрогенераторних установок.
- Комп'ютерне моделювання роботи вітрогенераторних установок.
- Розробка схеми пристрою для заряду акумуляторної батареї ВЕУ-1,5 асиметричним струмом.
- Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.
- Екологічне та економічне обґрунтування рішень, прийнятих в магістерській роботі.

Перелік графічного матеріалу (за потреби) _____

Дата видачі завдання "10" грудня / 2021 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи _____

(підпис)

Коробський В.В.

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

(підпис)

Прокура А.В.

(прізвище та ініціали студента)

РЕФЕРАТ

НУБІП України

Магістерська робота: 113 с., 30 рис., 13 табл., 44 джерела.

Об'єкт дослідження – електромеханічні та електромагнітні процеси в електротехнічному комплексі гібридна вітроенергоустановка - електроспоживач.

Предметом дослідження є вплив електромеханічних та електромагнітних процесів у електротехнічному комплексі на енергоефективність гібридної вітроустановки з урахуванням стохастичного надходження енергії вітру та режимів електроспоживання.

Методи дослідження та апаратура: розрахунково-аналітичний із застосуванням методів статистичного аналізу, імітаційного і математичного моделювання з використанням теорії електричних кіл.

Мета роботи - дослідження експлуатаційних режимів роботи вітроенергетичної установки та підвищення енергоефективності вітроенергетичної установки шляхом вдосконалення керування режимів електроспоживання гібридної вітроустановки на базі пакету NI FIELDPOINT з урахуванням стохастичного надходження енергії вітру.

В магістерській кваліфікаційній роботі проведені дослідження режимів роботи вітроенергетичної установки, що розташована у ВП НУБіП України «НДГ «Ворзель», а саме проведено аналіз відомих типів і конструкцій ВЕУ, досліджено енергетичні потоки та баланс потужностей гібридної ВЕУ. Розроблена математична модель функціонування гібридної ВЕУ за умов стохастичного надходження енергії вітру. Для ефективності управління роботою ВЕУ пропонується автоматизирована система моніторингу роботи вітроустановок на базі NI FIELDPOINT.

Для акумуляторної батареї, що входить до складу гібридної ВЕУ запропоновано пристрій для заряджання батареї асиметричним струмом.

Ключові слова: вітроенергетична установка, акумуляторна батарея, енергоефективність, математична модель, віртуальна комп'ютерна модель, автоматизирована система моніторингу, потужність.

НУБІП України

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, одиниць, скорочень і термінів

Вступ

1 Виробнича діяльність ВП НУБІП України «НДГ «Ворзель» та аналіз технічного стан енергетичного обладнання

1.1 Аналіз показників виробничої діяльності

1.2 Обстеження електротехнічного господарства НУБІП України «Великоснітинське НДГ»

1.2.1 Загальна характеристика системи електропостачання

НУБІП України «Великоснітинське НДГ»

1.2.2 Показники споживання електроенергії

1.2.3 Організація енергетичної служби в НУБІП України «Великоснітинське НДГ»

1.2.4 Облік електроенергії

1.2.5 Характеристика споживачів електроенергії

1.3 Оцінка ризиків від перерв в електропостачанні

2 Підвищення ефективності функціонування вітрогенераторних установок

2.1 Аналіз стану вітроенергетичних установок вітрових електростанцій та визначення шляхів підвищення енергоефективності їх функціонування

2.2 Задачі підвищення ефективності функціонування ВЕУ та шляхи їх вирішення

2.3 Дослідження енергетичних потоків та аналіз балансу потужностей вітроенергетичної установки

3.3 Комп'ютерне моделювання роботи вітрогенераторних установок

3.1 Режими роботи електричного кола

3.2 Математична модель функціонування комбінованої електроводопостачальної вітроустановки за умов стохастичного надходження енергії вітру

3.3 Віртуальна комп'ютерна модель електромеханічної системи вітроустановки з керуванням потужністю генератора

3.4 Автоматизована система моніторингу роботи вітроустановок

на базе NI FIELDPOINT

4 Розробка схеми пристрою для заряду акумуляторної батареї ВЕУ-1,5 асиметричним струмом

4.1 Особливості керування режимами електроспоживання у гібридній ВЕУ

4.2 Схема пристрою для заряду акумуляторної батареї асиметричним струмом

4.3 Принцип роботи пристрою

4.4 Аналіз електромагнітних процесів

4.5 Оптимізація заряду накопичувального конденсатора та вибір величини його ємності

4.6 Вибір типу силових ключів для пристрою

4.7 Моделювання електромагнітних процесів

Висновки до розділу 4

5 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5.1 Перелік основних нормативних документів

5.2 Аналіз умов праці при роботі з ВЕУ

5.3 Розрахунок індивідуальних засобів захисту

5.4 Захист від перенапруги

5.5 Пожежна безпека

6. Екологічне та економічне обґрунтування рішень, прийнятих в магістерській роботі

6.1 Аналіз економічної ефективності роботи енергетичної установки, що використовує нетрадиційні види енергії

6.2 Оцінка екологічної та економічної ефективності

віроелектрогенераторної установки потужністю 1,5 кВт

Висновки

Список використаних джерел

Додатки

НУБІП України

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ,

СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

Скорочення:

ВЕУ – вітроенергетична установка;

ВЕС – вітрова електростанція;

ВГУ – вітрогенераторна установка;

ТО – технічне обслуговування;

АКБ – акумуляторна батарея;

АІН - автономний інвертор напруги;

ШІМ – широтно-імпульсний модулятор;

АВН – автономний випрямляч напруги;

НТД – нормативно-технічна документація;

ККД – коефіцієнт корисної дії;

ЕРС – електрорушійна сила;

ЛЕП – лінія електропередачі;

Символи:

% - процент;

Одиниці:

⁰С; В; дМ; мм; км.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВСТУП

В період становлення ринкової системи господарювання питання зниження виробничих витрат, економії трудових і матеріальних ресурсів, розширення обсягу виконуваних робіт і виробництва в цілому набирають життєво важливого значення як для окремих працівників, так і для підприємств.

В даний час в США та країнах Європейської Співдружності велика увага приділяється розвитку відновлюваних джерел енергії (нетрадиційної енергетики). За прогнозами очікується, що в першій половині цього століття вітрова енергетика складатиме 20..30 % в загальному енергетичному балансі високорозвинених країн світу.

До речі, за останні 150 років енергоспоживання в США виросло майже з 10^4 кВт (в 1850 р.) до 6×10^{13} кВт (в 2000 р.), тобто, можна констатувати, що енергоспоживання подвоювалося кожні 25 років. А це значить, що забруднення атмосфери також подвоювалося в ці роки. На даний момент структура цього енергоспоживання виглядає приблизно так [1]:

- 40% - нафта;
- 33% - природний газ;
- 20% - вугілля;
- 4% - гідроенергія;
- 2% - атомна енергія.

І тільки 1% припадає на альтернативні джерела (синтетичне паливо, сланці, геотермальна, сонячна та вітрова енергія).

Враховуючи те, що енергоринок – надто відповідальний та важливий вид виробництва і бізнесу, він і надалі буде розвиватися надто динамічно і швидко, незважаючи на екологічну загрозу самого існування людства. Тому, проблемі альтернативній, екологічно чистій енергетиці необхідно приділяти максимальне значення, в тому числі і в теоретичному, практичному та навчальному аспектах.

При цьому також необхідно змінювати напрям енергоменеджменту в бік екологічно чистої енергетики.

За останні десятиліття, що характеризувалися як періоди змінних енергетичних криз, найбільше уваги було приділено так званим відновлюваним

джерелам енергії, серед яких найбільш доступними для експлуатації, є вітрові потоки у поверхні Землі.

Як відомо з декількох літературних джерел [2, 3] потенційні запаси енергії вітру на планеті складають приблизно 2×10^{16} кВт·год., а сумарна потужність вітрових потоків складає 10^{11} ГВт. Цими даними і можна пояснити підвищену зацікавленість всього світу в розробках вітроенергетичних установок.

Енергію вітру відносять до поновлюваних видів енергії, оскільки вона є наслідком діяльності сонця. Вітроенергетика є бурхливо розвивається галуззю, так в кінці 2010 р. загальна встановлена потужність всіх вітрогенераторів склала 196,6

гігават. У тому ж році кількість електричної енергії, виробленої всіма вітрогенераторами світу, склало 430 терават·годин (2,5% всієї виробленої людством електричної енергії). Деякі країни особливо інтенсивно розвивають вітроенергетику, зокрема, на 2009 рік у Данії за допомогою вітрогенераторів виробляється 20% всієї електрики, в Португалії - 16%, в Ірландії - 14%, в Іспанії - 13% і в Німеччині - 8%. У травні 2009 року 80 країн світу використовували вітроенергетику на комерційній основі.

Великі вітряні електростанції включаються в загальну мережу, більш дрібні використовуються для постачання електрикою віддалених районів. На відміну від викопного палива, енергія вітру практично невичерпна, повсюдно доступна і більш екологічна. Однак, спорудження ВЕС пов'язане з деякими труднощами технічного та економічного характеру, що сповільнюють поширення вітроенергетики. Зокрема, непостійність вітрових потоків не створює проблем при невеликій пропорції вітроенергетики в загальному виробництві електроенергії, проте при зростанні цієї пропорції, зростають також і проблеми надійності виробництва електроенергії. Для вирішення подібних проблем використовується інтелектуальне управління розподілом електроенергії.

Мета досліджень - дослідження експлуатаційних режимів роботи вітроенергетичної установки та підвищення енергоефективності вітроенергетичної установки шляхом вдосконалення керування режимів електроспоживання гібридної вітроустановки на базі пакету NI FIELDPOINT з урахуванням

стохастичного надходження енергії вітру.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити *наступні завдання*:

1. Аналіз відомих типів та конструкцій вітроенергетичних установок та визначення шляхів підвищення їх енергоефективності.

2. Дослідження та узгодження розподілу потужностей між основними структурними складовими гібридної ВЕУ та споживачами.

3. Встановлення закономірностей впливу стохастичного надходження енергії вітру на енергоефективність функціонування електропостачальної вітроустановки.

4. Розробка в програмному середовищі Matlab/Simulink віртуальної комп'ютерної моделі вітроустановки з метою уточнення оптимального алгоритму керування навантаженням генератора.

5. Дослідження роботи вітроенергетичних установок з використанням автоматизованої системи моніторингу на базі пакету NI FIELDPOINT.

Об'єкт дослідження: електромеханічні та електромагнітні процеси в електротехнічному комплексі гібридна вітроенергоустановка - електроспоживач.

Предмет дослідження: електромеханічні та електромагнітні процеси в електротехнічному комплексі гібридна вітроенергоустановка – електроспоживач.

Метод дослідження: розрахунково-аналітичний із застосуванням методів статистичного аналізу, імітаційного і математичного моделювання з використанням теорії електричних кіл.

Теоретична цінність отриманих результатів полягає у встановлення закономірностей впливу стохастичного надходження енергії вітру на енергоефективність функціонування електропостачальної вітроустановки та розробці в програмному середовищі Matlab/Simulink віртуальної комп'ютерної моделі вітроустановки.

Практичне значення одержаних результатів. Отримані результати покладені в основу створення та побудови діючої гібридної вітроенергетичної установки у ВП НУБіП України «НЦП «Ворзель» в смт. Ворзель Бородянського

району Київської області для забезпечення електроживлення споживачів молочно-товарної ферми.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

1 ВИРОБНИЧА ДІЯЛЬНІСТЬ ВП НУБІП УКРАЇНИ «НДГ «ВОРЗЕЛЬ» ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНОГО СТАН ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ

1.1 Виробнича діяльності та розвиток господарства

ВП НУБІП України «НДГ «Ворзель» - це багатовекторне господарство, яке виробляє м'ясо, молоко, зерно, овочі. Крім того, дирекція господарства разом із спеціалістами господарства та навчально-педагогічними працівниками НУБІП

України різних інститутів поступово створює тренінг-центр по практичній

підготовці студентів відповідних напрямків. Знаходиться ВП НУБІП України «НДГ

«Ворзель» на відстані 25 км від обласного центру м. Києва розміщується в смт.

Ворзель на вулиці Крупської, 2 (рис. 1.1). Спеціалізується на вирощуванні м'ясної

абердино-ангуської породи ВРХ. Середня річна температура повітря становить

+9,5° С. Найвища температура припадає на період наливання і визрівання зернових

озимих і ярих культур. В цілому кліматичні умови Бородянського району

характеризуються достатньою кількістю вологи, і посуха тут буває як досить рідке

явище. За середніми багаторічними даними Київської метеостанції сума річних

опадів становить 675 мм. З них біля 70% випадає на вегетаційний період, що сприяє

вирощуванню всіх районованих с/г культур. Тваринницький комплекс складають

ферми великої рогатої худоби і представлено худобою молочного і м'ясного

напряму. Дані про поголів'я тварин наведено в табл. 1.1. Із 4 тваринницьких

приміщень, що є в наявності у господарстві лише 2 заповнені: в одному із них

утримуються дійні корови, в другому – тварини інших вікових категорій.

Приміщення ще одного з корівників відведено під капітальний ремонт. Абердин-

ангуська м'ясна худоба утримується безприв'язно на відкритому повітрі.

Механізація і електрифікація технологічних процесів при утриманні ВРХ

наступна: напування тварин відбувається по трубопроводу, в який вмонтовано

напувалки на дві корови. Для водопостачання застосовуються підземні джерела,

тобто свердловини, вони більш безпечні в санітарному відношенні, схема



Рисунок 1.1 - Географічне розташування об'єкта НДГ «Верзель»:

1 – телятник на 200 голів; 2 – діючий корівник на 200 голів; 3 – молочний блок; 4 – корівник на капітальному ремонті; 5 – склад; 6 – кормоцех; 7 – гараж; 8 – гуртожиток; 9 – теплиці.

водопостачання – баштова, яка забезпечує норми споживання води тваринами, а саме на молочну корову 100 л/добу, на молодняк ВРХ – 20..30 л/добу. Роздача кормів, а саме силосу відбувається в годівниці за допомогою кормороздавача КТУ-10. Сіно та концентрати розносяться вручну. Вентиляція приміщень природна.

Таблиця 1.1 - Відомість про поголів'я тварин

Вид тварин	Середньорічне поголів'я, гол
ВРХ молочного напрямку	50
ВРХ на вирощуванні і відгодівлі	450

У 2012 році НДГ виробило валової продукції на суму 676,9 тис. грн., Детальна характеристика машино-тракторного парку представлена в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Склад і наявність машино-тракторного парку

№п/п	Назва об'єкту	Рік придбання господарством
Тракторна бригада		
1	2	3
1	Трактор Т-25	1994
2	Трактор Т-012	1993
3	Трактор ДТ-75	1987
4	Трактор ЮМЗ-6Л	1988
5	Трактор МТЗ-80	1989
6	Трактор ЮМЗ-6	1989
7	Трактор Т-150	1990
8	Трактор ЮМЗ-6	1990
9	Трактор МТЗ-82	1990
10	Трактор МТЗ-82	1991
11	Комбайн кукурудзо-збиральний Херсонець-200	1992
12	Зернозбиральний комбайн Ніва	1989
13	Плуг ПЛН-3-35	1988
14	Плуг ПЛН-3-35	1989
15	Розкидач РОУ-6-2	1991
16	Розкидач ПРТ-10	1992
17	Габлі ворущилки ГВ 3,8	2004
18	Комбайн „Рось”	2005
19	Сівалка СО-4,2	1986
20	Розприскувач ОП-2000	1988
21	Трактор ХТЗ-17021	2006
22	Плуг ПЛН-5-35	2006
23	Екскаватор ЕО2101	1992
24	Оприскувач ОП-2000	2007
25	Косилка роторна КРС-2	2007
26	Сівалка вакуумна точного висіву	2007
27	Сівалка СПУ-6	2007

Продовження табл. 1.2

1	2	3
28	Прицеп мотоблочний	2007
29	Мотоблок „Беларусь” 09Н	2007
30	Резервуар 50м ³	1981
31	Прес-підборщик	1991
32	Стогомет ПФ-0,5	1993
33	Жатка трав'яна	1993
34	Зерномітач ЗМ-60	1989
35	Прицеп 2 ПТС-6	1989
36	Прицеп 2 ПТС-4	1990
37	Прицеп 2 ПТС-4	1991
38	Кіп -1,5	1996
39	Культиватор ПЛС-33Ф	1997
40	Культиватор КПС -33Ф	2000
41	Косилка роторна КРС-2	2001
42	Трактор МТЗ-82	2001
43	Трактор МТЗ-82	2004
44	Кормороздачик КТУ-10А	2004
45	Агрегат землеоброблювальний АТ-3	2004
46	Косилка роторна скоросна КРС-2	2006
Автомобілі		
1	ЗІЛ ММЗ	1985
2	ЗІЛ БЛ-133	1987
3	ГАЗ-53	1988
4	ЗІЛ ММЗ	1988
5	САЗ	1988
6	ГАЗ-53	1990
7	АУ-4-2	1989
8	КАМАЗ	1992
9	Автобус КАВЗ	1990
10	УАЗ-3303	1989
11	УАЗ-469	1987
12	Прицеп ГНБ	1992
13	ВАЗ-2107	2000
14	ЗАЗ-1102	2006

1.2 Загальна характеристика системи електропостачання НДГ

"Ворзель"

Постачання електроенергії на НДГ здійснює Ірпінський районний підрозділ ПАТ "А.Е.С. Київобленерго" на основі Договору №340 про постачання електричної енергії від 25.05.2012 р. від Ірпінської районної трансформаторної підстанції 35/10 кВА по ПЛ-10 кВ.

На території НДГ розміщено 2 закриті трансформаторні підстанції 10/0,4 кВ (табл. 1.3), які отримують живлення повітряними лініями 10 кВ.

Рисунок 1.2 - Загальна схема електропостачання «НДГ «Ворзель»

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

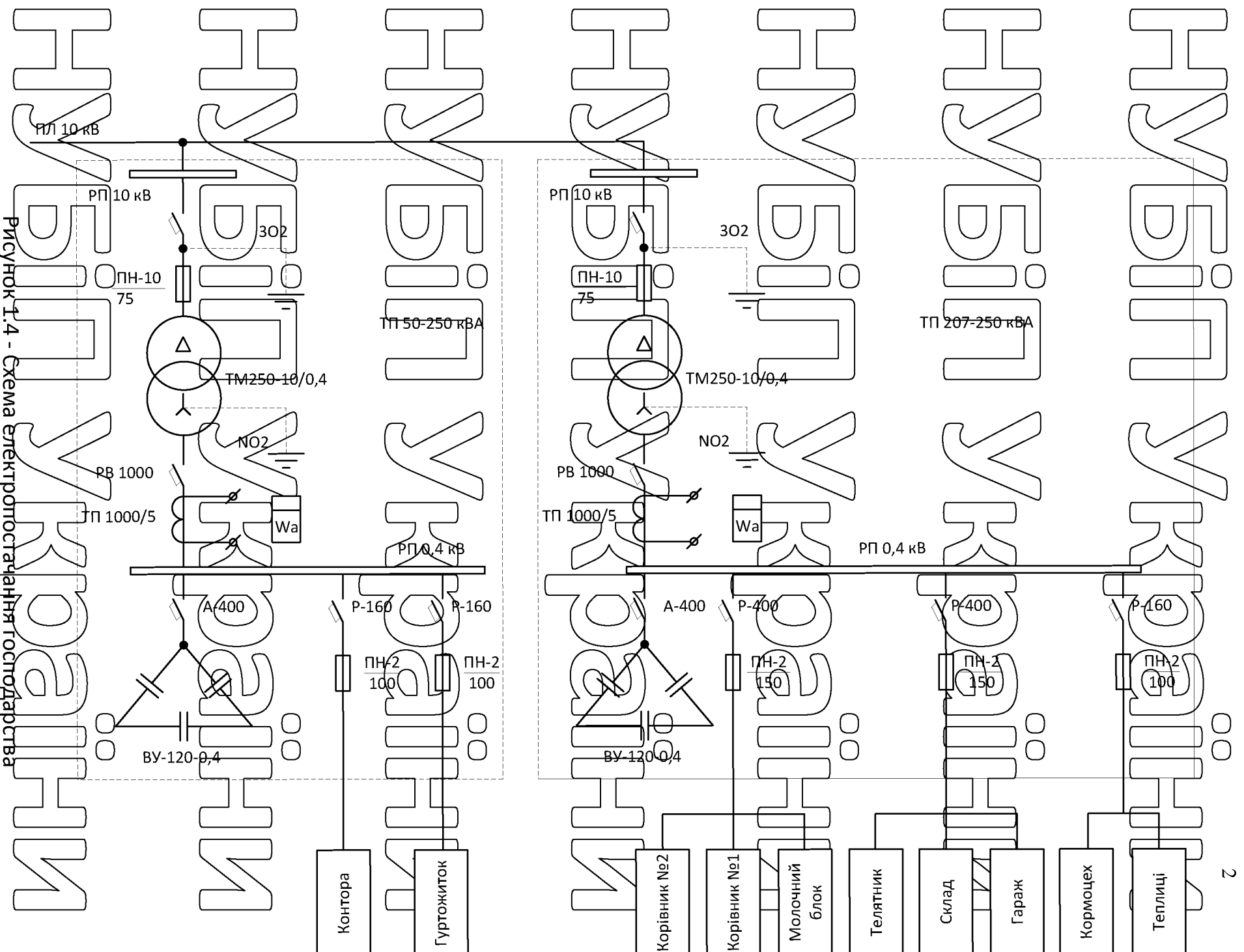
НУБІП України

НУБІП України



Рисунок 1.3 - Схема електропостачання господарства НДГ від ТП №207

Рисунок 1.4 - Схема електропостачання господарства



Обидві ТП характеризуються недовантаженістю трансформаторів. Майже в аварійному стані перебуває зовнішня електромережа напругою 0,38 кВ, що забезпечує електропостачання побутового сектору. Переважна більшість електрообладнання потребує заміни, оскільки термін служби складає по 20-25 років і більше.

3.3 Показники споживання електроенергії

Постачання електроенергії на НДГ здійснює Ірпінський районний підрозділ ПАТ "А.Е.С. Київобленерго" на основі Договору №340 про постачання електричної енергії від 25.05.2012 року.

Електроспоживання у господарстві характеризується значним використанням реактивної потужності (на рівні 76...95% від споживання активної потужності). Динаміку споживання електроенергії в НДГ "Ворзель" у 2004-2012 роках наведено в табл. 1.4 та проілюстровано на рис. 1.5.

Таблиця 1.4 - Динаміка споживання електроенергії у 2004-2012 роках,

кВт·год

Місяць	Рік									
	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	
Січень	212830	117776	151594	112124	147270	140523	126279	120023	78531	
Лютий	209824	104141	126349	111466	145559	159826	158281	103262	77500	
Березень	193654	108070	75272	102777	140501	143111	146629	902572	72395	
Квітень	161967	115913	79746	95442	148589	151930	147840	100872	90050	
Травень	112417	79987	75920	74267	96500	116754	90764	76735	40262	
Червень	110410	103780	51119	66899	102189	99760	83160	71861	41113	
Липень	99139	96466	82282	53740	102793	99354	93346	68292	-	
Серпень	128172	99767	98380	65326	10839	11063	102107	77999	50550	
Вересень	96071	103983	87609	65069	105735	98645	91503	63078	38890	
Жовтень	144619	112102	104160	88988	115723	90243	85734	66149	-	
Листопад	105336	113640	122338	120666	132549	129285	114214	62699	5379	
Грудень	108772	143250	139794	138388	143563	130291	114988	43477	65830	
Разом, кВт·год	1692211	1298875	1194563	1095352	1491801	1470785	1354848	957019	688353	

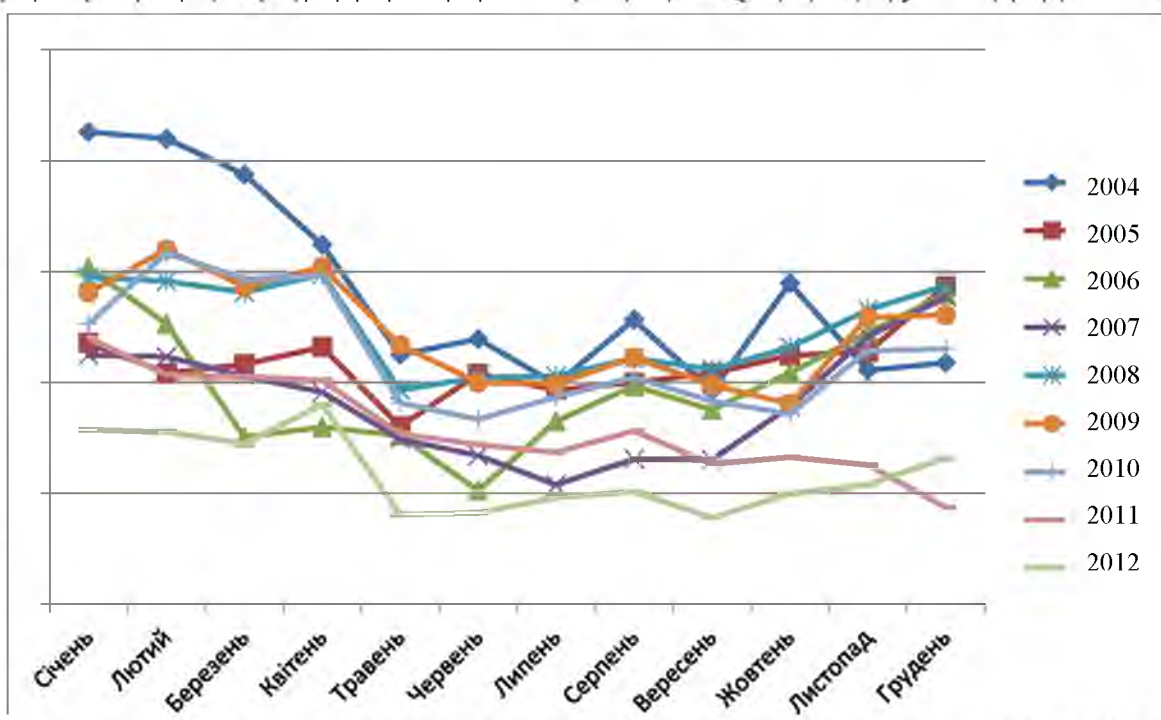


Рисунок 1.5 - Динаміка споживання електроенергії у 2004-2012 р.р., кВт·год

Споживання активної та реактивної складової електроенергії у 2012 р. та її вартість наведено в табл. 1.5 та на рис. 1.6.

Таблиця 1.5 - Споживання та вартість електроенергії у 2012 р.

Місяць	Активна складова		Реактивна складова	
	споживання кВт·год	вартість, грн.	споживання, квар·год	вартість, грн.
січень	38520	17961,67	36365	1042,16
лютий	35627	15766,85	40942	1210,04
березень	40285	21250,59	34868	1053,95
квітень	38276	16233,38	27333	896,16
травень	29517	14034,76	24091	818,72
червень	28059	15017,58	22876	769,61
липень	23671	12810,11	19044	687,48
серпень	24452	13797,96	20011	727,11
вересень	11472	8697,51	15506	608,22
жовтень	14201	11353,49	16880	679,37
листопад	19068	18745,94	22090	940,33
грудень	40487	21418,72	34355	1149,62
Разом	375884	204076,55	311361	10784,77

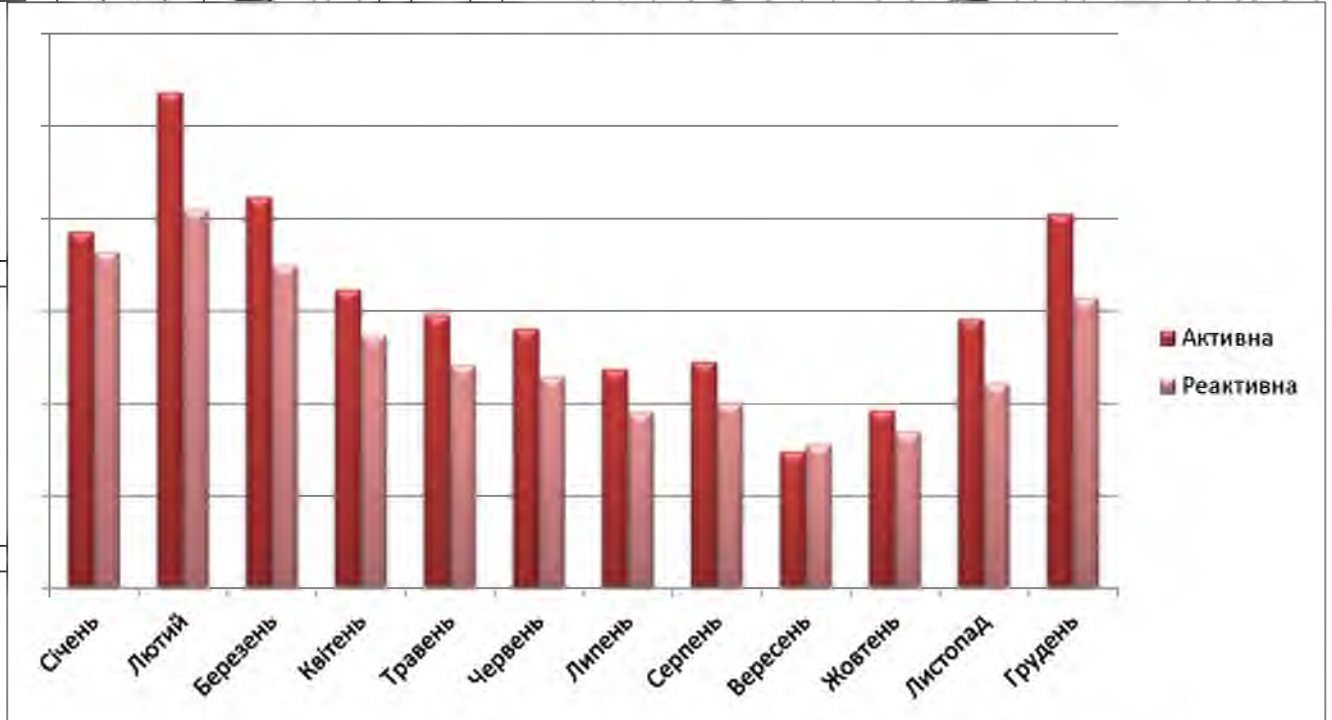


Рисунок 1.6 – Споживання активної і реактивної електроенергії в 2012 р.

Добовий графік електричного навантаження по НДГ наведено на рис.

1.7.



Рисунок 1.7 - Добовий графік електричного навантаження по НДГ

"Ворзель"

1.4 Організація енергетичної служби в НДГ

Згідно з "Правилами користування електричною енергією" (Постанова КМУ України №1357) електроустановки споживачів можуть бути приєднані до електричних мереж при наявності електротехнічного персоналу, а при відсутності останнього при наявності договору з електротехнічним персоналом інших організацій, які б відповідали за стан експлуатації обладнання.

Енергетична служба НДГ "Ворзель" майже відсутня, в господарстві є тільки одна посада головного енергетика, яку обіймає технік-електрик 4 розряду Скуратівський Є.В.

Згідно розрахунків кількості електрообладнання в НДГ необхідно, щоб електротехнічна служба складалась з інженера-електрика та двох техніків-електриків.

Для облаштування робочих місць електротехнічного персоналу відсутні необхідні приміщення. У господарстві немає особи, яка б мала необхідну групу допуску до роботи в діючих електроустановках, що унеможлиблює при проходженні виробничо-експлуатаційної практики студентів, роботи в діючих електроустановках.

Протягом останніх років роботи з ремонту електрообладнання виконувалися силами студентів факультету енергетики і автоматики під керівництвом викладачів кафедри електричних машин і експлуатації електрообладнання та місцевого керівництва.

Технічне обслуговування і ремонт як електрообладнання, так і МТП проводиться за наявністю відмов, а не планомірно. Інженерно-технічна служба представлена головним інженером.

1.5 Облік електроенергії

В НДГ "Ворзель" облік споживання електроенергії проводиться у 14 точках.

Розрахунок проводиться по одноставочному тарифу. Облік реактивної енергії проводиться за допомогою двох лічильників реактивної енергії типу N1С, що встановлені на вихідних шинах ТП №50 та ТП №207.

В господарстві використано такі прилади обліку:

1. лічильник типу ЦЕ-6803В - 9 шт. (у власності НДГ - 4 шт.);
2. лічильник типу ЦЕ-6807П - 2 шт. (у власності НДГ - 2 шт.);
3. лічильник типу СО-И466 - 3 шт. (у власності НДГ - 3 шт.);
4. лічильник типу СА4У-И672 - 2 шт. (у власності НДГ - 2 шт.);
5. лічильник типу САЧЕ-5030 - 1 шт. (у власності НДГ - 1 шт.);
6. лічильник типу EMS-132.00 - 1 шт.

Таблиця 1.6 - Відомості щодо розрахункових засобів обліку

№ п/п	Найменування площадки / об'єкта	Адреса розташування об'єкту	№ лічильника	Встановлена потужність, кВт	Споживання об'єктом електричної енергії за місяць, кВт·год
1	ЗТП – 50, Тр-р. №1	Вул. Крупська, 2	0234873	120	7000
2	ЗТП – 207, Тр-р. №1	Вул. Крупська, 22	0021518	145	15440
3	Бухгалтерія НДГ	Вул. Крупська, 2	1074999	10	1237
4	Гуртожиток сімейний	Вул. Крупська, 2/17	0234831	20	2560
5	Гуртожиток студентський	Вул. Крупська, 2/22	04884798	30	3220
6	Відділ м.Буча	м. Буча, вул. Гурґенківа, 28	453501	75	5460
7	Освітлення кліткових сходів ж.б.	Вул. Крупська, 2/20	49928547	1	50
8	Освітлення кліткових сходів ж.б.	Вул. Крупська, 2/21	0566607	1	50
9	Освітлення кліткових сходів ж.б.	Вул. Крупська, 2/23	6284161	1	40
10	Освітлення кліткових сходів ж.б.	Вул. Крупська, 2/24	0264650	1	40
11	Освітлення кліткових сходів ж.б.	Вул. Крупська, 2/25	2124313	1	40
12	ЗТП – 207, Тр. №2	Вул. Крупська, 22	0234533	65	0
13	Лабораторний корпус	Вул. Крупська, 2	0234781	10	7
14	Санпропускник	Вул. Крупська, 2/22	07113612 02576397	40	3550

1.6 Характеристика споживачів електроенергії

Освітлення в тваринницьких приміщенні виконано за допомогою світильників НСП-0,1 потужністю 100 Вт кожен, в корівнику і телятнику встановлено по 20 світильників. В телятнику встановлено електричний підігрівач води ВЕП-400 потужністю 20 кВт для отримання теплої води на технологічні потреби. В молочному блоці також встановлено електричний підігрівач води тієї ж марки, 2 вакуумних насосних агрегати з асинхронними електродвигунами типу АІР потужністю 5,8 кВт кожен. Також тут знаходиться танк-охолоджувач молока ємністю 3,5 м³ і молочно-насосний агрегат з двигуном потужністю 5 кВт. На підприємстві використовуються водонагрівачі ВЭТ-200 (2 шт.) та УАП-400 (1 шт.). Свердловин у господарстві нараховується 3. Одна свердловина обслуговує житлові будинки, дві інших - тваринницький комплекс. Із цих двох - одна свердловина працює в ручному режимі. Друга свердловина розкомплектована.

Характеристики основних споживачів електроенергії наведено в табл. 1.6.

Таблиця 1.6 - Основні споживачі електроенергії

№ п/п	Споживач	Встановлена потужність, кВт
1	Молочнотоварна ферма	80,0
2	Телятники	15,0
3	Зернотік	25,0
4	Господарський двір	40,0
5	Теплиці	50,0
6	Артезіанські свердловини	25,0
7	Гуртожиток	15,0
8	Майстерня	16,0
9	Клуб	10,0
10	Житловий будинок	6,0
11	Контора	3,0

12 Котельня

2,0

Розподіл електродвигунів за потужностями:

- 1) 2,2 кВт- 6 шт.;
- 2) 3 кВт - 4 шт.;
- 3) 4 кВт - 9 шт.;
- 4) 5,5 кВт-3шт.

Основні параметри енергоспоживача і перелік електрообладнання наведено в табл. 1.7 та табл. 1.8.

Таблиця 1.7 - Узагальнені дані по об'єму електрогосподарства.

№ п/п	Параметри	Величина
1	Загальна потужність підстанцій	1000 кВА
2	Кількість підстанцій на балансі НДГ	2 шт.
3	Потужність резервних дизельних електростанцій (ВЕУ)	1,5 кВт
4	Кількість резервних дизельних електростанцій (ВЕУ)	1
5	Протяжність повітряних електроліній 10кВ	
6	Протяжність повітряних електроліній 0,4кВ	6,2 км
7	Із них на дерев'яних опорах	0,4
8	Загальна встановлена потужність електроенергоживачів (без побутових)	112,8 кВт
9	Сумарна потужність електродвигунів	78 кВт
10	Кількість електродвигунів, шт.	21

1.7 Збитки від перерв у електропостачанні та оцінка ризиків

По відношенню забезпечення надійності електропостачання молочно-товарна ферма НДГ відноситься до 2 категорії споживачів, тобто допускаються перерви в електропостачанні на термін не більше 1 доби. Знаючи питомі збитки і час відключення майстерні можна визначити втрати Y від перерви в електропостачанні:

$$Y = y \cdot n \cdot t, \tag{1.1}$$

де y – питомі втрати, грн. ($y = 4,1$);

Таблиця 1.8 - Перелік електрообладнання НДГ «Ворзель»

№ п/п	Назва обладнання	Кількість, шт.	Потужність, кВт	Примітка
1	2	3	4	5
Молокоблок				
1.	Люмінесцентні світильники	4		Нові
2.	Холодильний агрегат для охолодження молока	1	1,5	Новий (імпортований)
3.	Магнітний пускач Most 16-R 16 A	1		
4.	Вакуумні насоси			
5.	Електричний двигун типу 4А	2	3,3	Вмикається за допомогою ВА 2001 С20
6.	Люмінесцентні лампи			Нові
7.	РП-1 Каб. ввід без рукоятки (I=300-400А)	1		Стан - незадовільний
8.	РП-2 ШР 11-400А	1		Стан - задовільний
9.	РП-3 ШР 11 (рубильник без рукоятки)	1		Без рукоятки, без запобіжників
10.	ЩО АЕ 2056 Siemens (16 А); 5 груп.	1		Стан - задовільний
11.	Світильники люмінесцентні	2		Не працюють (потрібно замінити), вмикач не працює
Телятник				
12.	ЩР (I=400 А)	1		Стан - задовільний
13.	ЩО на 3 групи			АЕ замінити
14.	Люмінесцентні лампи			Не працюють - замінити на лампи розжарювання (7 шт)
15.	Перемикач типу РК АЕ 2046	1		Замінити
16.	Провід АППВ	200 м		
17.	ЛЕП по фермі	900 м		
Склад №1				
18.	РП Я-100	1		Без освітлення
Склад №2				
19.	ЩР 73511 (400 А)	1		Кучки зламани
20.	ЩО на 6 груп АЕ 2010	1		Освітлення відсутнє
21.	Щит керування ДКУ	1		Замінити на IP 54
22.	Ел. двигун ДКУ АО	1	20	
23.	Люмінесцентні лампи	3		Не працюють
24.	Пржектор (живиться від розетки)			Живлення майстерні забезпечене від складу № 2 (тимчасовий кабель АВВГ 4х6)
Майстерня				
25.	РП ПР-11	1		
26.	АВ АЕ 3163	2		

Продовження табл. 1.8

1	2	3	4	5
27.	АП 50 (10А)	1		
28.	АЕ 2043	1		
29.	ЩО ЯРВ	1		Новий
30.	ЩО EL-B (ВА 2001)	6 відх.		
31.	Світильники	10		Нові
32.	Зовнішнє освітлення: ДРЛ (на стовпах)	7		

33.	Занурювальний насос ПЗДВ-6ЭЦВ-10	2	Керування ТКЕ
34.	Світильники НІО	13	Сносховище
35.	ЩО на 3 групи АЕ	1	
Корівник № 1			
36.	Провід АБВГ	200 м	Проведена заміна
37.	Світильники з лампами розжарювання	12	Не працює одна група
Корівник № 2			
38.	ЩР	1	Аварійний стан
39.	ЩО на 3 групи (ВА 2001)	1	
40.	Лампи розжарювання		Старі світильники
41.	Провід АППВ	200 м	
42.	Установка для нагріву води ВЭП-600	1	Аварійний стан – необхідна заміна (відсутня система керування ВЭП)
Теплиця			
43.	Мотор-редуктор	1	0,75
44.	Електроклапани віддачі води в теплицях ТО		
45.	Насоси АИР	3	15; 5,5; 7
46.	РП ЩР 11-73505	2	
47.	Теплогенератор	2	7; 7 Р _{дв} = 0,75 кВт

n – кількість робітників;

t – час перерви в електропостачанні (приймаємо $t = 1$ год).

$$Y = 4,1 \cdot 20 \cdot 3 = 246 \text{ грн.}$$

Для підвищення надійності електропостачання проводяться технічні заходи: встановлюється вітроелектрична установка, зменшується недовідпускання енергії за рахунок планових відключень тощо.

НУБІП України

НУБІП України

2 ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ВІТРОГЕНЕРАТОРНИХ УСТАНОВОК

2.1 Аналіз стану вітроенергетичних установок вітрових електростанцій та визначення шляхів підвищення енергоефективності їх функціонування

Сучасні тенденції розвитку сільського господарства України спрямовані на підвищення ефективності постачання фермерських та селянських господарств електричною енергією. При цьому, виходячи із умов економічної доцільності та екологічної безпеки, особливо для місцевостей, віддалених від централізованих електричних мереж та систем енергопостачання, установки для забезпечення споживачів електричною енергією повинні максимально використовувати наявні поновлювані джерела енергії.

Актуальність забезпечення електроенергією споживачів у регіонах, зумовлена великою їх розсередженістю при незначному споживанні електроенергії на 1 м² території, розвитком фермерських господарств, дачного будівництва та наявністю великої кількості малопотужних споживачів [311].

Розвиток вітроенергетики в Україні, Росії та країнах СНД знаходиться практично на початковому етапі. Розвинена в 40..50 роках вітроенергетика з постійною електрифікацією віддалених регіонів втратила своє значення у 80-ті роки і тільки на рубежі 90-х років до розвитку вітроенергетики знову повернулись на державному рівні. Відповідно до Указу Президента України від 02.03.1996 р. № 159/96 "Про будівництво вітрових електростанцій" [279], виходить Постанова Верховної Ради України від 15.10.1996 р. № 191/96-ВР "Про Національну енергетичну програму України до 2010 року" [231], схвалена Постановами Кабінету Міністрів України: від 10.07.1997 р. № 731 "Про Комплексні заходи щодо реалізації Національної енергетичної програми України до 2010 року" [230] та від 31.12.1997 р. № 1505 "Програма державної підтримки розвитку нетрадиційних і відновлюваних джерел, а також малої гідро- і теплоенергетики" [106].

При незначних середньорічних швидкостях вітру, від 2,3 до 6,9 м/с, що характерні для території України [309], доцільним вирішенням є широкомасштабний розвиток і створення ВЕУ малої потужності, техніка для якої, виходячи із технічних умов приєднання до енергосистеми, обмежується потужністю у 20 кВт [311].

За розрахунками Інституту відновлюваної енергетики НАН України та світовим досвідом, ВЕУ малої потужності можуть забезпечувати електропостачання наступних споживачів [311]: 10..20 кВт – малі села, хутори, великі фермерські господарства; 5..10 (6,3..7,5) кВт – невеликі та середні фермерські господарства; 2,0..5,0 кВт – окремі споживачі віддалених об'єктів; 2,0..2,4 кВт – приватні сімейні підприємства; 0,25..2,0 кВт – приміський дачний будинок; 0,63..0,75 кВт – середньостатистична українська сім'я.

Ринку вітчизняної та зарубіжної вітротехніки малої потужності властиві переважно однотипні традиційні конструкції вітродвигунів із горизонтальною вісю обертання і номінальною швидкістю вітру, як правило 6...12 м/с.

Головним призначенням широкого вибору ВЕУ є забезпечення електричною енергією індивідуальних споживачів при відсутності централізованої мережі, а також з метою зниження витрат на користування електроенергією і покращення якості електрозабезпечення. У ряді країн світу створені і успішно працюють ВЕС для заміни дизельних електроагрегатів систем [335]. У таких системах дизельні електроагрегати і системи працюють у час, коли вітер відсутній. Аналіз вітроустановок малої потужності свідчить, що в основному виробники орієнтуються на відносно низьку одинарну вартість агрегату, їх механічну простоту, повну автономність і універсальність в роботі, при мінімальних затратах праці на ТО.

Але використання існуючих технічних рішень в одному випадку пов'язане із відсутністю можливості генерувати електричну енергію і недостатнім завантаженням вітродвигуна, а іншому – складністю конструкції та низькою ефективністю перетворення кінетичної енергії повітряного потоку. Також не раціонально збільшувати номінальну потужність ВЕУ з метою живлення додаткового окремого електрообладнання.

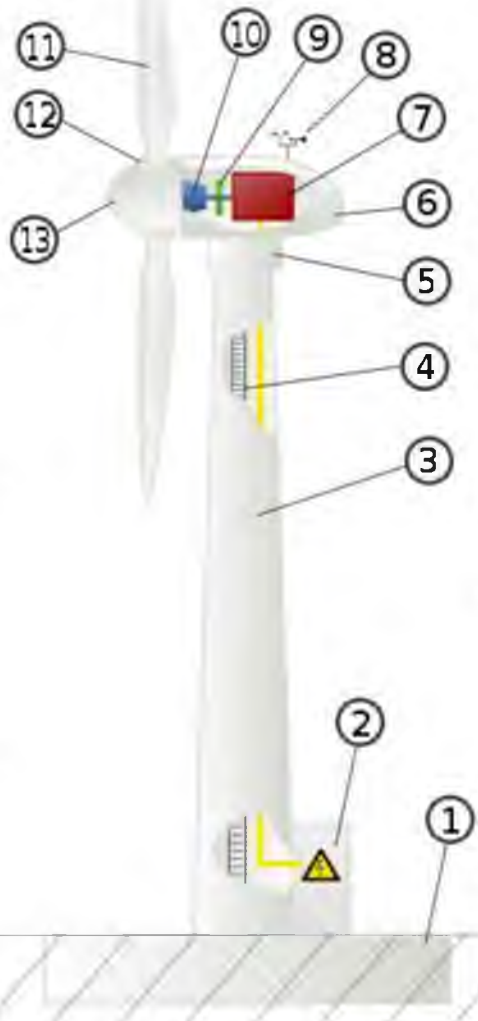
Тому, розвиток вітротехніки і серійний випуск ВЕУ для підвищення ефективності функціонування ВЕУ потребує вдосконалення конструкцій і розробки нових, більш ефективних і в той же час простих та надійних машин і механізмів, що перетворюють кінетичну енергію повітряного потоку в механічну роботу, або електричну енергію, що набуває значної актуальності [10].

До автономного класу ВЕУ установок малої потужності відносяться агрегати, що живлять електроенергією та забезпечують механічною енергією відокремлених споживачів і не є частиною загальної системи. Електрична потужність та дійсна механічна енергія установок даного класу більша, або дорівнює в середньому п'яти потужностям і продуктивностям мережі. Враховуючи стохастичність кінетичної енергії вітрового потоку такі вітроустановки, залежно від застосування, комплектуються акумулюючими пристроями (акумуляторні батареї, резервуари-накопичувачі енергії тощо.). ВЕУ не потребують регулювання швидкості обертання ротора вітродвигуна, вироблення мінімальної потужності, оскільки робота агрегатів оцінюється головним чином його продуктивністю за даний проміжок часу, а частота вихідної ВЕУ, як правило, стабілізована. Дольова частина ринку даних вітросистем становить більше 50 % [304]. Даний варіант є абсолютно безальтернативним для місцевості, де в радіусі більше 20 кілометрів відсутня електромережа і перспектива її появи в найближчому майбутньому [174].

У проведеному дослідженні особлива увага приділена вітродвигунам із горизонтальною віссю обертання (коефіцієнт використання встановленої потужності вітродвигуном $\xi < 0,48$) [291], через малу ефективність вітродвигунів з вертикальною віссю обертання ($\xi < 0,18$), великих габаритних розмірів, тихохідності та інших недоліків [292]. Використання вітродвигунів з вертикальною віссю обертання для ВЕУ є не досить доцільним, адже потребує додаткового зовнішнього джерела потужності або зовнішнього приводу для виходу на робочий режим [336], що в свою чергу зменшує надійність загальної установки і збільшує об'єм ТО.

Зовнішній вигляд промислової ВЕУ (рис. 2.1) ілюструє просте конструктивне виконання агрегату, малу матеріаломісткість, а кінематична схема

високий ККД, за рахунок відсутності складних кінематичних ланок (напр.: мультиплікатора, редуктора тощо.) Докладний опис та аналіз роботи ВЕУ вичерпно відображений у працях [292,293,294].



- 1 – фундамент;
- 2 - силова шафа, що включає силові контактори і кола керування з телекомунікаційною системою для передачі даних про роботу вітрогенератора та системи пожежогасіння і блискавкозахисту;
- 3 – вежа;
- 4 – сходи;
- 5 – поворотний механізм;
- 6 – гондола;
- 7 – електричний генератор;
- 8 – система слідування за напрямком і швидкістю вітру (анемометр);
- 9 – гальмівна система;
- 10 – трансмісія;
- 11 – лопаті;
- 12 – система зміни кута атаки лопаті;
- 13 – ковпак ротора;

Рисунок 2.1 - Зовнішній вигляд ВЕУ з кінематичною схемою

Створенню сучасних ВЕУ, а також електромеханічних систем присвячено

багато наукових праць. Зокрема необхідно виділити роботи присвячені автономним ВЕУ малої потужності та вітроджерельним установам [1,7,22,69,107,234,291,292,286,316]. Головні принципи побудови

електромеханічних систем автономних вітроджерельних установок, з детальним описом принципу роботи, наведені в науковій праці [44]. Вони

характерні для наступних діапазонів потужності: 0,1..1,0 кВт; 1..10 кВт; 10..100 кВт.

У наукових працях пропонується ряд різних варіантів класифікації систем генерування електроенергії для ВЕУ [61,107,268,241]. Залежно від типу застосування електричних машин існує класифікація систем генерування електроенергії автономного класу (рис. 2.2, 2.3). Докладні описи роботи генераторів постійного струму, синхронних і асинхронних генераторів наведено у наукових працях [61,244,286,293].

Причинами обмеженого застосування генераторів постійного струму є висока вартість, низька надійність, потреба у ретельному ТО та складність використання агрегатів із швидкохідними роторами у зв'язку з великим початковим моментом опору.



Рисунок 2.2 - Класифікація ВЕУ за типом застосування електричних машин

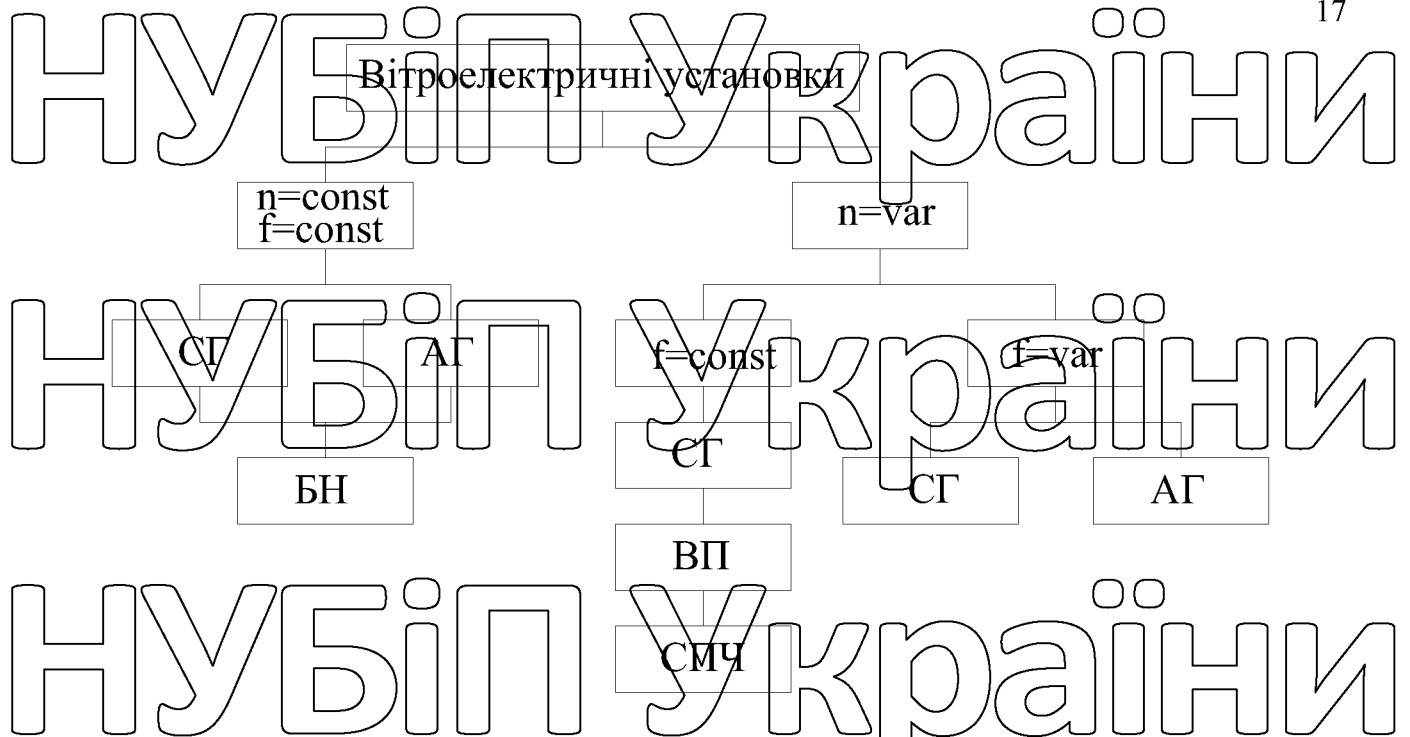


Рисунок 2.3 - Класифікація автономного класу генераторних комплексів ВЕУ

залежно від постійної чи змінної частоти обертання:

ВЕУ – вітроелектрична установка, СГ – синхронний генератор, АГ – асинхронний генератор, БН – баластне навантаження, ВП – випрямляючий пристрій, СМЧ – статичний перетворювач частоти, n – швидкість обертання ротора, f – генерована частота.

Асинхронні генератори з короткозамкненою обмоткою ротора в більшості випадків призначені для паралельної роботи з мережею, в автономних ВЕУ використовуються рідко, через складність дотримання електричних характеристик при зміні $\cos \varphi$ навантаження [45,286]. При роботі асинхронних генераторів в автономних ВЕУ головною проблемою є збудження. На відміну від синхронних генераторів, що виробляють реактивну потужність індуктивного характеру, асинхронні генератори споживають її, а тому повинні мати власне джерело реактивної енергії, внаслідок чого виконуються із самозбудженням (конденсаторним або напівпровідниковим).

Як генератори автономних ВЕУ застосовуються, в основному, синхронні безконтактні генератори та їх модифікації (індукторні, з кінтенодієвими полюсами, електромагнітним, магнітоелектричним збудженням тощо.) Найбільш розповсюджені тихохідні синхронні генератори із збудженням від постійних магнітів. Такі генератори не мають струмоз'ємних кілець, працюють

при змінній частоті обертання сумісно з перетворювачем частоти в широкому діапазоні її зміни. Найбільш розповсюджений матеріал для виготовлення магнітів з високими енергетичними показниками при малій масі і габаритах є композиція неодим-залізо-бор (NdFeB).

Сучасні технічні рішення дозволяють поєднувати ВЕУ із споживачами шляхом застосування однієї із двох схем (рис. 2.4 та рис. 2.5).

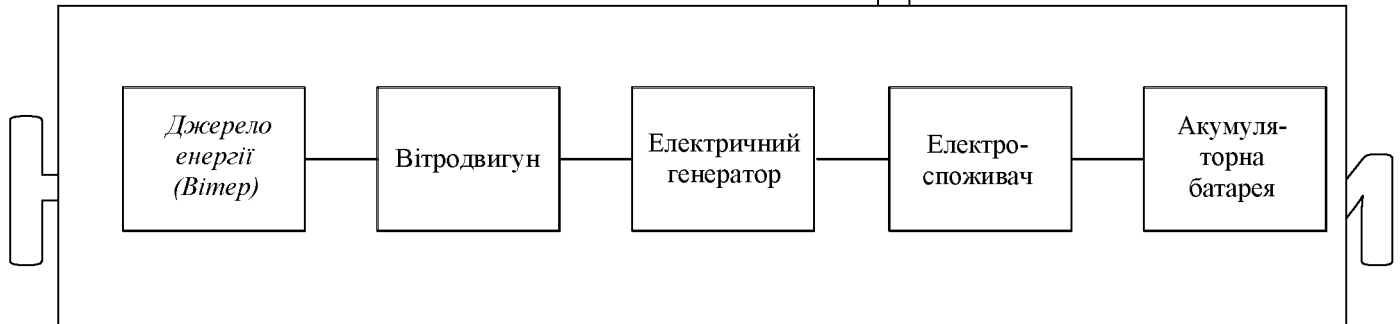


Рисунок 2.4 - Функціональна блок-схема ВЕУ із споживачем.

Недоліками такого технічного рішення є: генератор і електроспоживач працюють при швидкості обертання, що змінюється від 0,4 до 1,5 номінального значення; завантаження електродвигуна значно впливає на режим роботи електричної системи (генератора, електродвигуна) вітроустановки; генератор приводиться в дію від швидкохідного ротора з малим початковим моментом, внаслідок чого умови пуску агрегату при малих швидкостях вітру погіршені; при постійному з'єднанні з генератором необхідне застосування регуляторів напруги, або увімкнення електроспоживача на задане значення напруги; робота споживача неможлива при відсутності вітру; загальний ККД електричної системи таких ВЕУ малої потужності становить 0,17..0,22.

Поліпшену ефективність мають ВЕУ, де електроспоживач з'єднаний із генератором, сонячними панелями з використанням акумуляторної батареї та інвертора напруги (рис. 2.5).

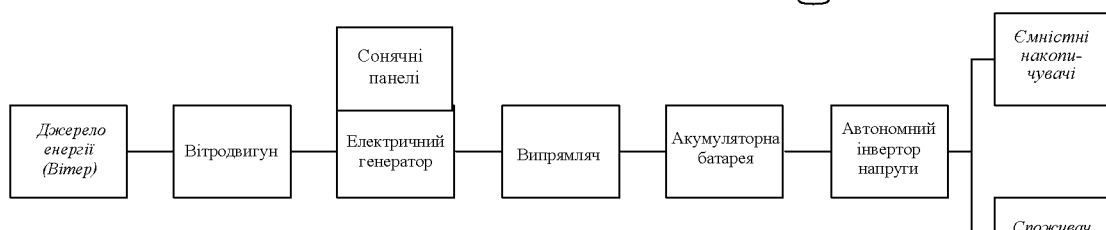


Рисунок 2.5 - Функціональна блок-схема з'єднання ВЕУ із електроспоживачем з використанням сонячних панелей, акумуляторної батареї та інвертора напруги

Характерними технічними недоліками даної системи (рис.2.5) є [3]:

низький коефіцієнт потужності електроспоживача, що ускладнює його використання з електроживленням від інверторів сумарної потужності; вимагає підвищення потужності джерела енергії для електроспоживачів шляхом можливого застосування перетворювача напруги з 12 В до $150..220\text{ В}$ і комутатора струму з конденсаторним накопичувачем енергії для підвищення продуктивності споживача до номінальних значень; для роботи електроспоживача, що отримує живлення від джерела постійного струму напругою 12 В , встановлена потужність інвертора повинна перевищувати потужність електроспоживача в $2,5..3$ рази; порівняно низький загальний ККД установки.

Аналіз наукових праць відомих у галузі вітроенергетики авторів С.М. Фатєєва, Я.І. Шефтера, Г.І. Денисенка, П.Ф. Васька, С.О. Кудрі, В.М. Головка, В.С. Кривцова, Л.І. Мазуренка, К.М. Василюва, А.І. Яковлева, В.П. Харітонова, О.М. Яхно, В.І. Радіна, Т.В. Рудого, Д.Г. Алексієвського, О.О. Тихевича, А.С. Креймера та інших показав, що значна кількість авторів пов'язала свої дослідження з автономним електрозабезпеченням територіально розосереджених споживачів від централізованих електропостачальних систем з використанням поновлюваних джерел енергії, а саме віротехніки. Особливістю робіт попередників є застосування генераторів обертового руху (генераторів постійного струму, асинхронних і синхронних генераторів) змонтованих у гондолі, що, як правило, ускладнює конструкцію гондoli ВЕУ, збільшує її масогабаритні показники, а з цим і навантаження на опору. Значний вплив вітру на опорну конструкцію та гондолу, в якій розташоване коштовне та важке

електрогенеруюче обладнання, висуває підвищені вимоги до несучої опорної конструкції. При підвищенні продуктивності вітроагрегату збільшується навантаження на опору. Ускладнюють конструкцію існуючих ВЕУ наявність мультиплікатора, підшипникових блоків, необхідність струмознімачів, що з'єднують електрогенератор у гондолі із розподільчим пристроєм розташованим внизу стійки. Вплив відхилення вітрового потоку не дозволяє вигідно експлуатувати ВЕУ без визначення рози вітрів на місці встановлення. Всі перелічені технічні особливості зменшують надійність та збільшують кількість ТО за період експлуатації.

Аналіз існуючих технічних рішень ВЕУ довів можливість відмовитися від застосування мультиплікатора, що виключає необхідність в регулярній заміні мастила, але дане рішення стосується вітроагрегатів потужністю до 4 кВт [51].

Недоліки традиційних ВЕУ створюють суттєве протиріччя, що полягає у виникненні потреби підвищення їх енергоефективності функціонування, шляхом удосконалення традиційної конструкції, з одного боку, та неспроможності існуючих ВЕУ забезпечити таке підвищення, з іншого боку.

У такому випадку найбільш раціональним рішенням може бути застосування конструкції ВЕУ з сонячними панелями, що забезпечить можливість функціонування ВЕУ у безвітряний період та ефективного регулювання корисним електронавантаженням при збільшенні швидкості вітру з використанням акумуляованої енергії для живлення струмоприймачів. Це дозволить підвищити ефективність використання механічної енергії вітродвигуна, шляхом його дезавантаження під час зростання швидкості вітру, розширити функціональність установки та підвищити коефіцієнт використання встановленої потужності.

Отже, проведений аналіз літературних джерел у галузі технічних наук з вітроенергетики свідчить, що станом на сьогоднішній день не достатньо розроблені науково-технічні принципи побудови гібридних вітроенергетичних систем, не встановлені енергетичні взаємозв'язки між їх структурними елементами, відсутні техніко-економічні рішення енергоефективного використання вітродвигунів таких систем.

НУВІП УКРАЇНИ

2.2 Задачі підвищення ефективності функціонування ВЕУ та шляхи їх вирішення

Аналіз сутності та актуальності проблемної ситуації, що полягає у виникненні потреби підвищення енергоефективності функціонування ВЕУ, шляхом удосконалення їх традиційної конструкції та розробки науково-методичної бази для дослідження гібридної вітроустановки, дозволили визначити протиріччя, що склалися в науці та практиці при дослідженні електротехнічних комплексів і систем вітроенергетики. Результатом є сформована структурна схема постановки наукової задачі (рис. 2.6).

Таким чином, дослідження присвячене вирішенню наукового завдання, що полягає в обґрунтуванні електромеханічних та електромагнітних процесів електротехнічного комплексу на базі магнітоелектричного лінійного генератора зворотно-поступального руху з урахуванням режимів електроспоживання та стохастичного надходження енергії вітру для підвищення енергоефективності комбінованої вітроенергоустановки.

Виходячи із аналізу проблемної ситуації, а також протиріч, що склалися в науці та практиці, шляхів їх подолання, сформульовані мета, об'єкт, предмет та задачі дослідження.

Мета дослідження: є дослідження експлуатаційних режимів роботи ВЕУ та підвищення енергоефективності ВЕУ шляхом вдосконалення керування режимів електроспоживання гібридної вітроустановки на базі пакету NI FIELDPOINT з урахуванням стохастичного надходження енергії вітру.

Об'єкт дослідження: електромеханічні та електромагнітні процеси в електротехнічному комплексі гібридна вітроенергоустановка - електроспоживач.

Предмет дослідження: вплив електромеханічних та електромагнітних процесів у електротехнічному комплексі на енергоефективність гібридної вітроустановки з урахуванням стохастичного надходження енергії вітру та режимів електроспоживання.

Задачи дослідження. Виконання наукового завдання та досягнення поставленої мети дослідження ґрунтується на розв'язанні наступних задач:

6. Аналіз відомих типів та конструкцій вітроенергетичних установок та визначення шляхів підвищення їх енергоефективності.

7. Дослідження та узгодження розподілу потужностей між основними структурними складовими гібридної ВЕУ та споживачами.

8. Встановлення закономірностей впливу стохастичного надходження енергії вітру на енергоефективність функціонування електропостачальної вітроустановки.

9. Розробка в програмному середовищі Matlab/Simulink віртуальної комп'ютерної моделі вітроустановки з метою уточнення оптимального алгоритму керування випрямляча напруги.

10. Дослідження роботи вітроенергетичних установок з використанням автоматизованої системи моніторингу на базі пакету NI FIELDPOINT.

Методи дослідження: Методи статистичного аналізу, імітаційного і математичного моделювання з використанням теорії електричних кіл та електромагнітного поля.

Вважаємо найбільш поширеним і продуктивним у проведенні даних досліджень використання програмного додатку Simulink інтегрованого до пакету MatLAB. При моделюванні з використанням Simulink реалізується принцип візуального програмування, у відповідності з яким, користувач на екрані створює модель пристрою із власних або стандартних блоків за допомогою яких здійснюються розрахунки. Достовірність результатів даного програмного продукту апробована роботами багатьох науковців, останніми із яких є [271,119,5].

Особливістю електромеханічної системи вітроустановок на відміну від інших є непрогнозоване і некероване надходження первинної енергії стохастичного повітряного потоку, внаслідок цього вітроустановка працює з постійною або змінною частотою обертання ротора вітродвигуна, тому їй необхідно розглядати як стохастичне джерело енергії із змінною потужністю. Вихідні параметри (напруга і частота струму) при цьому коливаються в

широкому діапазоні. Для усунення недоліку змінного генерування електричної потужності і гарантованого електрозабезпечення споживачів, вироблена генератором електроенергія використовуватиметься для заряду акумуляторної

батареї. Відповідно, розробка методики аналізу характеристик функціонування

АКБ у складі електротехнічної системи ВЕУ з розрахунком тривалості безперервного автономного живлення електроспоживачів від АКБ у періоди відсутності вітру є обов'язковою вимогою.

Впровадження результатів проведеного дослідження дозволить забезпечити комплексне розв'язання задачі альтернативного електрозабезпечення споживачів з використанням поновлюваних джерел енергії.

2.3 Дослідження енергетичних потоків та аналіз балансу потужностей

вітроенергетичної установки

В якості вихідної бази для створення методики дослідження енергетичних потоків ВЕУ доцільно провести аналіз балансу потужностей вітроустановки на основі розрахунку величин вхідних та вихідних потужностей установки та її окремих функціональних вузлів [15].

Робота будь-якої енергетичної установки, в тому числі вітроустановки, характеризується ефективністю використання первинної енергії, яка визначається ККД, або віддачею корисної потужності відповідним споживачам енергії.

Виходячи із аналізу принципової функціонально-кінематичної схеми ВЕУ, побудуємо та розглянемо структурно-функціональну схему, що відображає баланс потужності первинної енергії повітряного потоку в гібридній вітроустановці (рис. 2.6).

Пропонується методика, в основі якої лежить аналіз балансу потужності ВЕУ, що полягає в послідовності розрахункових дій визначення потужностей кожного елемента електромеханічної системи та розрахунку загального ККД.

НУБІП України

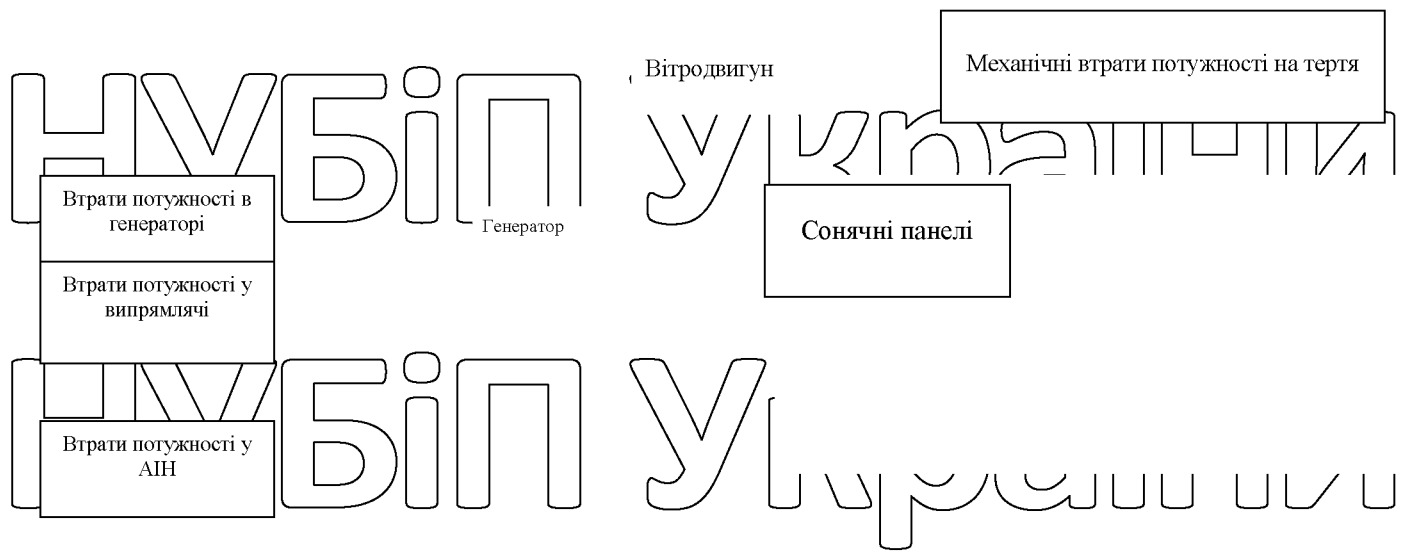


Рисунок 2.6 - Структурно-функціональна схема балансу потужності ВЕУ

НУБІП України

Відповідно рис. 2.6 опишемо процеси розподілу енергетичних потоків, що

відбуваються у ВЕУ. Вітродвигун за допомогою лопатей ротора, що взаємодіють із вітром перетворює технічно досяжну кінетичну енергію вітру в механічну енергію обертального руху валу потужністю $P_{ВД(ВХ)}$, що передається на первинний вал генератора $P_{ВД(ВИХ)}$. Електрична енергія від сонячних панелей

$P_{СП(ВИХ)}$ та генератора по двох паралельних потоках через контролери передається інвертору, а потім електроспоживачеві. Механічна енергія приводу генератора $P_{Г(ВХ)}$ перетворюється в корисну потужність споживачеві.

Механічна енергія приводу генератора потужністю $P_{ГЕН(ВХ)}$ перетворюється в електричну енергію змінного струму потужністю $P_{ГЕН(ВИХ)}$, яка за допомогою випрямляча перетворюється в електричну енергію постійного (випрямленого)

струму потужністю $P_{В(ВИХ)}$, що подається на акумуляторні батареї (АКБ). З акумуляторної батареї (групи АКБ) електроенергія постійного струму подається на автономний інвертор напруги $P_{АІН(ВХ)}$ для перетворення в змінну напругу ~ 220 В з частотою 50 Гц $P_{АІН(ВИХ)}$, або до споживачів постійного струму з напругою: –

12/24/48 В.

Потужність первинної енергії повітряного потоку для круглого розрахункового перерізу цього потоку становить [28]:

$$P_B = \frac{\pi}{8} \rho D^2 V^3 10^{-3} \text{ кВт}, \quad (2.1)$$

де ρ – густина повітря ($\rho = 1,23 \text{ кг/м}^3$, при $t = 15^\circ\text{C}$ та атмосферному тиску 760 мм рт. ст.);

D – діаметр перерізу, м;

V – швидкість вітру, м/с.

Ротор вітроустановки може перетворювати лише частину повної енергії повітряного потоку W_B в механічну корисну енергію W_1 . В [28, 12] введений коефіцієнт використання енергії вітру, що становить

$$\xi = \frac{W_1}{W_B} = (0,3 \div 0,8) \xi_{\max} \approx 0,18..0,48, \quad \text{де } \xi_{\max} = 0,593 \text{ – максимальне значення}$$

коефіцієнта використання кінетичної енергії повітряного потоку [22]. У подальших розрахунках доцільно також враховувати можливі максимальні значення коефіцієнта потужності вітроустановки, які становлять для крильчастих роторів з тихохідними вітродвигунами $\xi_{\max} = 0,33..0,38$ та для

роторів з швидкохідними $\xi_{\max} = 0,45..0,48$ [12]. При цьому для крильчастих роторів вітроустановки з урахуванням коефіцієнта використання енергії вітру формула визначення розрахункової потужності вітроустановки має вигляд [28]:

$$P_{\text{розрах}} = \frac{\pi}{8} \rho D^2 V^3 \xi 10^{-3} \text{ кВт}. \quad (2.2)$$

Корисна потужність ВЕУ $P_{\text{ВЕУ}}$ менша розрахункової $P_{\text{розрах}}$ на величину втрат потужності: у трансмісії вітродвигуна, генераторі, випрямлячі, автономному інверторі напруги, контролерах. Ці втрати визначають загальний коефіцієнт

корисної дії ВЕУ $\eta_{\text{ВЕУ}} = \frac{P_{\text{ВЕУ}}}{P_{\text{розрах}}}$, де корисна потужність ВЕУ $P_{\text{ВЕУ}}$:

$$P_{\text{ВЕУ}} = \frac{\pi}{8} \rho D^2 V^3 \xi \eta_{\text{ВЕУ}} 10^{-3} \text{ кВт} \quad (2.3)$$

До складу трансмісії вітродвигуна входять: вал ротора вітродвигуна з муфтою, кривошипно-шатунний механізм з крейцкопфом, опорно-поворотний

механізм та шток привода вала генератора. Коефіцієнт корисної дії трансмісії вітродвигуна з урахуванням втрат потужності на тертя у вальницях визначається співвідношенням:

$$\eta_{TP} = \frac{P_{ВД(ВИХ)}}{P_{ВД(ВХ)}} = \eta_{мех.коч} \eta_{мех.ков} = 0,99^n \cdot 0,98^m = 0,99^4 \cdot 0,98^1 = 0,941, \quad (2.4)$$

де $P_{ВД(ВИХ)}$ – корисна потужність вітродвигуна, кВт;

$\eta_{мех.коч} = 0,99..0,995$ – ККД вальниць кочення з рідким мастилом;

$\eta_{мех.ков} = 0,98..0,985$ – ККД вальниць ковзання з рідким мастилом;

n – кількість пар вальниць кочення;

m – кількість пар вальниць ковзання [31].

При використанні напіврідкого мастила ККД зменшують на $0,015..0,01$ [31].

Отже, механічний ККД трансмісії вітродвигуна ВЕУ становить: $\eta_{TP} = 0,941$.

Відповідно, корисна потужність вітродвигуна:

$$P_{ВД(ВИХ)} = \frac{\pi}{8} \rho D^3 V^3 \xi \eta_{TP} 10^{-3} \text{ кВт}. \quad (2.5)$$

Корисна потужність вітродвигуна $P_{ВД(ВИХ)}$, як визначено вище, використовується індуктором генератора $P_{ГЕН(ВХ)}$, отже, справедлива рівність

$$P_{ВД(ВИХ)} = P_{ГЕН(ВХ)}$$

Розрахунковий коефіцієнт корисної дії генератора з урахуванням усіх витрат потужності визначається, як відношення корисної електричної потужності $P_{ГЕН(ВИХ)}$ до механічної потужності привода індуктора генератора

$P_{ГЕН(ВХ)}$:

$$\eta_{ГЕН} = \frac{P_{ГЕН(ВИХ)}}{P_{ГЕН(ВХ)}} = \frac{P_{ГЕН(ВИХ)}}{P_{ГЕН(ВИХ)} + \Delta P_{ГЕН}}, \quad (2.6)$$

де $P_{ГЕН(ВИХ)}$ – корисна електрична потужність генератора, кВт;

$P_{ГЕН(ВХ)} = P_{ГЕН(ВИХ)} + \Delta P_{ГЕН}$ – механічна потужність привода індуктора, кВт;

$\Delta P_{ГЕН}$ – загальні втрати потужності в генераторі, кВт.

Загальні втрати потужності в генераторі становлять:

$$\Delta P_{ГЕН} = \Delta P_{ЕЛ} + \Delta P_{СТ} + \Delta P_{Т} + \Delta P_{Д} \text{ кВт}, \quad (2.7)$$

де $\Delta P_{ЕЛ}$ – електричні втрати потужності в обмотках, $кВт$;

$\Delta P_{СТ}$ – магнітні втрати потужності в магнітопроводі, $кВт$;

ΔP_T – механічні втрати потужності на тертя, $кВт$;

ΔP_D – додаткові втрати, $кВт$.

Як відомо із теорії електричних машин [14, 26] електричні втрати потужності в електричних машинах дорівнюють $\Delta P_{ЕЛ} = (0,4..0,5)\Delta P$, а для СГПМ вони мають найменшу величину, тобто $\Delta P_{ЕЛ} = 0,4\Delta P_{ГЕН}$. Тоді, сума решти втрат буде становити: $\Delta P_{ГЕН} - \Delta P_{ЕЛ} = \Delta P_{СТ} + \Delta P_T + \Delta P_D = \Delta P_{ГЕН} - 0,4\Delta P_{ГЕН} = 0,6\Delta P_{ГЕН}$.

З урахуванням розрахованих даних механічна потужність привода індуктора $P_{ГЕН(ВХ)}$ після перетворення механічної енергії в електричну буде дорівнювати сумі електромагнітної (внутрішньої) потужності та неелектричних втрат потужності, або сумі корисної потужності та потужності всіх втрат:

$P_{ГЕН(ВХ)} = P_{ЕМ} + 0,6\Delta P_{ГЕН} = P_{ГЕН(ВИХ)} + \Delta P_{ГЕН}$ $кВт$, тоді, електромагнітна потужність

буде дорівнювати: $P_{ЕМ} = P_{ГЕН(ВИХ)} + \Delta P_{ГЕН} - 0,6\Delta P_{ГЕН} = P_{ГЕН(ВИХ)} + 0,4\Delta P_{ГЕН}$ $кВт$.

Враховуючи коефіцієнт падіння напруги в обмотках генератора $k_u \approx 0,9$ [27],

отримаємо величину корисної потужності $P_{ГЕН(ВИХ)}$ та відносну величину

сумарних втрат потужності $\Delta P_{ГЕН}$: $P_{ГЕН(ВИХ)} = 0,9P_{ЕМ} = 0,9(P_{ГЕН(ВИХ)} + 0,4\Delta P_{ГЕН})$

$= 0,9P_{ГЕН(ВИХ)} + 0,36\Delta P_{ГЕН}$, звідки $0,36\Delta P_{ГЕН} = 0,1P_{ГЕН(ВИХ)}$, а

$\Delta P_{ГЕН} \approx \frac{0,1}{0,36} P_{ГЕН(ВИХ)} \approx 0,278P_{ГЕН(ВИХ)}$.

Тоді, ККД генератора буде дорівнювати:

$$\eta_{ГЕН} = \frac{P_{ГЕН(ВИХ)}}{P_{ГЕН(ВХ)}} = \frac{P_{ГЕН(ВИХ)}}{P_{ГЕН(ВИХ)} + \Delta P_{ГЕН}} = \frac{P_3}{P_3 + 0,278P_3} = \frac{1}{1,278} = 0,782.$$

Таким чином, при попередніх розрахунках ККД можна використовувати відомі співвідношення втрат потужності в електричних машинах та відомий

коефіцієнт падіння напруги в обмотках статора генератора. При докладніших

розрахунках, що виконуються в процесі проектування, це значення ККД уточнюється.

СГПМ є джерелом живлення електричної частини системи, що складається із випрямляча, групи акумуляторних батарей, автономного інвертора напруги та електроспоживачів. Випрямляч, як видно із схеми, забезпечує живлення

постійним (випрямленим) струмом групи акумуляторних батарей в режимі заряду. Для сучасних промислових зразків випрямлячів цього типу ККД становить: $\eta_B = 0,85..0,9$ [16]. Враховуючи певні втрати потужності в електричній мережі системи електроживлення, слід прийняти менше значення коефіцієнта корисної дії випрямляча $\eta_B = 0,85$.

Корисна потужність випрямляча $P_{B(VIX)}$ менша генерованої потужності $P_{ГЕН(VIX)} = P_{B(VIX)}$ на величину втрат потужності у випрямлячі:

$$P_{B(VIX)} = P_{ГЕН(VIX)} \eta_B \cdot \quad (2.8)$$

Потужність заряду акумуляторних батарей (групи АКБ) має дорівнювати потужності на виході випрямляча $P_{B(VIX)}$, а потужність розряду акумуляторних батарей – потужності на вході автономного інвертора напруги $P_{AИН(VX)}$.

Автономний інвертор напруги, застосовується в системі як перетворювач постійного струму в змінний для живлення електроспоживачів змінного струму стандартної напруги $\sim 220 В$ з частотою $50 Гц$. Коефіцієнт корисної дії інвертора $\eta_{AИН}$ для сучасних промислових зразків становить, наближено $\eta_{AИН} \approx 0,9$, тобто втрати електроенергії в інверторі напруги складають 10% [16]. Звідси, корисна потужність автономного інвертора напруги:

$$P_{AИН(VIX)} = P_{AИН(VX)} \eta_{AИН} \cdot \quad (2.9)$$

Прийнявши величину потужності електроспоживачів $P_{СП} = 1,0 \text{ кВт}$, що повинна забезпечити електроживлення контролерів, електромагнітних клапанів та можливого додаткового електрообладнання, виконаємо розрахунок, згідно запропонованої методики визначення потужностей структурних елементів електромеханічної системи та загального ККД ВЕУ:

1. Повна потужність сонячних панелей:

$$P_{СП(VX)} = \frac{Q_{PСП}}{\eta_{СП}} 10^3 = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot 0,29 \cdot 10^6}{0,81} 10^3 = 0,716 \text{ кВт}$$

3. Повна потужність автономного інвертора напруги:

$$P_{AИН(VX)} = \frac{P_{СП}}{\eta_{AИН}} = \frac{1,0}{0,9} = 1,11 \text{ кВт}$$

4. Повна потужність випрямляча напруги:

5. Повна потужність генератора:

$$P_{B(VX)} = \frac{P_{AH(VX)}}{\eta_B} = \frac{1,11}{0,83} = 1,307 \text{ кВт.}$$

6. Корисна потужність гібридної ВЕУ:

$$P_{ГЕН(VX)} = \frac{P_{ГЕН(VIX)}}{\eta_{ГЕН}} = \frac{1,307}{0,782} = 1,67 \text{ кВт.}$$

7. Повна потужність вітродвигуна:

$$P_{ВД(VX)} = \frac{P_{ВД(VIX)}}{\eta_{ТР}} = \frac{2,386}{0,941} = 2,54 \text{ кВт.}$$

8. Розрахунок загального коефіцієнта корисної дії ВЕУ:

$$\eta_{ВЕУ} = \eta_{ТР} \frac{P_{ГЕН(VX)} \eta_{ГЕН} \eta_B \eta_{АН} + P_{СП(VX)} \eta_{СП}}{P_{ГЕН(VX)} + P_{СП(VX)}}, \quad (2.10)$$

9. Корисна потужність ВЕУ:

$$\eta_{ВЕУ} = 0,941 \frac{1,67 \cdot 0,782 \cdot 0,83 \cdot 0,9 + 0,716 \cdot 0,81}{1,67 + 0,716} = 0,623.$$

$$P_{ВЕУ} = P_{ГЕН(VIX)} + P_{СП(VIX)} = P_{РОЗР} \eta_{ВЕУ} = 1,0 + 0,58 = 1,58 \cdot 0,623 = 1,58 \text{ кВт.} \quad (2.11)$$

Отримане значення корисної потужності $P_{ВЕУ}$, що надходить до споживачів та значення загального ККД ВЕУ $\eta_{ВЕУ}$ дає можливість визначити діаметр ротора вітродвигуна (наприклад, для швидкохідного ротора при швидкості вітру 8 м/с) із рівняння (2.3):

$$D = \sqrt{\frac{P_{ВЕУ}}{\frac{\pi}{8} \rho V^3 \xi \eta_{ВЕУ} 10^{-3}}} = \sqrt{\frac{1,58}{0,393 \cdot 1,23 \cdot 8^3 \cdot 0,33 \cdot 0,623 \cdot 10^{-3}}} \approx 5,6 \text{ м.}$$

Виконаємо перевірку правильності розрахунку діаметра ВЕУ, визначивши

його, якщо відомою є розрахункова потужність вітроустановки $P_{РОЗР}$, тобто потужність, що відбирається ротором від вітрового потоку, із рівняння (2.2):

$$D = \sqrt{\frac{P_{РОЗР}}{\frac{\pi}{8} \rho V^3 \xi 10^{-3}}} = \sqrt{\frac{2,54}{0,393 \cdot 1,23 \cdot 8^3 \cdot 0,33 \cdot 10^{-3}}} \approx 5,6 \text{ м.}$$

Необхідно розуміти, що визначений діаметр ротора вітродвигуна D є

наближеним результатом розв'язку, оскільки в цьому прикладі врахована швидкість вітру, як детермінована величина, а тому не відповідає сутності реальних природно-кліматичних умов, оскільки за реальних умов швидкість вітру є випадковою величиною.

Підсумовуючи викладений методичний матеріал, розглянемо рівняння балансу потужності гібридної вітроустановки:

$$P_{P(VX)} = P_{СП(VIX)} + P_{СП} + \Delta P_{ВЕУ} \text{ кВт}, \quad (2.12)$$

де $P_{СП}$ – потужність електричних споживачів, кВт;

$\Delta P_{ВЕУ} = \Delta P_{ВД} + \Delta P_{ГЕН} + \Delta P_{В} + \Delta P_{АН} + \Delta P_{СП}$ – сумарна величина втрат потужності у ВЕУ, кВт.

Втрати потужності у автономному інверторі напруги:

$$\Delta P_{АН} = 0,1 P_{АН(VX)} = 0,1 \cdot 1,11 = 0,111 \text{ кВт}.$$

Втрати потужності у випрямлячі:

$$\Delta P_{В} = 0,15 P_{В(VX)} = 0,15 \cdot 1,307 = 0,196 \text{ кВт}.$$

Втрати потужності у синхронному генераторі:

$$\Delta P_{ГЕН} = 0,218 P_{ГЕН(VX)} = 0,218 \cdot 1,67 = 0,364 \text{ кВт}.$$

Втрати потужності у трансмісії вітродвигуна:

$$\Delta P_{ВД} = 0,059 P_{ВД(VX)} = 0,059 \cdot 2,54 = 0,15 \text{ кВт}.$$

Втрати у сонячних панелях:

$$\Delta P_{СП(VIX)} = 0,136 \text{ кВт}.$$

Отже, сумарна величина втрат потужності у КЕВВУ:

$$\Delta P_{ВЕУ} = 0,15 + 0,364 + 0,196 + 0,111 + 0,136 = 0,957 \text{ кВт}.$$

Підставивши розраховані показники $P_{РОЗР}$, $P_{СП(VIX)}$, $P_{СП}$ і $\Delta P_{ВЕУ}$ у рівняння

(2.12), отримаємо:

$$2,54 \text{ кВт} \approx 0,58 + 1,0 + 0,957 \text{ кВт}.$$

$$2,54 \text{ кВт} \approx 2,54 \text{ кВт}.$$

Отже, рівність розрахованого балансу потужності підтверджує правильність отриманих результатів та працездатність розробленої методики.

НУБІП України

Подальша задача, направлена на обґрунтування показників енергоефективності структурних елементів ВЕУ, а саме визначення її коефіцієнта корисної дії та порівняння із коефіцієнтом корисної дії вітроелектронасосної установки сумарної потужності наведена в розділі 3

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

3 ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ГІБРИДНОЇ ВІТРОГЕНЕРАТОРНОЇ УСТАНОВКИ

3.1 Режими роботи електричного кола

Розглянемо незгалужене електричне коло постійного струму (рис. 3.1.а). До полюсів генератора з ЕРС E і внутрішнім опором $r_{вн}$ за допомогою двох провідної лінії довжиною l і опором $R_{л}$ приєднаний струмоприймач (навантаження) з опором, що змінюється $R_{н}$ (від ∞ до 0). Зі зміною опору $R_{н}$ струм I , напруга U_2 (на полюсах струмоприймача) та U_1 (на полюсах генератора) будуть також змінюватися. З усіх можливих режимів роботи електричного кола основними є чотири:

- номінальний;
- холостого ходу (ХХ);
- короткого замикання (КЗ);
- узгоджений.

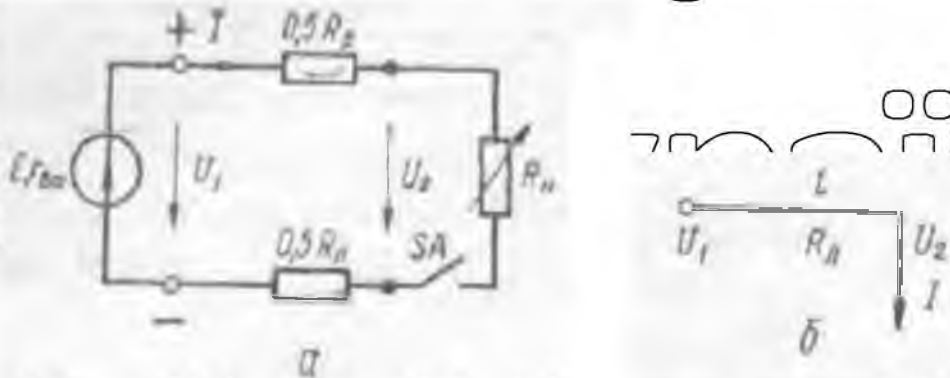


Рисунок 3.1 - Повна (а), однолінійна розрахункова (б) (без джерела живлення) схеми електричного кола постійного струму

Номінальний – це режим, при якому всі елементи електричного кола в нормальних умовах сточуючого середовища можуть виконувати своє функціональне призначення достатньо тривалий час, який визначається технічним паспортом, з заданою надійністю. Цей режим характеризується номінальним значенням напруги $U_{ном}$; струму $I_{ном}$; потужності $P_{ном}$ і ККД $\eta_{ном}$, які

вказують в паспорті елементів кола або на штирку (табличці) струмоприймача.

Згідно з номінальною напругою розраховується ізоляція струмоведучих частин пристроїв, а за номінальним струмом – переріз провідників та умови їх гранично допустимого нагрівання. Граничними відхиленнями від номінального режиму є

хх і кз.

Холостий хід – це режим, при якому електричне коло розірване і струм в ньому відсутній ($I=0$); струмоприймач відключений вимикачем SA або відключена від джерела ЛЕП.

Режим короткого замикання – тоді, коли опір струмоприймача практично наближається до нуля або провідники замкнені на його полюси, а також тоді, коли замкнені провідники лінії або полюси джерела. Цей режим характеризується тим, що напруга струмоприймача дорівнює нулю, оскільки опір даної ділянки кола дорівнює нулю, а струм кз (I_K) джерела в декілька разів перевищує номінальний струм $I_{ном}$.

Струм в колі визначається законом Ома (рис.3.1.а)

$$I = \frac{E}{r_{вн} + R_{л} + R_{н}} = \frac{U_1}{R_{л} + R_{н}} = \frac{U_2}{R_{н}} \quad (3.1)$$

При кз у струмоприймача $R_{н}=0$; $U_2=0$, тоді:

$$I_K = \frac{U_1}{R_{л}} \quad \text{або} \quad I_K = \frac{E}{r_{вн} + R_{л}} \quad (3.2)$$

З наближенням місця кз в лінії до генератора опір лінії $R_{л}$ зменшується, а струм I_K збільшується, досягаючи найбільшого значення при замиканні вихідних зажимів генератора ($R_{л}=0$; $U_1=E$):

$$I_K \equiv \frac{E}{r_{вн}} = I_{в\max} \quad (3.3)$$

Причинами кз може бути пошкодження ізоляції і безпосереднє доторкування струмоведучих частин (або проводів) кола, що знаходяться під різними потенціалами або порушення правил техніки безпеки та безпечної експлуатації.

Режим кз в більшості випадків – аварійний режим, оскільки струм кз за значенням набагато перевищує номінальний ($I_K \gg I_{ном}$). Завдяки термічній та

електродинамічний дп він викликає пошкодження ізоляції, механічне і термічне руйнування елементів електричного кола.

Узгодженим називається режим електричного кола, при якому потужність, що віддається джерелом у зовнішнє коло, має найбільше значення, коли зміною величиною виступає опір струмоприймача. Режим можливий в колі при визначеному співвідношенні опорів його ділячок.

Дослідимо зміну потужності джерела та струмоприймача залежно від опору навантаження R_H (E , $r_{вн}$, R_L – постійні).

Потужність, що розвиває джерело (використовуючи формулу (3.1)):

$$P = U_1 I = I^2 (R_H + R_L + r_{вн}) = \frac{E^2}{R_H + R_L + r_{вн}} \quad (3.4)$$

Досліджуючи співвідношення $P = P(R_H / R_L + r_{вн})$ в різних режимах роботи

маємо:

1) хх: $R_H \rightarrow \infty$, то $I = 0$; $P = 0$.

2) кз: $R_H = 0$; $I = I_k$; $R_L + r_{вн}$;

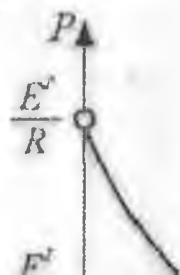
3) коли $R_H = R_L + r_{вн}$ ($R_H / (R_L + r_{вн}) = 1$) $\rightarrow P = \frac{E^2}{R_H + R_L + r_{вн}} = \frac{E^2}{2R_H}$

Залежність $P = P \left(\frac{R_H}{R_L + r_{вн}} \right)$ наведена на рис.3.2. Вісь ординат у цьому разі характеризує режим кз, а режим хх визначається нескінченністю на осі абсцис.

Коли зовнішній опір R_H дорівнює опору лінії та внутрішньому, джерело розвиває половину максимальної потужності.

Потужність, що передається струмоприймачу характеризується параболічною залежністю від струму I :

$$P_2 = U_2 I = EI - (r_{вн} + R_L) \cdot I^2 \quad \text{або} \quad P = I^2 R_H = \frac{E^2 R_H}{(R_H + R_L + r_{вн})^2} \quad (3.5)$$



НУБІП України

НУБІП України

Рисунок 3.2 – Залежність $P=P(R_H/R_L + r_{вн})$ для джерела

НУБІП України

1) кз: $R_H \rightarrow \infty, I=0 \rightarrow$ збільшується від $P_2=0$ до P_{2max} ;

2) кз: $R_H=0, U_2=0$, зменшується від P_{2max} до нуля $P_2=0$.

Знайдемо умову при якій $P_2=P_{2max}$ візьмемо похідну від P_2 по струму і

прирівняємо її до нуля:

НУБІП України

$$P_2'(I) = E - 2 \cdot (r_{вн} + R_L) \cdot I = 0 \Rightarrow I = \frac{E}{2 \cdot (r_{вн} + R_L)} = \frac{1}{2} I_K = 0,5 I_K \Rightarrow I = 0,5 \frac{E}{r_{вн} + R_L} \Rightarrow$$

$$I(r_{вн} + R_L) = \frac{E}{2} \Rightarrow U_2 = \frac{E}{2}$$

(3.6)

НУБІП України

Отже $P_2=P_{2max}$ при умові $R_H=R_L+r_{вн}$.

Потужність струмоприймача електричного кола *максимальна*, коли він

працює в *узгодженому режимі* з джерелом живлення, тобто при $R_H=R_L + r_{вн}$ і

НУБІП України

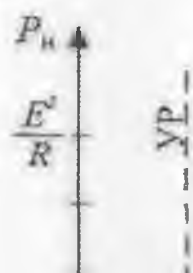
дорівнює *чверті* максимальної потужності, що розвивається джерелом живлення у режимі кз (рис. 3.3).

Залежність ККД джерела живлення кола від опору струмоприймача R_H

описується рівнянням:

НУБІП України

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{U_2 I}{EI} = \frac{R_H}{R_H + R_L + r_{вн}} = \frac{1}{1 + \frac{r_{вн} + R_L}{R_H}} \quad (3.7)$$



НУБІП України

НУБІП України

Рисунок 3.3 – Залежність $P_H = P(R_H/R_L + r_{вн})$ для струмоприймача

Звідси випливає, що при $R_H \rightarrow 1$, а при $R_H \rightarrow 0$ він дорівнює нулю, в узгодженому режимі $\eta = 0,5$ (рис.3.4.)

Узгоджений режим роботи потужних електроустановок майже практично не використовується, оскільки ККД джерела при цьому дуже малий, а струм навантаження, джерела, ЛЕП, струмоприймача значно більше їх номінального струму ($I_H = 0,5I_N$). В цьому режимі працюють лише деякі малопотужні пристрої, коли питання економії не мають вирішального значення.

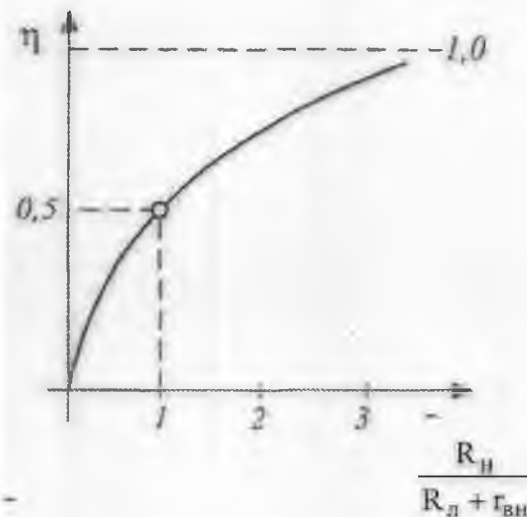


Рисунок 3.4 – Залежність ККД джерела живлення кола від опору струмоприймача

3.2. Особливості будови та функціонування електротехнічної системи

гібридної вітроустановки

НУБІП України

Подолання протиріч, описаних вище, що виникли в науці та практиці застосування технічних засобів вітроенергетики може бути здійснено за умови

удосконалення конструкції традиційних вітронасосних установок та розширення

їх функціональності. Рішенням запропонованого підходу є створення гібридної вітроустановки з кривошипно-шатунним механізмом привода від вітродвигуна.

Це дозволить, додатково генерувати електричну енергію для заряджання акумуляторних батарей та під час зростання швидкості вітру дозавантажувати

вітродвигун і тим самим збільшити коефіцієнт використання встановленої потужності вітроустановки. Зміна режимів функціонування ВЕУ дозволить

підвищити енергоефективність використання механічної енергії вітродвигуна.

Крім того, встановлення високовартісного електрогенеруючого обладнання в опорі вітроустановки на зручній для обслуговування висоті, дозволить спростити

конструкцію гондоли вітродвигуна, що полегшить виконання ТО.

Особливістю пропозиції є усунення недоліку традиційних вітроустановок (горизонтально-осьової вітроенергетичної установки, вертикально-осьової

вітроенергетичної установки, вітроелектричної і вітронасосної установки), а

саме неспроможність окремо кожної з них одночасно виробляти електроенергію та піднімати воду з джерела, використовуючи механічну енергію вітродвигуна.

Будова ВЕУ має електротехнічні та механічні складові частини, що визначає види використовуваної ними енергії.

Механічна (конструктивна) ефективність ВЕУ визначається одночасною передачею розвинутої ротором вітродвигуна корисної потужності до генератора.

Конструктивне об'єднання генератора з сонячними панелями забезпечує надсумарний ефект, який полягає в суттєвому спрощенні конструкції та

розширенні функціональних можливостей.

До переваг гібридної ВЕУ над традиційними вітроустановками відносяться наступні особливості технічної пропозиції.

- здатність гібридної ВЕУ одночасно виробляти електроенергію від вітру та сонячної енергії;

- генератор приводяться від тихохідного ротора вітродвигуна з великим пусковим моментом, внаслідок чого покращені умови пуску вітроустановки при малих швидкостях вітру;

- спрощення конструкції гондоли вітроустановки, зменшення її ваги та площі, розміщення коштовного, важкого, генеруючого електрообладнання у легкодоступному місці трубчастої стійки, а як наслідок зменшення впливу вітру на вітроустановку і навантаження на опору;

- робота електроспоживачів можлива при відсутності вітру, за рахунок використання сонячних панелей, що живлять акумуляторні батареї;

- підвищена надійність електрообладнання синхронного генератора, внаслідок відсутності струмознімача, що має недостатню надійність;

- відсутність потреби у необхідності визначення рози вітрів на місці встановлення ВЕУ, за рахунок можливості обертання гондоли вітродвигуна на 360° .

У результаті аналізу особливостей функціонування ВЕУ визначено наступні принципи побудови даного електротехнічного комплексу:

1) розподіл механічної енергії вітродвигуна здійснюється на основі узгодження режимів електроспоживання і енергія, що надходить у ВЕУ поділяється на два потоки енергії, що одночасно можуть використовуватися для споживачів та заряджання акумуляторних батарей;

2) привод насосного обладнання у безвітряну погоду здійснюється від магнітоелектричної лінійної машини, що може споживати електричну енергію від акумуляторної батареї і працювати в режимі електродвигуна, при цьому механічне з'єднання між вітродвигуном і лінійною машиною відсутнє;

3) гібридна вітроенергетична установка створена за принципом відкритої електротехнічної системи, до складу якої може бути вбудоване додаткове джерело енергії або підключено централізовану електромережу.

3.3 Математична модель функціонування гібридної вітроенергетичної установки за умов стохастичного надходження енергії вітру

Покладена в основу створення бази досліджень функціонування гібридної ВЕУ розроблена методика аналізу балансу потужностей, дає змогу вивести алгебраїчні вирази необхідні для побудови стохастичної математичної моделі, що дозволять визначати потужності окремих складових елементів електромеханічної системи.

Отже, на підставі складових елементів електромеханічного комплексу (вітродвиун, кривошипно-шатунний механізм, генератор, випрямляч напруги, автономний інвертор напруги та сонячні панелі) запишемо рівняння балансу потужностей згідно (2.12):

$$P_{\text{РОЗР}} \approx P_{\text{СП(ВИХ)}} + P_{\text{СП}} + \Delta P_{\text{ВД}} + \Delta P_{\text{ГЕН}} + \Delta P_{\text{В}} + \Delta P_{\text{АНН}} + \Delta P_{\text{СП(ВИХ)}}, \quad (3.8)$$

де $P_{\text{РОЗР}}$ – розрахункова потужність вітроустановки, kВт ;

$P_{\text{СП(ВИХ)}}$ – корисна потужність сонячних панелей, kВт ;

$P_{\text{СП}}$ – потужність електроспоживачів, kВт ;

$\Delta P_{\text{ВД}}$ – втрати потужності у трансмісії вітродвиуна, kВт ;

$\Delta P_{\text{ГЕН}}$ – втрати потужності у генераторі, kВт ;

$\Delta P_{\text{В}}$ – втрати потужності у випрямлячі напруги, kВт ;

$\Delta P_{\text{АНН}}$ – втрати потужності в автономному інверторі напруги, kВт ;

$\Delta P_{\text{СП(ВИХ)}}$ – втрати потужності у сонячних панелях, kВт .

Підставимо в (3.8) вирази складових елементів, отриманих у підрозділі 2.3 роботи. В результаті отримаємо детерміновану математичну модель балансу потужності гібридної ВЕУ, що описує взаємозв'язок між основними параметрами потужності вітродвиуна та потужності електроспоживачів разом з параметрами генератора, сонячних панелей, враховуючи втрати в елементах електромеханічної системи гібридної вітроустановки:

$$\frac{\pi}{8} \rho D^2 V^3 \zeta + 1,3 P_{\text{СП(ВИХ)}} \approx 1,77 P_{\text{СП}}, \quad (3.9)$$

де ρ – густина повітря, кг/м^3 ;

D – діаметр ротора, м ;

V – швидкість вітру, м/с ;

ξ – коефіцієнт використання енергії вітру;
 $P_{СП(ВИХ)}$ – встановлена потужність сонячних панелей, кВт

Запишемо вираз (3.9) замінивши попередньо отримані коефіцієнти компенсації втрат потужності при електроспоживанні (1,77) і сонячних панелях

(1,31) літерними позначеннями на $k_{СП} = 1,77$ і $k_{СП(ВИХ)} = 1,31$ відповідно. Отже, рівняння набуде вигляду:

$$\frac{\pi}{8} \rho D^2 V^3 \xi + k_{СП(ВИХ)} P_{СП(ВИХ)} \approx k_{СП} P_{СП}. \quad (3.10)$$

З детермінованої математичної моделі (3.10) визначимо залежність діаметру ротора ВВЕ від потужності споживачів, параметрів сонячних панелей та швидкості вітру:

$$D \approx \sqrt{\frac{k_{СП} P_{СП} - k_{СП(ВИХ)} P_{СП(ВИХ)}}{\frac{\pi}{8} \rho V^3 \xi}}. \quad (3.11)$$

Крім того, на основі відомих значень ККД автономного інвертора напруги $\eta_{АН} \approx 0,9$ [16] та випрямляча $\eta_{В} \approx 0,85$ [16], запишемо рівняння визначення корисної електричної потужності генератора у системі гібридної ВЕУ:

$$P_{ГЕН} \approx \frac{P_{СП}}{\eta_{В} \eta_{АН}}. \quad (3.12)$$

Коефіцієнт корисної дії враховуючи втрати в елементах електромеханічної системи ВЕУ $\eta_{ВЕУ}$ згідно (7.17) знаходиться за формулою:

$$\eta_{ВЕУ} \approx \frac{\eta_{ТР} \eta_{ГЕН} \eta_{В} \eta_{АН} \eta_{СП(ВИХ)} (P_{СП} - P_{СП(ВИХ)})}{P_{СП} \eta_{СП(ВИХ)} \eta_{ГЕН} \eta_{В} \eta_{АН}}. \quad (3.13)$$

де $\eta_{ТР} \approx 0,941$ – ККД трансмісії вітродвигуна ВЕУ;

$\eta_{ГЕН} \approx 0,782$ – ККД генератора;

$\eta_{СП(ВИХ)} \approx 0,81$ – ККД сонячних панелей.

При цьому, для визначення корисної потужності ВЕУ слід користуватися виразом:

$$P_{ВЕУ} \approx \frac{\pi}{8} \rho D^2 V^3 \xi \eta_{ВЕУ}. \quad (3.14)$$

Використовуючи детерміновану математичну модель (3.10) та рівняння (3.12) визначимо номінальні значення розрахункової потужності ВЕУ $P_{р}$ і генератора $P_{ГЕН}$ залежно від потужності електроспоживачів $P_{СП}$ (рис. 7.6), за

умови, що потужність сонячних панелей становить: $P_{СП(ВИХ)} = 0,716$ кВт.

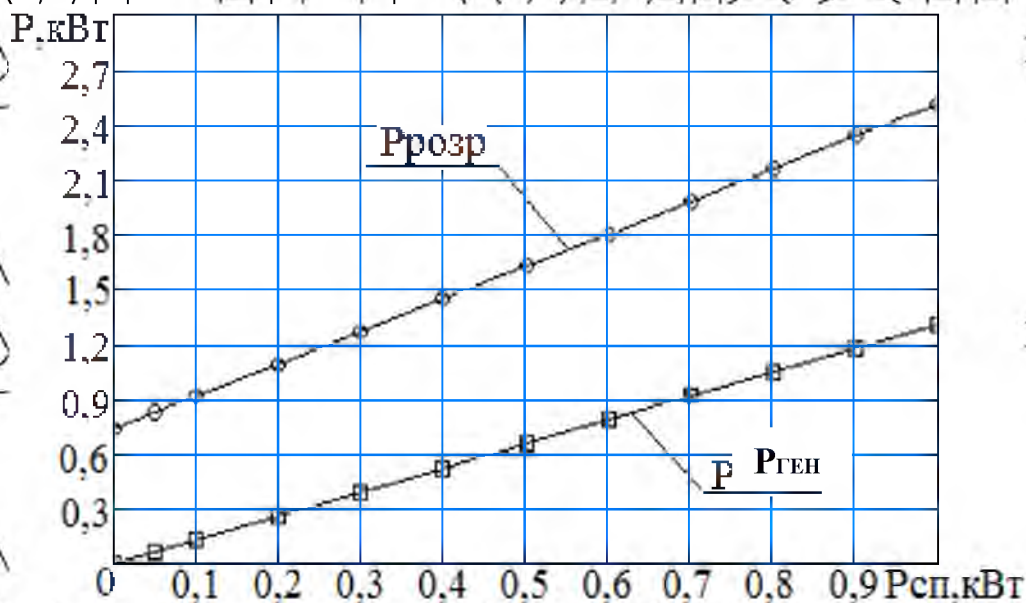


Рисунок 3.5 - Залежність розрахованих потужностей гібридної вітроустановки

$P_{РОЗР}$ та генератора $P_{ГЕН}$ від потужності електроспоживачів $P_{СП}$.

Відомо, що на території України, середньорічна швидкість вітру не перевищує $5...7$ м/с [47]. Проаналізувавши ринок вітрових установок в Україні та їх технічні параметри встановлено, що номінальна швидкість вітру вітроелектроустановок малої потужності українського виробництва в більшості випадків становить 8 та 10 м/с. Це обумовлено тим, що максимальний річний виробіток електроенергії досягається при швидкості вітру, яка наближено в два рази перевищує середньорічну, причому основна частина генерування електроенергії припадає на короткі періоди року з вітром від 8 до 12 м/с, що зменшує число годин роботи установки, тому розрахункова швидкість вітру 8 та 10 м/с вибрана для збільшення кількості годин використання встановленої потужності вітроустановки за рік.

Дослідимо залежність зміни діаметру ротора ВЕУ від потужності

електроспоживачів, вказаних швидкостей вітру та середньорічної швидкості вітру, отриманої в результаті обробки статистичних даних таблиць метеорологічних спостережень для конкретної області на території України (напр.: Київська обл. $V_{CP} = 4,3 \text{ м/с}$) за 2011 рік за даними галузевого державного архіву гідрометеорологічної служби МНС України (рис. 7.7).

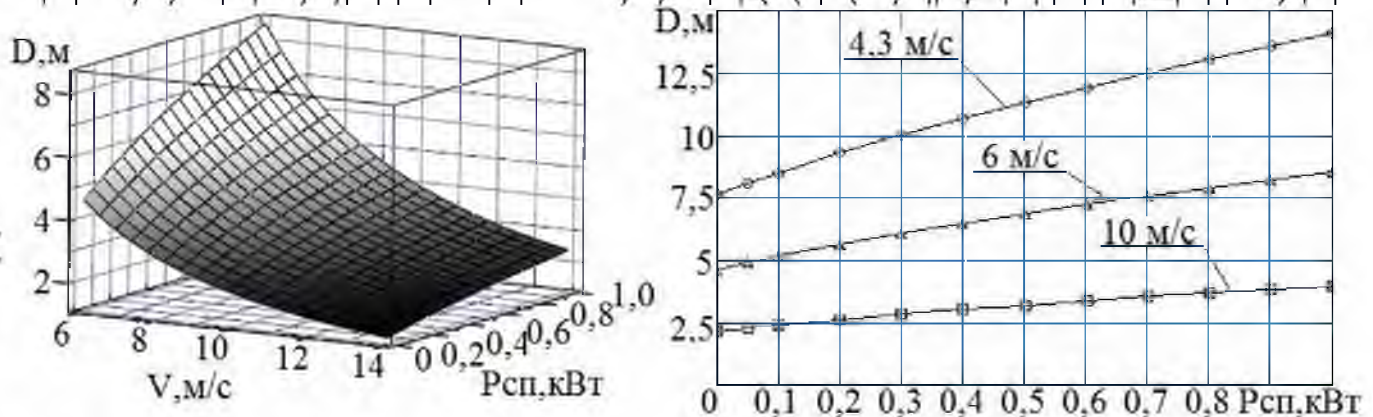


Рисунок 3.6 - Залежність діаметра ротора вітроустановки D від швидкості вітру V і потужності електроспоживачів $P_{сп}$ (а) та діаметра ротора вітроустановки D від

потужності електроспоживачів $P_{сп}$ (б).

Детерміновані математичні моделі (3.8–3.14) дають можливість знайти розв'язок при детермінованих вихідних даних. Але визначені дані є наближеним результатом розв'язку моделі і не відповідають сутності реальних природно-кліматичних умов, оскільки за реальних умов швидкість вітру є випадковою величиною. Згідно результатів статистичної обробки різнго обсягу експериментальних даних з'ясовано, що амплітуди поривів швидкості вітру V підлягають нормальному розподілу [35]. Крім того, випадковою величиною є потужність електричних споживачів $P_{сп}$. Це означає, що відповідна математична модель у вигляді балансу потужності ВЕУ містить випадкові величини \tilde{V} , $\tilde{P}_{сп}$, і по суті може розглядатись, як стохастична модель балансу потужності ВЕУ. Вираз стохастичної моделі матиме вигляд:

$$\frac{\pi}{8} \rho D^2 \bar{V}^3 \xi + k_{СП(ВІХ)} P_{СП(ВІХ)} \approx k_{СП} \bar{P}_{СП} \quad (3.15)$$

де $\bar{V}, \bar{P}_{СП}$ – швидкість вітру (м/с) та потужність електроспоживачів (кВт), як

випадкові величини.

Вираз (3.15) можна використати для визначення залежності діаметру ротора ВЕУ від потужності споживачів, параметрів сонячних панелей та швидкості вітру, як випадкової величини.

$$D^{cm} \approx \sqrt{\frac{k_{СП} \bar{P}_{СП} - k_{СП(ВІХ)} P_{СП(ВІХ)}}{(\bar{V}^3 - 3\lambda \sigma_V^2 \bar{V}) \frac{\pi}{8} \rho \xi}} \quad (3.16)$$

Рівняння визначення корисної електричної потужності генератора у системі гібридної ВЕУ набуде вигляду:

$$P_{ГЕН(ВІХ)}^{cm} \approx \frac{\bar{P}_{СП}}{\eta_B \eta_{АН}} \quad (3.17)$$

Якщо потужність електроспоживачів задається арифметичним усередненням $P_{СП}$ статистичної вибірки, то ККД ВЕУ $\eta_{ВЕУ}^{cm}$ знаходиться за

формулою:

$$\eta_{ВЕУ}^{cm} \approx \frac{\eta_{ТР} \eta_{ГЕН} \eta_B \eta_{АН} \eta_{ЕН} (\bar{P}_{СП} + P_{СП(ВІХ)})}{\bar{P}_{СП} \eta_{СП(ВІХ)} + P_{СП(ВІХ)} \eta_{ГЕН} \eta_B \eta_{АН}} \quad (3.18)$$

Для визначення корисної потужності ВЕУ в такому разі слід користуватися

виразом:

$$P_{ВЕУ}^{cm} \approx (\bar{V}^3 + 3\lambda \sigma_V^2 \bar{V}) \frac{\pi}{8} \rho D^2 \xi_{ВЕУ}^{cm} \quad (3.19)$$

Визначення діаметру ротора вітроустановки для випадку швидкості вітру, як випадкової величини, та усередненої потужності електричних споживачів можливо використовуючи вираз (3.16). Вибіркова дисперсія σ_V^2 випадкової величини для швидкості вітру у розрахунках прийнята на основі обробки статистичних даних таблиць метеорологічних спостережень по Київській області за 2011 рік ($V_{СП} = 4,3$ м/с) за даними газузового державного архіву гідрометеорологічної служби МНС України і складає $\sigma_V^2 = 2,993$ м²/с². Отже,

проведемо оцінку діаметра ротора ВЕУ за умови, якщо максимальна потужність електроспоживачів $P_{сп}$ рівна усередненому значенню потужності $P_{сп}$ (рис. 3.7).

Аналізуючи графіки залежностей (рис. 3.7), можна зробити висновок, що різниця між величинами діаметра ротора ВЕУ, отриманими на основі детермінованої і стохастичної моделей, має суттєве значення. Так для заданої потужності електроспоживачів $P_{сп}$, (наприклад $P_{сп} = 0,2 \text{ кВт}$), діаметр ротора вітроустановки у випадку детермінованої моделі для швидкості вітру становитиме $D = 9,3 \text{ м}$, а у випадку стохастичної моделі для швидкості вітру - $D^{ст} = 5,9 \text{ м}$.

Отже, у зв'язку із суттєвим впливом випадкових величин, а саме швидкості вітру $V, \text{ м/с}$ та потужності електроспоживачів $P_{сп}, \text{ кВт}$ на потужність ВЕУ, при розрахунку діаметру $D, \text{ м}$ ротора вітродвигуна необхідно використовувати вираз (3.16), що враховує випадкові фактори. Це дасть можливість здійснити раціональний вибір діаметра ротора вітроустановки.

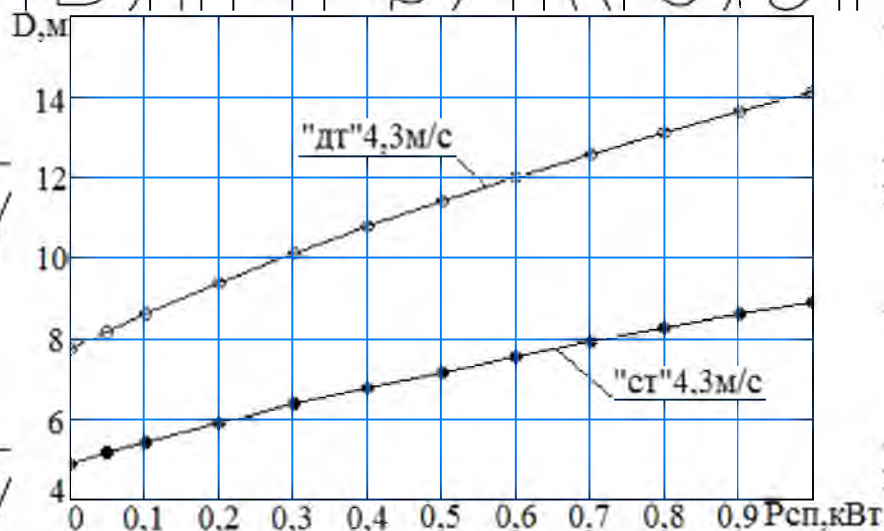


Рисунок 3.7 - Залежності діаметру ротора D від потужності електроспоживачів $P_{сп}$:

дт – випадок детермінованої моделі для швидкості вітру;

ст – випадок стохастичної моделі для швидкості вітру.

На противагу існуючим звичайним ВЕУ, що працюють для побутових цілей, гібридна ВЕУ відрізняється високим загальним ККД електро механічної системи, за рахунок застосування надходження двох потоків енергії від генератора та сонячних панелей (рис. 3.8). Отримане геометричне зображення (у вигляді

поверхні) залежності ККД гібридної ВЕУ $\eta_{ВЕУ}$ від потужності електроспоживачів $P_{СП}$ та потужності сонячних панелей $P_{СП(внх)}$ (рис. 3.8а) свідчить, що при потужності сонячних панелей від 0 до 0,8 кВт та потужності

електроспоживачів від 0 до 1,0 кВт коефіцієнт корисної дії може змінюватися від 62,3 % до 76,2 %. ККД ВЕУ буде мати найбільше значення у випадку, коли вітроустановка буде розрахована на меншу номінальну потужність електроспоживачів.

Якщо відома потужність електроспоживачів (наприклад $P_{СП} = 0,2$ кВт), то використовуючи графік залежності $\eta_{ВЕУ}$ від $P_{СП}$ (рис. 2.9б) можна дізнатися ККД ВЕУ, що становитиме в даному випадку 69,9 %.

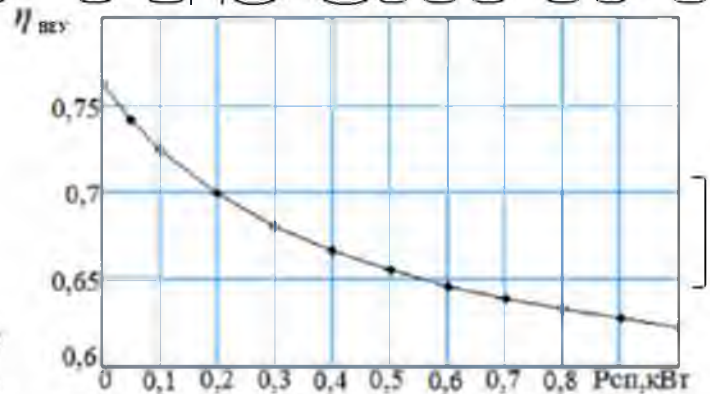
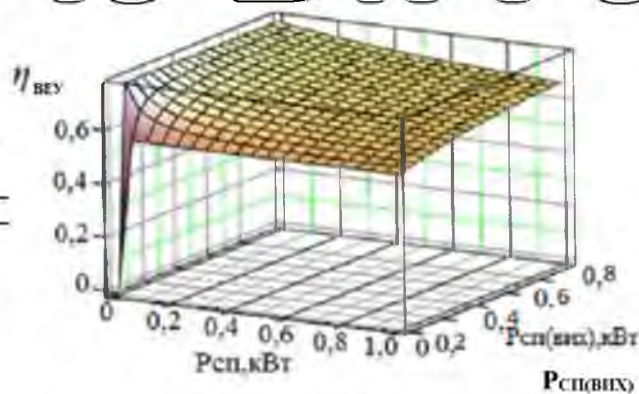


Рисунок 3.8 - Залежність коефіцієнта корисної дії ВЕУ $\eta_{ВЕУ}$ від потужності електроспоживачів $P_{СП}$ і потужності сонячних панелей $P_{СП(внх)}$ (а)

та від потужності електроспоживачів $P_{СП}$ (б).

Отже, конструктивне рішення гібридної ВЕУ в якій вітродвигун має кривошипно-шатунний механізм, що приводить в дію генератор СГПМ та сонячні панелі характеризується високим загальним ККД та можливістю ефективного використання механічної енергії вітродвигуна для генерування електричної енергії.

Визначенню тривалості безперервного живлення електроспоживачів від акумуляторних батарей при відсутності вітру та змінних зовнішніх умовах (відсутність денного світла), а також розгляду особливостей управління

режимами електроспоживання ВЕУ присвячений наступний розділ.

НУБІП України

3.3 Віртуальна комп'ютерна модель електромеханотронної системи

вітроустановки з оптимальним керуванням потужністю навантаження генератора

НУБІП України

Комп'ютерна модель системи оптимального керування потужністю

навантаження синхронного генератора будується з врахуванням втрат у сталі, роботи синхронного генератора з постійними магнітами (СПГМ), комутаційних втрат активного випрямляча напруги та в'язкого і сухого тертя вала генератора. Необхідно провести дослідження двох стратегій керування активним випрямлячем, на основі яких знайти рівняння

оптимального керування активним випрямлячем.

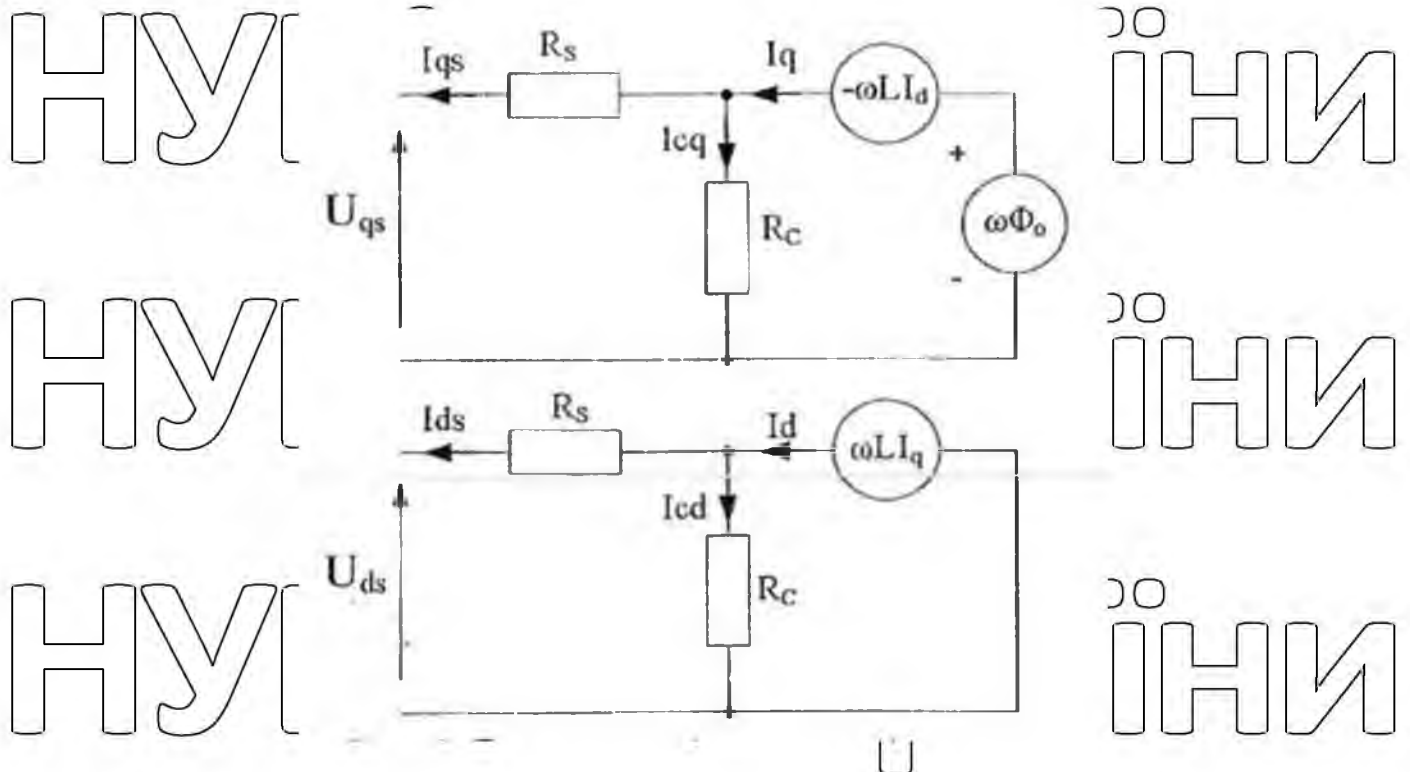


Рисунок 3.9 - Еквівалентні схеми заміщення СПГМ по осях d-q

Розвиток сучасної вітроенергетичної галузі поділяється на два напрямки: потужні ВЕУ з горизонтальною віссю обертання, що працюють на потужні електричні мережі та автономні малопотужні ВЕУ, які останнім часом завдяки низці переваг [31] почали робити з вертикальною віссю обертання. На території України переважають вітри з малою середньою швидкістю, що створює умови

для розвитку напрямку малопотужних автономних ВЕУ. У таких ВЕУ доцільно використовувати синхронні генератори з постійними магнітами (СПГМ) [32]. Було досліджено низку способів відбору електричної потужності

від СПГМ в автономних ВЕУ [33]. На основі проведених досліджень було

виявлено, що спосіб, заснований на керуванні активним випрямлячем напруги (АВН), має найкращі енергетичні показники.

Останні дослідження [34] дають змогу описати СПГМ еквівалентними рівняннями, що враховують втрати в сталі машини (рис. 3.9)

$$\begin{cases} I_{ds} = I_d - \frac{\omega L_q}{R_c} I_q \\ I_{qs} = I_q + \omega \frac{L_d}{R_c} I_d - \frac{\omega \Phi_0}{R_c} \end{cases} \quad (3.20)$$

$$\begin{cases} U_{ds} = -(R_s + L_d s) I_d + \omega L_q \left(1 + \frac{R_s}{R_c}\right) I_q \\ U_{qs} = -(R_s + L_q s) I_q - \omega L_d \left(1 + \frac{R_s}{R_c}\right) I_d + \Phi_0 \left(1 + \frac{R_s}{R_c}\right) \end{cases} \quad (3.21)$$

де R - активний опір обмотки статора СПГМ;

R_c - активний опір, що моделює втрати в сталі,

L, L_d - індуктивності генератора по осях d-q,

$U_{ds}, U_{qs}, I_{ds}, I_{qs}$ - напруги та струми в обмотках генератора по осях d-q;

Φ_0 - амплітудне значення магнітного потоку полюса;

ω - кругова частота, $\omega = \omega_p p$;

p - кількість пар полюсів.

На базі цього опису СПГМ було змодельовано два типи синхронних

генераторів номінальною потужністю 1,5 кВт: із зовнішнім розміщенням

постійних магнітів на роторі (у цьому випадку $L_d = L_q = 3$ мГн) та із

заформованими в тіло ротора постійними магнітами (тоді $L_d = 2$ мГн, $L_q = 5$

мГн). На основі цих моделей було проведено дослідження двох алгоритмів

керування АВН: традиційного, зі спрямуванням вектора струму якоря за

вектором ЕРС ($I_d=0$) та алгоритму оптимального за мінімумом сумарних втрат енергії (в міді і сталі СГПМ) керування, що дає змогу враховувати втрати в сталі СГПМ ($I_d = I_{d\text{opt}}$). Результати дослідження показали, що оптимальний

алгоритм керування доцільно використовувати для СГПМ з заформованими

постійними магнітами з таким законом:

$$I_{d,\text{opt}}(\omega) = 3,792 - 2,942 \omega + 0,5870 \omega^2 - 0,001869 \omega^3,$$

Дослідження базувалися на функціональних (математичних) моделях

СГПМ та АВН з системою керування, яку можна використовувати в

автономних ВЕУ, але при цьому не враховувалися особливості реальної системи: робота ШІМ, комутаційні втрати енергії в АВН та дія сухого і в'язкого тертя на валу вітроротора та СГПМ [34].

Розроблена комп'ютерна модель, що базується на віртуальних підсистемах, наведена на рис. 3.10. До складу моделі входять такі блоки: математична

модель вітроротора Wind Turbine (визначає момент на валу генератора, що створює вітроротор, залежно від швидкості вітру та кутової швидкості СГПМ), віртуальна модель СГПМ-SGPM (враховує втрати в сталі та нерівність

індуктивностей по осях d-q), віртуальна модель АВН AVN (на IGBT

транзисторах з релейними регуляторами лінійних струмів) та модель системи

керування System Control (реалізовує розроблену стратегію оптимального керування). Навантаженням АВН слугує акумуляторна батарея, яка подана джерелом постійної напруги.

Запропонована комп'ютерна модель системи керування також враховує сухе

та в'язке тертя вала СГПМ з вітроротором, яке реалізовано так: сухе тертя не залежить від ω_r генератора і має постійне значення $M_s = 10$ Нм; в'язке тертя пропорційно залежить від ω_r генератора, $M_v = k\omega_r$, де оцінювальне прийнято $k =$

1 Нм·с.

НУБІП України

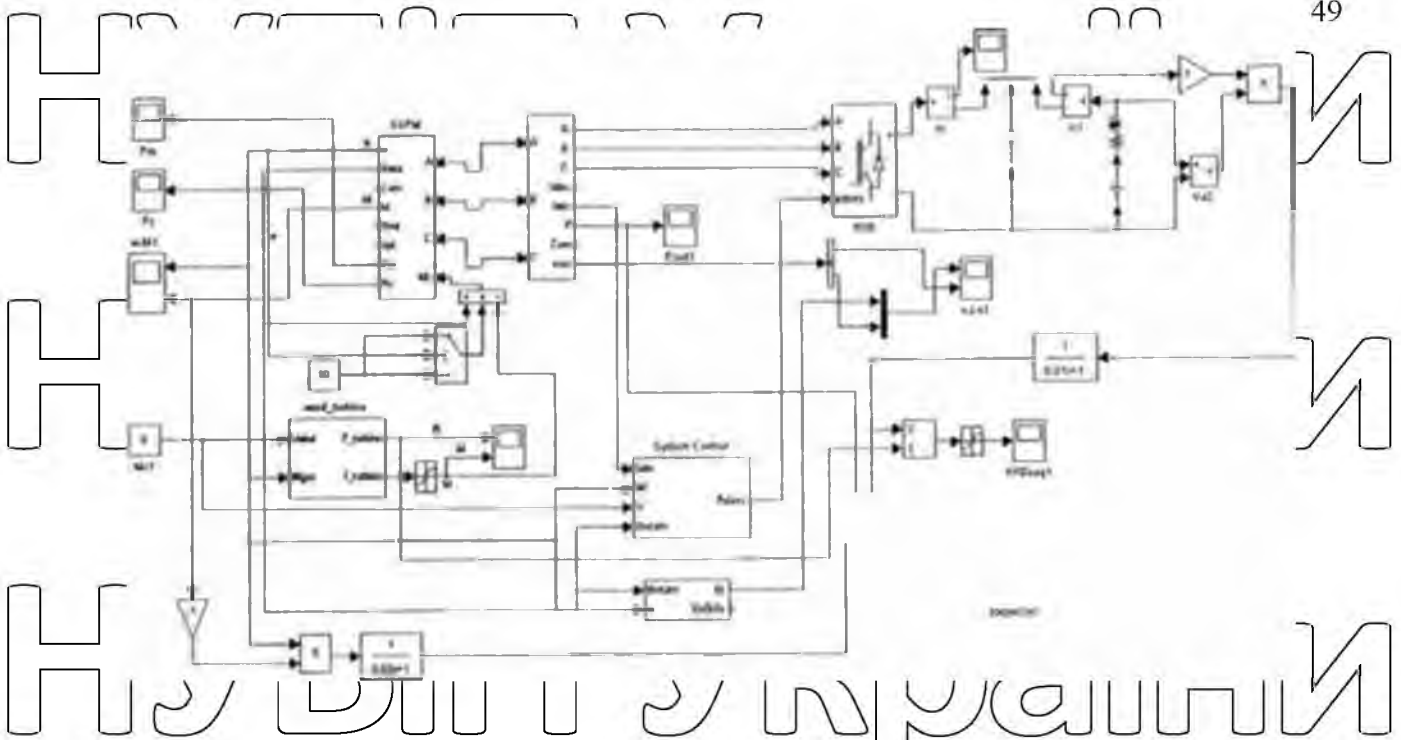


Рисунок 3.10 - Комп'ютерна модель ВЕУ з системою векторного керування навантаженням СГПМ

Віртуальна модель СГПМ, що є в бібліотеці Power System Blockset пакета Simulink, не враховує втрати в сталі. Тому було створено нову віртуальну модель (рис. 3.11), яка дає можливість враховувати втрати в сталі та нерівність індуктивностей по осях d-q. Модель складається з трьох віток, до складу яких входять індуктивності обмоток якоря L , активні опори якоря R_m та керовані джерела ЕРС обертання e_a, e_b, e_c , що наводяться в обмотках СГПМ. Кожне джерело ЕРС зашунтовано активним опором I_{sc} , що еквівалентно відображає втрати в сталі. Визначення значень ЕРС в координатах d-q відбувається за такими рівняннями:

$$e_d = \omega_r p (\Phi_0 + L_d I_d), \quad (3.23)$$

$$-e_q = \omega_r p L_q I_q \quad (3.24)$$

де i_d, i_q - струми у вітках ЕРС прийняті шляхом перетворення з нерухомих (фазних) координат в обертові координати d-q.

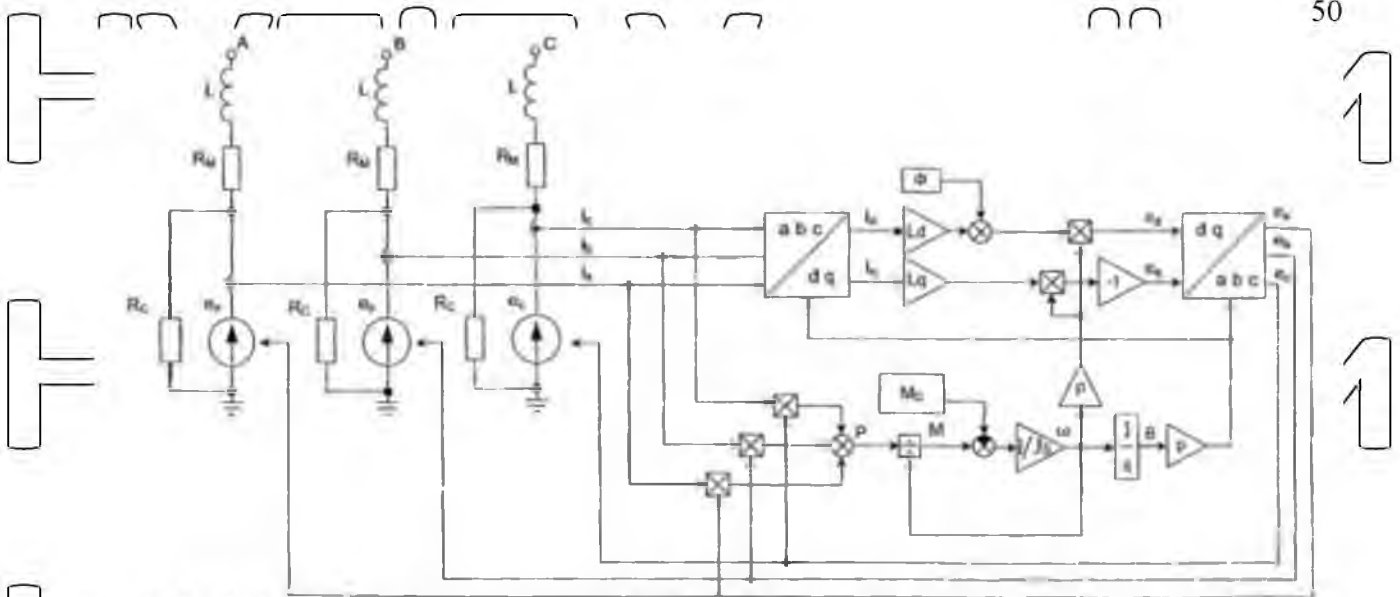


Рисунок 3.11 - Віртуальна модель СГПМ з врахуванням втрат

Для безпосереднього керування ЕРС в кожній вітці було використано зворотнє перетворення в координат $d-q$ у фазні координати abc . Визначення механічних параметрів СГПМ відбувається за такими рівняннями:

$$\begin{aligned} P &= i_a \cdot e_a + i_b \cdot e_b + i_c \cdot e_c \\ M &= \frac{P}{\omega} \\ \omega &= \frac{M - M_c}{pJ} \end{aligned} \quad (3.25)$$

де P - вихідна активна потужність генератора;

M - електромагнітний момент генератора;

M_c - статичний момент навантаження ВЕУ;

J - момент інерції ВЕУ;

p - оператор диференціювання.

На основі комп'ютерної моделі, яка є наведена на рис. 3.11, було досліджено два алгоритми керування: традиційний та з врахуванням втрат у сталі.

Дослідження були проведені на СГПМ з заформованими постійними магнітами, оскільки розроблений алгоритм показав кращі енергетичні показники саме для

такого генератора. Попередньо було проведено дослідження алгоритму керування АВН на основі вже отриманого оптимального рівняння (3.22).

Використання цього рівняння не показало найкращі енергетичні показники, оскільки під час його отримання не враховувалось в'язке та сухе тертя на валу

генератора, комутаційні втрати в АВН, робота ШІМ. Для визначення оптимального режиму роботи з врахуванням цих факторів, які відображаються

віртуальною моделлю системи, було проведено низку комп'ютерних досліджень з метою отримання максимальної вихідної потужності. У результаті

досліджень було отримано рівняння оптимального керування:

$$I'_{d,opt}(\omega) = -0,9523 - 1,04465\omega + 0,3007\omega^2. \quad (3.26)$$

Результати моделювання у вигляді залежностей ККД генератора та загального ККД системи від швидкості вітру наведені на рис. 3.12.

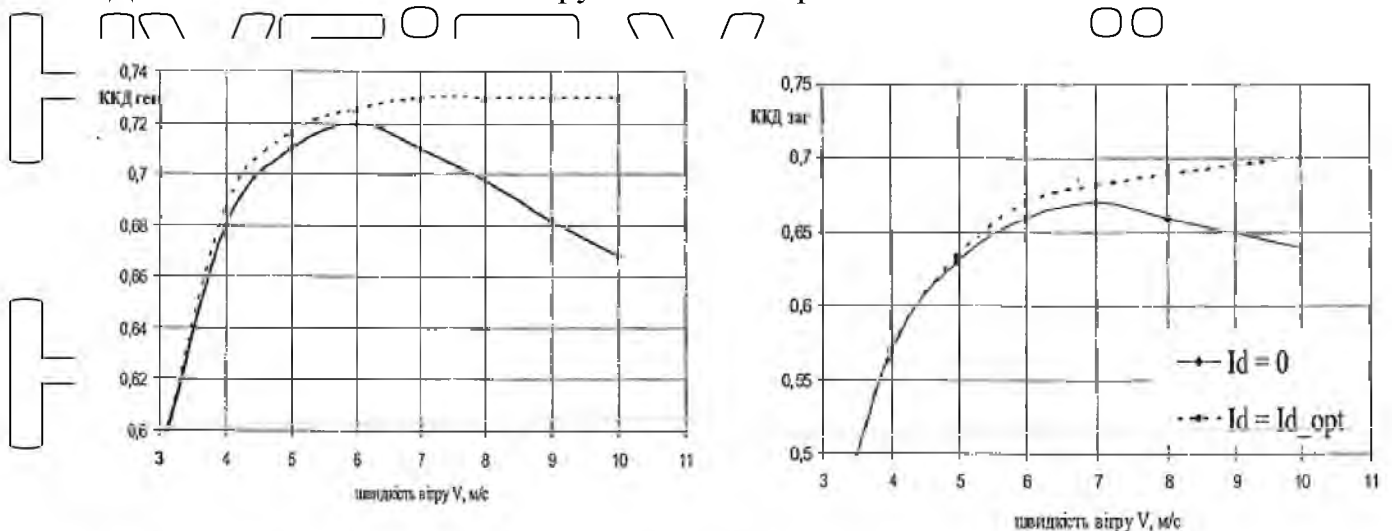


Рисунок 3.12 - Енергетичні показники СГПМ(а) та усієї електромеханотронної системи ВЕУ (б) за різних способів керування: традиційного - суцільні лінії, оптимального - пунктирні лінії

Розроблена віртуальна комп'ютерна модель електромеханотронної системи ВЕУ дає змогу визначити уточнене рівняння оптимального керування навантаженням СГПМ з врахуванням реальних механічних та електричних втрат в елементах ВЕУ. Алгоритм оптимального керування за мінімумом втрат в СГПМ дає змогу підвищити значення ККД генератора та відповідно усієї

системи, починаючи з середніх швидкостей вітру. На великих швидкостях вітру зростання ККД усієї системи досягає 6 % порівняно з традиційним керуванням зі спрямуванням вектора лінійного струму якоря за вектором ЕРС.

3.4 Автоматизована система моніторингу роботи вітроенергетичних установок на базі пакету NI FIELDPOINT

В структурі енергетики України в поточному столітті помітну роль будуть відігравати нові, нетрадиційні джерела енергії, зокрема, - вітроенергетичні станції. Хоча абсолютні цифри вкладу ВЕС в енергобаланс країни ще невеликі, однак у ряді регіонів (АР Крим) вітроенергетика вже відіграє помітну і навіть визначальну роль. Якщо ж врахувати, що загальнонаціональної Комплексною програмою будівництва ВЕС в Україні передбачено, що в перспективі до 20-30% від загального споживання електроенергії в країні покриватиметься за рахунок використання ВЕС. Вже зараз функціонують шість промислових ВЕС (Донувлавська, Новоазовська, Тарханкутська, Сакська тощо), побудовані на основі ліцензійних ВЕУ USW56 - 100, які серійно виготовляються на українських заводах. Усього таких вітроустановок випущено понад 450 шт., 100 % вузлів для них виготовляють українські заводи (десятки великих конверсійних заводів країни на чолі з ДП «ВО «Південний машинобудівний завод ім. А.М.Макарова»). Можна з повною впевненістю сказати, що з точки зору виготовлення ліцензійної вітроенергетичної техніки нічого подібного в країнах СНД немає, наша країна є визнаним лідером. Як наслідок, зараз Україна займає досить почесне 13-є місце в Європі за потужністю своїх ВЕС, в сумі досягли більше 40 МВт, в тому числі кримських - більше 30 МВт.

Тому постає завдання створення автоматизованої системи моніторингу ВЕС. Наприклад, НПП «Вітроен» була побудована і введена в експлуатацію ВЕС потужністю 2,5 МВт на базі 10 вітроелектричних агрегатів АВЕ- 250см виробництва КБ «Південне» (м. Дніпропетровськ) Роботи зі створення автоматизованої системи управління ВЕС велися НПП «Вітроен». Стосовно до жорстким природним умов експлуатації ВЕС створена розподілена система

моніторингу роботи ВЕС, яка об'єднує десять вітроагрегатів. Використано апаратні засоби NI FieldPoint і середовище програмування LabView.

До складу ВЕС (рис. 3.13) входять:

- 10 вітроагрегатів АВЕ- 250см потужністю 250 кВт кожен, з відповідними АСУ ВЕУ на кожному вітроагрегаті;
- метеопост (М) - являє собою метеовишки з датчиками вимірювання параметрів вітру (швидкість і напрямок);
- 2 дизель- генератора (ДГ) номінальною потужністю 500 кВт кожен;
- пункт управління ВЕС;
- канали зв'язку з АСУ ВЕУ, ДГ, М, віддаленим пунктом управління (ПУ), віддалений ПУ.

Можливі наступні **режими роботи ВЕС**:

- ВЕУ - (все або частково) працюють в режимі вироблення електроенергії, ДГ - відключені ;
- ВЕУ - (все або частково) працюють в режимі вироблення електроенергії , ДГ - (один або два) працюють в режимі вироблення електроенергії;
- ВЕУ - відключені, ДГ - (один або два) працюють в режимі вироблення електроенергії;
- ВЕУ - відключені, ДГ - відключені.

Електроенергія, що виробляється вітродизельною електростанцією, надходить в промислову мережу 50 Гц по лінії 6 кВ.

Пункт управління ВЕС включає в себе наступні елементи:

- персональний комп'ютер (ПК) типу IBM PC (або декілька ПК, об'єднаних локальною мережею);
- вбудована інтерфейсна плата RS- 485;
- монітор оператора;
- канал для зв'язку з віддаленим пунктом управління.

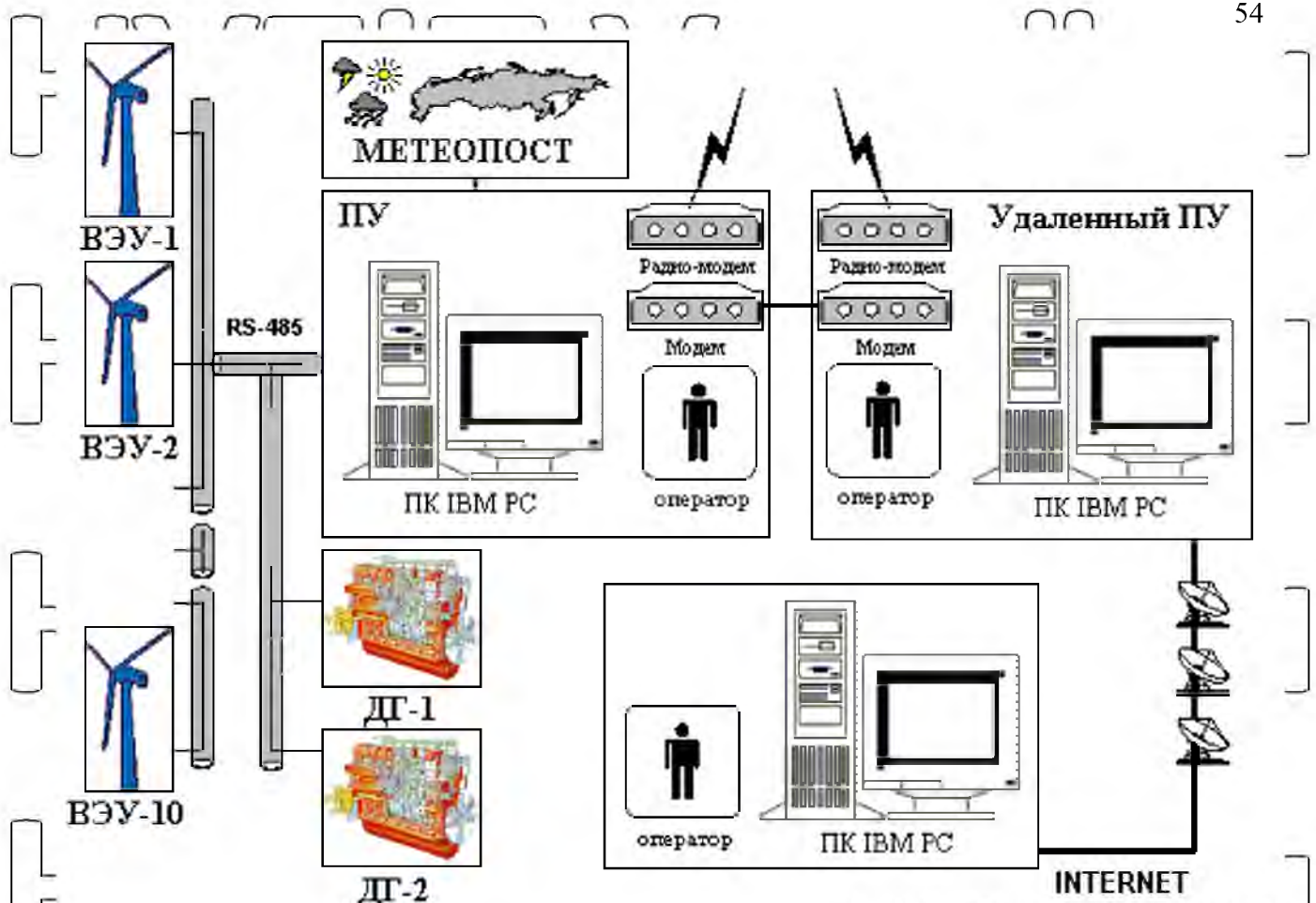


Рисунок 3.13 - Структура вітроенергетичної станції (ВЕС)

АСУ ВЕУ вітроагрегатів, система моніторингу та управління метеопост і дизель-генераторами, а також ПУ об'єднані мережею промислового інтерфейсу RS-485.

Персональний комп'ютер оператора надає наступні можливості:

- забезпечення прийому / передачі даних і команд управління на запуск і зупинка вітроагрегатів за заданим алгоритмом;
- оперативне подання персоналу обробленої інформації про поточний стан об'єктів ВЕС;
- надання на ПУ інтегральних даних про кількість виробленої електроенергії, часу роботи і простоявання кожного вітроагрегату;
- архівування необхідної інформації.

Передбачається також наявність мобільного ПУ, що включає в себе портативний комп'ютер типу Note Book і вбудовану карту інтерфейсу RS - 485.

Мобільний пункт управління дозволяє виконувати завдання моніторингу та

управління безпосередньо на кожному об'єкті ВЕС

Автоматизована система моніторингу на базі FieldPoint забезпечує:

- прийом / передавання даних і команд управління на запуск і зупинку вітроагрегатів за заданими алгоритмами з ПУ в режимі реального часу;
- оперативне подання персоналу обробленої інформації про поточний стан об'єктів ВЕС;
- надання операторам ПУ інтегральних даних про кількість виробленої електроенергії, часу роботи і простоювання кожного вітроагрегата;
- архівування та протоколювання необхідної інформації.

Передбачається також можливість дистанційного контролю і управління ВЕС без присутності оператора на ПУ ВЕС по будь-яким доступним каналам зв'язку (модем, радіомодем, виділена лінія тощо).

Обладнання. АСУ для кожного вітроагрегата виконується на базі обладнання модульної розподіленої системи вводу / виводу сигналів FieldPoint, з використанням САУ «Парус» і комутаційно-розподільчої шафи (КРШ), що перебувають у складі вітроагрегата.

До складу АСУ ВЕСУ (рис. 3.14) входять:

- модульна система введення / виведення сигналів Field Point, змонтована на промисловій DIN- рейці;
- персональний комп'ютер типу IBM PC з вбудованою платою інтерфейсу RS-485,
- лінії зв'язку по інтерфейсу RS-485 (4 - дротова).

Модульна розподілена система введення / виведення FieldPoint призначена для введення даних з територіально рознесених джерел інформації, для контролю, моніторингу та управління розподіленими об'єктами в умовах промислової експлуатації (від -40 до +70°C). У складі FieldPoint використовуються модулі захищеного промислового виконання різного функціонального призначення. Видалення і заміна модулів проводиться без відключення живлення і від'єднання сигнальних проводів. Завдяки технології Hot Plug (гаряча заміна) встановлені модулі автоматично ідентифікуються системою для автоконфігурації. Модульний принцип побудови FieldPoint - система може бути легко адаптована до нових мережевих інтерфейсів в міру їх

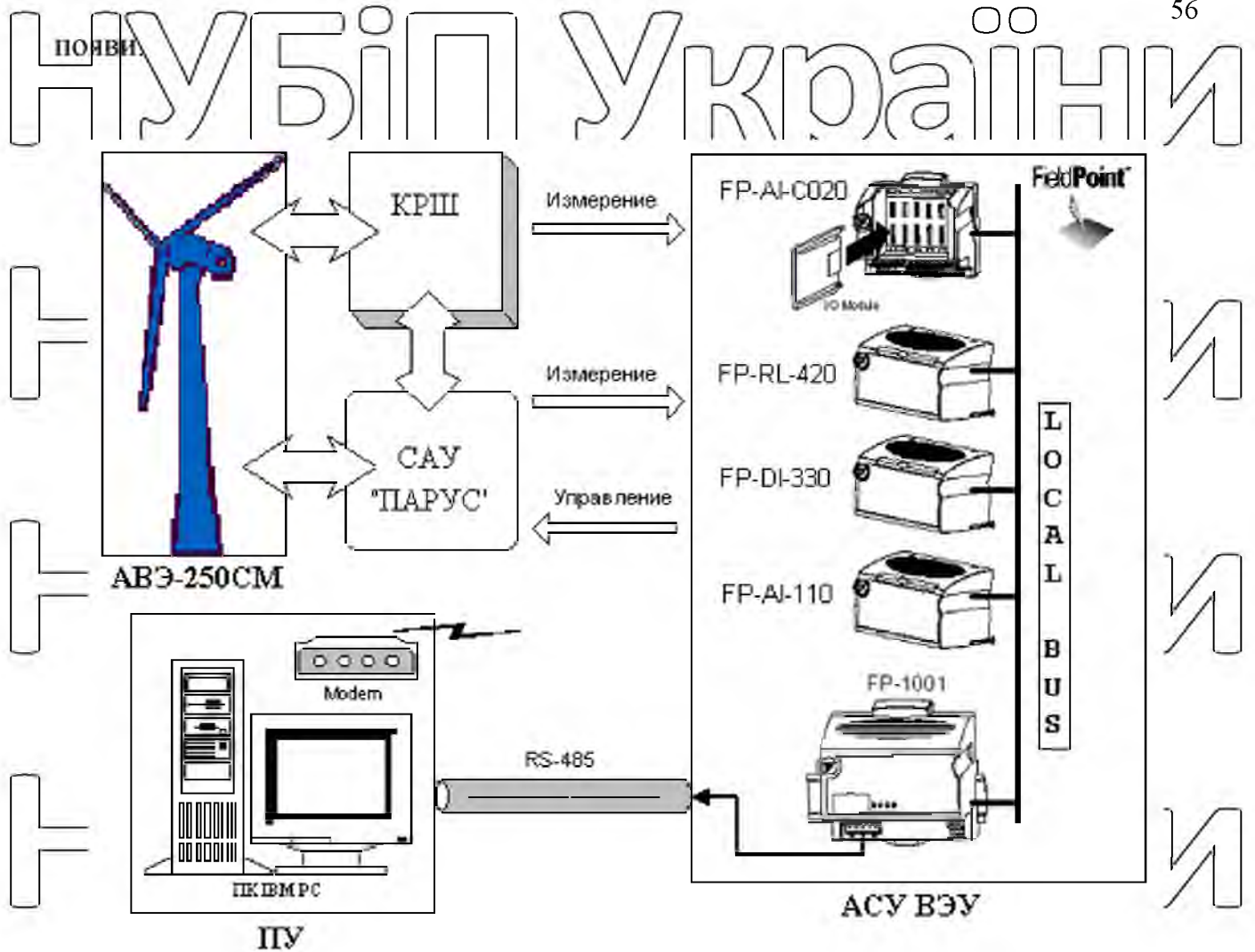


Рисунок 3.14. Структура аппаратной части АСУ ВЭУ

FieldPoint включає в себе три класу пристроїв, що забезпечують гнучкість конфігурації: модулі вводу / виводу, термінальні блоки для підключення модулів введення / виводу і сигнальних проводів, модулі комунікації. Модулі введення / виведення встановлюються в термінальні блоки, що містять клеми для приєднання сигнальних проводів.

Термінальні блоки є універсальною базою для будь-якого модуля введення / виводу. Вони монтуються на стандартну DIN рейку або панель, яка може бути поміщена в захисний пластиковий або металевий корпус. Кілька (зазвичай 4 або 8) встановлених термінальних модулів, утворюючи єдину секцію, об'єднуються високошвидкісною магистраллю для обміну даними між модулями введення / виводу і комунікаційним модулем мережевого інтерфейсу. Мережеві комунікаційні модулі забезпечують підключення секцій FieldPoint до

промислових мереж RS- 485, RS- 232, Foundation Fieldbus (FF), можливість гарячої заміни, задання стану при ввіключенні живлення, роботу сторожового (watchdog) таймера і самодіагностування.

Склад і технічні характеристики обладнання розподіленої системи FieldPoint наведені в табл. 3.1. Система забезпечує необхідну кількість каналів вводу / виводу сигналів, установлених технічним завданням.

Таблиця 3.1 - Склад і технічні характеристики обладнання розподіленої системи FieldPoint

Тип модуля	Опис технічних характеристик
FP-1001	Комунікаційний мережевий модуль для зв'язку по інтерфейсу RS-485
FP-TB-1	Універсальний термінальний модуль, під'єднання сигнальних проводів під гвинт
FP-AI-110	АЦП, 8 входів, дозвіл 16 біт, діапазони входних сигналів мВ, В, мА. Фільтр 50/60/500 Гц, ізоляція вхід / вихід - 3 кВ
FP-RL-420	8 електромагнітних реле, 10- 30 В, ізоляція вхід / вихід - 3 кВ
FP-DI-330	8 універсальних цифрових входів від TTL до 250 В, ізоляція вхід / вихід - 3 кВ
FP-TB-10	Універсальний термінал для двоканальних модулів
FP-AI-C020	2 -канальний аналоговий введення, дозвіл 12 біт, вхідний сигнал - 0 - 20мА, програмований фільтр 20 / 100 Гц

Програмне забезпечення (ПЗ) розроблено в середовищі LabVIEW з використанням програмного модуля DSC. Оператор ПУ має справу з віртуальними користувацькими панелями моніторингу, діагностики та управління окремими вітроагрегатами і ВЕС в цілому. Передня панель оператора представлена на рис. 3-15.



Рисунок 3.15 - Панель управління ВЕС

ПЗ працює на персональному комп'ютері оператора пункту управління і дозволяє в режимі реального часу представляти персоналу ВЕС оброблену інформацію:

- за параметрами вітру (дані метеопосту);
- за поточними значеннями контрольованих параметрів систем вітроагрегата;
- за статистичними даними про кількість виробленої електроенергії кожним вітроагрегатом і ВЕС в цілому;
- за часом роботи і простоювання вітроагрегатів.

В автоматичному режимі виробляється архівування цієї інформації на жорсткий диск ПК.

Переваги технологій National Instruments.

При створенні автоматизованої системи вітроустановок було вирішено використовувати обладнання NI FielPoint, оскільки воно має низку важливих для цієї конкретної задачі характеристик:

1. Апаратура FielPoint допускає експлуатацію в розширеному

температурному діапазоні - 40... +70° С, що надзвичайно важливо для надійного цілорічного функціонування ВЕС.

2. Система на базі FP володіє високим ступенем готовності. Як функціональні модулі FP, так і контролери у разі несправності можна швидко замінити на ідентичні або аналогічні. Допускається режим «гарячої заміни», що не вимагає зупину непошкодженої частини АСУ ВЕС. Модулі мають унікальні функції автоматичної конфігурації, самодіагностування, функції визначення збоїв і помилок.

3. Дуже вдалим рішенням є поділ середовища FieldPoint на функціональний модуль і термінальну панель, що дозволяє замінювати функціональні модулі, не проводячи перекомутацію сигнальних ліній.

4. Дуже важливо, що програмна підтримка промислового обладнання FieldPoint реалізована не тільки для SCADA систем, але і для «лабораторних» систем програмування, таких як NI LabVIEW.

5. Система FieldPoint може функціонувати під управлінням контролера з ОС жорсткого реального часу автономно від центрального комп'ютера, що полегшує розробку програмного забезпечення системи АСУ ВЕС і збільшує «живучість» системи в цілому.

Ще можна зауважити наступне. Експлуатація обладнання FieldPoint першого покоління виявила недостатню вібраційну стійкість кріплень функціональних модулів до термінальних панелей, проте ця проблема може бути вирішена за допомогою відповідних амортизаційних кріплень FieldPoint до несучих конструкцій об'єкта.

4 РОЗРОБКА СХЕМИ ПРИСТРОЮ ДЛЯ ЗАРЯДУ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ ВЕУ АСИМЕТРИЧНИМ СТРУМОМ

4.1 Особливості керування режимами електроспоживання у гібридній

ВЕУ

Необхідність використання акумуляторних батарей (АКБ) у вітроенергетичних системах зумовлена стохастичним характером енергії вітру, а також його тимчасовою відсутністю. Отже, забезпечення безперервного живлення споживачів електроенергією належної якості при зниженні швидкості вітру нижче мінімально-допустимої величини, або тимчасової його відсутності є актуальною технічною задачею.

Метою цього підрозділу є обґрунтування напрямів розв'язання технічної задачі забезпечення безперервності живлення електроспоживачів РЕВВУ при відсутності вітру, встановлення особливостей управління режимами електроводоспоживання, в тому числі шляхом розробки методики аналізу параметрів акумуляторних батарей при їх розряді та визначення тривалості розряду акумуляторних батарей при автономному живленні електроспоживачів у різних температурних умовах.

У роботі АКБ важливою умовою є подовження термину їх експлуатації. Однією із причин зниження строку служби електрохімічних акумулюючих пристроїв, є їх розрядження нижче мінімально-допустимого рівня, що призводить до виникнення незворотних хімічних процесів руйнування АКБ. Такий степінь розряду можна спостерігати, коли АКБ розряджена нижче 70% від номінальної ємності, а електричні приймачі потребують подальшого живлення від джерела енергії і працюють не відключаючись.

У той же час, одна група АКБ при її повній зарядженості спроможна забезпечити живлення електроспоживачів протягом певного часу. Проте, враховуючи, що при змінній швидкості вітру виняткова напруга електрогенератора може знижуватися нижче напруги акумуляторних батарей, вони будуть періодично розряджатися, і на момент відсутності вітру можуть

мати далеко не повний запас ємності необхідний для автономного живлення споживачів.

В якості прикладу, у роботі розглянуто варіант КЕВВУ з акумуляторними батареями марки 12СТ-85Р, які при номінальній ємності $85 \text{ А} \cdot \text{год}$ та напрузі 24 В з'єднано в групу послідовно-паралельно на напругу 48 В . Аналіз особливостей функціонування акумуляторних батарей марки 12СТ-85Р у комплексі КЕВВУ свідчить про те, що для забезпечення автономного живлення електроспоживачів від акумуляторних батарей під час відсутності вітру, необхідно мати дві таких групи АКБ, одна із яких повинна бути повністю зарядженою в готовності до автономного живлення споживачів при відсутності вітру тобто бути у якості резервного накопичувача електроенергії. Для цього кожна група АКБ по чергово під'єднується через інвертор напруги до електроспоживачів та через випрямляч до електрогенератора змінного струму таким чином, що одна група, під'єднана через випрямляч до електрогенератора, заряджається і завжди в цей час має максимальну ступінь зарядженості ($\approx 100\%$), а друга група АКБ, під'єднана через інвертор напруги паралельно з випрямлячем електрогенератора до електроспоживачів, розряджається при періодичних зниженнях випрямленої напруги електрогенератора нижче напруги цієї групи АКБ.

Як видно із принципової схеми системи електроживлення, система має блок керування (СК), що здійснює по чергове перемикання контактів, які під'єднують відповідні групи акумуляторних батарей (АКБ1 або АКБ2) до випрямляча напруги електрогенератора для заряджання та до інвертора напруги для живлення електроспоживачів по сигналу датчика розряду групи АКБ (БЗ1 або БЗ2), яка була підключена через інвертор напруги до споживачів для їх живлення паралельно з лінійним генератором. При такій системі КЕВВУ буде завжди мати принаймні одну повністю заряджену групу АКБ для живлення електроспоживачів під час відсутності вітру, коли електрогенератор не працює, а в кращому випадку – ще й частково заряджену другу групу АКБ, яка залишиться підключеною через інвертор напруги до споживачів для їх живлення до досягнення мінімально-допустимого ступеня розрядженості АКБ.

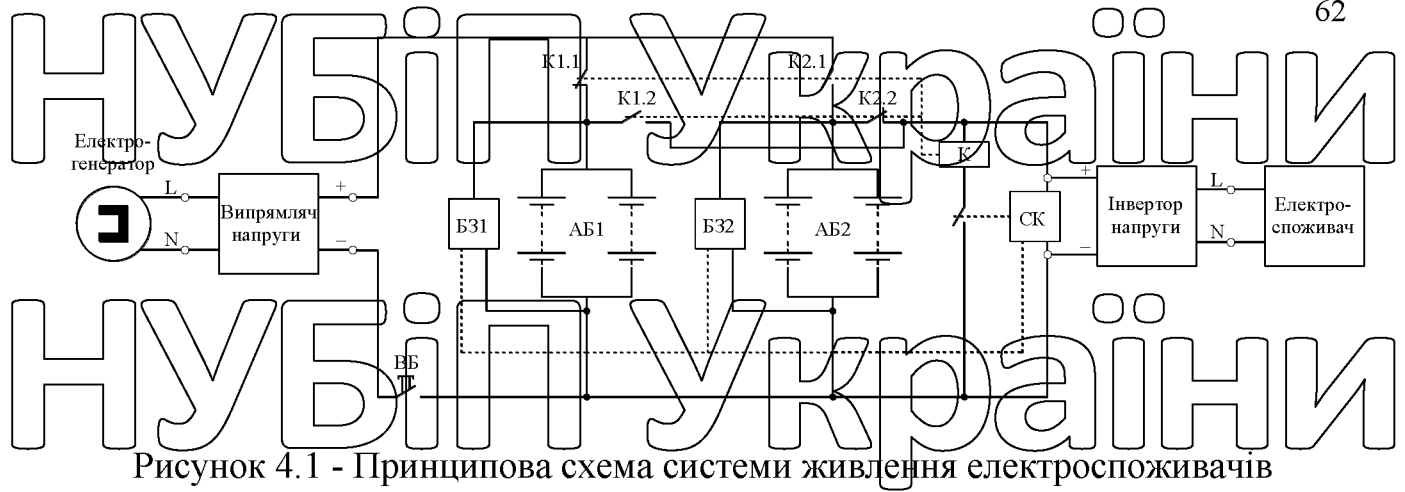


Рисунок 4.1 - Принципова схема системи живлення електроспоживачів

гібридної ВЕУ з двома групами акумуляторних батарей

Принцип роботи запропонованого технічного рішення полягає в тому, що КНВВУ, замість однієї групи акумуляторних батарей споряджена двома групами акумуляторних батарей, які по чергово підключаються до випрямляча напруги для повного заряду випрямленим струмом електрогенератора та до інвертора напруги для безперервного живлення електроспоживачів із підвищеною надійністю. При цьому одна група акумуляторних батарей "АБ1" з метою повного заряджання підключена через розмикаючий контакт "К1.1" силового контактора "К" до затисків випрямляча напруги, а друга група акумуляторних батарей "АБ2" після повного заряду за допомогою розмикаючого контакту "К2.2" силового контактора "К" підключена до затисків інвертора напруги і забезпечує через нього разом з випрямлячем живлення електроспоживачів.

Система керування "СК", отримавши сигнал від датчиків блоку захисту "Б32" про досягнення граничнодопустимого рівня розряду групи акумуляторних батарей "АБ2", здійснює переключення контактів "К1.1, К1.2" та "К2.1, К2.2", вимикаючи повністю заряджену групу акумуляторних батарей "АБ1" від випрямляча напруги з одночасним підключенням цієї групи до інвертора напруги для живлення електроспоживачів та підключаючи розряджену групу акумуляторних батарей "АБ2" до затисків випрямляча напруги для заряджання. При досягненні граничнодопустимого рівня параметрів перезаряду датчик блоку захисту "Б31" подає сигнал системі керування "СК" на здійснення вище описаних перемикань, не чекаючи сигналу датчика розряду від "Б32".

Ввімкнення випрямляча напруги лінійного електрогенератора до системи живлення електроспоживачів здійснюється через вимикач батарей "ВБ".

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

4.2 Схема пристрою для заряду акумуляторної батареї асиметричним струмом

Розглянута в п. 1.4 схема пристрою для заряду акумуляторів асиметричним струмом, запропонована в [3], має наступні суттєві недоліки:

- наявність втрат енергії внаслідок формування розрядного імпульсу через резистор та необхідність у сумарному струмі зарядного пристрою рівному 1,1

- від струму заряду акумулятора, тому що при заряді резистор, через який формується розрядний імпульс, підключений паралельно акумуляторові. Для усунення цих недоліків пропонується схема, зображена на рис. 2.1.

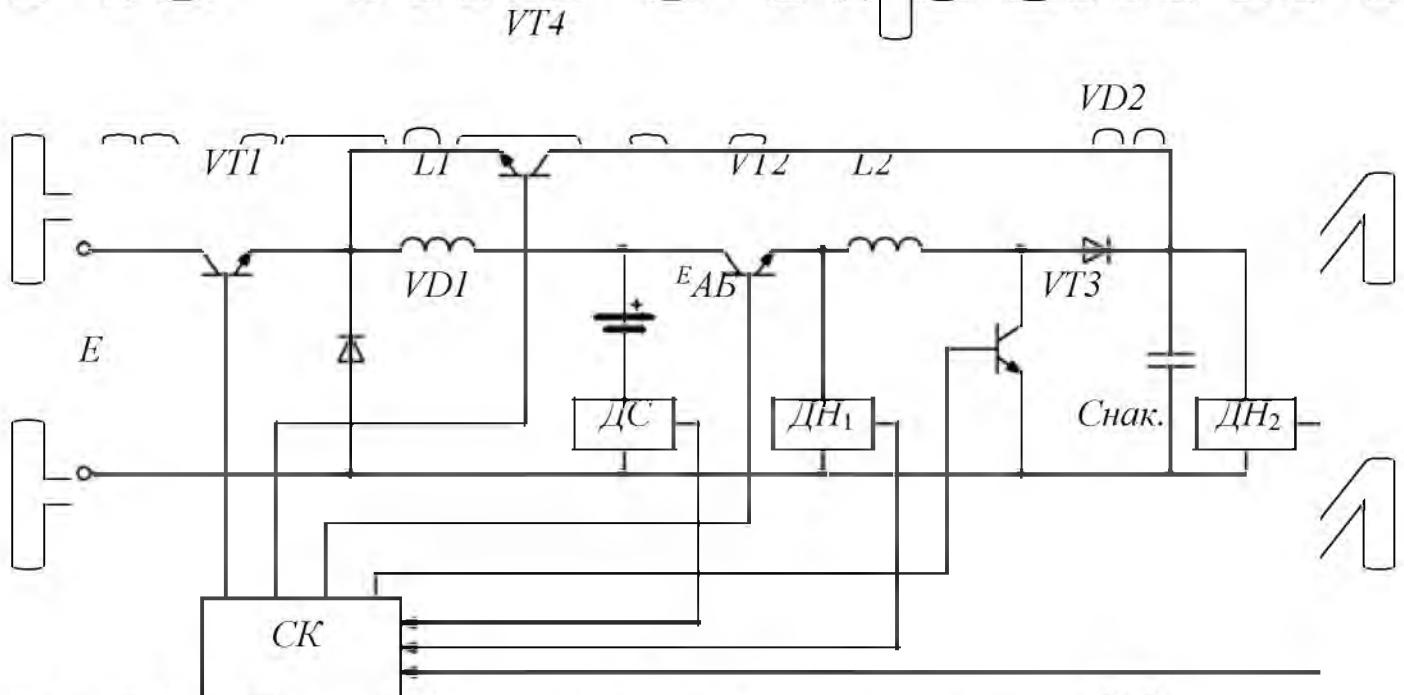


Рисунок 4. Схема пристрою для заряду акумуляторної батареї асиметричним струмом

Схема складається з двох ППП. Перший – понижуючого типу на елементах $VT1, VD1, L1, E_{AB}$, формує зарядний імпульс. Другий ППП – підвищуючого типу на елементах $L2, VT3, VD2, Снак.$, формує розрядний імпульс, енергія якого зберігається у накопичувальному конденсаторі *Снак.*.

Транзистор $VT2$ використовується для підключення акумуляторної батареї

(АБ)

до підвищуючого ШП. При досягненні на накопичувальному конденсаторі

Снак. визначеної напруги його потрібно розрядити на АБ. Розряд накопичувального конденсатора проводиться ШП понижуючого типу на

елементах $VT4$, $VD1$, $L1$, E_{AB} , під час формування зарядного імпульсу. Схема

містить також систему керування (СК), датчик струму (ДС) і датчики напруги

($ДН_1$, $ДН_2$).

4.3 Принцип роботи пристрою

Пристрій працює наступним чином. Напруга мережі (E) надходить на вхід понижуючого ШП, який формує імпульс зарядного струму необхідної амплітуди. В проміжках між зарядними імпульсами формується розрядний

імпульс акумуляторної батареї через транзистор $VT2$, який використовується для

підключення АБ до підвищуючого ШП, який формує імпульс розрядного струму, енергія якого зберігається на накопичувальному конденсаторі *Снак.*

При досягненні необхідної напруги на накопичувальному конденсаторі він

використовується як джерело напруги замість основного (E) у ШП

понижуючого типу на елементах $VT4$, $VD1$, $L1$, E_{AB} , який формує імпульс зарядного струму. Розрядивши накопичувальний конденсатор до зазначеної

напруги для формування імпульсу зарядного струму знову використовується

основне джерело напруги (E), а накопичувальний конденсатор знову

заряджається до необхідної напруги під час формування розрядних імпульсів.

Таким чином, пристрій забезпечує заряд АБ асиметричним струмом. За рахунок того, що енергія розрядного імпульсу зберігається у накопичувальному

конденсаторі, відпадає необхідність у сумарному струмі зарядного пристрою

рівному 1,1 від струму заряду акумулятора, забезпечується підвищення ККД зарядного пристрою.)

Перевагою запропонованого пристрою також є те, що в ньому використовується імпульсний метод регулювання, на відміну від пристрою запропонованому в [3], в якому використовується безперервне регулювання.

Головна перевага імпульсного методу регулювання – високий ККД, який, як правило, перевищує 80 – 90% [8].

Окрім високого ККД, імпульсний метод регулювання має ще ряд переваг у порівнянні з безперервним регулюванням:

1) ефективне використання параметрів регулюючого елемента, який може працювати в режимах, близьких до максимально допустимих значень струму і напруги;

2) менші масогабаритні показники, оскільки завдяки високому ККД втрати потужності незначні і немає потреби в радіаторах для розсіювання тепла, що виділяється;

2.3 Аналіз електромагнітних процесів

Основна увага при розробці вентильних перетворювачів приділяється отриманню найбільшого коефіцієнту перетворення енергії, що досягається, в першу чергу, роботою вентилів у якості силових ключів з двома станами – відкритий та закритий. В силу цього в теорії вентильних перетворювачів найбільше розноскодження отримали ключові моделі вентилів, що відображають головним чином ключовий характер роботи напівпровідникових приборів в перетворювальних пристроях. Ключова модель діода відповідає кусочно-лінійній апроксимації його ВАХ двома прямими лініями. В залежності від нахилу апроксимуючих прямих діод моделюється наступним чином: у

відкритому стані – активним опором R_{VD}^{np} чи короткозамкненою гілкою; у

закритому стані – активним опором R_{VD}^{360p} чи розімкнутою гілкою.

Короткозамкнена та розімкнена гілки отримуються у результаті замикання чи розмикання вколячого до складу еквівалентних схем ідеального ключа S [9].

Ключова модель транзистору, працюючого в ключовому режимі, отримується аналогічним чином. З урахуванням вищезазначеного створена еквівалентна

схема заміщення схеми пристрою для заряду акумуляторної батареї асиметричним струмом, яка зображена на рис. 4.2.

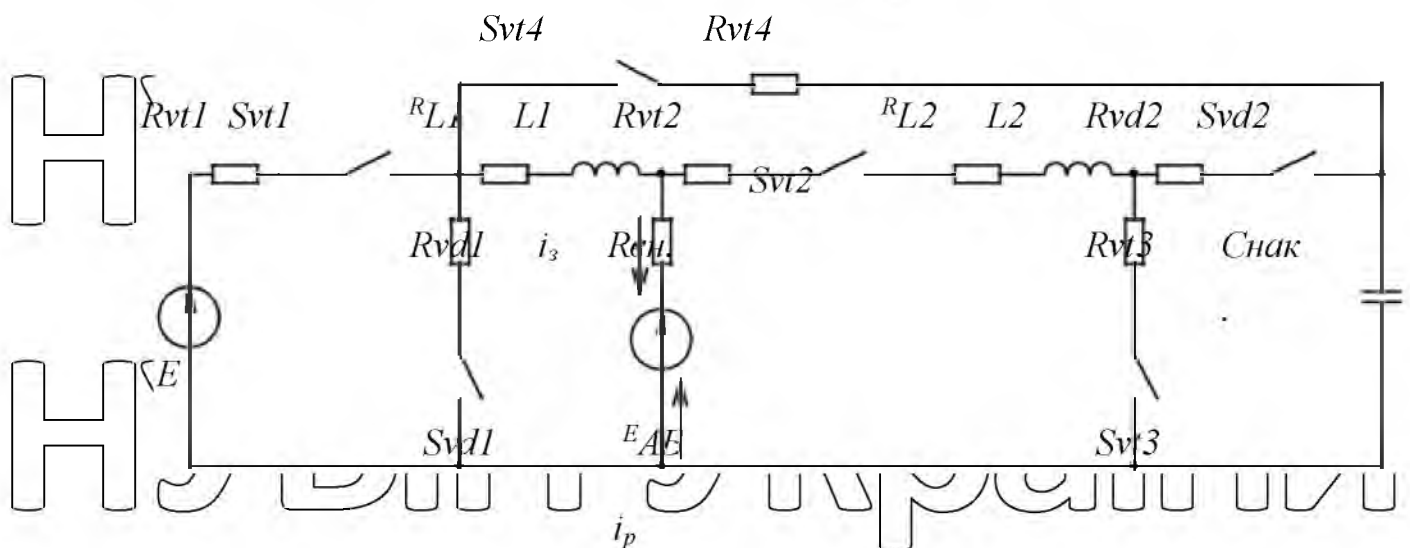


Рисунок 4.2 – Еквівалентна схема заміщення схеми пристрою для

заряду акумуляторної батареї асиметричним струмом

НУБІП України

Розглянемо п'ять випадків замкнення ключів і диференційні рівняння, які їх описують.

НУБІП України

1). Ключ S_{vt1} – замкнений; ключі S_{vd1} , S_{vt2} , S_{vt3} , S_{vd2} , S_{vt4} – розімкнуті;

$L1 \frac{di_1}{dt} R_{vt1} R_{L1} R_{B1} i_3 E_{AB} E_0$
 2). Ключ $Svt1$ – розімкнутий, $Svd1$ – замкнений, а ключі $Svt2, Svt3, Svd1, Svt4$ –

розімкнуті;
 $L1 \frac{di_1}{dt} R_{vd1} R_{L1} R_{B1} i_3 E_{AB} U_0$

3). Ключі $Svt2$ та $Svt3$ – замкнені, а $Svt1, Svd1, Svd2, Svt4$ – розімкнуті;
 $L1 \frac{di_p}{dt} R_{B1} R_{vt2} R_{L2} R_{vt3} i_p E_{AB}$

4). Ключі $Svt2$ та $Svd2$ – замкнені, а $Svt1, Svd1, Svt3, Svt4$ – розімкнуті;
 di_p

$L2 \frac{di_2}{dt} R_{B1} R_{vt2} R_{L2} R_{vd2} i_p i_p dt U_0 E_{AB}$
 $C_{шк.}$

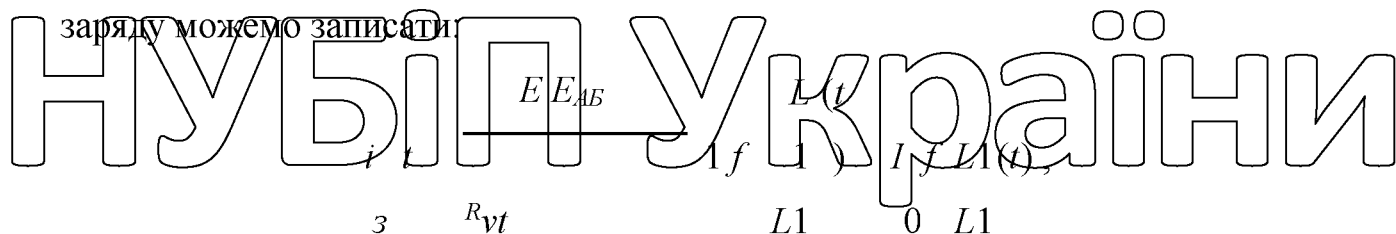
де U_0 – початкова напруга на конденсаторі;

5). Ключ $Svt4$ – замкнений, а ключі $Svt1, Svd1, Svt2, Svt3, Svd2$ – розімкнуті;
 t_2

$L1 \frac{di_3}{dt} R_{B1} R_{vt2} R_{L2} R_{vd2} i_3 i_3 dt E_{AB} U_0$
 $C_{шк.}$

Для розрахунку перехідних процесів в схемі можна використати методику розрахунку перехідних процесів за допомогою функцій вільного режиму, запропоновану в [10]. Отже, отримаємо рішення:

1). Якщо $Svt1$ – замкнений; $Svd1, Svt2, Svt3, Svd2, Svt4$ – розімкнуті, то для струму заряду можемо записати:



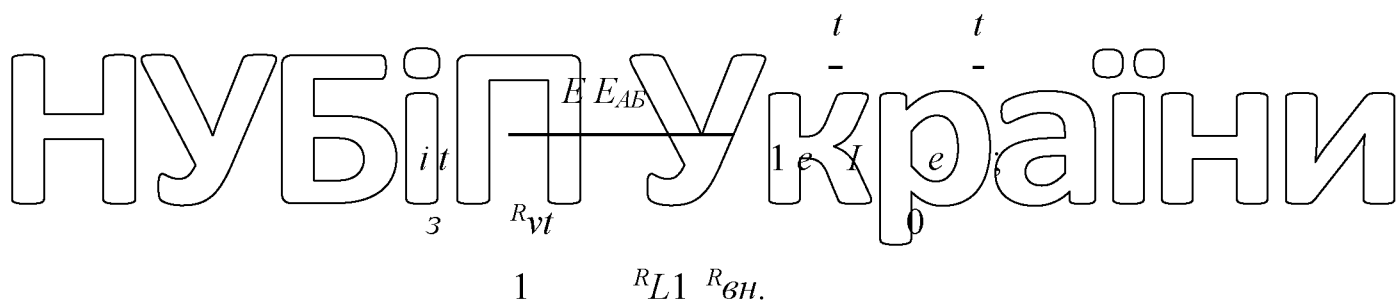
де режиму: $f_{L1}(t) = I_0 e^{-\frac{t}{R_{vt} L1}}$ – функція вільного режиму:

I_0 – початкове значення струму в

індуктивності, стала часу електричного ланцюга (стала часу RL ланцюга):

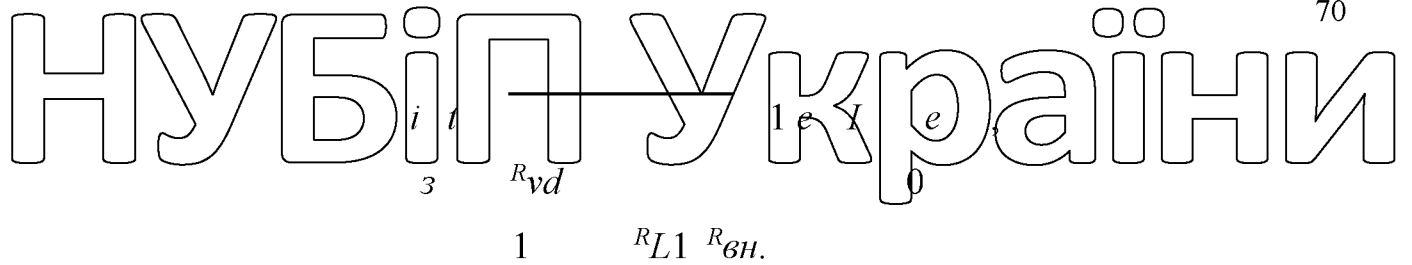
$L1$

Отже, можемо записати для струму заряду:



2). За умови якщо $Svt1$ – розімкнений, $Svd1$ – замкнений, а $Svt2, Svt3, Svd2, Svt4$ – розімкнуті, струм заряду дорівнює:

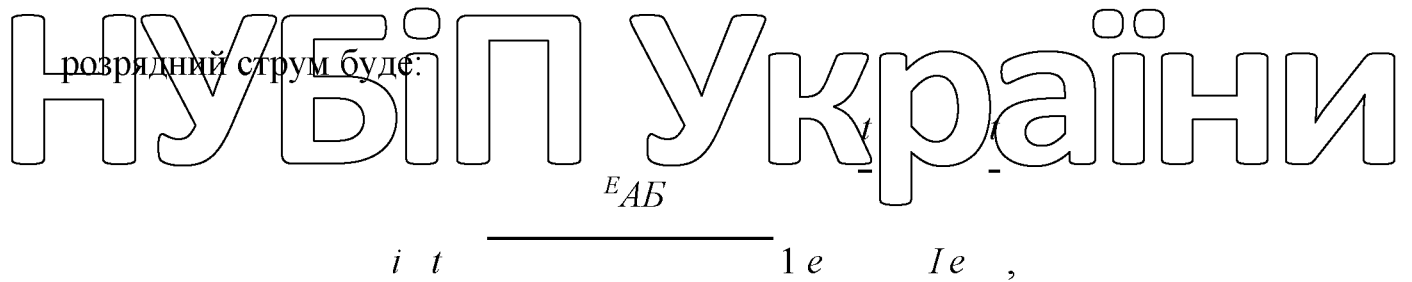
$$E_{AB} e^{-\frac{t}{R_{vt} L1}}$$



стала часу ланцюга:

3). У випадку коли $Svt2$ та $Svt3$ – замкнені, а $Svt1, Svd1, Svd2, Svt4$ – розімкнуті,

розрядний струм буде:



стала часу ланцюга: $R_{вн} \cdot R_{vt2} \cdot R_{L2} \cdot R_{vt3}$;

4). Коли $Svt2$ та $Svd2$ – замкнені, а $Svt1, Svd1, Svt3, Svt4$ – розімкнуті, можливі наступні випадки перехідного процесу при розряді АБ на накопичувальний конденсатор $C_{нак}$:

4. IV) Аперіодичний перехідний процес при $R > 2$.

де $R = R_{вн} \cdot R_{vt2} \cdot R_{L2} \cdot R_{vd2}$ – сумарний опір ланцюга;

хвильовий опір контуру:
 $C_{нак}$.

$$i_p(t) = \frac{E_{AB}}{L_2} e^{-\lambda t} \left[\cos(\omega t) + \frac{\lambda}{\omega} \sin(\omega t) \right]$$

НУБІП України

де $f_{L2} L2(t)$ і $f_{L2Снак}(t)$ – функції вільного режиму електричного ланцюга:

НУБІП України

$f_{L2}(t)$ p_1 p_2 $e^{p_1 t}$ $e^{p_2 t}$;

$L2$ p 1 2

НУБІП України

$f_{L2Снак}(t)$ $e^{p_1 t}$ $e^{p_2 t}$;

НУБІП України

I_0 – початкове значення струму в індуктивності,

НУБІП України

U_0 – початкова напруга на конденсаторі;

де p_1 a b і p_2 a b – корені характеристичного рівняння;

НУБІП України

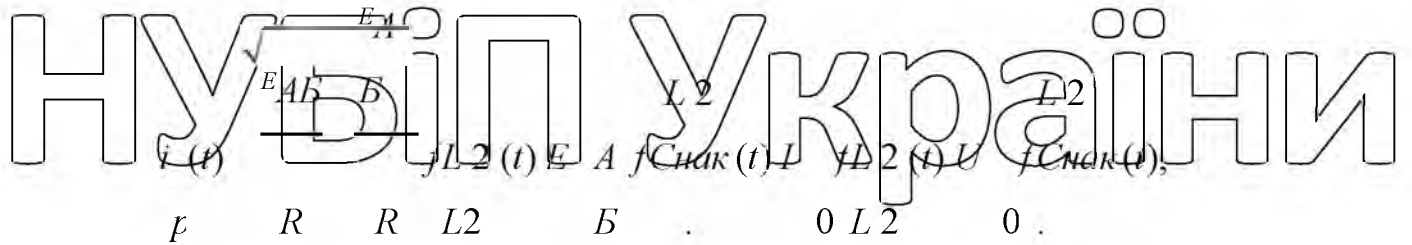
$\frac{R}{2L2}$ – коефіцієнт затухання контуру;

НУБІП України

$\frac{R}{4L2^2}$ $L2Снак$ 1 p – резонансна частота контуру.

НУБІП УКРАЇНИ

4.2). Коливальний перехідний процес при $R < 2$:



де функції вільного режиму електричного ланцюга наступні:

$$i_{L2}(t) = e^{-at} \cos t; \quad a = \frac{R}{L}$$

$$i_{Снак. L2}(t) = e^{-at} \sin at;$$

$$\omega = \frac{1}{L} \sqrt{1 - \frac{R^2}{4}}$$

де ω – частота вільних

(або власних) коливань контуру.

5). Коли $Svt4$ – замкнений; $Svt1, Svd1, Svt2, Svt3, Svd2$ – розімкнуті можливі

НУБІП УКРАЇНИ

наступні випадки перехідного процесу при розряді накопичувального конденсатора *С_{нак.}* на АБ:

5.1). Аперіодичний перехідний процес при $R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$,

НУБІП УКРАЇНИ

де $R = R_{вн} + R_{L1} + R_{AB}$ – сумарний опір ланцюга,

$$\frac{L}{C}$$

– хвильовий опір контуру;

НУБІП УКРАЇНИ

$$E_{AB} - E_{AB}$$

$$i(t) = \frac{E_{AB}}{L} e^{-\frac{R}{L}t} \left[\cos(\omega_d t) + \frac{R}{2L\omega_d} \sin(\omega_d t) \right];$$

де $\omega_d = \sqrt{\frac{1}{LC} - \left(\frac{R}{2L}\right)^2}$ – дійсна частота коливань.

НУБІП УКРАЇНИ

де функції вільного режиму:

$$e^{-\frac{R}{L}t} \cos(\omega_d t) \quad e^{-\frac{R}{L}t} \sin(\omega_d t)$$

НУБІП УКРАЇНИ

$$i(t) = \frac{E_{AB}}{L} e^{-\frac{R}{L}t} \left[\cos(\omega_d t) + \frac{R}{2L\omega_d} \sin(\omega_d t) \right];$$

НУБІП УКРАЇНИ

$$i(t) = \frac{E_{AB}}{L} e^{-\frac{R}{L}t} \left[\cos(\omega_d t) + \frac{R}{2L\omega_d} \sin(\omega_d t) \right];$$

$$p_1, p_2 = -\frac{R}{2L} \pm \sqrt{\left(\frac{R}{2L}\right)^2 - \frac{1}{LC}}$$

НУБІП УКРАЇНИ

де p_1, p_2 – корені характеристичного рівняння;

$$a = \frac{R}{2L} \text{ – коефіцієнт затухання контуру;}$$

$$2L$$

НУБІП України

$$\frac{b}{2} \pm \sqrt{\frac{b^2}{4} - R^2} \quad ;$$

НУБІП України

– резонансна частота контуру.

НУБІП України

5.2) Коливальний перехідний процес при $R < 2$:

НУБІП України

$$i(t) = \frac{E}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t} \cos \omega_0 t \right) + \frac{E}{\omega_0 L} e^{-\frac{R}{L}t} \sin \omega_0 t$$

де функції вільного режиму:

НУБІП України

$$f_1(t) = e^{-\frac{R}{L}t} \cos \omega_0 t$$

НУБІП України

$$f_2(t) = e^{-\frac{R}{L}t} \sin \omega_0 t$$

НУБІП України

де $\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{L} \left(\frac{1}{R^2} - \frac{1}{L} \right)}$ – частота вільних (або

НУБІП України

власних) коливань контуру.

Отримані рівняння дозволяють провести розрахунок електромагнітних процесів схеми, але доцільніше буде використати спеціалізовані програмні пакети, призначені для розрахунку електромагнітних процесів в електричних схемах, оскільки це збереже час та дозволить точніше провести моделювання.

4.5 Оптимізація заряду накопичувального конденсатора та вибір величини його ємності

Оптимізація заряду накопичувального конденсатора полягає у тому, що конденсатор потрібно зарядити до необхідної напруги за мінімальний час. Для оптимального заряду конденсатора потрібно максимально ефективно використовувати енергію розрядного імпульсу акумулятора. Згідно [11] для того, щоб втрати енергії розрядного імпульсу були мінімальними, потрібно розрахувати закон зміни коефіцієнту заповнення імпульсного циклу підвищуючого ШІП

Звичайно для розрахунку коефіцієнту заповнення імпульсного циклу підвищуючого ШІП користуються формулою:

$$\frac{U_H - U_{вх.}}{U_H}$$

де U_H – напруга на навантаженні, а $U_{вх.}$ – напруга живлення.

Згідно [12] втрати мінімальні, коли приріст напруги $U_{Снак.}$ для кожної ступені заряду величина постійна і дорівнює:

Час заряду однієї ступені: $t_{зар. i}$

Враховуючи втрати у елементах схеми, перехідні процеси та інерційність зміни напруги на виході підвищуючого ШІП, у формулі для $t_{зар.}$ коефіцієнт можна прирівняти одиниці та приріст напруги U потрібно вибрати в 2...5 разів більший. З урахуванням того, що $\alpha > 1$, формулу для розрахунку приросту

напруги U запишемо наступним чином:

Тоді коефіцієнт заповнення імпульсного циклу підвищуючого ШПІ, що використовується для заряду накопичувального конденсатора, буде наступний:

Значення напруги живлення підвищуючого ШПІ (U_{ax}) і напруги на накопичувальному конденсаторі ($U_{C_{nak}}$), необхідні для розрахунку коефіцієнту заповнення імпульсного циклу підвищуючого ШПІ, отримуються за допомогою датчиків напруги ДН₁ та ДН₂ (див. рис. 2.1).

Дослідивши залежність коефіцієнту заповнення імпульсного циклу підвищуючого ШПІ від величини ємності накопичувального конденсатора та напруги на ньому $(U_{C_{nak}}, U)$, графіки якої зображені на рис. 2.3–2.4, можна зробити висновок, що величина коефіцієнту заповнення імпульсного циклу підвищуючого ШПІ на вибір величини ємності накопичувального конденсатора не впливає. Отже, єдиним фактором, який можна прийняти до уваги при виборі величини ємності накопичувального конденсатора, є час його розряду на акумуляторну батарею, який проводиться понижуючим ШПІ на елементах $VT4$, $VD1$, $L1$, E_{AB} , під час формування зарядного імпульсу (див. рис. 2.1).

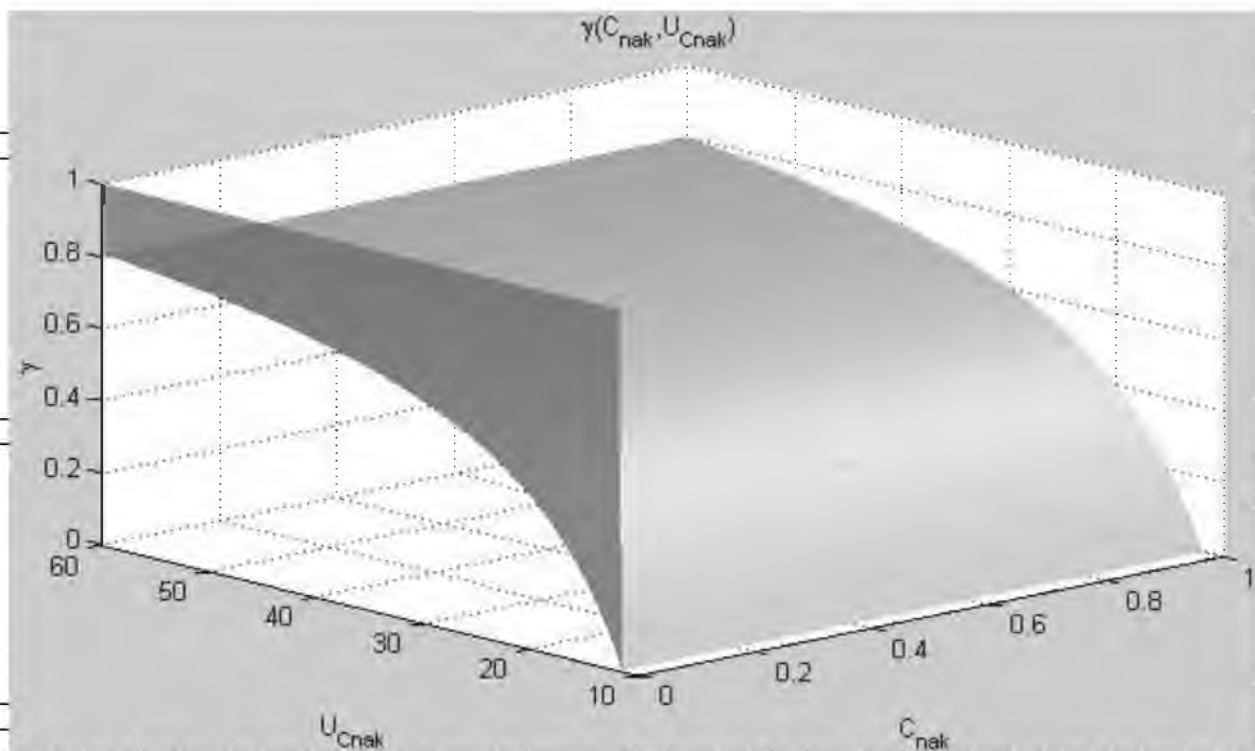


Рисунок 2.3 – Графік залежності коефіцієнту заповнення імпульсного циклу підвищуючого ШПІ від величини ємності накопичувального

конденсатора та напруги на ньому при $C_{нак} = 0 \dots 1 \Phi$.
 Нижче приводиться спрощена формула, яка використовується для попередньої оцінки величини ємності накопичувального конденсатора:

$$I_{зар. t} \cdot \frac{U_{Снак.max} - U_{Снак.min}}{U_{Снак.min}} \cdot \frac{U_{Снак.max} - U_{Снак.min}}{E_{AB}^*} \cdot \text{пон. ШПТ} \geq 2 \quad (2.2)$$

де $I_{зар.}$ – величина струму зарядного імпульсу;

t – час заряду АБ від накопичувального конденсатора, який рекомендується обирати не більшим тривалості імпульсу зарядного струму;

$U_{Снак.max}$ – максимальна напруга, до якої буде заряджатися накопичувальний конденсатор: $U_{Снак.max} \leq E \cdot 20\%$;

$U_{Снак.min}$ – мінімальна напруга, до якої буде розряджатися накопичувальний конденсатор: $U_{Снак.min} \leq E \cdot 20\%$;

E – напруга мережі живлення;

пон. ШПТ – коефіцієнт заповнення імпульсного циклу понижуючого ШПТ на елементах $VT4, VD1, L1, E_{AB}$;

E_{AB}^* – напруга на АБ при її заряді.

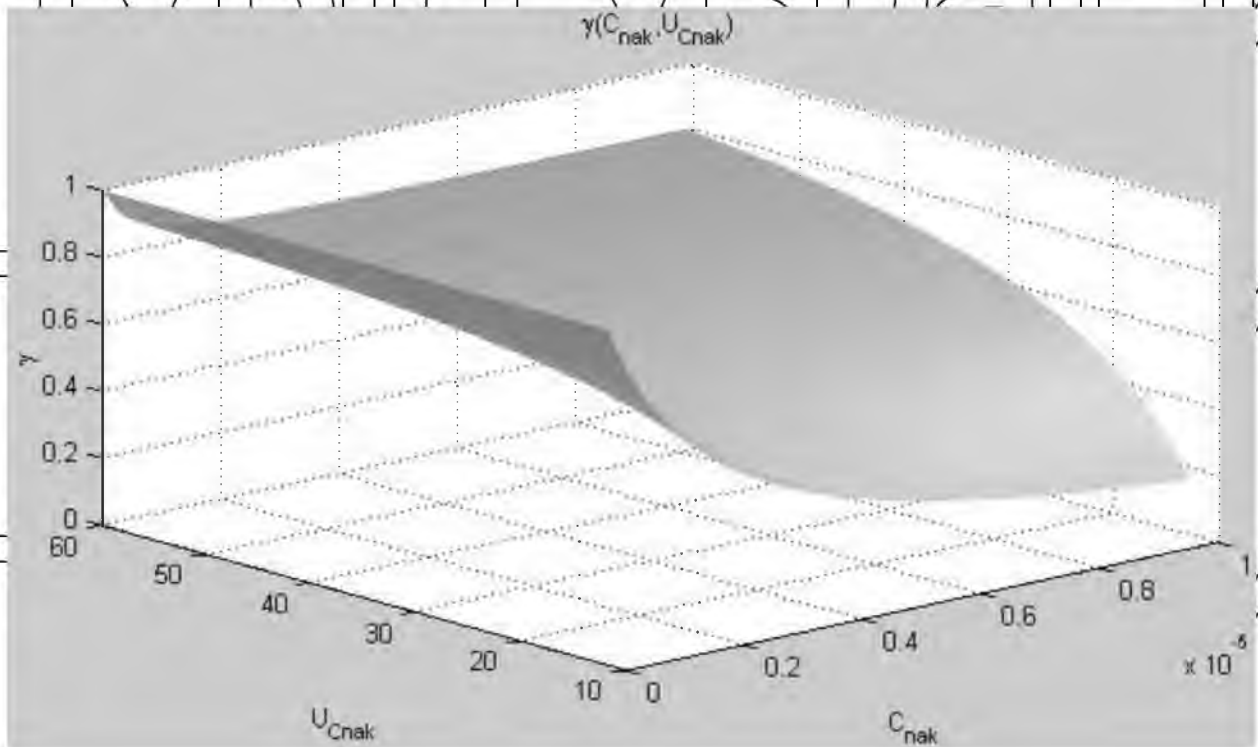


Рисунок 2.4 – Графік залежності коефіцієнту заповнення імпульсного циклу підвищеного ШІІ від величини ємності накопичувального конденсатора та напруги на ньому при $C_{нак} = 0...10 \text{ мкФ}$

4.5 Вибір типу силових ключів для пристрою

При виборі силових ключів для пристрою потрібно пам'ятати, що в MOSFET-транзисторах (*Metal-Oxide-Semiconductor-Field-Effect-Transistor*) паралельно транзистору технологічно вбудований зворотній діод [13] і тому використовувати їх в якості силових ключів $VT1$ і $VT4$ не можна, оскільки при формуванні зарядного імпульсу понижуючим ШІІ накопичувальний конденсатор буде заряджатися від мережі живлення (E) із-за наявності вбудованого зворотного діоду у транзистор $VT4$, а при його розряді на АБ значна частина накопленої в ньому енергії буде передаватися через вбудований у транзистор $VT1$ зворотній діод у мережу живлення. Хоча з іншого боку, MOSFET з номінальними напругами 200 В та менше мають більш низьке значення напруги у включеному стані, ніж IGBT (*Insulated Gate Bipolar Transistors*) (пряме падіння напруги у IGBT-транзисторів 4-го покоління 1,0–1,5В), і залишаються неперевершеними в цьому відношенні в області низьких робочих напруг і комутуваних струмів до 50 А [14].

Отже, з вище зазначеного можна зробити висновок, що доцільно вибирати у якості силових ключів $VT2$ та $VT3$ MOSFET-транзистори, оскільки вони мають більш низьке значення напруги у включеному стані при номінальних напругах менше 200 В, а $VT1$ та $VT4$ вибирати IGBT-транзистори, оскільки вони, на відміну від MOSFET, не мають паралельно транзистору технологічно вбудований зворотній діод.

4.7 Моделювання електромагнітних процесів

Моделювання електромагнітних процесів роботи пристрою проводилося за допомогою пакету розгалуження математичної системи MATLAB 6 – Simulink

4, який представляє користувачу зручні і прості засоби візуального моделювання лінійних та нелінійних динамічних систем. Пакет розгалуження

Simulink 4 служить для імітаційного моделювання моделей, які складаються з графічних блоків із заданими властивостями (параметрами) [13, 15-17].

Модель пристрою для заряду акумуляторної батареї асиметричним струмом зображена на рис. 2.5. Модель складається з силової частини та системи керування (СК). До СК входять: PWM – підсистема широтно-

імпульсного модулятора (ШІМ); Capasitor Charge Control – підсистема керування оптимальним зарядом накопичувального конденсатора підвищувачим ШІМ; Commutation Control – підсистема керування комутацією транзисторів.

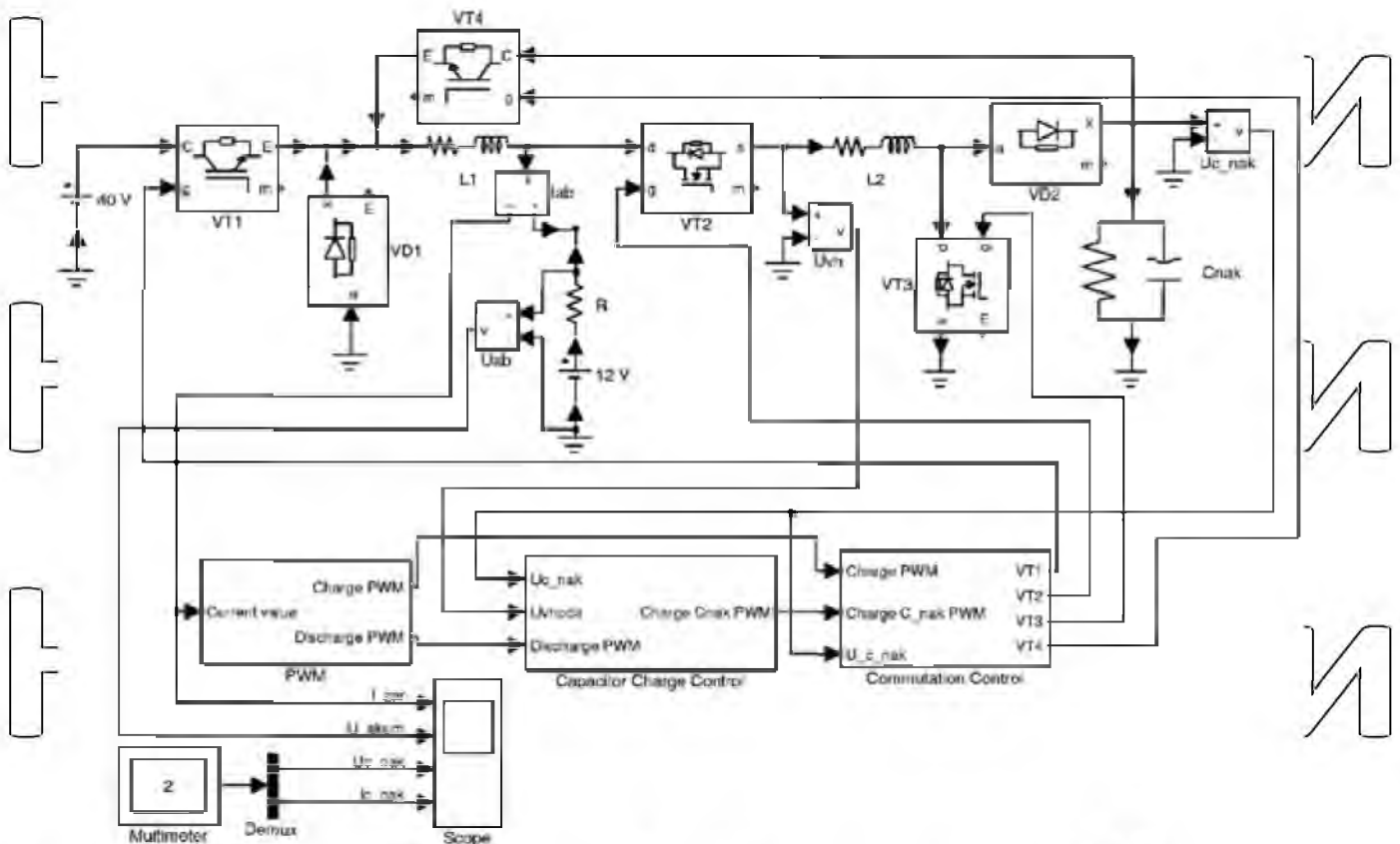


Рисунок 4.5 – Модель пристрою для заряду акумуляторної батареї асиметричним струмом

Силова частина моделі, зображеної на рис. 2.5, складається з наступних елементів (модулів):

– джерело постійної напруги (40 V),
– силові транзисторні модулі на IGBT-транзисторах (VT1, VT4) та MOSFET-транзисторах із зворотним діодом (VT2, VT3);

– діоди (VD1, VD2);
– спрощена модель акумуляторної батареї, яка складається з джерела живлення та опору (R, 12 V);

– накопичувальні індуктивності (дроселі) (L1, L2);
– накопичувальний конденсатор (C_{nak});

– вимірювач миттєвого струму у акумуляторній батареї (I_{ab});
– вимірювачі миттєвих напруг на акумуляторній батареї (U_{ab}), на вході підвищуючого ШП (U_{vh}) і на накопичувальному конденсаторі

(U_{c_nak});

– Multimeter – блок для спостереження (вимірювання) миттєвих значень величин, які вибрані у полі Measurement відповідних блоків (у нашому випадку це струм у конденсаторі та напруга на ньому);

– блок Demux – для розділення сигналів;

блок Score для спостереження (вимірювання) миттєвих значень струму у АВ та напруги на ній, а також струму у накопичувальному

конденсаторі та напруги на ньому.

Підсистема ШПМ, модель якої зображена на рис. 2.6, генерує сигнали керування транзисторами понижуючих ШПІ, які формують імпульс зарядного струму від джерела постійної напруги (транзистор VT1) і накопичувального конденсатора (транзистор VT4), а також корегуючі сигнали керування для корекції коефіцієнта заповнення імпульсного диву підвищуючого ШПІ, що використовується для заряду накопичувального конденсатора, які передаються у підсистему керування оптимальним зарядом накопичувального конденсатора підвищуючим ШПІ.

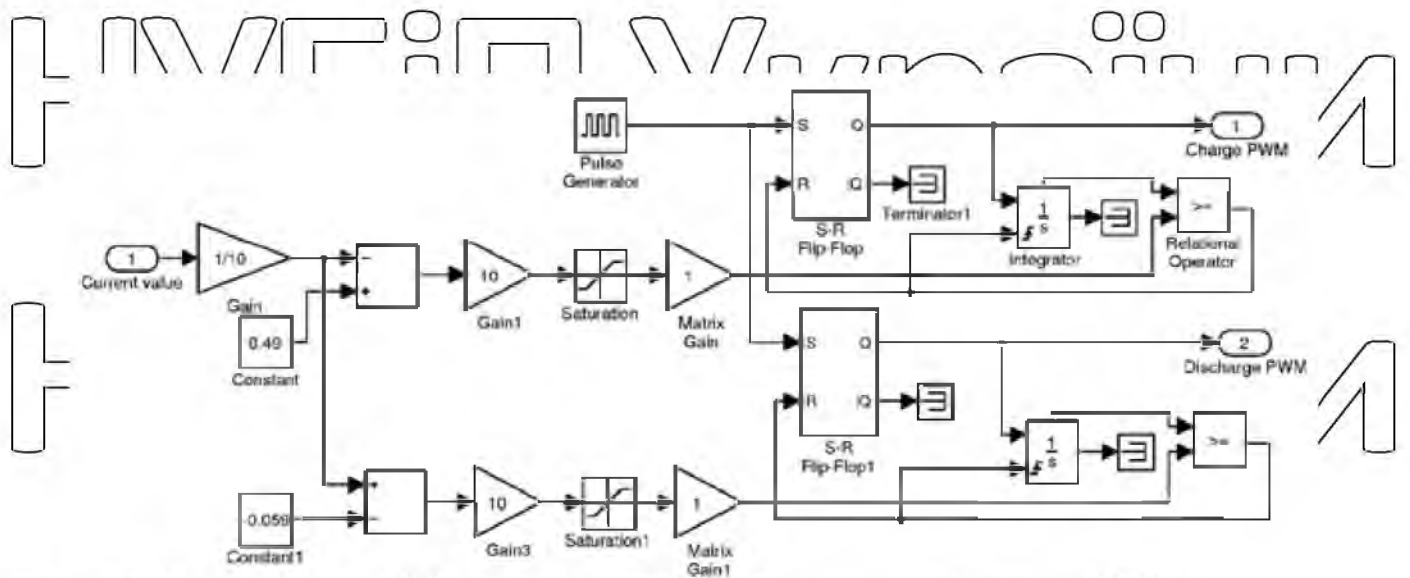


Рисунок 2.6 – Модель підсистеми ШПМ

В підсистемі керування оптимальним зарядом накопичувального конденсатора підвищуючим ШПІ, модель якої зображена на рис. 2.7, виконується розрахунок і генерація коефіцієнту заповнення імпульсного циклу підвищуючого ШПІ що використовується для заряду накопичувального конденсатора за формулою (2.1), а також проводиться корекція цього коефіцієнта заповнення у разі відхилення струму розрядного імпульсу від заданого значення.

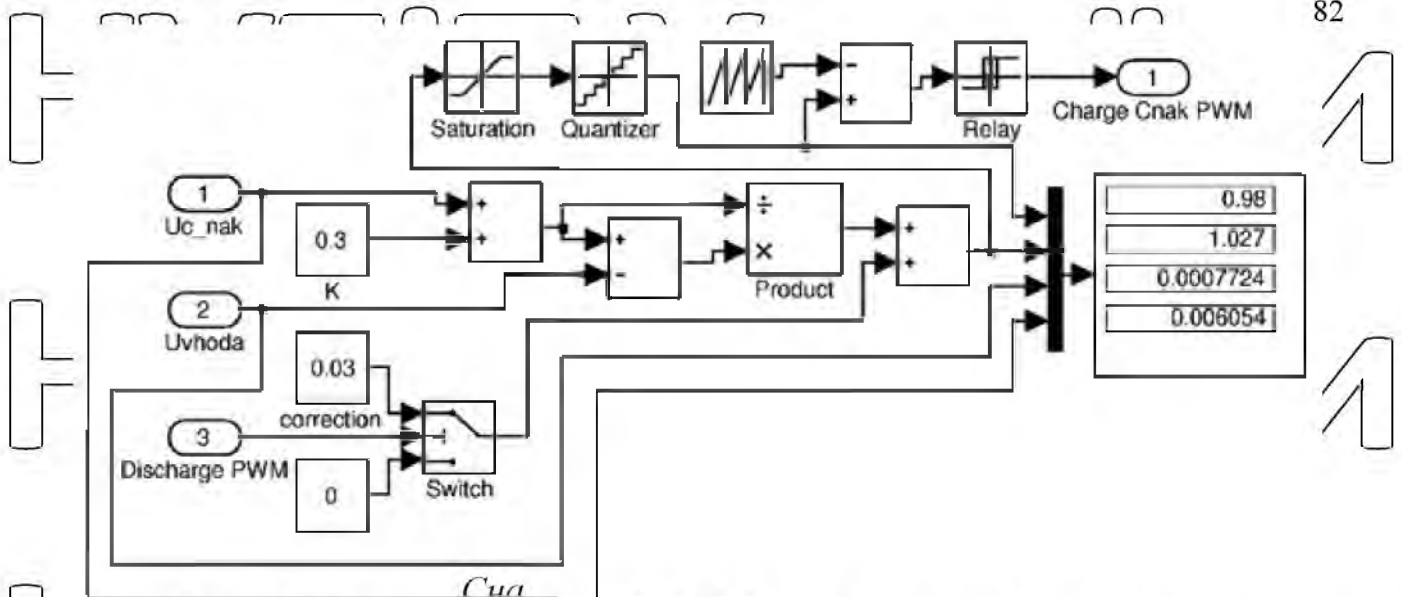


Рисунок 2.7 – Модель підсистеми керування оптимальним зарядом накопичувального конденсатора підвищуючим ШІП

Підсистема керування комутацією транзисторів, модель якої зображена на рис. 2.8, складається з генератора, який задає довжини зарядного та розрядного імпульсів, та набору логічних елементів, які, в залежності від сигналу на виході генератора та напруги на накопичувальному конденсаторі,

вмикають або понижуючі ШІП: подається сигнал ШІМ на транзистор VT1 або VT4, що, у свою чергу, залежить від напруги на конденсаторі (якщо напруга на

конденсаторі досягає $U = 50В$ – працює VT4, а якщо понижується до $U = 30В$ – знов, починає працювати VT1); або вмикають транзистор VT2 і починається розряд АБ на накопичувальний конденсатор.

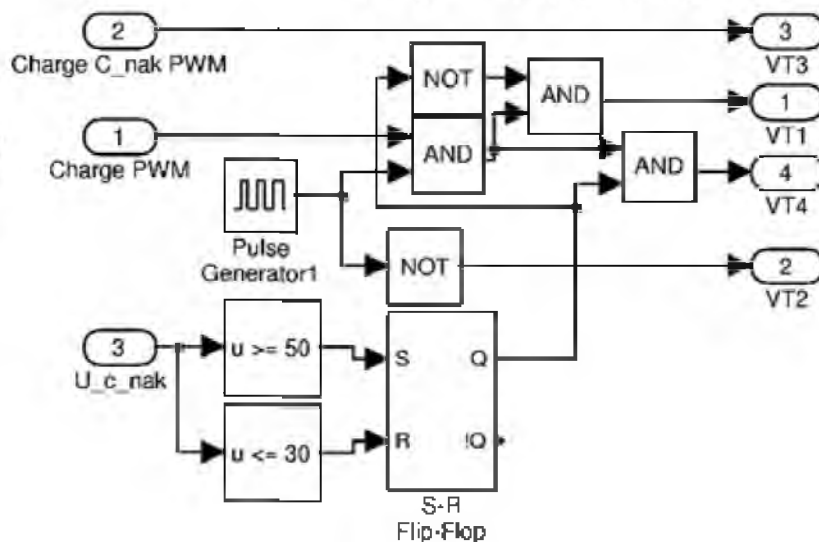


Рисунок 2.8 – Модель підсистеми керування комутацією транзисторів

Результати моделювання зображені на рис. 2.9–2.11.

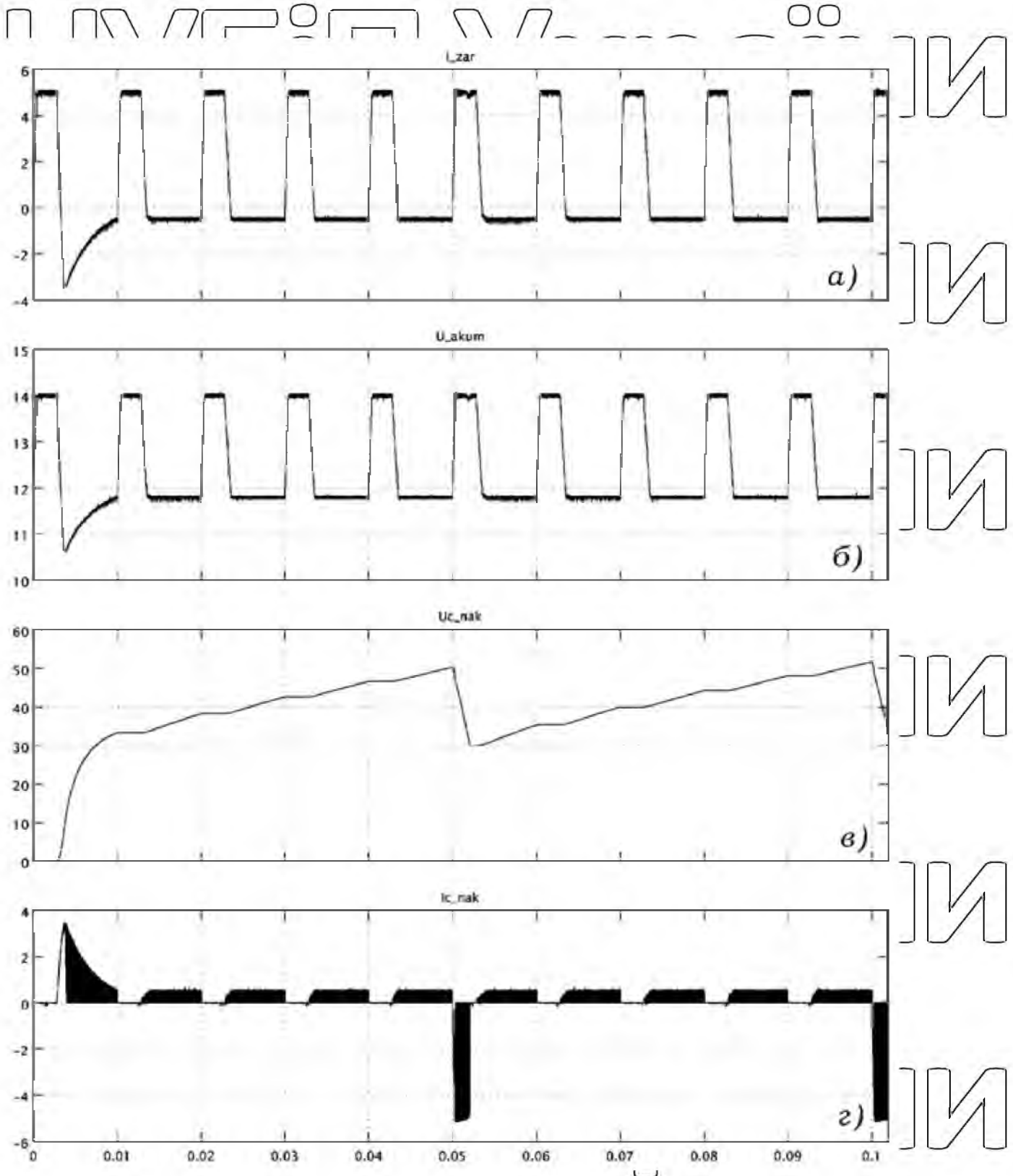
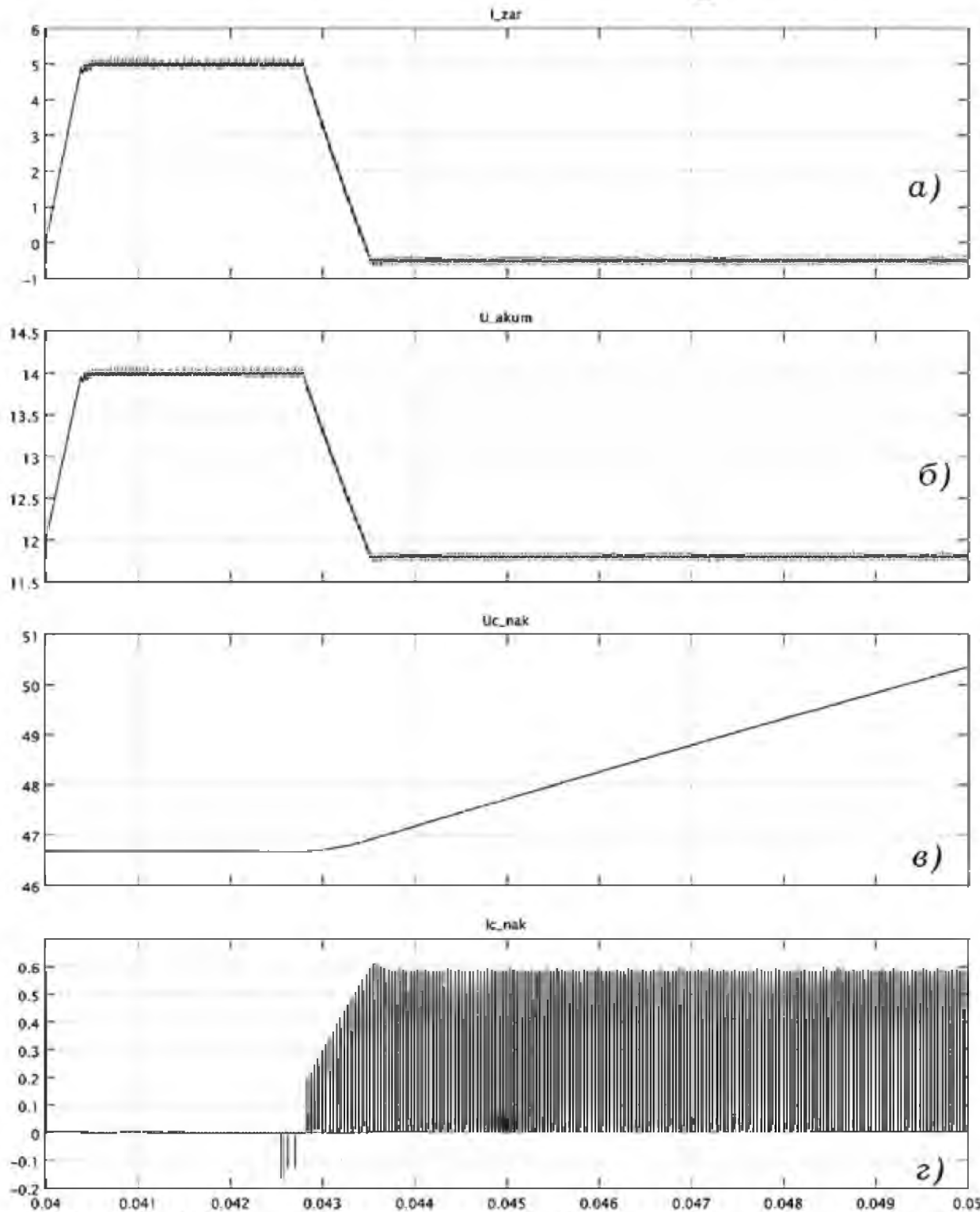
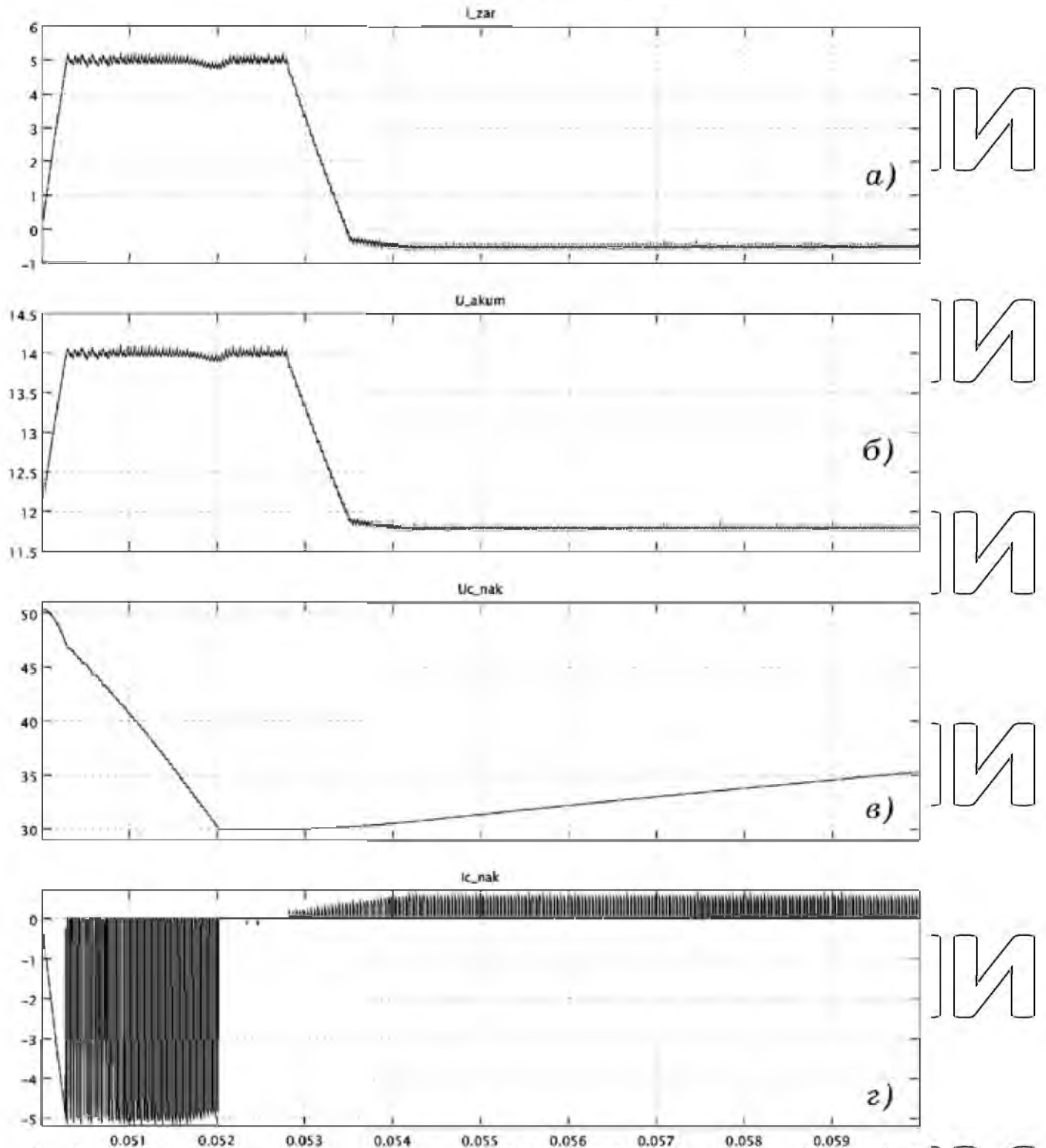


Рисунок 2.9 – Струм заряду АБ (i) та напруга на АБ під час її заряду (U);
напруга на накопичувальному конденсаторі (U_c) та струму в ньому (i_c)



НУБІП України

Рисунок 2.10 – Струм заряду АБ (i) та напруга на АБ під час її заряду (U), напруга на накопичувальному конденсаторі (U_c) та струм у ньому (i_c) (збільшена частина рис. 2.9)



НУБІП І УКРАЇНИ

Рисунок 2.11 – Струм заряду АБ (a) та напруга на АБ під час її заряду (b),

напруга на накопичувальному конденсаторі ($в$) та струм у ньому ($г$)

під час його розряду

Як видно з результатів моделювання (рис. 2.9 (a)), пристрій забезпечує заряд АБ асиметричним струмом необхідних параметрів. При цьому енергія розрядного імпульсу зберігається накопичувальним конденсатором (рис. 2.9 ($в$),

рис. 2.10 ($в$)) і потім знову передається АБ під час зарядного імпульсу (рис. 2.11 ($г$)).

За рахунок того, що енергія розрядного імпульсу зберігається у накопичувальному конденсаторі і також відпадає необхідність у сумарному струмі зарядного пристрою рівному 1,1 від струму заряду акумулятора,

зменшується споживання енергії мережі на 10-12% у порівнянні з пристроєм для заряду акумуляторів асиметричним струмом, схема якого запропонована в

[3].

Висновки до розділу 4

1. Запропоновано схему пристрою для заряду акумуляторних батарей

асиметричним струмом, який має наступні переваги:

за рахунок того, що енергія розрядного імпульсу зберігається у накопичувальному конденсаторі, зменшується споживання енергії мережі на 10-12% у порівнянні з відомим пристроєм для заряду акумуляторів асиметричним струмом; використовується імпульсний метод регулювання, ККД якого, як правило, перевищує 80 – 90% [8].

2. Виведено формулу регулювання коефіцієнту заповнення імпульсного циклу підвищуючого ШПІ, яка забезпечує оптимальний заряд конденсатора, що дає змогу максимально ефективно використовувати енергію розрядного імпульсу акумулятора.

3. Доведено, що доцільно вибирати у якості силових ключів V_{T2} та V_{T3} MOSFET-транзистори, оскільки вони мають більш низьке значення напруги у включеному стані при номінальних напругах менше 200 В, а V_{T1} та V_{T4} вибирати IGBT-транзистори, оскільки вони, на відміну від MOSFET, не мають паралельно транзистору технологічно вбудований зворотній діод, із-за наявності якого у транзисторі V_{T4} при формуванні зарядного імпульсу понижуючим ШПІ накопичувальний конденсатор заряджався б від мережі живлення (E), а при розряді накопичувального конденсатора на АБ значна частина накопленої в ньому енергії передавалася б через вбудований у транзистор V_{T1} зворотній діод у мережу живлення.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Перелік основних нормативних документів

1. Закон України "Про охорону праці". Постанова Верховної ради України від 21.11.2002 року №229-IV зі змінами і доповненнями, внесеними від 25.11.2003 року №1331 - IV, від 23.12.2013 року №1334 - IV, від 23.12.2004 року №2285 -IV.
2. Закон України "Про пожежну безпеку" Постанова Верховної Ради України від 17.12.93 №3747-ХН.
3. Закон України "Про дорожній рух". Постанова Верховної Ради України від 28.01.93.
4. Закон України "Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення" Постанова Верховної Ради України від 24.02.94
5. ГОСТ 12.1.009-76 ССБТ "Електробезпеку. Термины и определения".
6. ССБП ДСТУ 2293-93. "Система стандартів безпеки праці. Терміни та визначення".
7. ДСТУ 2272-93 Пожежна безпека. Терміни та визначення.
8. ДБН А.3.1-3-94. Прийняття в експлуатацію закінчених будівництвом об'єктів.
9. Єдина державна система показників обліку умов і безпеки праці. Затверджена наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці від 31.03.94 №27.
10. НАПБ А.01.001.-95. Правила пожежної безпеки в Україні, затверджені наказом МВС України від 22.06.95 №400, зареєстровані в Мін'юсті України 14.07.95 за №219/95.
11. Типове положення про службу охорони праці: затв. наказом Держнаглядохоронпраці України від 03.08.93 № 73, зареєстроване в Мін'юсті України 30.09.93 за № 140.
12. ДНАОП 0.00-4.12-94. Типове положення про навчання, інструктажі перевірку знань працівників з питань охорони праці, затверджене наказом Держнаглядохоронпраці України від 04.04.94 №30, зареєстровано в Мін'юсті України 12.05.94 за №95/309.

13. Положення про медичний огляд працівників певних категорій: затв. наказом Міністерства охорони здоров'я України від 31.03.94 № 45, зареєстроване в Мін'юсті України 21.06.94 за № 136/345.

14. Положення про розслідування та облік нещасних випадків, професійних захворювань і аварій на підприємствах, установах і організаціях: затв. постановою Кабінету Міністрів України від 10.08.93 № 623.

15. ДНАОП 0.00-4.26-96. Положення про порядок забезпечення працівників спеціальним одягом, спеціальним взуттям та іншими засобами індивідуального захисту. Зареєстровано в Мін'юсті України 18.11.96 № 667/1692. Введене в дію 29.11.96.

16. ДНАОП 0.03-3.30-96. Державні санітарні норми і правила захисту населення від впливу електромагнітних випромінювань. Зареєстровано в Мін'юсті України 29.08.96 № 488/1513. Введене в дію 29.11.96.

17. Правила устройства электроустановок / Минэнерго СССР. - 6-е изд. перераб. и доп. с изменениями №1 и №2. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 640с.

18. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей / Минэнерго СССР. - 14-е изд. перераб. и доп. с изменениями №1 и №2. РД 34.20.501. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 288с.

19. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів / Держенергонагляд України.: - К.: Дисконт, 1995. - 260с.

20. Правила технічної експлуатації тепловикористовуючих установок і теплових мереж / Держенергонагляд України.: - К.: Дисконт, 1995. - 81с.

21. Правила безпечної експлуатації електроустановок. ДНАОП 1.1.10.-01-97. Держнаглядохоронпраці України. - К.: Основа, 1997. - 265 с.

22. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. ДНАОП 0.00.1.21.-98. Держнаглядохоронпраці України.: - К.: Основа, 1998. - 380с.

23. ГКД 34.03.103-96. Система управління охороною праці в Міненерго України. Положення затверджене Міненерго України 24.04.96

24. ГКД 34.12.102-95. Навчання, інструктаж та перевірка знань працівників підприємств, установ і організацій Міненерго України з питань охорони праці та експлуатації обладнання. Положення.

25. Правила применения и испытания средств защиты, используемых в

електроустановках / ПО Союзтехэнерго, - 7-е изд., перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1983. - 64с.

26. Инструкция по оказанию первой помощи пострадавшим в связи с несчастными случаями при обслуживании энергетического оборудования

/ Упр. по техн. безопасности и пром. санитарии Минэнерго СССР. - М.: Энергоатомиздат, 1987. - 64с.

27. Инструкция по устройству молниезащиты зданий и сооружений. РД 34.21.122-87. - М.: Энергоатомиздат, 1989. - 56с.

28. Правила пожежної безпеки в компаніях, на підприємствах і в організаціях енергетичної галузі України.

29. Правила безпечної роботи з інструментом та пристроями. ДНА ОП 1.1.10-1.04.-01. Держенергонагляд України.: - К.: Форл, 2001. - 176 с.

Охорона праці серед всіх інших питань виробництва займає особливе місце, оскільки від її рівня залежить життя і здоров'я працівників. Загальне керівництво і відповідальність з охорони праці покладено на керівні організації. За техніку безпеки в при роботі з ВЕУ відповідає головний енергетик НДГ. Контроль за додержанням правил охорони праці здійснюється інженером з охорони праці.

Після оформлення на роботи проводиться ввідний інструктаж, інструктаж на робочому місці. На робочому місці знаходяться інструкції по техніці безпеки. Безкоштовно видається спецодяг, взуття і інші засоби захисту. Нещасні випадки розслідуються у відповідності з "Положенням про розслідування і облік нещасних випадків на виробництві." Результати оформляються по формі Н1, виконується запис в журнал реєстрації нещасних випадків.

5.2 Аналіз умов праці при роботі с ВЕУ

До виробничих шкідливих факторів при роботі з ВЕУ відносяться: шум, вібрація, можливість ураження електричним струмом, вибухонебезпечність, загазованість (при наявності АКБ), наявність рухомих машин і механізмів.

В приміщенні ВЕУ можлива велика загазованість, тому необхідна

припливно-витяжна вентиляція.

Електроустановки захищені від прямих ударів блискавки і перенапруги.

5.3 Розрахунок індивідуальних засобів захисту

Розрахунок необхідності кількості електрозахисних засобів, необхідний для нормальної експлуатації ВЕУ, виконуємо згідно вимог ПТБ (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – Необхідна кількість електрозахисних засобів

Найменування засобів захисту	Марка Тип	Нормативний документ	Кількість
Показчик напруги	УНН-10	ТУ 34-09-10130	4 шт.
Ізольюючі кліщі	К-1000	ТУ 34-13-16-32	4 шт.
Діелектричні рукавиці		ТУ 38-106359-79	2 пар
Комплект слюсарний ізольований	КСМУ	ТУ 38-28-10072	2 шт.
Переносне заземлення		ГОСТ 13385-78	2 шт.
Діелектричні калоші		ГОСТ 124026-76	2 пари
Плакати і знаки безпеки		ГОСТ 4997-75	2 шт.
Діелектричні ковбики		ГОСТ 124026-76	2 шт.
Захисні окуляри	ЗП-80	ГОСТ 124013-75	4 шт.
Огорожі переносні		ГОСТ 126026-78	2 шт.
Протигаз		ГОСТ 10182-78	4 шт.
Струмовимірвальні кліщі	Д-90	ТУ 2504 - 857-26	2 шт.

5.4 Захист від перенапруги

Атмосферні перенапруги можуть з'явитися і від розряду блискавки поблизу ВЕУ та ЛВЦ. Оскільки лінія 0,38 кВ - повітряна, то для її захисту з повітря від блискавок передбачається встановлення ряду вентиляційних розрядників.

Прямими ударами блискавки можуть бути вражені будівлі та споруди.

Визначаємо очікувану кількість прямих ударів за формулою:

$$N = \left(\frac{(S + 6 \cdot h)}{(L + 6 \cdot h)} - 7,7 \cdot h^2 \right) \cdot n \cdot 10^{-6}, \quad (5.1)$$

де h - висота будівлі, м;

S, L - ширина, довжина будівлі, м;

n - середня кількість ударів блискавки в район будівлі ВЕУ.

$$N = \left(\frac{(24 + 6 \cdot 7)}{(42 + 6 \cdot 7)} \right) \cdot 7 \cdot 10^{-6} = 0,014 < 2.$$

$$N = 0,014 < 2.$$

Отже, будівля повинна бути забезпечена захистом від блискавки в межах зони "Б", захист 95%, категорія III.

Блискавкозахист передбачено виконати шляхом укладання блискавко-приймальної сітки з вічками 25x25 см на покрівлю будівлі. Сітку виготовлено з

6 мм дроту. Блискавопровід з'єднують струмопроводами з заземленням, яке виконано металевими прутками діаметром 10 мм круглого перерізу та металевим кутником розміром 4x40 мм.

Електромонтажні роботи виконані у відповідності з ПУЕ, ПВЕ та СНиП 3.05 06 - 85 "Електротехнічні пристрої".

5.5 Пожежна безпека

На основі аналізу категорії виробництва та режимів електроспоживання передбачено обладнання, яке зменшує до мінімуму можливість виникнення вибухів та пожеж.

Для виявлення і зникнення пожежі передбачено:

встановлення у виробничих приміщеннях комбіноване повідомлення (КП), що реагує на підвищення температури;

у виробничих приміщеннях передбачено встановити ящики для зберігання ганчірок, матеріалів для очищення;

у найбільш пожежонебезпечних приміщеннях вимикачі встановлено на зовнішніх стінках;

при виникненні пожежі вимикається автоматично все
електрообладнання. НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

6 ЕКОЛОГІЧНЕ ТА ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ РІШЕНЬ, ПРИЙНЯТИХ В МАГІСТЕРСЬКІЙ РОБОТІ

6.1 Аналіз економічної ефективності роботи енергетичної установки, що використовує нетрадиційні види енергії

Поліпшення енергозабезпечення України в даний час забезпечується не тільки за рахунок використання традиційних джерел енергії (гідроресурси, кам'яне вугілля, газ, нафта, атомна енергетика), а й шляхом енергозбереження з використанням нетрадиційних джерел, у тому числі енергії вітру.

Загалом, при визначенні доцільності використання ветроенергетичних установок в конкретному випадку їх застосування, необхідно порівняти їх економічні показники з показниками інших енергетичних установок, які можуть бути застосовані в данному випадку. Необхідна комплексна оцінка економічних, екологічних, соціальних та інших показників роботи пристроїв, що розглядаються.

Як показано в роботах [1, 18], використання енергії вітру в порівнянні з іншими видами енергії зменшує кількість викиду шкідливих речовин в атмосферу, зменшує негативний вплив на флору і фауну, покращує працездатність населення і знижує їх захворюваність, призводить до суттєвої економії традиційних джерел енергії, зменшує втрати електроенергії при використанні локальних джерел енергії.

Проте, особливості розрахунку ефективності роботи ВЕУ, в свою чергу, пов'язані з імовірнісним характером зміни джерела енергії (вітрового потоку) і потужності, що розвивається.

На рис. 6.1 представлена типова енергетична характеристика ВЕУ.

Потужність вітрового потоку (визначена), що припадає на площу, яка окреслюється вітроколесом (крива 1), визначається:

$$N = C_p \frac{\rho}{2} U^3 S, \quad (6.1)$$

де ρ - густина повітря;

U - швидкість набігаючого потоку;

S - площа, що окреслюється вітроколесом;

C_p - коефіцієнт використання енергії вітру.

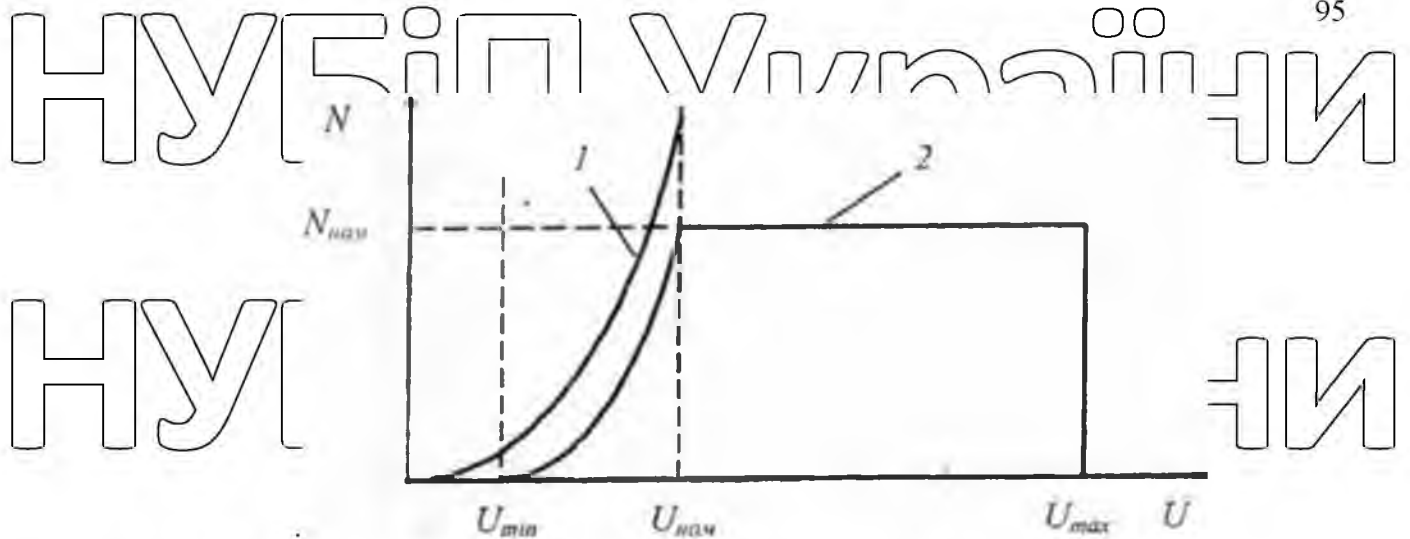


Рисунок 6.1 - Типова енергетична характеристика ВЕУ

Проте насправді енергетична характеристика ВЕУ буде являти собою криву 2, оскільки при швидкості вітру нижче мінімальної робочої швидкості U_{min} установка не працює. Зазвичай U_{min} вибирається рівною приблизно $0,5 U_{ном}$. Швидкість номінальна $U_{ном}$, при якій розвивається встановлена (розрахункова) потужність, вибирається трохи більше швидкості U_c , для якої презентується дана ВЕУ.

При швидкості вітрового потоку $U \rightarrow U_{ном}$ кут повороту лопаті вітродвигуна регулюється так, щоб підтримувати постійну вихідну потужність. З рис. 6.1 видно, що при високих швидкостях вітру зростання енергії, яку можна отримати, недовикористовується внаслідок того, що реальна енергетична характеристика має пологу форму.

Одним з основних критеріїв ефективності ВЕУ є коефіцієнт використання встановленої потужності вітродвигом [4]:

$$K = \frac{A_{факт}}{N_B} = \frac{N_{сер} T}{N_B \cdot T} = \frac{N_{сер}}{N_B}, \quad (6.2)$$

де $A_{факт}$ - фактичний виробіток вітродвигуна;

$N_B, N_{сер}$ - встановлена (номінальна) і середня потужності вітродвигуна за період часу T ;

T - період часу, за який обчислюється фактичний виробіток $A_{факт}$.

В роботі [7] наводяться дані, що для експлуатованої ВЕУ потужністю 1500кВт, що має оптимальні параметри роботи при $U_2 = 8$ м/с, коефіцієнт використання встановленої потужності становить приблизно 0,35. Зміни

потужності ВЕУ обумовлено атмосферними явищами, добовими і сезонними

циклами і тото багаторічний досвід роботи ВЕУ пропелерного типу в США і

Дані свідчить, що вони працюють в середньому 4-6 год. на добу.

При порівнянні можливості використання ВЕУ для здійснення тієї чи іншої механічної роботи або виробництва електроенергії з невітровою установкою необхідно дотримуватися умови приблизної рівності їх потужностей.

В роботі [17] наведено порівняння експлуатації насосного вітроагрегата і теплоагрегата для здійснення водопідйому зі свердловини в сільській місцевості.

Установка вітроагрегата економічніша в порівнянні з теплоагрегатом і витрати на її спорудження окупуються за 1-2 роки. А в порівнянні з ручним підйомом

води витрати окупуються за декілька місяців. В роботі [17] наведені питомі

розрахункові витрати на здійснення підйому води за допомогою електроустановки, теплової насосної установки і насосних вітроагрегатів при сезонному і річному їх використанні. Представлені результати наочно

характеризують переваги у використанні ВЕУ довготривалий період в

порівнянні з іншими типами водопідйомних пристроїв.

Так само при співставленні техніко-економічних результатів застосування вітроагрегатів в порівнянні з іншими енергоносіями необхідно враховувати

витрати на їх обслуговування [2, 4, 17]. Згідно [18] при експлуатації

водонасосних установок рекомендується користуватися наступними нормами

витрат на обслуговування: для вітродвигунів - 2 особи на добу, на

обслуговування теплової установки - 50 % часу її роботи, електроустановки - по

20 хвилин на кожне включення і виключення. При цьому необхідно враховувати,

що термін служби вітроагрегатів (20...30 років) значно перевершує, наприклад,

термін служби теплових двигунів.

Як зазначається в ряді досліджень [1, 2, 7, 8], поновлювані джерела енергії,

у тому числі що використовують енергію вітру, не володіють необхідною

постійною потужністю, що знімається, і вимагають для стабільної роботи

підключення акумулюючих пристроїв. Розрахунки показують [7], що оснащення

ВЕУ потужністю близько 1 МВт системою акумулювання енергії збільшує вартість вироблюваної енергії на 50%.

У загальному випадку найбільш доцільно створення комбінованих систем, що використовують енергію поновлюваних джерел з іншими традиційними енергоносіями [1]. Це дозволяє забезпечити баланс потужностей, що генерується і споживається, за рахунок одночасності процесів виробництва, розподілу та споживання енергії.

На рис. 6.2 представлена принципова схема енерговиробництва, що включає сонячну і теплову електростанції, підключених до електромережі і акумуляторних батарей [8].

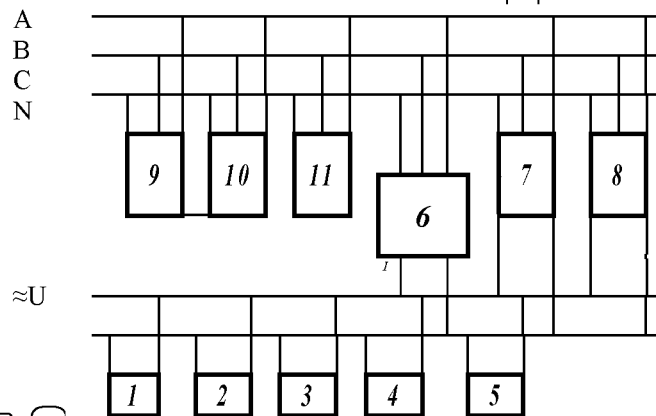


Рисунок 6.2 - Принципова схема енерговиробництва:

1 - фотоелектричний перетворювач; 2 - термоперетворювач; 3 - ВЕУ; 4 - тепловий насос; 5 - акумуляторна батарея; 6 - перетворювач постійної напруги в змінну; 7 -

ВЕУ з гене-ратором змінного струму; 8, 9, 10 - навантаження; А, В, С, N- фази

електричної мережі

Схема містить фотоелектричні 1 і термоелектричні 2 перетворювачі, що включаються на паралельну роботу з метою вирівнювання вироблюваної потужності в різні періоди року.

Розглянута на рис. 6.3 схема енерговиробництва дозволяє зменшити ємності акумулюючих пристроїв і підвищити економічну ефективність використання в них вітроенергетичних установок, а споживачеві отримувати електроенергію як від мережі в несприятливий час, так і використовувати

нетрадиційні джерела електровиробництва. Однак при впровадженні таких комплексів необхідна попередня оцінка, наприклад, протягом 1 року погодинних електричних і теплових навантажень (опалення, обігрів теплиць, електропостачання), швидкості вітру, температурних перепадів.

У всіх випадках економічної ефективності впровадження вітроенергетичних пристроїв необхідно враховувати, що масштаб використання енергії вітру залежить неабиякою мірою від вартості ВЕУ і від собівартості виробленої ВЕУ енергії з урахуванням забезпечення всіх вимог до якості й надійності енергопостачання, що пред'являються споживачем і енергосистемами [1].

У світовій практиці розробки і створення ВЕУ її вартість обчислюється за умови, що 1 кВт встановленої (розрахункової) потужності обходиться в 1000 доларів США [19, 20]. Проте досвід показує, що найбільш вартісні ВЕУ малої і середньої потужності (до 10 кВт), а із зростанням потужності і кількості випущених агрегатів вартість зменшується. Так, капітальні витрати на досліду розробку ВЕУ потужністю 100 кВт можуть скласти приблизно п'ять тисяч доларів на 1 кВт встановленої потужності [7]. Згідно [21] для покупців ВЕУ малої потужності оптимальна ціна не повинна перевищувати 500 доларів за 1 кВт.

За даними джерел [7] вартість енергії, що виробляється ВЕУ в США потужністю 1 МВт, що працює при середній швидкості вітру 6,7 м / с, становить приблизно 3 цент / кВт · год, а з системою акумулювання виробленої енергії зростає до 3,8 цент / кВт · год. За розрахунками "Крименерго" собівартість електроенергії на Кримських вітрових електростанціях становить менше 3,0 цент / кВт · год, що нижче існуючих тарифів на виробництво електроенергії [20].

6.2 Оцінка екологічної та економічної ефективності вітроелектрогенеруючої установки потужністю 1,5 кВт

Здійсимо оцінку екологічного та еколого-економічного ефекту від впровадження ИДГ «Ворзель» вітроелектрогенеруючої установки ВЕУ-1,5-3,5 потужністю 1,5 кВт. Слід зазначити, що названа вітроенергетична установка є перспективною для використання у тих областях України, де

середньорічна швидкість вітру становить 3...4,5 м/с, бо вона починає працювати при швидкості вітру більше 4 м/с.

Екологічний ефект використання цієї вітроелектрогенеруючої установки оцінюється скороченням об'ємів викидів в атмосферу забруднюючих речовин, які могли б утворитися при генерації електроенергії тепловими електростанціями в кількості, що дорівнює кількості електроенергії, яка генерується вітроенергетичною установкою.

Еколого-економічний ефект оцінюється зменшенням збору на викиди в атмосферу забруднюючих речовин та грошовими надходженнями за реалізацію квот на викиди парникових газів.

Розглянемо екологічний та еколого-економічний ефект від впровадження установки, яка розглядається, за умов, що вона генерує енергію замість газових електростанцій або електростанцій, що працюють на кам'яному вугіллі.

При цьому будемо вважати, що вугільна електростанція працює на вугіллі марки "Д" Донецького вугільного басейну, а газова електростанція працює на природному газі газового родовища.

Еколого-економічний ефект використання згаданої вітроелектрогенеруючої установки оцінюється:

1. Об'ємами зменшення грошового збору, який міг би нараховуватися за викиди в атмосферу основних забруднюючих речовин при генерації електроенергії згаданими вище тепловими електростанціями у кількості, що дорівнює кількості електроенергії, яка виробляється вітроенергетичною установкою. Об'єми грошового збору за забруднення навколишнього середовища прийняті згідно з постановами Кабінету Міністрів України №303 від 1 березня 1999 року, №402 від 28 березня 2003 року та №1423 від 18 жовтня 2006 року.

2. Грошовими надходженнями за реалізацію квот на викиди в атмосферу парникових газів згідно з положеннями Кіотського протоколу.

При цьому величина квот обчислюється на основі розрахунків скорочення викидів забруднюючих речовин, які могли б утворюватися при генерації

електроенергії зазначеними раніше типами теплових електростанцій у кількості, яка дорівнює кількості електроенергії, що генерується вітроенергетичною установкою.

Для обчислення екологічного ефекту від експлуатації екологічно чистої вітроелектрогенеруючої установки потужністю 1,5 кВт рекомендується використати наступну формулу:

$$E = \sum_{i=1}^n M_{pi} \cdot G, \quad (6.3)$$

де E - екологічний ефект від експлуатації ВЕУ або об'єми зменшення викидів n -ої забруднюючої речовини;

M_{pi} - приведена маса викиду в атмосферу n -ої забруднюючої речовини, що приймається згідно табл. 6.1;

G - річна генерація електроенергії вітроенергетичною установкою, яка обчислюється за залежністю:

$$G = N \cdot t \cdot k \quad (6.4)$$

де G - кількість годин у році (приймається за 8640 год.);

k - коефіцієнт використання встановленої електричної потужності вітрогенеруючої установки. Згідно з [2], для умов центральної і східної України та потужності вітроагрегату 1,5 кВт, становить 0,076;

N - встановлена електрична потужність вітроенергетичної установки, для даного випадку $N=1,5$ кВт.

Слід зазначити, що приведена маса викидів забруднюючих речовин в атмосферу отримана в [3] на основі статистичної обробки даних експериментальних вимірів при різних витратах повітря та інших активних речовин. Ця маса характеризує ступінь спалювання палива за різними технологіями і є середньостатистичною величиною.

Підставляючи у формули (6.3) та (6.4) числові значення величин, маємо:

- виробництво електроенергії ВЕУ:

$$G = 1,5 - 8640 - 0,076 = 985 \text{ кВт} \cdot \text{год};$$

• об'єми основних викидів забруднюючих речовин для електростанції, що працює на вугіллі:

$$E_{SO_2} = 17 \cdot 985 = 0,017 \text{ т/рік};$$

$$E_{NO_x} = 1,5 \cdot 985 = 0,00015 \text{ т/рік};$$

$$E_{CO} = 0,05 \cdot 985 = 0,00005 \text{ т/рік};$$

$$E_{CO_2} = 1200 \cdot 985 = 1,18 \text{ т/рік};$$

$$E_{летки} = 0,5 \cdot 985 = 0,005 \text{ т/рік};$$

$$E_{сум} = 0,017 + 0,00015 + 0,00005 + 1,18 + 0,005 = 1,2 \text{ т/рік}.$$

• питоми викиди:

$$E_{пит}^{вуг} = \frac{1,2 \text{ т}}{985 \text{ кВт}\cdot\text{год}} = 1,22 \text{ кг/кВт}\cdot\text{год}.$$

Таблиця 6.1 - Приведена маса викидів в атмосферу забруднюючих речовин, які утворюються при експлуатації теплових електростанцій (згідно з [2,3])

Назва забруднюючої речовини	Приведена маса викидів	
	електростанції, що працюють на вугіллі	електростанції, що працюють на природному газі
Сірчистий ангідрид, SO ₂ , г/кВт·год	1,7-17,7	-
Оксид азоту, NO _x , г/кВт·год	0,5-1,5	-
Оксид вуглецю, CO, г/кВт·год	0,05	0,02
Діоксид вуглецю, CO ₂ , г/кВт·год	850-1200	500-600
Леткі тверді частинки, г/кВт·год	0,5-4,45	-

Таким чином, за рахунок експлуатації ВЕУ потужністю 1,5 кВт сумарне зменшення основних викидів, що утворюються при роботі електростанції, яка працює на вугіллі, становить 1,2 т/рік;

• об'єми скорочення основних викидів забруднюючих речовин для електростанції, що працює на природному газі:

$$E_{CO} = 0,02 \cdot 985 = 0,00002 \text{ т/рік};$$

$E_{CO_2} = 600 \cdot 985 = 0,59 \text{ т/рік,}$
 $E_{\text{сум}} = 0,00002 + 0,59 = 0,59 \text{ т/рік.}$

• питомі викиди:

$E_{\text{пит}}^{\text{газ}} = \frac{1,2 \text{ т}}{985 \text{ кВт} \cdot \text{год}} = 0,6 \text{ кг/кВт} \cdot \text{год.}$

Таким чином, за рахунок експлуатації ВЕУ потужністю 1,5 кВт сумарне скорочення основних викидів, що утворюються при роботі електростанції, яка працює на природному газі, становить 0,59 т/рік, що у два рази менше за об'єми викидів електростанції, яка працює на вугіллі.

Розрахунки еколого-економічного ефекту за рахунок зменшення грошового збору при використанні екологічно чистої ВЕУ потужністю 1,5 кВт виконані за наступною формулою [4]:

$$C = \sum_{i=1}^n \gamma_n \cdot E_n \cdot \beta \cdot f, \quad (6.5)$$

де C - еколого-економічний ефект ВЕУ або об'єми зменшення грошового збору, який міг би нараховуватися за викиди в атмосферу забруднюючих речовин;

γ_n - нормативи грошового збору, який стягується за викиди п-ої забруднюючої речовини (прийняті згідно з табл. 6.2);

E_n - об'єми скорочення викидів п-ої забруднюючої речовини, які обчислюються за формулою (6.3);

β - показник відносної небезпеки забруднення, прийнятий для всіх забруднюючих речовин однаковим (обчислюється за формулою (6.6), яка наведена в роботі [4]);

f - поправка, яка враховує характер розсіювання забруднюючої речовини в атмосфері. Прийнята для всіх забруднюючих речовин однаковою. Обчислюється за формулою (6.7), яка отримана в роботі [4].

Для розрахунків показника відносної небезпеки забруднення навколишнього середовища використано наступну формулу [4]:

НУВІП УКРАЇНИ

$$\beta = 2,7 + 0,024m, \quad (6.6)$$

Таблиця 2. Нормативи збору, який стягується за викиди основних

забруднюючих речовин (згідно з постановою КМУ № 303 від 1.03.1999

року)

Назва забруднюючої речовини	Норматив збору, грн./тону
Сірчистий ангідрид, SO ₂	70
Оксид азоту, NO _x	80
Оксид вуглецю, CO	3
Леткі тверді частинки	3

де m - густина населення в чол./га. Прийнемо, що теплові електростанції розташовані в м. Києві. Для Києва, згідно з

відомостями [7], густина населення у 2011 році становила 3189

чол./км² або 31,89 чол./га.

Тоді показник відносної небезпеки забруднення навколишнього середовища буде дорівнювати:

$$\beta = 2,7 + 0,024 \cdot 31,89 = 3,46.$$

Для розрахунків поправки, що враховує характер розсіювання забруднюючої речовини в атмосфері, використано наступні формули [4]:

$$f = \left(\frac{1000}{60 + \varphi h} \right)^2 \cdot \frac{4}{1+n}; \quad \varphi = 1 + \frac{\Delta T}{75}, \quad (6.7)$$

де ΔT - середньорічна величина різниці температур на гирлі труби джерела забруднення і в навколишньому середовищі. Для умов експлуатації київських теплових електростанцій прийнятий авторами роботи рівним: $\Delta T = 120 - 10 = 110^\circ\text{C}$;

n - середньорічне значення модуля швидкості вітру. Для України середнє значення модуля швидкості вітру становить 3 м/с;

h - геометрична висота джерела забруднення. Прийнята за 200 м [2].

Підставляючи у формули (6.7) числові значення величин, маємо:

$$\varphi = 1 + \frac{110}{75} = 2,47;$$

$$f = \sqrt{\frac{1000}{60 + 2,47 \cdot 200} \cdot \frac{4}{1 + 3}} = 1,34.$$

Слід зазначити, що показник відносної небезпеки та поправка на розсіювання прийняті однаковими для всіх забруднюючих речовин тому, що ці речовини надходять в атмосферу від одного джерела з однаковими технічними параметрами.

Обчислимо зменшення грошового збору, який міг би нараховуватися за викиди в атмосферу основних забруднюючих речовин, за формулою (6.5). Підставляючи в цю формулу числові значення величин, маємо:

- зменшення грошового збору за викиди забруднюючих речовин електростанцією, що працює на вугіллі:

$$C_{SO_2} = 70 \cdot 0,017 \cdot 3,46 \cdot 1,34 = 5,52 \text{ грн. на рік};$$

$$C_{NO_x} = 80 \cdot 0,00015 \cdot 3,46 \cdot 1,34 = 0,055 \text{ грн. на рік};$$

$$C_{CO} = 3 \cdot 0,00005 \cdot 3,46 \cdot 1,34 = 0,0007 \text{ грн. на рік};$$

$$C_{\text{леткі}} = 3 \cdot 0,005 \cdot 3,46 \cdot 1,34 = 0,069 \text{ фн. на рік};$$

$$C_{\text{сум}} = 5,52 + 0,055 + 0,0007 + 0,069 = 5,65 \text{ грн. на рік};$$

- **питоме зменшення грошового збору:**

$$C_{\text{пит}}^{\text{вуг}} = \frac{5,65 \text{ коп}}{985 \text{ кВт} \cdot \text{год}} = 0,57 \frac{\text{коп}}{\text{кВт}} \cdot \text{год};$$

- зменшення грошового збору за викиди забруднюючих речовин електростанцією, що працює на природному газі:

$$C_{CO} = 3 \cdot 0,00002 \cdot 3,46 \cdot 1,34 = 0,0003 \text{ грн. на рік},$$

- **питоме зменшення грошового збору:**

Таким чином, за рахунок впровадження ВЕУ потужністю 1,5 кВт зменшення грошового збору за викиди в атмосферу забруднюючих речовин для електростанцій, що працюють на вугіллі, становить 5,65 грн. на рік; для електростанцій, що працюють на природному газі, - 0,0003 грн. на рік.

Оцінимо еколого-економічний ефект, що має місце за рахунок надходжень від реалізації квот на викиди парникових газів. Як відомо, парниковий ефект - це явище, подібне до того, що спостерігається в теплицях для вирощування рослин. Воно полягає в тому, що безхмарна атмосфера, подібна до скла в парниках, досить слабо утримує сонячну радіацію і поглинає довгохвильове випромінювання Землі, сприяючи цим накопиченню теплоти в атмосфері. Основним чинником парникового ефекту в атмосфері, який пов'язаний із зазначеною різницею в поглинанні сонячної та довгохвильової радіації, є наявність вуглекислого газу. Вуглекислий газ є найбільш поширеним парниковим газом. На парниковий ефект впливають також інші гази, які називають парниковими. Згідно з Кіотським протоколом, до парникових газів належать: вуглекислий газ, метан, закис азоту, фтористі вуглеводні та гексафторид сірки. З перелічених парникових газів при спалюванні вугілля та природного газу в атмосферу викидається лише вуглекислий газ (CO_2). Тому в подальшому для спалювання вугілля та природного газу виконано розрахунки об'ємів утворення лише вуглекислого газу.

Перейдемо до розрахунків кількості викидів в атмосферу вуглекислого газу при спалюванні твердого та газоподібного палива. Отримані величини утворення вуглекислого газу при спалюванні 1 кг вугілля або 1 м³ природного газу дають змогу обчислити кількість вуглекислого газу, яка могла б утворитися при річному виробництві електроенергії тепловими станціями в кількості, що дорівнює кількості електроенергії, яка генерується ВЕУ.

Для розрахунків використано наступну залежність [5]:

$$M_{\text{CO}_2} = V \cdot k \cdot \xi; \quad (6.8)$$

де M_{CO_2} - об'єм річних викидів вуглекислого газу в атмосферу, які могли б бути при виробництві електроенергії на тепловій електростанції, в кількості, що дорівнює кількості

електроенергії, яка генерується ВЕУ;

k - коефіцієнт утворення вуглекислого газу при спалюванні вугілля або природного газу. Згідно з роботою [5], він становить 3,67 для вугілля та 1,821 для природного газу;

ξ - кількість вуглецю в одиниці маси палива. Згідно з роботою [5], для вугілля він становить 0,5, для природного газу - 0,9;

V - річні витрати вугілля або природного газу, які потрібні для виробництва електроенергії в кількості, що дорівнює кількості електроенергії, яка генерується ВЕУ потужністю 1,5 кВт.

Обчислюються за наступною формулою [6]:

$$V = \frac{860 \cdot G}{\xi \cdot \eta_{k.y.} \cdot \eta_{\text{ц}} \cdot \eta_{\text{в}}} \quad (6.9)$$

де V - річні витрати вугілля або природного газу;

860 - перевідний коефіцієнт теплових одиниць розмірністю ккал/кВт·год;

$\eta_{k.y.}$ - ккд котельної установки теплової електростанції. Прийнятий рівним 0,85 для електростанцій, що працюють на вугіллі, та

0,93 для електростанцій, що працюють на природному газі;

$\eta_{\text{ц}}$ - термічний коефіцієнт циклу існуючих електрогенеруючих установок. Згідно з роботою [6], прийнятий за 0,35;

$\eta_{\text{в}}$ - загальний коефіцієнт втрат при перетворенні механічної енергії в електричну. Прийнятий, згідно з роботою [6], за 0,95;

G - річна генерація електроенергії ВЕУ. Обчислюється за формулою (3) і становить 985 кВт·год/рік;

ξ - теплота згоряння палива. Прийнята для вугілля 5000 ккал/кг,

для природного газу - 8640 ккал/м³.

Підставляючи у формули (6.9) та (6.8) числові значення величин, маємо:

• електростанція, що працює на вугіллі:

$$V_{\text{вуг}} = \frac{860 \cdot 985}{5000 \cdot 0.85 \cdot 0.35 \cdot 0.95} = 599 \text{ кг} \approx 0.6 \text{ тонн};$$

НУБІП УКРАЇНИ

$$M_{CO_2} = 0,6 \cdot 3,67 \cdot 0,5 = 1,1 \text{ тонн } CO_2 \text{ на рік};$$

• електростанція, що працює на природному газі:

$$V_{\text{газ}} = \frac{860 \cdot 985}{8640 \cdot 0,85 \cdot 0,35 \cdot 0,95} = 345 \text{ м}^3;$$

НУБІП УКРАЇНИ

$$M_{CO_2} = 345 \cdot 1,821 \cdot 0,9 = 0,565 \text{ тонн } CO_2 \text{ на рік};$$

Використовуючи обчислені величини об'ємів викидів вуглекислого газу, обчислимо грошові надходження за реалізацію квот на викиди в атмосферу парникових газів. При цьому прийнемо, що вартість квоти на викиди в атмосферу 1 т. вуглекислого газу становить 7,2 дол. США, або 36 грн. у цінах 2006 року. Для розрахунків застосуємо наступну формулу:

НУБІП УКРАЇНИ

$$C = M_{CO_2} \cdot B, \quad (6.10)$$

НУБІП УКРАЇНИ

де C - грошові надходження за рахунок реалізації квот на викиди вуглекислого газу;

M_{CO_2} - річні об'єми викидів вуглекислого газу, які могли б бути при виробництві електроенергії тепловими електростанціями у

НУБІП УКРАЇНИ

кількості, що дорівнює кількості електроенергії, генерованої ВЕУ;

B - вартість квот на викиди вуглекислого газу.

Підставляючи у залежність (6.10) числові значення, маємо:

- для електростанцій, що працюють на вугіллі:

НУБІП УКРАЇНИ

$$C = 1,1 \cdot 36 = 39,6 \text{ грн.};$$

- для електростанцій, що працюють на природному газі:

$$C = 0,565 \cdot 36 = 20,34 \text{ грн.}$$

НУБІП УКРАЇНИ

Таким чином, за рахунок впровадження у роботу ВЕУ потужністю 1,5 кВт грошові надходження за рахунок реалізації квот на викиди вуглекислого газу для електростанцій, що працюють на вугіллі, становлять 39,6 грн. на рік, а для електростанцій, що працюють на природному газі - 20,34 грн. на рік.

Отриманий як завдяки зменшенню грошового збору, так і завдяки реалізації квот на викиди вуглекислого газу еколого-економічний ефект слід

враховувати при оцінці загальної економічної ефективності спорудження та експлуатації ВЕУ потужністю 1,5 кВт. Це дасть можливість зменшити експлуатаційні витрати за рахунок включення до них величини збору за викиди забруднюючих величин зі знаком мінус. Окрім того, до надходжень від реалізації електроенергії включаються надходження від продажу квот на викиди CO₂.

Економічні розрахунки показали, що при врахуванні перелічених коштів собівартість 1кВт·год електроенергії, яка виробляється вітроагрегатом, буде на 5-7% нижчою. При цьому термін окупності вітроелектрогенеруючих установок знижується в 1,05 разів.

Слід підкреслити, що еколого-економічний ефект використання енергії вітру замість органічного палива буде більшим при заміні вітроенергетичними установками енергогенеруючих потужностей, що працюють на вугіллі, ніж енергогенеруючих потужностей, що працюють на природному газі. Зазначене пояснюється тим, що при використанні вугілля у порівнянні з природним газом маємо більшу кількість викидів забруднюючих речовин. Тому еколого-економічний та екологічний ефект від заміщення вітровими установками вугільних електростанцій буде більшим, ніж електростанцій, що працюють на природному газі.

ВИСНОВКИ

1. При розрахунках економічної ефективності вітроелектрогенеруючих установок запропоновано враховувати екологічний та еколого-економічний

ефект.

2. При розрахунках собівартості електроенергії, що генерується вітроагрегатом, та терміну його окупності пропонується виключити з експлуатаційних витрат ті, що пов'язані з платежами за техногенний вплив на навколишнє середовище.

3. Показано, що величина коштів, які отримуються завдяки врахуванню екологічного та еколого-економічного ефекту від експлуатації вітроенергетичних агрегатів, залежить від виду органічного палива, яке використовується для генерації електроенергії на традиційних

електростанціях. При цьому питомі викиди забруднюючих речовин становлять: для електростанцій, що працюють на природному газі, - 0,6 кг/кВт·год, для електростанцій, що працюють на вугіллі - 1,2 кг/кВт·год.

Питоме зменшення збору за викиди забруднюючих речовин становить: для електростанцій, що працюють на вугіллі, - 0,57 коп./кВт·год, для газових електростанцій - незначне.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Закон України «Про енергетику». В редакції від 1 липня 2010 року № 2388-VI.

2. Закон України «Про енергозбереження». (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2006, № 15, ст.126).

3. Закон України №555-IV від 20.02.2003р «Про альтернативні джерела енергії».

4. Правила устрою електроустановок / Минэнерго СССР. – 6-е изд.; перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 640 с.

5. Правила улаштування електроустановок (ПУЕ – 2006).

Розділ 1. Загальні правила. Глава 1.7 Заземлення і захисні заходи електробезпеки.

Глава 1.9 Зовнішня ізоляція електроустановок.

Розділ 2. Передавання електроенергії.

Глава 2.4 Повітряні лінії електропередавання напругою до 1 кВ.

Глава 2.5 Повітряні лінії електропередавання напругою вище 1 кВ до 750 кВ.

Розділ 6 . Електричне освітлення.

6. ДНАОН 0.00. – 1.32 – 01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних електроустановок. – К.: ЦПТ, Фірма "Гранма", 2001. – 117 с.

7. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Затверджено Наказом Міністерства палива та енергетики України за № 258 від 25.07.2006. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України за № 1143/13017 від 25.10.2006.

8. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. К.: Основа, 1998. -380 с.

9. Правила користування електричною енергією. Затверджено постановою НКРЕ 31.07.96 N 28 у редакції постанови НКРЕ від 17.10.2005 N 910. Зареєстровано в Міністерстві юстиції України 18 листопада 2005 р. за N 1399/11679

10. Система планово-предупредительного ремонта и технического обслуживания электрооборудования сельскохозйственных предприятий / Госагропром СССР. – М.: ВО Агропромиздат, 1987. – 191 с.

11. Лут М.Л., Мірошник О.В., Трунова І.М. Основи технічної експлуатації енергетичного обладнання АПК.: Підручник для студентів ВНЗ. – Харків, Факт, 2008. – 438 с.

12. Кравчик А.Э. и др. Выбор и применение асинхронных двигателей / А.Э. Кравчик, Э.К. Стрельбицкий, М.М. Шлаф. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 96с.

13. Червінський Л.С., Борщ Г.М. та ін.; Електричне освітлення та опромінення. Методичні вказівки до виконання курсової роботи. – К.: НВК НАУ, 2001. – 35с.

14. Правила технічної експлуатації тепловикористовуючих установок і теплових мереж, Держенергонагляд України.: -К.: "Дисконт", 1995.- 81с.

15. ДНАОП 0.00.-1.32-01. «Правила будови електроустановок. Електро-обладнання спеціальних електроустановок.» – К.: ПП «Фірма «Гранмна», 2001. – 117 с.

16. ГKD 34.20.302-2002. Норми випробування електрообладнання. - К.: Міністерство палива та енергетики України. Об'єднання енергетичних підприємств. «Галузевий резервно-інвестиційний фонд розвитку енергетики», 2002.

17. http://winder.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=45&Itemid=44

1. Онілко О.Ф., Коробко Б.П. Мала вітроенергетика – К.: Укр. академія наук нац. Прогресу, 2001. – 46 с.

2. Твайдел Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии. М.: Энергоатомиздат.

3. Ссадчий А.И. Преобразование и использование ветровой энергии. – К.: Техника, 1992. – 174 с.

1. Мокін Б.І. До питання вибору вітрових двигунів і електричних генераторів вітрових електричних станцій / Б.І. Мокін, О.Б. Мокін, О. А. Жукова // Вісн. Вінницьк. політехн. ун-ту. – 2007. – № 6 – С. 52-56

2. Щур І.З. Багатофункціональне керування активним випрямлячем з локальній вітроенергетичній системі з вертикальною віссю обертання / І.З. Щур, О.Р. Турленко // Вісн. Нац. ун-та «Харків. політехн. ун-т» Вип. 30. Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика. - Харків, 2008. - С. 418-420.

3. Щур І.З. Енергетична ефективність різних способів відбору потужності від синхронного генератора з постійними магнітами у вітроенергоустановці / І.З. Щур, О.Р. Турленко // Вісн. Нац. ун-та «Львівська політехніка» - 2009. - № 654. - С. 272—277

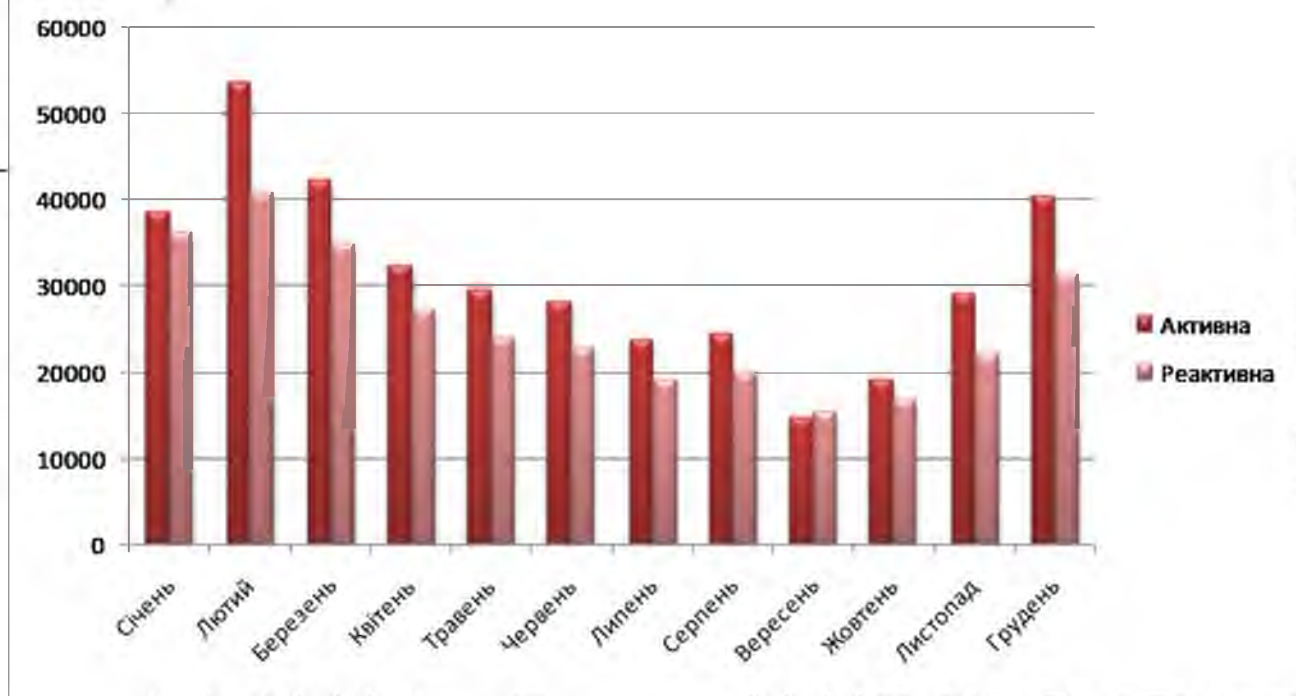
4. Щур І.З. Оптиміальне керування електричним навантаженням синхронного генератора з постійними магнітами у вітроенергоустановці / І.З. Щур, О.Р. Турленко // Наук.-тех. журн. «Електроінформ» «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика». Львів, 2009. — С. 321—325.

1. Шихайлов К.О., Фаворський Ю.П. Особливості конструкції і використання вітроенергетичних установок малої потужності // Відновлювана енергетика - 2005. - № 1. - С. 55-59.

2. Тонкаль В.Е., Денисюк С.П., Вихорев Ю.А. Методи и средства разработки и внедрения региональных комплексных научно-практических программ энергосбережения. – К.: Институт проблем энергосбережения НАН Украины. - 1995. - Т. - 315 с.

3. Шидловський А.К., Ковалко М.П. Паливно-енергетичний комплекс України на порозі третього тисячоліття. - К.: Підприємство "Укренергозбереження" НАН України-2001.-400 с.

4. Ковалко М.П., Денисюк С.П. Енергозбереження-пріоритетний напрямок державної політики. - К.: АТ "Укренергозбереження" НАН України. - 1998.- 506



112

Інст. Я.Ф. - К.:

диційних
України. -

авніцтво

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України