

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Розробка конструкції побутового
вітрогенератора

Галузь знань 14 Електрична інженерія
Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

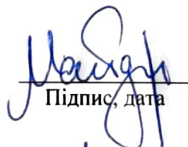
Шифр БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Виконав студент
3 курсу група ЕТс-21-1


Підпис

Фадєєв О.О.
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

к.т.н., доц. Майдан П.С.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

С.І. Тимощук
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
Зав. кафедри МАЕЕС


Підпис, дата

д.т.н., проф. Поліщук О.С.
Ініціали, прізвище

17 06 2024 р.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 14 Електрична інженерія

Шифр і назва

Спеціальність 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Шифр і назва

Спеціалізація _____

Освітня програма Електропобутова техніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри МАЕЕС

11.05.2024

ЗАВДАННЯ
НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Фадєєв Олег Олександрович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка конструкції побутового вітрогенератора

керівник роботи Майдан Павло Сергійович, к.т.н., доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 15 02 2024 р. № 8

2. Строк подання студентом роботи на кафедру МАЕЕС

3. Вихідні дані до роботи енергетичні характеристики силового обладнання та мережі

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

Вступ. 1 Огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень. 2. Проектування конструкції побутового вітрогенератора. 3. Розрахунки, що підтверджують працездатність. Загальні висновки. Перелік джерел посилань.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

1. Варіанти підключення вітроенергетичної установки (ДО, А1). 2. Інвертор для вітроенергетичної установки (ЕЗ, А1). 3 Контролер для вітроенергетичної установки (ЕЗ, А1). 4. АВР для вітроенергетичної установки (ЕЗ, А1). 5. Вітроенергетична установка (ВЗ, А1).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1. Огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень		
2. Проектування конструкції побутового вітрогенератора		
3. Розрахунки, що підтверджують працездатність		
4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу		

Студент


Підпис

О.О. Фадєєв
Ініціали, прізвище

Керівник роботи


Підпис


П.С. Майдан
Ініціали, прізвище

АНОТАЦІЯ

до бакалаврської кваліфікаційної роботи студента
спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

1. Прізвище, ім'я та по батькові Фадєєв Олег Олександрович
2. Тема магістерської роботи Розробка конструкції побутового вітрогенератора
3. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання опонента _____
4. Об'єм бакалаврської роботи: креслень 5 арк., сторінок записки 54

5. Основні розділи розрахунково-пояснювальної записки: _____
В першому розділі проаналізовано використання поновлювальних джерел енергії та проблематику використання енергії вітру. В другому розділі було визначено структуру вітроенергетичної установки, наведено перелік основних та додаткових компонентів без яких не можлива робота ВЕУ. Описані особливості конструкцій промислових та побутових вітрогенераторів, проаналізовані проблеми, що виникають при використанні ВЕУ та представлені перспективи використання малих ВЕУ. В третьому розділі розроблено схему забезпечення об'єкта електроенергією, підбрано основне обладнання для проекту ВЕУ, розраховано сили струмів виникаючого короткого замикання для проекту ВЕУ, виконано підбір апаратури керування і захисту для проекту ВЕУ, підбірано пристрій автоматичного вводу резерву для ВЕУ, розраховано та вибрано акумуляторні батареї для проекту ВЕУ Вступ. 1 Огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень. 2. Проектування конструкції побутового вітрогенератора. 3. Розрахунки, що підтверджують працездатність. Висновки.

Підпис студента 

"17" 06 2024 р.

РІШЕННЯ ЕК:

Протокол №2 від "26" 06 2024 р.

Оцінка проекту ЕК добре / С
Рекомендації ЕК _____




Особливі відмітки _____

Технічний секретар 

"26" 06 2024 р.

Зміст

	с.
Вступ	5
1 Огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень	6
1.1 Використання поновлювальних джерел енергії	6
1.2 Проблематика використання енергії вітру	8
Висновки до першого розділу	13
2 Проектування конструкції побутового вітрогенератора	14
2.1 Структура вітроенергетичної установки	14
2.2 Промислові та побутові вітрогенератори	16
Висновки до другого розділу	23
3 Розрахунки, що підтверджують працездатність	24
3.1 Схема забезпечення об'єкта електроенергією	24
3.2 Вибір основного обладнання для проєкту ВЕУ	25
3.3 Розрахунок струмів короткого замикання ВЕУ	31
3.4 Підбір апаратури керування і захисту для проєкту ВЕУ	35
3.5 Підбір пристрою автоматичного вводу резерву	42
3.6 Розрахунок акумуляторної батареї для проєкту ВЕУ	45
Висновки до третього розділу	49
Загальні висновки	50
Перелік джерел посилань	51
Додатки	54

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ			
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	Розробка конструкції побутового вітрогенератора	Літера	Аркуш	Аркушів
Виконав		Фадєєв О.О.				у	4	54
Перевір.		Майдан П.С.			ХНУ гр. ЕТс-21-2			
Н.контр.		Поліщук О.С.						
Затвер.								

Вступ

Загально відомо, що виробництво енергії - необхідним засобом для існування і подальшого розвитку людства, впливає як на природу так і навколишнє середовище. З одного боку, в побутову та промислову сфери діяльності людини настільки твердо увійшла електро- та теплова енергія, що людина навіть і не мислить свого існування без них і споживає невичерпні ресурси. З іншого боку, людство все більше загострює свою увагу на економічному аспекті виробництва енергетики, які повинні бути екологічно чистими.

Це свідчить, в свою чергу, про необхідність розв'язання цілого комплексу питань, серед яких практичне використання в народному господарстві новітніх досягнень, перерозподіл коштів на покриття потреб життєдіяльності людства, пошук і розроблення нових альтернативних технологій для вироблення електро- й теплової енергії тощо.

У другій половині минулого століття перед людством постала глобальна проблема - це забруднення навколишнього середовища продуктами згоряння органічного традиційного палива. Навіть якщо розглядати окремо кожен галузь даної проблеми, то картина виявиться жахливою.

Необхідно враховувати продукти згоряння палива на ТЕС та ТЕЦ, затоплення величезних територій ГЕС і постійну небезпеку в районах АЕС. Але у вказаної проблеми є і інша сторона: всі джерела енергії, що використовуються, є вичерпними або непоновлювальними ресурсами. Тобто через століття за вказаних темпів споживання нафти, вугілля чи газу населення Землі загрузне в енергетичній кризі [1-3].

Таким чином, на сьогодні перед усіма вченими світу стоїть проблема знаходження і розроблення та використання нових альтернативних або поновлювальних джерел енергії. У даній кваліфікаційній роботі буде розглянуто розробку конструкції побутового вітрогенератора.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						5
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

1 Огляд та аналіз існуючих технічних та технологічних рішень

Відомо, що сучасний період розвитку часто характеризують через економіку, енергетику та екологію. Енергетика в цьому ряду посідає специфічне місце. Вона є визначальною як для економіки, так і для екології. Саме від енергетики вирішальною мірою залежить економічний потенціал держав і добробут населення. Крім того існує вплив на навколишнє середовище, екосистеми та біосферу загалом. Найгостріші екологічні проблеми (кислотні опади, зміна клімату, загальне забруднення навколишнього середовища та інші) прямо або побічно пов'язані з виробництвом або з використанням енергії. Енергетиці належить першість не тільки в хімічному, а й в інших видах забруднення: аерозольному, тепловому, електромагнітному та радіоактивному. Тому не буде перебільшенням сказати, що від розв'язання енергетичних проблем залежить можливість розв'язання основних екологічних проблем [4-6].

Нині енергетичні потреби забезпечуються переважно за рахунок використання трьох видів енергоресурсів: органічного палива, води та поділу атомного ядра. Енергія води й атомна енергія використовуються людством після перетворення на електричну енергію. Водночас значна частина енергії, що міститься саме в органічному паливі, використовується у вигляді теплової енергії, і тільки частина її перетворюється на електричну енергію. Однак і в тому, і в іншому випадку вивільнення енергії з органічного палива пов'язане з спалюванням палива, а отже, і з надходженням майже всіх продуктів горіння в навколишнє середовище [4-6].

1.1 Використання поновлювальних джерел енергії

Альтернативна (поновлювальна) енергетика, заснована на використанні так званих поновлюваних джерел енергії. До них відносять уже наявні джерела енергії, що використовують енергію припливів і відливів, морських хвиль,

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

галузях промисловості. Крім того, вартість енергії, виробленої багатьма ПДЕ, вже сьогодні нижча за вартість енергії з традиційних непоновлювальних джерел, та й терміни окупності будівництва нових альтернативних електростанцій значно менші. Ціни на 1 кВт альтернативної енергії падає, на 1 кВт традиційної - постійно зростає;

- еволюційно-історична: у зв'язку з обмеженим обсягом паливних ресурсів на Землі, а також експоненціальним наростанням катастрофічних змін в біосфері та атмосфері нашої планети наявна традиційна енергетика видається безвихідь; для еволюційного розвитку суспільства необхідно негайно розпочати поступовий перехід на ПДЕ [1-3].

1.2 Проблематика використання енергії вітру

Енергія вітру на нашій планеті оцінюється в діапазоні від 175 до 219 тис. ТВт*год на рік, при цьому потужність, що буде розвиватись вітром, досягатиме $(20...25) \cdot 10^9$ кВт. Це майже в три рази більше сумарної витрати енергії на всій планеті. Проте вчені вважають, однак, що корисно може бути використано не більше 5% даної енергії [7-9].

Постійні діючі повітряні течії з боку північної та південної півкулі до екватора утворюють так звану систему пасатів. Загальна циркуляція атмосфери відбувається головним чином через обертання нашої планети, під час якого повітряні маси відкидаються, під дією відцентрової сили, в районі екватора у верхні шари атмосфери. На місце даних мас повітря, з півночі і півдня планети надходять нові повітряні шари.

Крім постійних рухів повітряних шарів існують також періодичні рухи повітря з моря на суходіл і назад протягом доби (так звані бризи) і протягом року (так звані мусони). Походження мусонів та бризів зумовлене різними рівнями нагрівання суші і води внаслідок різної теплоємності речовин.

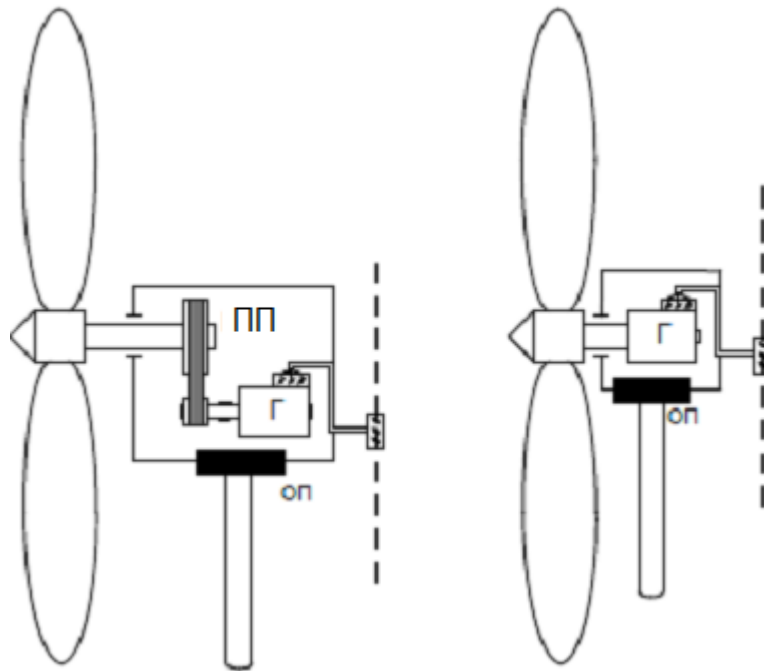
Під час використання енергії вітру на сучасному етапі розвитку прагнуть

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

«відсоток» у енергобаланс світу.

Побутові ВЕУ, на відміну від промислових ВЕУ, зазвичай мають загальну потужність не вище 10-15 кВт. З огляду на велику вартість ВЕУ, серед населення найбільшим попитом користуються ВЕУ відносно невеликої потужності до 5 кВт. На рисунку 1.2 представлено кінематичні схеми ВЕУ, що приводиться в рух вітротурбіною через використання пасової передачі - рисунок 1.2, а та безпосередньо від валу вітротурбіни - рисунок 1.2, б. Пасова або зубчата передачі використовуються для збільшення швидкості обертання генератора.

Генератор, що приводиться в рух безпосередньо від вітротурбіни, як правило тихохідний (рис. 1.2) [7-9].



а – генератор з'єднаний з вітротурбіною за допомогою пасової передачі;

б – генератор встановлено безпосередньо на валу вітротурбіни

Рисунок 1.2 - Кінематичні схеми ВЕУ:

У вітрової енергії є декілька суттєвих недоліків, які ускладнюють використання, але аж ніяк не зменшують головної переваги вітрової енергії - екологічної чистоти. Вітрова енергія сильно розсіяна в просторі, тому необхідні ВЕС, здатні постійно працювати з досить високим ККД. Вітер дуже

електроенергії для власних потреб, а всій Західній Європі вітрова енергія дає близько 2,5 тисяч МВт електроенергії.

Відомо, що вітрова енергія - це непрямая форма сонячної енергії, що є наслідком різниці рівнів температур в атмосфері планети. У 80-ті рр. минулого століття вартість 1 кВт*год вітрової енергії зменшилась на 70%, і тепер вона становить 6-8 євроцентів, що робить вітрову енергію конкурентоспроможною по відношенню до енергії, яку виробляють на нових ТЕС, які спалюють вугілля. Спеціалісти впевнені, що вітряні турбіни скоро будуть вдосконалені і стануть більш ефективними. Так, США до 2030 р. зможуть отримувати 10-20% електроенергії за рахунок якраз вітрової енергії.

Вітрова енергія саме при швидкостях понад 5 м/с використовується для вироблення електроенергії [7-9].

Існують цілі національні програми освоєння вітрової енергії в США, Канаді, Франції, Німеччині, Швеції та інших країнах світу.

Перетворення вітрової енергії на електричну енергію складало у 80-ті роки минулого століття у світовому масштабі трохи більше 1,5 тисячі МВт, причому майже 85% даної енергії було вироблено в штаті Каліфорнія, США. Зокрема на фірмі «Pacific Gas and Electric», що знаходиться в районі каліфорнійського міста Алтамаунт-Пасс, розташовано 7,5 тисяч вітроустановок, причому вартість електроенергії, яку вони виробляють становить 7 євроцентів/кВт-год (на сучасних ТЕС ціна складає 5 євроцентів/кВт-год). При цьому в ВЕС Алтамаунт-Пасс використовуються старі технологічні та конструктивні рішення, за винятком використання композиційних матеріалів при виготовленні лопатей ВЕС та мікропроцесорів для контролю за роботою генераторів станції. Висока ефективність роботи ВЕС була досягнута завдяки швидкому впровадженню рішень, які несподівано виникали в процесі будівництва й експлуатації та були продиктовані практичною доцільністю, що абсолютно неможливо використовувати до великих ТЕС чи АЕС.

Що ж стосується більш серйозних та нових досягнень у вітроенергетиці, то

										Арк.
										12
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	БРМА 24.00.00.000 ПЗ					

в інституті EPRI та на фірмі «WindPower» (Лівермор, США) створили прототип вітрової енергетичної турбіни зі змінною частотою обертання та потужністю до 300 кВт. Конструкція лопатей вітряка і впровадження електронної системи керування забезпечують обертання ротора з оптимальною частотою в достатньо широкому діапазоні швидкостей вітру. Крім того, створена установка вирізняється зниженим накопиченням втомних напружень у матеріалах і, відповідно, невисокою вартістю експлуатації. Подальше вдосконалення електронних та, звичайно, аеродинамічних компонентів ВЕС, як вважають у Міністерстві енергетики США, надасть можливість через 20 років зменшити вартість електроенергії, до 3,5 євроцентів/кВт-год із помірними вітровими ресурсами.

З економічної точки зору найвигідніше під'єднувати вітроустановки до енергосистем у періоди пікових навантажень (в Алтамаунт-Пас і Солано, США на часту ВЕС припадає половина енергії пікових навантажень).

Енергія вітру є відносно екологічно чистою: проблема шуму під час роботи ВЕС чи перешкоди в телевізійних каналах, створювані електростатичними зарядами на сталевих лопатях, можуть бути досить легко вирішені. Складніше запобігати загибелі птахів на лопатях і усунути сприйняття деякими людьми ВЕС в якості чужорідних елементів пейзажу [7-9].

Висновки до першого розділу

Використання енергії вітрового потоку для вироблення електричної енергії має досить таки хороші перспективи через територіальні особливості нашої країни, які дозволяють доволі масштабне впровадження вітроенергетики.

Економічно доцільно використовувати вітряні електростанції потужністю до 5 кВт (або малу вітроенергетику) для забезпечення невеликих приватних будинків або малих підприємств.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Використовується для будь-якого типу електроприладів - медичне обладнання, електродвигуни та ін.;

- третій тип - трифазний – використовується для перетворення сили струму на трифазну з рівнем напруги в 380В. Найчастіше використовується для трифазного обладнання;

- четвертий тип - мережевий - на відміну від попередніх типів дозволяє системі працювати без АКБ, але також можна використовувати тільки для виведення електроенергії в громадську електромережу. Вартість, зазвичай, у кілька разів перевищує вартість звичайних мережевих інверторів. Іноді ціна вища за ціну інших компонентів ВЕУ разом узятих [7-9].

2.2 Промислові та побутові вітрогенератори

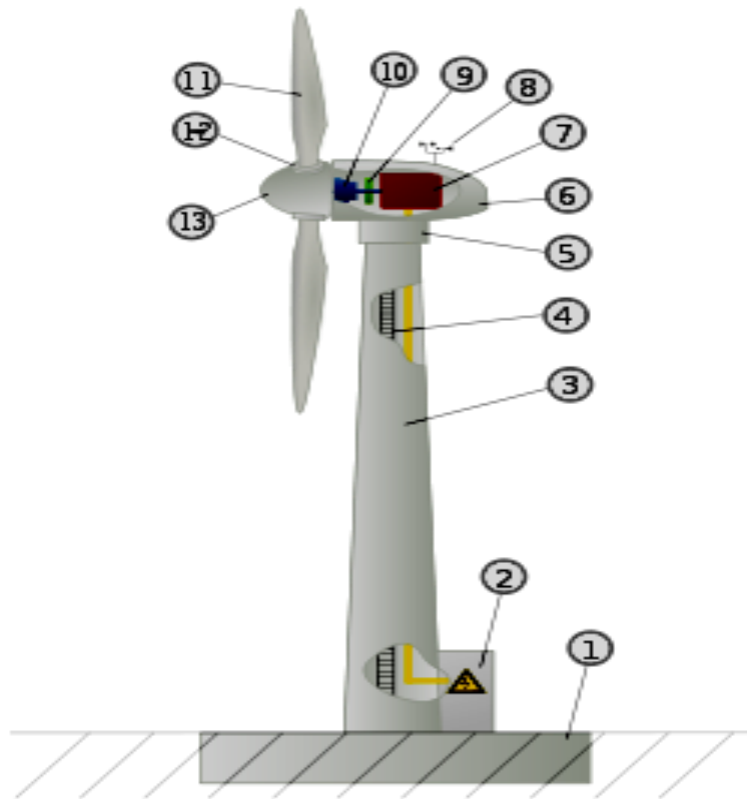
Вітровий потік розкручує ротор, вироблена електрична енергія подається через контролер на АКБ. Інвертор використовується для перетворенням напруги на контактах АКБ в придатну для використання.

Відомо, що ВЕУ - пристрій для перетворення кінетичної енергії вітру в електричну [1-3, 7-9].

ВЕУ можна розділити на 2 категорії: промислові та домашні (або ВЕУ для приватного використання). Промислові ВЕУ встановлюються або державою або великими енергетичними корпораціями. Як правило, їх об'єднують у мережі, в результаті виходить велика ВЕС, головна відмінність від традиційних (ТЕС, АЕС) - повна відсутність як сировини, так і відходів. Єдина важлива вимога для ВЕС - високий середньорічний рівень вітрового потоку. Потужність сучасних ВЕУ сягає до 6 МВт.

На рисунку 2.1 представлено загальну будову ВЕУ [7-9].

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		



1 – основа; 2 - силова шафа, що включає силові контактори та ланцюги керування; 3 – вежа або щогла; 4 – драбина або ліфт; 5 - поворотний механізм; 6 – гондола; 7 - електричний генератор; 8 - система стеження за напрямком і швидкістю вітру (або анемометр); 9 - гальмівна система; 10 – коробка передач; 11 – лопаті; 12 - система зміни кута атаки лопаті ВЕУ; 13 - ковпак ротора

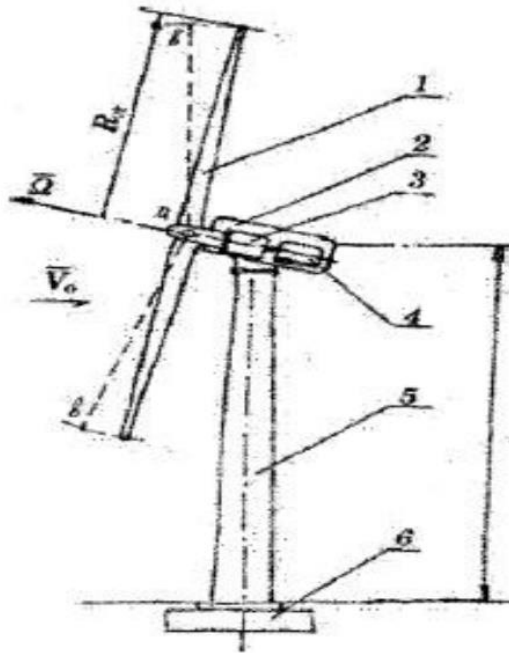
Рисунок 2.1 – Загальна будова ВЕУ:

Класифікація існуючих ВЕУ [1-3, 7-9].

Існують два головних типи вітротурбін: із горизонтальною віссю обертання (рис. 2.2) і із вертикальною віссю (рис. 2.3). Вертикально-осьові турбіни працюють за низьких швидкостей вітрового потоку, але володіють малою ефективністю. Тому вертикально-осьові системи зустрічаються досить рідко і використовуються зазвичай в домашніх системах.

Індустрія так званих домашніх вітрогенераторів активно розвивається. Уже зараз за цілком помірні гроші можна придбати ВЕУ і на довгі роки забезпечити енергонезалежність, наприклад, власному замиському будинку. Зазвичай для

забезпечення електроенергією невеликого будинку цілком достатньо установки номінальною потужністю 1 кВт за швидкості вітрового потоку до 9 м/с. Якщо місцевість не вітряна, ВЕУ можна доповнити фотоелектричними елементами або дизель-генератором, незалежні джерела енергії будуть чудово доповнювати один одного.



1 - ВД; 2 - гондола; 3 - мультиплікатор; 4 - електрогенератор; 5 - щогла;
6 - фундамент

Рисунок 2.2 - Конструктивна схема горизонтально-осьового ВЕУ

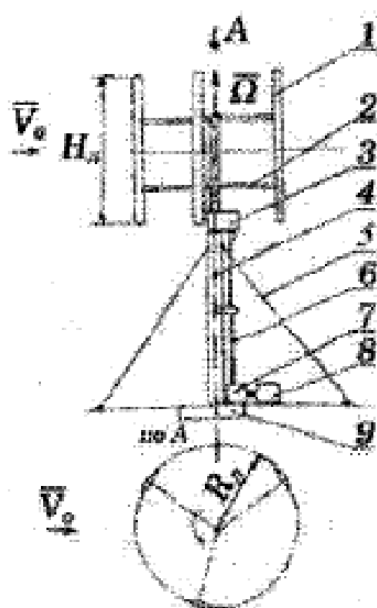
Промисловий ВЕУ будується на підготовленому майданчику приблизно за тиждень чи півтора. Отримання дозволів регулюючих органів на будівництво вітряної ферми може зайняти приблизно рік або навіть більше.

Для будівництва необхідні під'їзна дорога до будівельного майданчика, місце для розташування необхідних вузлів під час монтажу, важка підйомна техніка з виносом стріли понад півсотні метрів, оскільки гондоли ВЕУ встановлюють на висоті до півсотні метрів.

Під час експлуатації промислових ВЕУ виникають різні проблеми [7-9]:

- обмерзання лопатей та інших частин ВЕУ. Обмерзання здатне призвести

до збільшення маси лопатей ВЕУ і знизити ефективність всієї роботи. Для експлуатації в арктичних областях частини ВЕУ повинні бути виготовлені зі спеціальних морозостійких матеріалів, відповідні і рідини, що використовуюються в генераторі, не повинні замерзати. Також не може замерзнути з встановленого обладнання, це прилад який відповідає за вимірювання швидкості вітрового потоку. У даному випадку ефективність ВЕУ може серйозно знизитися. Через обмерзання прилади для вимірювання швидкості можуть показувати низький рівень швидкості вітрового потоку, і ротор ВЕУ буде залишатись нерухомим;



1 - ВД; 2 - силові елементи; 3 - верхній редуктор; 4 - щогла; 5 - силова відтяжка;
6 - вал; 7 - нижній редуктор; 8 - електрогенератор; 9 - основа

Рисунок 2.3 - Конструктивна схема вертикально-осьового ВЕУ;

- неправильне влаштування фундаменту ВЕУ. Якщо фундамент щогли неправильно розрахований, або неправильно влаштований дренаж фундаменту щогли, тоді щогла від сильного пориву вітру може впасти;

- удари блискавок - можуть призвести до виникнення пожежі. На сучасних ВЕУ встановлюються спеціальні блискавковідвідні системи;

- нестабільність роботи генератора. Через те що в більшості промислових ВЕУ встановлені асинхронні генератори, стабільна робота яких залежить від

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.
19

сталого рівня напруги в ЛЕП;

- аварійні відключення – при виникненні різких коливань швидкості вітрового потоку спрацьовує спеціальний електричний захист апаратів, що входять до складу системи, що знижує ефективність системи в цілому. Так само для великих ВЕС висока ймовірність спрацьовування спеціального захисту на ЛЕП, що відходять від станції;

- виникнення пожеж - може виникнути через витікання мастила з гідравлічних систем, тертя обертових частин усередині гондоли, обрив кабелів тощо. Пожежі ВЕУ рідкісні, але їх важко погасити через віддаленість ВЕС і велику висоту, на якій може відбуватися пожежа. На сучасних ВЕУ встановлюються спеціальні системи пожежогасіння.

Перспективні розробки ВЕУ [7-9].

Департамент Енергетики США (або DoE) фінансує розроблення та випробування ВЕУ загальною потужністю від 5 до 8 МВт як для наземного використання, так і для встановлення, наприклад, в морі.

Компанія StatoilHydro (Норвегія) розробила плаваючі ВЕУ для встановлення на морських станціях великої глибини. StatoilHydro побудувала демонстраційну версію ВЕУ загальною потужністю 2,3 МВт у 2009 року. Турбіна під назвою Nuwind важить майже 5,5 тисяч тон при загальній висоті 65 метрів. Розташовується ВЕУ на відстані в 10 кілометрів від острова Кармой, неподалік від південно-західного берега материкової Норвегії. Компанія StatoilHydro планує в майбутньому довести загальну потужність турбіни до 5 МВт, а діаметр ротора - до 120 метрів.

Компанія Magenn розробила літальний апарат легший за повітря зі встановленим на ньому ВЕУ. Літальний апарат піднімається на висоту від 120 до 300 метрів, тому відпадає необхідність будувати щоглу і займати місце під фундамент. Апарат працює в діапазоні швидкостей вітрового потоку від 1 до 28 м/с. Літальний апарат може легко переміщатися у більш вітряні регіони.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Компанія Windrotor пропонує нову дуже ефективну конструкцію ротора потужної турбіни ВЕУ, що надасть можливість значно збільшити розміри ротору та коефіцієнт використання енергії вітрового потоку. Передбачається, що дана конструкція ротора стане новим поколінням роторів ВЕУ.

Крім того DoE наприкінці 2007 року оголосив про готовність вкладання коштів в розроблення особливо малих (до 5 кВт) ВЕУ для персонального використання.

У травні 2009 року в Німеччині було запущено в експлуатацію перший ВЕУ, встановлений на гібридній щоглі компанії Advanced Tower Systems (ATS). Нижня частина щогли висотою 76,5 метрів повністю створена із залізобетону. Верхня частина щогли висотою до 55 метрів побудована зі сталі. Загальна висота ВЕУ (разом із лопатями) складає 180 метрів. Збільшення висоти щогли дасть змогу наростити вироблення електроенергії до 20% [7-9].

Малі ВЕУ [10, 11].

До малої вітроенергетики відносять ВЕУ загальною потужністю нижчою ніж 100 кВт. ВЕУ загальною потужністю нижче 1 кВт відносять до мікро-вітряної енергетики, такі конструкції використовують на яхтах, сільсько-господарських фермах для водопостачання, тощо.

Малі ВЕУ можуть працювати автономно, тобто без наявності підключення до загальної електричної мережі.

Крім того існує думка, що використання малих ВЕУ у побуті малодоцільне через:

- високу вартість АКБ приблизно в 25 % вартості ВЕУ (використовується в якості джерело безперебійного живлення за відсутності або зникнення зовнішньої мережі);

- високу вартість інвертора приблизно 50% вартості ВЕУ (використовується для перетворення змінної або постійної сили струму, отримуваної від вітрогенератора, на змінну напругу рівнем 220В з частотою

										Арк.
										21
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	БРМА 24.00.00.000 ПЗ					

діапазонах від 19 до 25°C та у бойлерах гарячого водопостачання в діапазоні від 40 до 97°C без шкоди для користувачів.

За даними Американської Асоціації Вітряної Енергетики (або AWEA) у США в 2006 р. було продано майже сім тисяч малих вітряних турбін, сумарною потужністю в 17 тисяч кВт. Сумарна вартість таких ВЕУ склала \$56082850 (або по \$3,2 тисячі за кВт потужності). В решті світу за той самий 2006 р. було продано дев'ять з половиною тисяч малих турбіни (не враховуючи США), сумарною потужністю майже двадцять тисяч кВт [11, 12].

Найперспективнішими регіонами для розвитку малої ВЕУ вважаються регіони з вартістю електроенергії понад 10 євроцентів за кВт-год. Собівартість електроенергії, виробленої малими ВЕУ в 2006 р. у США складала 11 євроцентів за кВт-год, проте АWEA очікує, що собівартість такої електроенергії знизиться до семи євроцентів за кВт-год.

АWEA прогнозує, що сумарна потужність малих ВЕУ США зросте до 50 тис. МВт, що складатиме майже 3 % від сумарних енергетичних потужностей країни. Вітряні турбіни можуть бути і будуть встановлені в 15 млн. будинках та майже на 1 млн. малих підприємств. У галузі малих ВЕУ будуть зайняті більше десяти тис. осіб, які щорічно виготовлятимуть продукції та послуг на суму понад один млрд доларів США [13, 14].

Висновки до другого розділу

Визначена структура вітроенергетичної установки, наведено перелік основних та додаткових компонентів без яких не можлива робота ВЕУ.

Описані особливості конструкцій промислових та побутових вітрогенераторів, проаналізовані проблеми, що виникають при використанні ВЕУ та представлені перспективи використання малих ВЕУ.

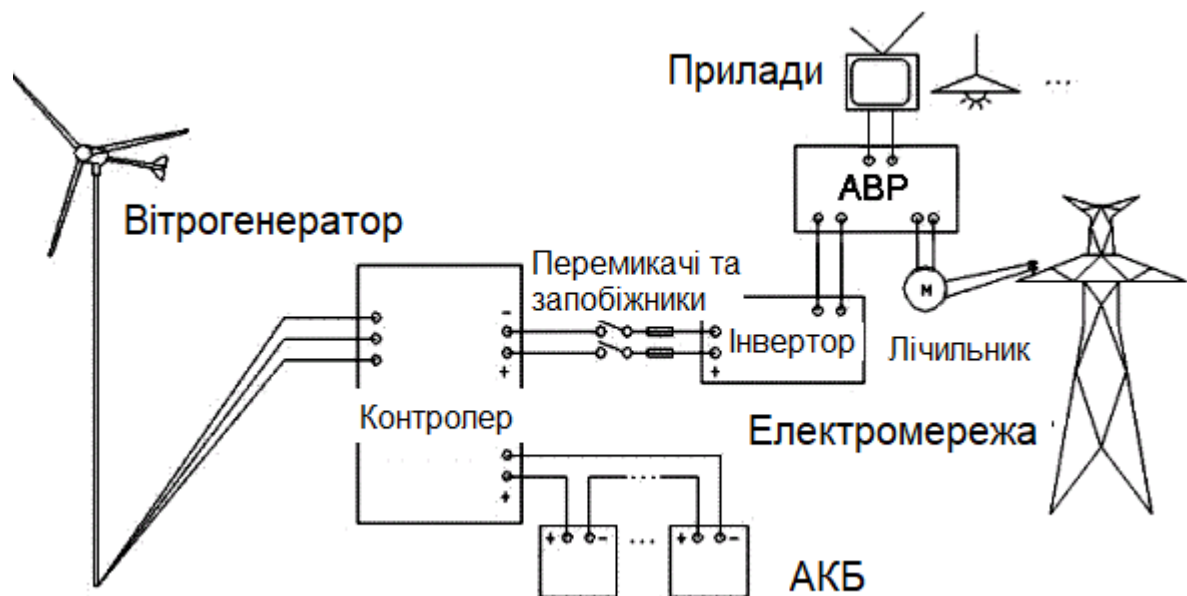
					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

3 Розрахунки, що підтверджують працездатність

3.1 Схема забезпечення об'єкта електроенергією

Схема роботи ВЕУ зі користувачем.

На рисунок 3.1 представлено схему електропостачання користувача від ВЕУ (з акумуляторами) і комутація із загальною мережею.



- 1 – генератор; 2 - контролер (керування); 3 – АКБ; 4 - комутаційний апарат;
5 – запобіжники; 6 – інвертор; 7 - АВР

Рисунок 3.1 - ВЕУ (з акумуляторами) і комутація з мережею:

Дана схема передбачає безперебійне постачання користувача електроенергією в разі перебоїв у загальній мережі електропостачання. У разі відключення основного джерела електроживлення, тобто загальної електромережі, АВР виконує перемикання з основного джерела електроживлення на резервне. Таким резервним джерелом живлення є альтернативне джерело енергії - ВЕУ, яка використовується для перетворення вітрової енергії в електроенергію. Отримана електроенергія через контролер надходить на заряджання АКБ. З АКБ напруга потрапляє на інвертор, який,

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

використовується для перетворення постійної напруги рівня 12В на змінну напругу рівня 220В із частотою 50Гц, тим самим забезпечуючи користувача електроенергією [7-9].

3.2 Вибір основного обладнання для проєкту ВЕУ

Роботу всього проєкту визначають три базові величини:

1) Вихідна потужність ВЕУ (кВт), визначається тільки потужністю перетворювача (інвертора) і не залежить від швидкості вітрового потоку чи ємності АКБ. Носить назву «пікового навантаження». Даний параметр визначає максимальну кількість електроприладів, які можуть бути одночасно підключені до розроблюваного проєкту ВЕУ. Тобто буде не можливо одночасно споживати більше електроенергії, ніж дозволяє загальна потужність встановленого інвертора. Для збільшення вихідної потужності проєкту ВЕУ можливе одночасне підключення декількох інверторів.

2) Час безперервної роботи за відсутності вітру або за слабого вітрового потоку визначається ємністю АКБ (Ампер-годин або кВт) і залежить від потужності та тривалості споживання електроенергії.

3) Швидкість заряду АКБ (кВт/год) залежить від загальної потужності самого генератора. Також даний показник прямо залежить від швидкості вітрового потоку, а побічно від загальної висоти щогли і рельєфу місцевості де вона встановлена. Потужніший генератор слід брати в тому випадку, якщо вітрові потоки в місці встановлення ВЕУ слабкі або користувач споживає електроенергію постійно, але в невеликих обсягах. Для збільшення швидкості заряду АКБ можливе встановлення декількох генераторів одночасно і підключення до однієї АКБ.

Умови підбору ВЕУ та супровідного обладнання.

- бажаний час автономної роботи всієї енергосистеми в безвітряні періоди або періоди, коли споживання електроенергії з АКБ буде перевищувати

										Арк.
										25
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата	БРМА 24.00.00.000 ПЗ					

швидкість зарядки АКБ генератором. Даний параметр визначає кількість і ємність АКБ;

- кількість електроенергії, необхідна об'єкту щомісяця (вимірюється в кВт*год). Такі дані необхідні для виконання підбору генератора, можливо взяти з комунальних рахунків на оплату електроенергії або розрахувати самостійно;

- максимальне навантаження на електромережу в пікові моменти навантаження (вимірюється в кВт), необхідно для виконання підбору інвертора змінної сили струму.

Виконаємо вибір генератора для проєкту ВЕУ.

Для прикладу взято приватний будинок у місті Хмельницький. За попередніми розрахунками приватний будинок споживатиме не більше 150 кВт*год електроенергії щомісяця із урахуванням використання спеціальних енергозберігаючих технологій. Витрати електроенергії не дуже високі, тому що користувачі будуть використовувати для опалення та нагріву води газовий котел, а ВЕУ необхідний тільки для повного забезпечення побутових електроприладів електроенергією (наприклад, холодильник, освітлення).

Користувачі будуть проводити основну частину дня на роботі, а пік споживання електроенергії припадає лише на ранкові та вечірні години. У цей момент можуть бути включені всі електроприлади сумарною потужністю до 0,3 кВт. Будинок буде розташовано на височині і є відкритий простір, навколо місця встановлення ВЕУ, присутній підвід загальної електромережі.

Тому нам необхідно повністю забезпечити 150 кВт*год електроенергії щомісяця із піковими навантаженнями що не будуть перевищувати 300 Вт.

Щоб зрозуміти, як швидко повинні зарядатися АКБ при витраті електроенергії 150 кВт*год на місяць - швидкість заряджання АКБ генератором повинна складати не менше як 0,35 кВт на годину.

Визначимо середнє щогодинне споживання електроенергії [7-9, 11, 12]:

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$W_{\text{сер.г}} = \frac{(W_m/N)}{n}, \quad (3.1)$$

де $W_{\text{сер.г}}$ - середнє щогодинне споживання електроенергії, кВт/год;

W_m - середньомісячне споживання електроенергії;

N -число днів у місяці, в середньому приймаємо $N = 30$;

n -число годин у добі.

$$W_{\text{сер.г}} = \frac{(150/30)}{24} = 0,208.$$

Для того, щоб забезпечити заряд АКБ генератором за даних умов зі швидкістю 0,21 кВт на годину, потрібно взяти генератор, номінальна електрична потужність якого буде щонайменше втричі вищою за необхідну, тому що зазвичай генератор працюватиме максимум на 35% від номінальної потужності.

$$P_{\text{ном}} = 3 \cdot W_{\text{сер.г}}, \quad (3.2)$$

де $P_{\text{ном}}$ - номінальна потужність генератору, Вт.

$$P_{\text{ном}} = 3 \cdot 208 = 624.$$

Для даної ВЕУ обираємо автогенератор А125-14V-55А [18], $U_{\text{ном}} = 14\text{В}$. Даний генератор має високі техніко-економічні показники, простий в використанні, характеристики наведені в табличному вигляді (табл. 3.1).

Проведемо розрахунок швидкості вітрового потоку.

У місті Хмельницького низька середньорічна швидкість вітрового потоку, але відкритий простір і піднесення об'єкта дадуть можливість ВЕУ працювати щонайменше на 30-40% від номінальної електропотужності. Для більш точних

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

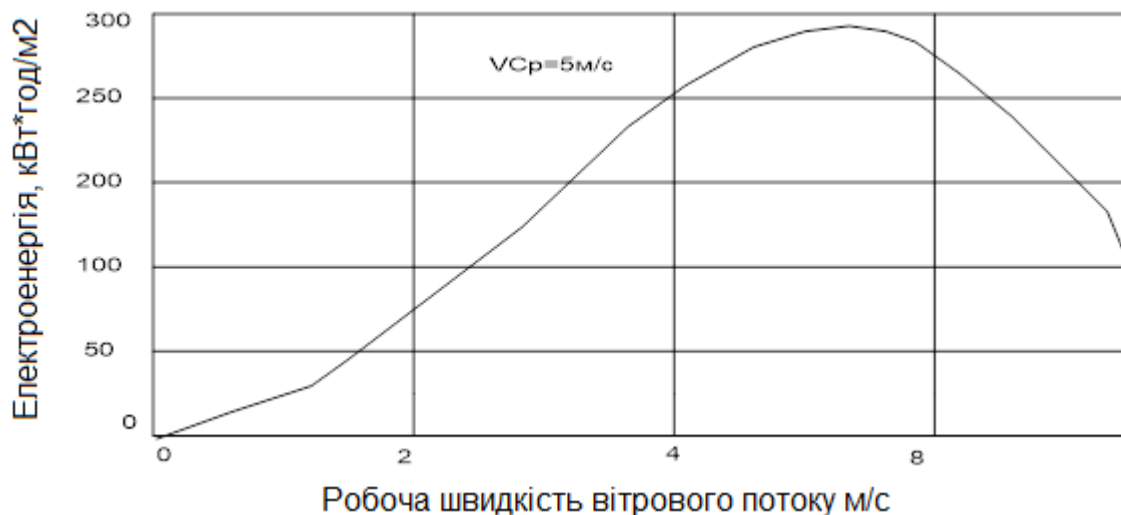
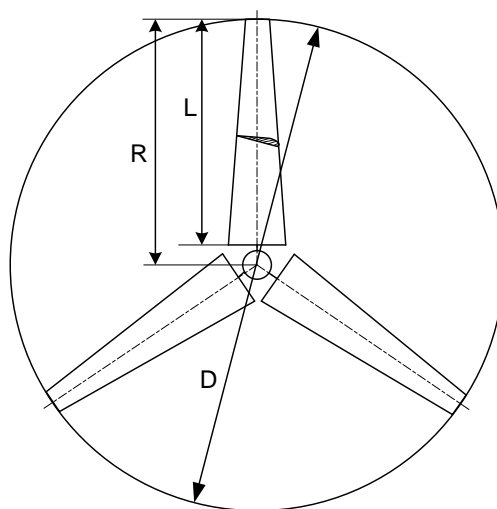


Рисунок 3.2 – Графічна залежність енергії, що передається ВЕУ від швидкості вітрового потоку 5 м/с

Як видно з представленої графічної залежності, функція переданої енергії залежить від розподілу швидкостей вітрового потоку і має явно виражений максимум. Дана властивість використовується для системних ВЕУ.

Проведемо аеродинамічний розрахунок вітроколеса для проекту.

Конструкційна схема вітроколеса з трьома лопатями представлена на рисунку 3.3, де.



R - радіус кола, L - довжина лопаті, D - площина вітроколеса, що омивається потоком

Рисунок 3.3 – Загальна схема вітроколеса:

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата

БРМА 24.00.00.000 ПЗ

Арк.
29

Вітроколеса бувають одно-, двох-, трьох- і багатолопатеві.

Робоча швидкість вітрового потоку для ВЕУ пропелерного типу біля Хмельницької області повинна бути на рівні 6 м/с незалежно від еквівалентної потужності користувача. [7-9, 11].

При зміні еквівалентної потужності користувача за збереження необхідної надійності потужність ВЕУ змінюється пропорційно виразу [7-9]:

$$\frac{N_{ey}}{N_{eyp}} = \frac{N}{N_p}, \quad (3.4)$$

де N_{ey} - потужність ВЕУ при початковому навантаженні, кВт, приймаємо $N_{ey} = 0,77 \text{ кВт}$;

N - вихідна середньодобова еквівалентна потужність навантаження, кВт, приймаємо на рівні $N = 0,2 \text{ кВт}$;

N_{eyp} - розрахункова потужність ВЕУ при іншому навантаженні, кВт;

N_p - розрахункова середньодобова еквівалентна потужність навантаження, кВт.

Підставивши значення отримаємо:

$$N_{eyp} = 2 \cdot N_p. \quad (3.5)$$

Розміри вітроколеса при цьому можна визначити за наступною формулою:

$$D_{ey} = \sqrt{\frac{4 \cdot N_{eyp}}{\pi \cdot V_p \cdot N_{ey}}}, \quad (3.6)$$

де D_{ey} - розрахунковий діаметр вітроустановки, м;

V_p – поточне значення робочої швидкості вітрового потоку, м/с.

Звідки:

$$D_{gy} = \sqrt{\frac{4 \cdot 707}{3,14 \cdot 145,5 \cdot 0,75}} = 2,87 \approx 3 \text{ м.}$$

Виходячи з отриманих даних приймаємо $D_{gy} = 3 \text{ м}$ діаметр вітроколеса, тоді довжина лопаті буде рівною $L = 1,5 \text{ м}$.

3.3 Розрахунок струмів короткого замикання ВЕУ

Мета виконання розрахунку струмів К.З. [19].

К.З. називається всяке непередбачене нормальними умовами роботи з'єднання двох точок електричного кола. У трифазних мережах змінної сили струму при розрахунках враховують виникаюче трифазне та двофазне К.З., а в системах із заземленою нейтраллю також виникаюче однофазне К.З. на землю. Замикання на землю в системах із ізольованою нейтраллю не є К.З., а розглядається як ненормальний режим роботи всієї електричної мережі. Очевидно, що найбільша сила струму протікатиме по ланцюгу при виникаючому трифазному К.З., а найменша сила струму, відповідно, при виникаючому однофазному К.З. Найчастіше сили струму К.З. бувають значно більше сил струму навантаження, але можуть бути прирівняні з ними за величиною. У цьому полягає одна з особливостей роботи сільських електричних мереж, через значну протяжність та розгалуженість [19].

Класифікація видів К.З.

Загально відомо, що К.З. [19] - електричне з'єднання двох точок електричного ланцюга з різними значеннями потенціалу, не передбачене конструкцією пристрою і порушує нормальну роботу пристрою. К.З. може виникати при порушенні ізоляції струмопровідних елементів або внаслідок

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

механічного зіткнення елементів, що працюють без ізоляції. Також К.З. інколи називають стан, коли опір навантаження нижчий за внутрішній опір джерела електроживлення.

У трифазних електричних мережах розрізняють наступні види К.З. і його дії на ланцюг:

- однофазне (або замикання фази на землю) - К(1);
- двофазне (або замикання двох фаз між собою) - К(2);
- двофазне на землю (або дві фази між собою та одночасно на землю) - К(1,1);
- трифазне (або три фази між собою) - К(3).

В електричних машинах можливі наступні види К.З.:

Міжвиткові – замикання між собою витків обмоток статора чи ротора, або замикання обмотки на металевий корпус.

Наслідки при виникненні К.З. - різко зростає сила струму, що протікає в ланцюзі, що зазвичай призводить до механічного або термічного пошкодження пристрою. У місці виникнення К.З. може з'явитися електрична дуга, що в свою чергу нерідко спричиняє виникнення пожежі.

Виникнення К.З. в одному з елементів енергетичної системи здатне порушити її функціонування в цілому — в інших користувачів може знизитися рівень напруги живлення, при виникненні К.З. в трифазних мережах виникає асиметрія напруг, що порушує нормальне електропостачання. У великих енергомережах виникнення К.З. може спричинити важкі системні аварії.

У разі пошкодження проводів повітряних ЛЕП та замикання їх на землю, в навколишньому просторі може виникнути сильне електромагнітне поле, здатне навести в близько розташованому обладнанні електрорушійну силу, небезпечну як для апаратури так і для людей, що працюють з обладнанням.

Поряд із місцем аварії відбувається розтікання потенціалу по поверхні землі, так звана «крокова напруга» може досягти небезпечного для людини-працівника значення.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Методи захисту від виникнення К.З. Для захисту від виникнення К.З. вживають спеціальних заходів, що обмежують сили струму К.З.:

- використовують так зване розпаралелювання електричних ланцюгів тобто відключення секційних та шино з'єднувальних вимикачів;
- монтують в систему струмообмежувальні електричні реактори;
- застосовують спеціальні понижуючі трансформатори із розщепленою обмоткою низького рівня напруги;
- застосовують спеціальне обладнання для відмикання - швидкодіючі комутаційні апарати із функцією обмеження сили струму К.З., тобто автоматичні вимикачі, плавкі запобіжники;
- використовують спеціальні пристрої релейного захисту (РЗА) для відключення пошкоджених ділянок електричного ланцюга.

Виконаємо розрахунок сили струму К.З. у мережі 220 В.

Розрахунок струмів К.З. будемо проводити відповідно до міждержавного стандарту [19].

Розрахункова точка визначення сили струмів К.З. представлена на рисунку 3.4.

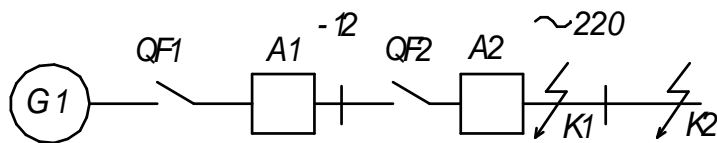


Рисунок 3.4 – Розрахункова схема визначення сили струмів К.З.

Резервне постачання користувача виконується від ВЕУ через контролер (A1) та інвертор (A2), тоді прийmemo їх повний опір $Z_p = r_p = 0,1 \text{ Ом}$. Тому початкове значення періодичної складової сили струму виникаючого однофазного К.З. від генератора G1 I_{no} , в точці К, розраховують за наступною формулою [19]:

$$I_{no} = \frac{U_{ном}}{Z_l + Z_p}, \quad (3.7)$$

де $U_{ном}$ - номінальний рівень напруги, приймаємо $U_{ном} = 220В$;

Z_l - повний опір лінії, визначається з формули:

$$Z_l = \sqrt{(2r_l)^2 + x_l^2}, \quad (3.8)$$

де r_l, x_l - відповідно активний та індуктивний опір лінії прямої послідовності розрахункової схеми.

До точки виникнення К.З. вибираємо провід марки ВВГНГ 6*2,5 загальною довжиною до 10м з питомим активним та реактивним опором $r_l = 3,54мОм, x_l = 0,1мОм$. Звідки:

$$r_l = r_{l0} \cdot l = 3,54 \cdot 10 = 35,4мОм, x_l = x_{l0} \cdot l = 0,1 \cdot 10 = 1мОм.$$

$$Z_l = \sqrt{(2 \cdot 35,4)^2 + 1^2} = 71мОм;$$

$$Z_l + Z_p = 0,071 + 0,10 = 0,171Ом.$$

Тоді для точки К1:

$$I_{no} = \frac{220}{0,171} = 1300А.$$

При електроживленні від системи та виникненні К.З. у точці К2 опором системи можна знехтувати і тоді сила струму К.З. в точці К2 буде рівною:

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

$$I_{no} = \frac{220}{0,071} = 3000A.$$

3.4 Підбір апаратури керування і захисту для проекту ВЕУ

Автоматичний вимикач (ВА) - це спеціальний контактний комутаційний апарат (електровстановлювальний або електротехнічний пристрій), здатний вмикати, проводити й вимикати силу струму за нормального стану електричного ланцюга, а також вмикати, проводити протягом певного встановлюваного часу та вимикати силу струму в певному аномальному стані ланцюга. ВА призначений для нечастих увімкнень, а також для захисту кабелів та кінцевих користувачів від перевантаження і виникнення К.З.

ВА вибирають виходячи з наступних умов [20].

$$I_{розр} \geq (0,5...0,75) \cdot I_{нп}; \quad (3.9)$$

$$I_{на} \geq I_{розр},$$

де $I_{розр}$ - розрахункова сила струму;

$I_{нп}$ - номінальна сила струму навантаження напівпровідникового інвертору.

Розрахуємо сили струмів в ВА:

- для $QF1$ - $I_{розр} \geq 0,75 \cdot 55 = 41,25A$,

приймаємо до монтажу - ВА-101 із наступними технічними характеристиками: $I_{ном} = 63A; I_{max} = 3000A$.

- для $QF2$ - $I_{розр} \geq 0,75 \cdot 25 = 18,75A$,

приймаємо до монтажу - ВА-101 із наступними технічними характеристиками: $I_{ном} = 32A; I_{max} = 3000A$.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Магнітні пускачі вибирають виходячи з наступних умов [20]:

$$U_{на} \geq U_{ном}; I_{на} \geq I_{розр}.$$

Обираємо наступні магнітні пускачі:

КМ1: ПМЛ121002, $I_{на} = 10A$; $U_{кат.ном} = 220...230V$;

КМ2: ПМЛ121002, $I_{на} = 10A$; $U_{кат.ном} = 220...230V$.

Підбір типу контролера для керування проектом (БРМА 24.01.00.000 Е3).

За середнього рівня заряду АКБ в 560 Вт/год за інтервал в 8-9 годин ВЕУ зможе виробити близько 5 кВт. У вітряні дні даний показник може зрости щонайменше вдвічі, тому аналогічний період часу може бути вироблено 10 кВт енергії.

На елементній базі, аналогічній тій, що використовувалась в лінійному стабілізаторі, можна побудувати спеціальний імпульсний стабілізатор напруги. За аналогічних характеристик він володітиме значно нижчими габаритними характеристиками та кращим тепловим режимом роботи.

Під час першого ввімкнення, коли конденсатор С4 (див. БРМА 24.00.00.000 Е3) розряджений і до виходу під'єднано досить потужне навантаження, сила струму тече через ІС лінійного стабілізатора DA1. Викликане цією силою струму падіння напруги на R1 відмикає ключовий транзистор VT1, який одразу ж входить у режим насичення, оскільки індуктивний опір L1 є великим і через транзистор протікає досить велика сила струму. Падіння напруги на R5 відкриває базовий ключовий елемент - транзистор VT2. Сила струму, що поступово наростає в індуктивному опорі L1, заряджає конденсатор С4, при цьому через зворотний зв'язок на R8 відбувається замикання стабілізатора і базового транзистора. Енергія, запасена в котушці L1, живить навантаження. Коли напруга на конденсаторі С4 падає нижче рівня напруги стабілізації, відкривається DA1 і базовий транзистор VT2. Цикл

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

Основні технічні характеристики інвертора для проєкту (БРМА 24.01.00.000 Е3).

- границі зміни вихідної напруги при зміні вхідної напруги і потужності навантаження, в діапазоні від 215 до 230 В;
- вхідна напруга в діапазоні від 10 до 15 В;
- максимальна потужність навантаження рівна 350 Вт.

Пристрій містить генератор розташований на мікросхемі DA1, стабілізатор живлення для нього (DA2), розрядні польові транзистори VT1-VT4, потужні транзистори VT5 та VT6, які використовуються для комутації сили струму у первинній обмотці трансформатора Т1, вузол захисту за силою струму на реле К1, вузол стабілізації вихідної напруги на мікросхемі DA3.

Генератор створює прямокутні імпульси з частотою майже 50 Гц із захисними паузами, що унеможливають одночасне відкривання спеціальних комутуючих транзисторів VT5 і VT6. Коли на виході Q1 (або виході Q2) з'являється низький рівень, відкриваються транзистори VT1 та VT3 (або транзистори VT2 і VT4), спричиняючи швидку розрядку ємностей затвора, а значить, і форсоване закривання комутуючих транзисторів VT5 та VT6.

Власне перетворювач зібраний за спеціальною двотактною схемою і особливостей не має. Більш детально розглянемо роботу вузла стабілізації рівня вихідної напруги.

Якщо рівень напруги на виході перетворювача з якої-небудь причини перевищить встановлене значення, наприклад, рівень напруги на резисторі R12 перевищить рівень в 2,5 В, сила струму через стабілізатор DA3 різко зросте. Це, своєю чергою, призведе до освітленості фотодіода оптрона U1 і створення сигналу високого рівня на вході FV (або вивід 2) мікросхеми DA1.

Тоді виходи Q1 та Q2 будуть перемкнуті в стан низького рівня, комутуючі транзистори VT5 та VT6 швидко зачиняться, і сила струму у напівобмотках І.1 та І.2 стан з появою на її виходах протифазних імпульсів.

Реле вузла струмового захисту - спеціальне (тобто не серійного

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

виготовлення). Обмотка реле містить максимум два витка (підбирають виходячи з необхідної сили струму спрацьовування захисту) ізольованого дроту, розрахованого на протікання сили струму в діапазоні від 20 до 30 А. Дріт намотують на корпус геркона КЕМ2 або будь-якого іншого із наявними замикаючими контактами.

У пристрої також є вузол захисту за силою струму, зібраний на базі на реле К1. Для струмового захисту інвертора використовується спеціальне реле, виготовлене на базі геркона КЕМ-2. Технічні характеристики геркона КЕМ-2 наведено в таблиці 3.2 [21].

Таблиця 3.2 - Технічні характеристики геркона КЕМ-2 [21]

Назва характеристики	Значення
Комутаційна потужність, максимальна, Вт	9
Комутаційна сила струму, максимальна, А	0,25
Комутаційна напруга, максимальна, В	180
Час спрацьовування, максимальний, с	1,0
Час відпускання, максимальний, с	0,3
Коефіцієнт повернення, максимальний	0,9
Коефіцієнт повернення, мінімальний	0,35
МДС спрацьовування, максимальне, А	65
МДС відпускання, мінімальне, А	10
Загальна довжина, мм	41
Довжина балону, мм	20
Діаметр балону, мм	3

Для забезпечення спрацьовування геркону КЕМ-2 необхідна МДС $F=65A$. Вважаючи силу струму спрацьовування відомою ($I_{спрац} = 30A$), знайдемо необхідне число витків обмотки реле:

активний режим, сила струму, що тече через обмотку реле, перевищить встановлене значення, замкнуться контакти геркона К1.1. На вході FC (або вивід 1) мікросхеми DA1 з'явиться високий рівень, а виходи мікросхеми перейдуть в стан низького рівня, спричиняючи швидке закривання комутаційних транзисторів VT5 і VT6 та різке зниження рівня споживаного струму. Після цього, незважаючи на те що контакти геркона К1.1 будуть в розімкнутому стані, мікросхема DA1 залишиться в заблокованому стані (низький рівень сигналу на виходах).

Для запуску перетворювача необхідна наявність перепаду напруги на вході IN (або вивід 3) DA1, що досягається або короткочасним вимкненням електроживлення, або ж короткочасним замиканням конденсатора С1 Для цього можна встановити кнопку без фіксації, контакти якої під'єднати паралельно конденсатору С1 (на схемі не наведено).

Оскільки графік вихідної напруги - меандр, для її згладжування і наближення до синусоїдальної форми змонтовано в схемі конденсатор С8. Світлодіод HL1 виконує функцію індикатора наявності рівня вихідної напруги перетворювача.

Трансформатор Т1 виконано на основі промислового ТС-180 від блока живлення старого телевізора. Усі його вторинні обмотки відключають, а мережеву обмотку на рівень напруги в 220 В залишають, використовується як вихідна обмотка перетворювача. Напівобмотки І.1 та І.2 намотують дротом марки ПЕВ-2 1,8, кількість витків - 35. Початок однієї обмотки з'єднують із кінцем іншої й отримують середню точку для первинної обмотки.

Деталі пристрою, крім трансформатора Т1, діодного моста VD4 і конденсатора С8, розміщені на односторонній друкованій платі з фольгованого склотекстоліту завтовшки в два мм. Комутуючі транзистори VT5 та VT6 впаяні в плату і пригвинчені через слюдяні прокладки до металевої пластини з габаритними розмірами 40x30 мм, що використовується як тепловідвід. Гвинти, що кріплять транзистори, ізолювані від пластини спеціальними

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		

в разі зникнення напруги переходити на резервне джерело електроживлення.

Реле призначене для захисту електрообладнання від роботи на зниженому або підвищеному рівні напруги через неполадки в мережі живлення. Живлення реле виконується від контрольованого рівня напруги, окремої напруги живлення не потрібно підключати. Технологічні характеристики реле представлено в табличному вигляді.

Таблиця 3.3 - Базові технологічні характеристики реле контролю напруги РКН-1-1-15АС220ВУХЛ2 [22]

Характеристика	Значення
Рівень напруги, номінальний, $U_{ном}$	змінна 220 В, 50 Гц
Допустима напруга живлення, максимальна, В	290
Допустима напруга живлення, мінімальна, В	150
Діапазон контролю перенапруги, В	-20%...+30% $U_{ном}$
Діапазон контролю зниження напруги, В	-30%...+20% $U_{ном}$
Точність встановлення границь напруги, В	5% $U_{ном}$
Точність вимірювання, В	2% $U_{ном}$
Гістерезис напруги порога спрацьовування, В	5% $U_{ном}$
Діапазон часу реакції, с	0,1...10
Потужність, що споживається з мережі, ВА	Не вище 4
Комутаційна потужність, ВА	4000
Комутаційний струм (максимальний) при активному навантаженні: змінна напруга 250 В, частота 50 Гц (AC1), постійна напруга 30 В (DC1), А	16
Максимальна напруга між ланцюгами живлення та контактами реле	Змінна 2000В, частота 50 Гц, (1 хв).
Електрична зносостійкість, циклів не менше	100000
Механічна зносостійкість, циклів не менше	$10 \cdot 10^6$
Кількість і тип контактів	1 перемикаюча група
Діапазон робочих температур, °С	-25...+55
Діапазон температур зберігання, °С	-40...+60
Кліматичне виконання та категорія розміщення	УХЛ 2
Габаритні розміри, мм	17,5x90x66
Ступінь захисту	IP40 – корпус IP20 - клеми

Монтаж реле контролю напруги виконується на монтажну шину DIN EN 50022 з переднім підключенням дротів живлення комутуваних електричних

ланцюгів. Конструкція клем забезпечує надійний затиск дротів перетином до 2,5 квадратів. На лицьовій панелі розташовані: зверху розташовано регулятор верхнього порога спрацьовування, знизу розташовано регулятор нижнього порога спрацьовування, а між ними розташовано - регулятор встановлення затримки часу спрацьовування, а також знаходиться індикатор увімкнення напруги живлення «U» (зеленого кольору) та індикатор спрацьовування вбудованого електромагнітного реле «R» (зеленого кольору).

Навколишнє середовище - вибухобезпечне, проте воно не містить пилу в кількості, яка буде порушувати роботу реле контролю напруги, а також агресивних газів у концентраціях, що можуть призвести до руйнування металів та ізоляції. Допустима вібрація місць кріплення реле з частотою в діапазоні від 1 до 100 Гц при прискоренні до 9,8 м/с². Допускається вплив через мережу живлення імпульсних перешкод амплітудою, що не повинна перевищувати подвійної величини номінального рівня напруги живлення і тривалістю не більше 10 мкс. Допускається вплив електромагнітних полів, що створюються проводом з імпульсною силою струму амплітудою до 100 А, розміщеним на відстані не менше ніж 10 мм від корпусу реле контролю напруги.

Діаграму роботи реле контролю напруги представлено на рисунку 3.4. Під час подачі електроживлення, якщо встановлено затримку спрацьовування і рівень напруги мережі перебуває в діапазоні між верхнім і нижнім встановленими порогами рівня напруги, вбудоване електромагнітне реле ввімкнеться після закінчення відліку часу затримки t , якщо вона була встановлена користувачем. При цьому контакти реле 11-14 замикаються і вмикається зелений індикатор «R». Якщо рівень напруги в мережі став вищим за верхній поріг або нижчим за нижній поріг, вбудоване електромагнітне реле вимикається після закінчення відліку часу затримки спрацьовування (контакти 11-12 замикаються). Коли контрольований рівень напруги повертається в норму, реле вмикається після закінчення затримки спрацьовування.

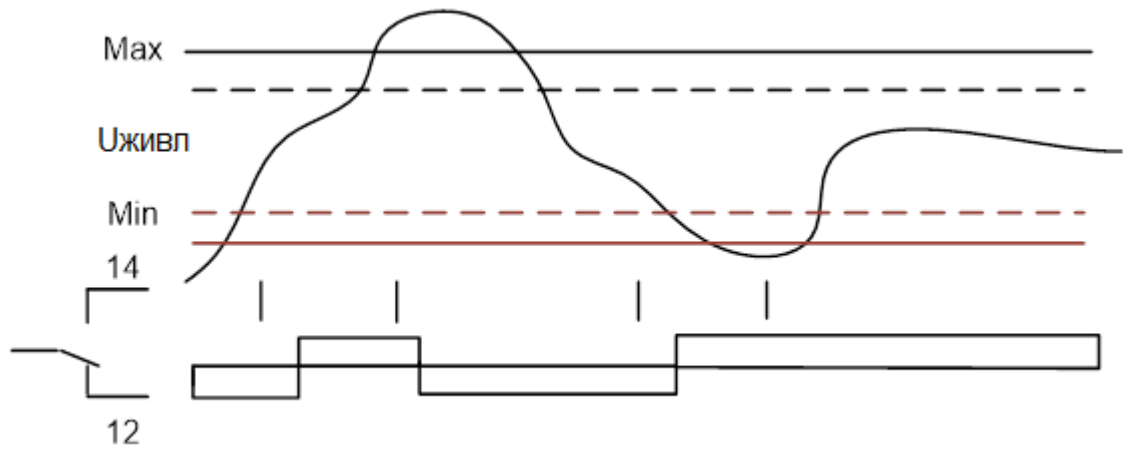


Рисунок 3.4 – Діаграма роботи реле контролю напруги

3.6 Розрахунок акумуляторної батареї для проекту ВЕУ

Електричний акумулятор - хімічне джерело струму багаторазової дії. Електричні акумулятори використовуються для накопичення енергії та автономного живлення різних пристроїв [23].

Вибір АКБ виконується залежно від середньорічної швидкості вітрового потоку в районі використання ВЕУ. Характеристики деяких АКБ, які можуть бути рекомендовані для використання в енергоустановці, наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Технологічні характеристики АКБ [23]

Марка	6СТ190	6СТ210	ТНЖ250	ТНЖ450	**6СТ-55АПЗ*	48ТН-450У2	ТБ 350	5НК-55	5НК-125
Тип	Свинцевий		Нікель-залізний		Свинцевий		Нікель-кадмій		
Рівень напруги, номінальний, В	12	12	1,2	1,2	12	96		6	6

Продовження таблиці 3.4									
Ємність номінальна, А*год	190	210	250	450	55	450	350	55	125
Призначення	Стартерний		Тяговий		Стартерний	Для тепловозів	Стаціонарний		
Строк роботи, р	1-2	2-3	8-10	8-10	необсл			10-15	10-15

Перевага АКБ типу «бСТ» - низька вартість, недолік – досить невеликий термін служби.

Перевага АКБ типу «ТНЖ» - великий термін служби. Недоліки АКБ типу «ТНЖ» наступні: відносно велика вартість, крім того через великий розкид напруги в процесі роботи ємність даного АКБ може бути використаною не повністю, оскільки робочий діапазон рівнів напруги АКБ ширший, ніж діапазон рівнів вхідної напруги звичайного інвертора.

З наведеної таблиці 3.4 видно, що за інших рівних умов вигідно використовувати дорогі АКБ із досить тривалим терміном служби, оскільки вони окупаються через кілька років використання. Необхідний рівень напруги забезпечується шляхом послідовного з'єднання елементів. Паралельне з'єднання батарей допускається тільки для деяких спеціальних типів АКБ.

Принцип дії АКБ заснований на оборотності хімічної реакції [23]. Працездатність АКБ може бути відновлена шляхом заряджання, тобто пропусканням сили струму в напрямку, зворотному напрямку сили струму під час розряджання. Ємність АКБ, як відомо, вимірюють в ампер-годинах.

Електричні та експлуатаційні характеристики АКБ залежать від матеріалу електродів та складу електроліту. Наразі найпоширенішими є наступні типи АКБ, представлені в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 - Різновиди існуючих АКБ [23]

Тип АКБ	ЕРС, В	Область застосування
NiCd	1,2	Тролейбуси, заміна стандартного гальванічного елемента
NiMH	1,2	Електромобілі, заміна стандартного гальванічного елемента
NiZn	1,6	заміна стандартного гальванічного елемента
Lead Acid	2,1	Аварійне електропостачання, автомобілі, електронавантажувачі, електротягачі, джерела безперебійного живлення
Li-pol	3,6	Мобільні пристрої
Li-Ion	3,6	Електромобілі, мобільні пристрої

У міру вичерпання хімічної енергії рівень напруги і сили струму знижуються, АКБ перестає працювати. Зарядити АКБ можна від будь-якого джерела постійної сили струму з великим рівнем напруги при обмеженні струму. Стандартною вважається зарядна сила струму в розмірі 0,1 номінальної ємності АКБ (яка вимірюється в ампер-годинах). Багато типів АКБ мають різні обмеження, які необхідно враховувати під час виконання процесів заряджання і подальшої експлуатації, наприклад, АКБ з NiMH чутливі до виконання перезаряджання, Li-Ion та Li-pol - до виконання процесу перезаряджання, рівня напруги і рівня температури. NiCd та NiMH АКБ мають так званий ефект пам'яті, що полягає в зниженні рівня ємності, в разі коли зарядка виконується при не повністю розрядженому АКБ. Також дані типи АКБ мають помітне явище саморозряду, тобто вони поступово втрачають рівень заряду, навіть не будучи підключеними до будь-якого навантаження. Для боротьби з даним ефектом може використовуватись так звана крапельна підзарядка.

Виконаємо розрахунок необхідного АКБ для проєкту ВЕУ.

Маючи пікову потужність не більше 300 Вт і можливий час роботи від

резервного джерела живлення до 6 годин, так як ККД інвертора нам невідомий, ми приймаємо ККД інвертора рівним 80% і знаходимо силу струму розрядки АКБ за наступною формулою [23]:

$$I_{розрАКБ} = \frac{W}{U/\eta_i}, \quad (3.11)$$

де $I_{розрАКБ}$ - сила струму розрядки АКБ;

W - пікова потужність АКБ, Вт;

U - рівень напруги АКБ, В;

η_i - ККД інвертора, %.

$$I_{розрАКБ} = \frac{300}{12/0,8} = 31,25 A.$$

Визначивши силу струму розряду АКБ за технічним завданням, знайдемо ємність АКБ за наступною формулою:

$$E = I \cdot H, \quad (3.12)$$

де E - ємність АКБ, А*год;

H - час роботи користувача від резервного джерела електропостачання, год.

$$E = 31,25 \cdot 6 = 187,5 A \cdot год.$$

Оскільки необхідний час автономної роботи дорівнює 6 годинам, потрібно збільшити розраховану ємність АКБ на 20%, звідки отримаємо $E = 225 A \cdot год$.

За наявними даними проводимо підбір АКБ: приймаємо до встановлення в

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		48

проект ВЕУ дві батареї VARTA ємність по 110 А*год.

Висновки до третього розділу

Розроблена схема забезпечення об'єкта електроенергією, підібрано основного обладнання для проекту ВЕУ, розраховано сили струмів виникаючого короткого замикання для проекту ВЕУ, виконано підбір апаратури керування і захисту для проекту ВЕУ, підбірано пристрій автоматичного вводу резерву для ВЕУ, розраховано та вибрано акумуляторні батареї для проекту ВЕУ.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		49

Загальні висновки

Використання енергії вітрового потоку для вироблення електричної енергії має досить таки хороші перспективи через територіальні особливості нашої країни, які дозволяють доволі масштабне впровадження вітроенергетики.

Економічно доцільно використовувати вітряні електростанції потужністю до 5 кВт (або малу вітроенергетику) для забезпечення невеликих приватних будинків або малих підприємств.

Визначена структура вітроенергетичної установки, наведено перелік основних та додаткових компонентів без яких не можлива робота ВЕУ.

Описані особливості конструкцій промислових та побутових вітрогенераторів, проаналізовані проблеми, що виникають при використанні ВЕУ та представлені перспективи використання малих ВЕУ.

Розроблена схема забезпечення об'єкта електроенергією, підібрано основного обладнання для проєкту ВЕУ, розраховано сили струмів виникаючого короткого замикання для проєкту ВЕУ, виконано підбір апаратури керування і захисту для проєкту ВЕУ, підбірано пристрій автоматичного вводу резерву для ВЕУ, розраховано та вибрано акумуляторні батареї для проєкту ВЕУ.

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		50

О. В. Мейта. – Електронні текстові данні (1 файл: 4,46 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022.– 167 с.

20. Клименко Б.В. Електричні апарати. Електромеханічна апаратура комутації, керування та захисту. Загальний курс : навчальний посібник. – Харків: Вид-во «Точка», 2012. – 340 с. ISBN 978-617-669-015-3

21. Геркони КЕМ. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

<https://asenergi.com/catalog/pereklyuchateli/gerkony-kem.html>

22. Реле контролю напруги. РКН-1-2-15 АС220В УХЛІ2 - ТУ 342520-001-31928807-03. [Електронний ресурс] – Режим доступу:

http://www.kosmodrom.com.ua/data/meandr/RKN_1_2_15.pdf

23. Шелест М. Б. Основи будови та експлуатації акумуляторних батарей : навчальний посібник / М. Б. Шелест, П. І. Гайда. – Суми : Сумський державний університет, 2014. – 210 с. ISBN 978-966-657-530-5

					<i>БРМА 24.00.00.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		53

ДОДАТКИ

					БРМА 24.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата		54