

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій
Кафедра електричної інженерії

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____	<u>О. КОЛЛАРОВ</u>
(підпис)	(ініціали, прізвище)
«_____»	_____ 2022 р.

**Кваліфікаційна робота
бакалавра**

на тему Розробка комплексної енергетичної
системи будівлі з ВДЕ та тепловим насосом

Виконав студент 4 курсу, групи ЕЛКп-18
(шифр групи)

спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та
підготовки _____

(шифр і назва спеціальності підготовки)

та електромеханіка»

Данило СОСЄДОВ

(ім'я та прізвище)

_____ (підпис)

Керівник ст.викл. каф, Нємцев Е. М.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище)

_____ (підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, ініціали, прізвище)

_____ (підпис)

Нормоконтроль:

О. ЛЮБИМЕНКО

_____ (підпис)

_____ (дата)

Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____

_____ (підпис)

_____ (дата)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій

Кафедра електричної інженерії

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

_____ (О. КОЛЛАРОВ)

« » _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Данило СОСЄДОВ

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Розробка комплексної енергетичної системи
будівлі з ВДЕ та тепловим насосом

керівник роботи _____ ст.викл. каф, Немцев Е. М.
(ім'я та прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ № _____

2. Строк подання студентом роботи 02 червня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи: _____

3. Вихідні дані до роботи: План будинка, споживачі, напруга, електроприлади

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

1. Загальні характеристики схеми електричної підстанції

2. Формування мережі енергопостачання з використанням відновлюваних джерел енергії

3. Енергетична незалежність будинку при використанні теплового насосу.

4. Дослідження розробленої енергетичної системи з використанням ВДЕ у MATLAB

5. Розробка заходів з охорони праці.

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Ініціали, прізвище та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділи 1 – 4	Е. Немцев, ст. викл. каф.		
Розділ 5	О. КОЛЛАРОВ, зав. каф.		
Нормоконтроль	О. ЛЮБИМЕНКО, доц. каф.		

7. Дата видачі завдання 05 травня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1	05.05.22 – 12.05.22	
2.	Розділ 2	13.05.22 – 23.05.22	
3.	Розділ 3	24.05.22 – 27.05.22	
4.	Розділ 4	28.05.22 – 03.06.22	
5.	Розділ 5	03.06.22 – 06.06.22	
6.			
7.			
8.			
9.			

Студент _____
(підпис)

Данило СОСЄДОВ _____
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Едуард Немцев _____
(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Сосєдов Данило Віталійович. Розробка комплексної енергетичної системи будівлі з ВДЕ та тепловим насосом / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”. – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2022.

Дипломна робота складається зі вступу, основної частини, яка включає чотири розділи, висновків, списку використаних джерел та додатків.

У першому розділі розглянуто існуючі в літературі загальні характеристики схеми електричної підстанції.

У другому розділі представлено формування мережі енергопостачання з використанням відновлюваних джерел енергії.

У третьому розділі представлено енергетична незалежність будинку при використанні теплового насосу.

У четвертому розділі проведено дослідження розробленої енергетичної системи з використанням ВДЕ у MATLAB.

У п'ятому розділі описано аналіз та розробка заходів з охорони праці

Ключові слова:

ЕНЕРГІЯ, ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ (ВДЕ), СИЛА СТРУМУ,
ПОТУЖНІСТЬ, НАПРУГА

SUMMARY

Sosedov Danilo Vitaliyovych. Development of an integrated energy system for a building with RES and a heat pump / final qualification work for the degree of "bachelor" in the specialty 141 "electric power, electrical engineering and electromechanics". - SHEI Donntu, Lytsk, 2022.

Thesis consists of an introduction, the main part, which includes four sections, conclusions, a list of sources and appendices.

The first section considers the general characteristics of the electrical substation scheme existing in the literature.

The second section presents the formation of the energy supply network using renewable energy sources.

The third section presents the energy independence of the house when using a heat pump.

In the fourth section, a study of the developed energy system using RES in MATLAB.

The fifth section describes the analysis and development of occupational safety measures

Keywords:

ENERGY, RENEWABLE ENERGY SOURCES (RES), CURRENT
POWER, POWER, VOLTAGE

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПІДСТАНЦІЇ	9
1.1 Описання існуючих режимів роботи електричної підстанції.....	9
2 ФОРМУВАННЯ МЕРЕЖІ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	24
2.1. Висновки по розділу 2	29
3 ЕНЕРГЕТИЧНА НЕЗАЛЕЖНІСТЬ БУДИНКУ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ТЕПЛОВОГО НАСОСУ	31
3.1 Енергоефективний будинок	31
3.2 Вибір вітряка.....	40
3.2 Математичні моделі структур ВЕУ.....	44
4 Дослідження розробленої енергетичної системи з використанням ВДЕ у MATLAB	48
4.4. Висновок по розділу	56
ВИСНОВКИ.....	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	58
ДОДАТОК А. Охорона праці.....	60
Додаток Б. Перелік зауважень нормоконтролера до роботи	64

ВСТУП

В даний час електроенергетика багатьох країн світу зазнає значні зміни, метою яких є забезпечення загального доступу до недорогих, надійних, стійких та сучасних джерел енергії для всіх.

Ця мета досягається активною інтеграцією різних традиційних і відновлюваних джерел енергії у широкому спектрі потужностей від малих об'єктів розподіленої генерації до великих мережевих електростанцій, що тягне за собою трансформацію енергетичних систем.

Головними перевагами ВДЕ, що визначають інтерес до них, є невичерпність або відновлюваність, екологічна чистота та повсюдна доступність тієї чи іншої ВІЕ. До недоліків ВІЕ, що обмежують їх широке застосування, відносяться мала щільність енергетичних потоків і мінливість їх у часі.

Теплові насоси вважаються простими у використанні, використовуючи можливість підведення низькотемпературних джерел тепла до більш високої температури. Таким чином, для зниження попиту на викопне паливо та викиди парникових газів можна використовувати низькоякісні відновлювані джерела енергії (такі як повітря, вода, земля, сонце), а також джерела відхідного тепла. Їх велика перевага в забезпеченні як опалення, так і охолодження, вони можуть експлуатуватися навіть в режимі одночасного використання. Це означає, що тепло практично не розсіюється, що робить такі системи по-справжньому ефективними. Однак для повного використання їх потенціалу необхідно встановити накопичувачі теплової енергії, щоб їх робота була більш безперервною та економічною.

Тому в цій роботі в літературному огляді представлені різні види теплових насосів для опалення та охолодження будівель (з акцентом на повітряні та наземні теплові насоси), які мають інтегрований накопичувач

теплової енергії у вигляді водяних (льодових) накопичувальних резервуарів, наземних або фазових. змінити матеріал.

Актуальність роботи полягає в впровадженні накопичувачів теплової енергії на роботу енергетичної системи, енергоефективність та економічність.

1 ЗАГАЛЬНІ ХАРАКТЕРИСТИКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПІДСТАНЦІЇ

1.1 Описання існуючих режимів роботи електричної підстанції

В роботі [1] описано, що найбільша частина потреби в енергії в житловому секторі використовується для опалення приміщень, гарячої води та охолодження приміщень. Теплові та електричні потреби можуть бути в основному задоволені за допомогою енергетичних систем, які складаються з фотоелектричних, сонячних теплових колекторів, теплових насосів і джерел гнучкості, наприклад, акумуляторної батареї і накопичувача теплової енергії.

У цій роботі розглянуто різні стратегії керування для оптимальної повсякденної роботи житлових енергетичних систем, які складаються з власного споживання та арбітражу часу використання з урахуванням пріоритетів нарахування. Припускається типова грецька односімейна будівля, яка розглядає декілька критеріїв для оцінки підходів, заснованих на правилах. Результати демонструють, що пріоритет зарядки TES може призвести до вищої продуктивності системи, ніж при зарядці BES. Незалежно від кількості тарифних зон ToU, в періоди поза/середня пік потреби в енергії верхньої траєкторії SH/SC повинні задовольнятися лише у разі перевищення потужності фотоелектричної енергії, інакше вартість імпортованої енергії значно зростає.

Стратегії як SCM, так і ToUA можуть призвести до показників власного споживання та самодостатності, які відхиляються в середньому приблизно на 4% від оптимальних значень. Більше того, стратегії на основі ToUA можуть наблизитися до мінімальної вартості імпортованої енергії з відносним збільшенням на 22% порівняно з оптимальною.

В роботі [2] інтенсивні дослідження в області довгострокового або сезонного зберігання та використання тепла від ВДЕ (особливо сонячної та геотермічної енергії) в наземних накопичувачах тепла (GHS) тривають протягом тривалого часу, і дослідники з усього світу опублікували ряд чудових результатів, інноваційних технічних рішень та інформації в своїх дослідженнях. Тим не менш, ця область досліджень залишається дуже актуальною та багатообіцяючою, оскільки може дати нові ідеї та корисні технічні рішення. Після результатів досліджень, представлених авторами з усього світу, у цьому дослідженні ми описуємо наш внесок у дослідження СГС як частини побудови енергетичних систем з ВДЕ. У наших довгострокових дослідженнях приблизно з 2004 року ми надихалися запатентованим технічним рішенням системи ISOMAX (від Едмонда Д. КРЕКЕ). Ми детально вивчаємо цю систему, впроваджуємо оригінальний спосіб роботи комбінованої енергосистеми будівлі та створюємо варіанти роботи в різних режимах джерел тепла та енергосистем. Ми також розробили прототипи нових компонентів. Ми розробили, спроектували, керували будівництвом та експериментальними вимірюваннями прототипу збірного будинку IDA I, експериментального будинку EB2020 та мобільної лабораторії (симулятор і оптимізатор розумних компактних пристроїв). Новизна та оригінальність результатів наших досліджень у цій галузі узагальнено в трьох корисних моделях та одному європейському патенті. Дослідження та експериментальні вимірювання, описані в цьому дослідженні, були проведені на експериментальному будинку EB2020. Зокрема, ми зосередилися на кількісній оцінці енергії, отриманої з ESR, і реалістичній можливості довготривалого зберігання цієї енергії в GHS. Об'єктом дослідження також була кількість накопиченої енергії від джерела пікового тепла - каміна з водогрійним теплообмінником. Ми дослідили можливість використання накопиченого тепла для застосування в активному тепловому захисті (АТП) в огороженнях будівель для низькотемпературного радіаційного опалення великої площі та функцію

теплового бар'єру (ТБ). У теоретичних розрахунках плита фундаменту будинку (площа 100 м²) Ми дослідили можливість використання накопиченого тепла для застосування в активному тепловому захисті (АТП) в огороженнях будівель для низькотемпературного радіаційного опалення великої площі та функцію теплового бар'єру (ТБ). У теоретичних розрахунках плита фундаменту будинку (площа 100 м²) Ми дослідили можливість використання накопиченого тепла для застосування в активному тепловому захисті (АТП) в огороженнях будівель для низькотемпературного радіаційного опалення великої площі та функцію теплового бар'єру (ТБ). У теоретичних розрахунках плита фундаменту будинку (площа 100 м², товщина 0,2 м) як СГС недостатньо для покриття вимог щодо низькотемпературного променевого опалення великої площі та туберкульозу в огорожувальних приміщеннях у довгостроковій перспективі або цілий рік. Без урахування теплових втрат 1 кВт потужності для АТФ можна було б постачати менше ніж за 14 днів при заряді GHS при 30 °C і 25 днів при 50 °C. Результати спрощеного розрахунку об'єму, енергетичного балансу та енергоефективності СГС були перевірені експериментальними вимірюваннями. Експериментальні вимірювання проводилися протягом одного сезону зарядки (значення враховані з 10 липня, тобто з початку експлуатації сонячної покрівлі в 2011 році) та одного сезону розрядки (один опалювальний період).

На основі аналізу теоретичних розрахунків та результатів експериментальних вимірювань, використання накопиченого тепла в СГС в експериментальному будинку EB2020 обмежено через склад огорожувальної конструкції. Незважаючи на те, що в цьому випадку неефективно використовувати тепло в АТФ також для великомасштабного радіаційного опалення, це являє собою високий потенціал економії енергії для застосування як функції ТБ за рахунок значного усунення втрат/прибутків тепла.

При середній температурі теплоносія $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ в АТФ, що є функцією ТВ, стіна будинку мала б еквівалентний тепловий опір, що відповідає теплоізоляції 500 мм. При середніх температурах теплоносія, необхідних для великомасштабного радіаційного опалення стін, через високий термічний опір несучої частини стін, Застосування АТФ в огорожувальних конструкціях цього експериментального будинку неефективно для функції опалення, і тепло від наземного тепло сховища швидко вичерпується.

Експериментальні вимірювання показали високо енергоефективне використання АТФ для пасивного охолодження за допомогою ТВ і холоду від довготривалого наземного холодильного сховища - контурів труб, заглиблених на глибину приблизно від 1,5 до 3 м поза будівлею. Використовуючи лише електрику для приводу насосів у контурах охолодження та теплового бар'єру, у приміщенні вимірювали температуру до $28\text{ }^{\circ}\text{C}$, а зовнішньої температури вище $34\text{ }^{\circ}\text{C}$. На основі цих результатів досліджень можна рекомендувати використання СГС у співпраці з АТФ також у функції опалення/охолодження лише для огорожувальної конструкції, несуча частина якої виготовлена з матеріалу з високою теплопровідністю, тобто низький термічний опір, наприклад, як залізобетон. Теоретичні розрахунки, експериментальні вимірювання та аналізи виявили важливі факти, які необхідно враховувати при розрахунку, проектуванні, оцінці та плануванні будівель з ґрунтовим теплоаккумулятором, а також вказують на необхідність подальших досліджень у цій галузі, оскільки ці технічні рішення мають високий потенціал для значного використання ВДЕ, щоб задовольнити вимоги до будівель з майже нульовою енергією (nZEB). Не лише зміна клімату, а й військові конфлікти, такі як вторгнення Росії в Україну, вказують на необхідність термінового переходу до технічних рішень із використанням ВДЕ для заміни викопного палива.

GHS, як частина енергетичних систем будівлі, являє собою перспективні технічні рішення, доступні кожному і майже скрізь.

В роботі [3] теплові насоси є однією з ключових технологій для зменшення викидів вуглецю в опалювальному секторі. Тому вони є важливим компонентом моделювання при аналізі майбутніх енергетичних систем. У фокусі цієї роботи є теплові насоси підземних вод та їх інтеграція в моделі оптимізації енергетичних систем. Представлено три різні підходи до інтеграції, які порівнюються один з одним. Підходи відрізняються у представленні ефективності теплових насосів: постійна, залежна від часу та залежна від часу та простору.

Порівняння запропонованих підходів проведено з використанням моделі енергетичної системи житлового опалення в Мюнхені та двох сценаріїв оптимізації: зменшення викидів на 70 % та 95 % порівняно з 2014 роком. Припускаючи постійну ефективність теплових насосів протягом року, результати оптимізації будуть неправильними, тоді як додавання просторового компонента до тимчасового не змінює істотно кумулятивні результати.

Таким чином, другий підхід є найбільш підходящим через його меншу складність порівняно з останнім. Однак якщо потрібні просторово розподілені результати, то необхідний останній підхід. Нарешті, ці підходи до інтеграції застосовні до всіх типів теплових насосів.

В роботі [4] використання відновлюваної енергії є важливим технічним способом досягнення енергозбереження будівлі та захисту навколишнього середовища. У цьому дослідженні розглянуто новий тип системи енергопостачання будівлі з двома джерелами з тепловими насосами та накопичувачем енергії, яка може вирішити проблеми нестабільної роботи та низької надійності одноенергетичної системи та високої інвестиційної та експлуатаційної вартості існуючої багато джерел. енергетичних систем, пропонується.

У цій системі фотоелектрична-термальна вода використовується як низькотемпературне джерело тепла теплового насоса джерела води і

тепловий насос повітряного джерела як допоміжний пристрій енергопостачання для реалізації каскадного використання енергії.

«Зміщення пікового навантаження» та мінімізація енергоспоживання будівлі та експлуатаційних витрат реалізуються шляхом зберігання енергії (холоду та тепла) вночі, коли ціни на електроенергію низькі.

На основі даних довгострокового моніторингу системи енергопостачання офісної будівлі встановлюються моделі прогнозування навантаження та продуктивності системи, оптимізується стратегія роботи взимку та влітку. Потім моделюється та аналізується цілорічна робота системи.

Результати показують, що оптимізована система працює ефективно і може заощадити приблизно 10% операційних витрат у порівнянні з ситуацією до оптимізації. Експлуатаційна вартість системи становить 55% від вартості звичайної системи теплового насоса повітряного джерела, а його динамічний термін окупності становить 3,66 року.

Запропонована система є формою побудови системи енергопостачання, гідною популяризації та застосування в холодних регіонах.

В роботі [5] принципова схема і модель ГОМЕРА розробленого HRPGS представлені на рис. 1.1, тут джерело живлення містить гібридизацію восьми основних компонентів: PV, WT, CHP-MTGen, Dsl-Gen, BES, BDC, TLC та BLR, що дозволяє електрифікувати поза мережею за комбінацією між RES. і не-ВДЕ.

Математичне моделювання елемента системи представлено в наступному підрозділі. Детальніше про технічні характеристики вартості наведено в табл.1.1 і та табл.1.2 відповідно.

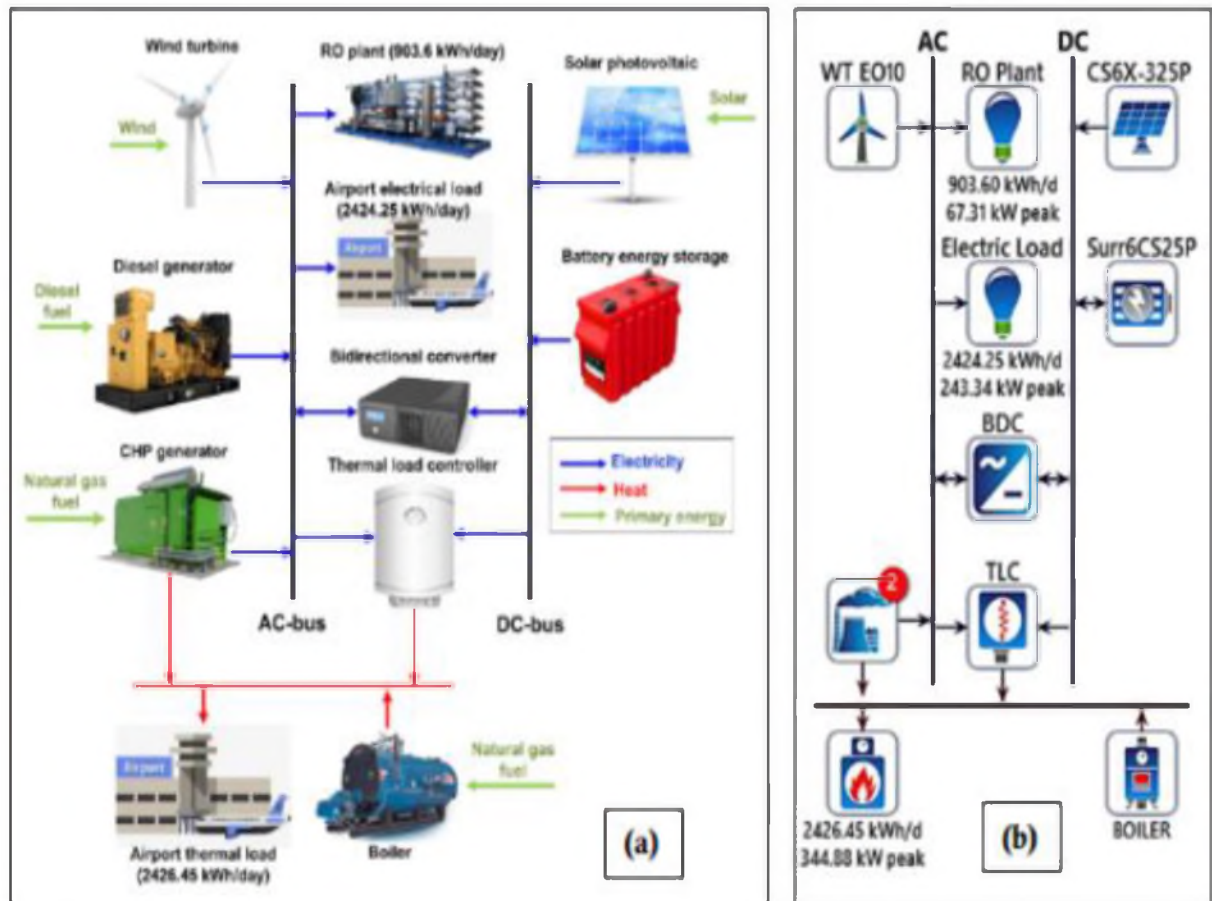


Рисунок 1.1 - Запропонована когенерація HRPGS (а) загальна принципова схема і (б) модель HOMER [5]

Таблиця 1.1 - Технічні характеристики розробленої когенераційної системи

Пункт	Технічні характеристики	
PV	Назва моделі	Плоска пластина CS6X/325P
	Номінальна потужність	0,325 кВт
	Температурний коефіцієнт	/0,41
	Нормальна робоча температура осередку	45 °C
	Ефективність у STC	16,94%
	Фактор зниження	88%
	Відображення землі	20%
	Час життя	25 років

Пункт	Технічні характеристики	
WT	Назва моделі	Eocycle EO10
	Номінальна потужність	10 кВт
	Швидкість зрізу/в WT	2,75 м/с
	Швидкість відключення/виключення WT	20 м/с
	Номінальна швидкість WT	6,5 м/с
	Висота ступиці	16 м
	Діаметр ротора	15,81 м
	Час життя	20 років
Dsl-Gen	Фактор зниження	70%
	Коефіцієнт рекуперації тепла ТЕЦ	0,0%
	Нахил кривої палива	Вихід 0,2730 л/год/кВт
	Коефіцієнт перехоплення	Номінальна 0,0330 л/год/кВт
	Мінімальний коефіцієнт навантаження	25%
	Мінімальний час роботи	0 хв
	Коефіцієнт викидів чадного газу	16,34 г/л палива
	Коефіцієнт викидів оксидів азоту	15,359 г/л палива
	Час життя	15 000 год
BES	Назва моделі	Surrette 6 CS 25P
	Номінальна напруга	6 В
	Номінальна місткість	6,91 кВт-год
	Максимальна місткість	1150 Ач
	Коефіцієнт місткості	0,237
	Межі SOC	40–100%
	Константа швидкості	0,478 (1/год)
	Ефективність в обидва боки	80%
	Макс. зарядний струм	279 А

Пункт	Технічні характеристики	
	Макс. струм розряду	279 А
	Час життя	20 років
BDC	Модель	Загальний
	Ефективність інвертора	95%
	Відносна потужність випрямляча	100%
	ККД випрямляча	95%
	Час життя	15 років
ТЕЦ-МТГен	Модель	Загальний
	Мінімальний коефіцієнт навантаження	60%
	Мінімальний час роботи	0 хв
	Коефіцієнт рекуперації тепла ТЕЦ	53,4%
	Окис вуглецю	6,5 г/м ³ палива
	Оксиди азоту	58 г/м ³ палива
	Нахил кривої палива	0,2730 м ³ /год/кВт потужність
	Коефіцієнт перехоплення	Номінальна 0,0330 м ³ /год/кВт
	Час життя	80 000 год
BLR	Модель	Загальний
	Ефективність	85%
	Щільність природного газу	0,79 кг/м ³
	Вміст вуглецю	67%
	Природний газ нижча теплотворна здатність	45 МДж/кг
TLC	Модель	Загальний
	Час життя	20 років

Фотоелектричні елементи, також звані сонячними елементами, є електронними пристроями, які перетворюють сонячне світло безпосередньо в електрику і відіграють основну роль у забезпеченні доступу до енергії у

віддалених районах, оскільки це зріла та конкурентоспроможна технологія, яка постійно розвивається. Вихідна потужність фотоелектричної панелі в момент часу (t), враховуючи температурний вплив, характеризується за допомогою рівняння (6-a) [5], тоді як фактична ефективність фотоелектричної панелі, стандартна ефективність тесту та фактична температура комірки виражаються рівняннями. (6-b -d) відповідно [5].

$$P_{PV,o}(t) = P_{PV,n} \bullet F_{PV} \bullet \left(\frac{\lambda(t)}{\lambda_{STC}} \right) \bullet [1 + \beta_t \bullet (T_c(t) - T_{c,STC})] \quad (6-a)$$

$$\eta_{PV}(t) = \eta_{STC} \bullet [1 + \beta_p \bullet (T_c(t) - T_{c,STC})] \quad (6-b)$$

$$\eta_{STC} = \frac{P_{PV,n}}{A_{PV} \bullet \lambda_{STC}} \quad (6-c)$$

$$T_c(t) = T_a(t) + \lambda(t) \cdot \left[\frac{T_{c,NOCT} - T_{a,NOCT}}{\lambda_{NOCT}} \right] \quad (6-г)$$

де $P_{PV,o}$ = вихідна потужність PV (кВт);

$P_{PV,n}$ = номінальна потужність PV (кВт);

F_{PV} = коефіцієнт зниження потужності PV ;

λ = середньо годинна сонячна радіація, що потрапляє на PV (кВт/м²);

λ_{STC} = сонячна радіація під STC (1 кВт/м²);

λ_{NOCT} = сонячна радіація, при якій визначається NOCT (0,8 кВт/м²);

β_p = температурний коефіцієнт потужності (%/°C);

T_c = погодинна фактична температура сонячного елемента (°C);

$T_{c,NOCT}$ = номінальна робоча температура сонячного елемента;

$T_{c,STC}$ = температура сонячного елемента при STC (25 °C);

$T_{a,NOCT}$ = температура навколишнього середовища, при якій визначається NOCT (20 °C);

η_{PV} = ефективність фотоелектричного модуля на кожному кроці часу (%);

η_{STC} = ККД фотоелектричного модуля при STC (%);

A_{PV} = площа поверхні PV модуля (м²);

T_a = погодинна температура навколишнього середовища;

Вітрових турбін. Погодинна вихідна потужність WT є функцією погодинної фіксованої швидкості, і її можна розрахувати за допомогою рівняння. (7-а) [5]. Однак швидкість вітру залежить від висоти вітрогенератора; таким чином, степеневий закон, виражений в рівнянні. (7-б) застосовується для знаходження швидкості вітру на висоті втулки вітрогенератора [5]. Тоді рівняння (7-с) використовується для коригування потужності WT до фактичних умов шляхом множення значення потужності, розрахованого за допомогою рівняння. (7-с) за співвідношенням густини повітря [5].

$$P_{WT,STP}(t) = \begin{cases} 0 & \text{if } V(t) \leq V_{cin} \\ N_{WT} \cdot P_{WT,r} \cdot \left(\frac{V^3(t) - V_{cin}^3}{V_r^3 - V_{cin}^3} \right) & \text{if } V_{cin} < V(t) \leq V_r \\ N_{WT} \cdot P_{WT,r} & \text{if } V_r < V(t) \leq v_{coff} \\ 0 & \text{if } V(t) > V_{coff} \end{cases} \quad (7-a)$$

$$V(t) = V_{ref} \cdot \left(\frac{h}{h_{ref}} \right)^\alpha \quad (7-b)$$

$$P_{WT,o}(t) = P_{WT,STP}(t) \cdot \left(\frac{\rho_r}{\rho_{air}} \right) \quad (7-c)$$

Де $P_{WT,STC}$ = WT годинна вихідна потужність на STP (кВт);

N_{WT} = кількість встановлених вітрогенераторів (кВт);

$P_{WT,o}$ = WT годинна вихідна потужність (кВт);

$P_{WT,r}$ = WT номінальна потужність (кВт);

V_{cin} = швидкість WT включення (м/с);

V_{coff} = швидкість відсікання WT (м/с);

V_r = номінальна швидкість WT (м/с);

V = швидкість вітру на висоті вузла (м);

V_{ref} = швидкість вітру на контрольній висоті (м);

α = степеневий показник (0,1428);

ρ_r = реальна густина повітря (кг/м³);

$\rho_{повітря}$ = щільність повітря за стандартних умов (1,225 кг/м³);

h = фактична висота втулки турбіни від землі (м);

h_{ref} = опорна висота від землі, на якій знаходиться швидкість вітру мірна (50 м).

Мікро турбінний генератор. Роль ТЕЦ-МТГ є життєво важливою для одночасного виробництва електроенергії та тепла. Він використовується в пропонованій системі когенерації як основний джерело теплового навантаження, а резервний для електричного навантаження у разі використання відновлюваної енергії недостатньо. Крива споживання палива ТЕЦ-МТГ, представлена рівнянням (8-а) вводиться для представлення кількості палива, спожитого для виробництва певної кількості електричної енергії [5]. Тим часом енергія палива, що залишилася, перетворюється в теплову енергію. Загальний ККД генератора розраховується за допомогою рівняння. (8-b) шляхом ділення суми електричної та теплової вихідної енергії на введену хімічну енергію палива [5]. NPC ТЕЦ-MTG розраховується за допомогою рівнянь. (8-в) та (8-d).

$$f_{CHP}(t) = a \cdot P_{CHP,n} + b \cdot P_{CHP,e}(t) \quad (8-a)$$

$$\eta_{CHP} = 3.6 \cdot \left(\frac{E_{CHP,gen} + H_{CHP,gen}}{m_{CHP} \cdot LHV_{fuel}} \right) \quad (8-b)$$

де f_{TEC} = витрата палива природного газу (m^3 /год);

$P_{TEC,n}$ = номінальна потужність ТЕЦ-МТГ (кВт);

$P_{CHP,o}$ = погодинна вихідна потужність ТЕЦ-МТГ (кВт);

a = коефіцієнт перехоплення паливної кривої природного газу
(номінальний m^3 /год/кВт);

b = нахил паливної кривої природного газу (m^3 /год/кВт продуктивність);

$E_{CHP,gen}$ = річне виробництво електроенергії ТЕЦ-МТГ (кВт·год/рік);

$H_{TEC,gen}$ = річна теплова генерація ТЕЦ-МТГ (кВт·год/рік);

η_{TEC} = ККД ТЕЦ-МТГ (%);

m_{TEC} = загальне річне споживання природного газу (кг/рік); i

LHV_{TEC} = нижча теплотворна здатність палива природного газу (МДж/кг), (1 кВт·год = 3,6 МДж).

Дизельний генератор. Загалом, система Dsl-Gen співпрацює в рамках HRPGS як додаткове постачання для пікового попиту на електроенергію, коли інших відновлюваних джерел недостатньо. Паливна крива Dsl-Gen, наведена в екв. (9-a) визначити, скільки електроенергії він виробляє на певну кількість спожитого палива [5]. Крім того, загальний середній ККД дизеля сформульовано так, як у формулі. (9-b) [5].

$$\dot{f}_{Dsl}(t) = c \cdot P_{Dsl,n} + d \cdot P_{Dsl,o}(t) \quad (9-a)$$

$$\eta_{Dsl} = 3.6 \cdot \left(\frac{E_{Dsl,gen}}{m_{Dsl} \cdot LHV_{Dsl}} \right) \quad (9-b)$$

де: m_{Dsl} = витрата дизельного палива (л/год);

$P_{Dsl,n}$ = номінальна потужність Dsl-Gen (кВт);

$P_{Dsl,o}$ = погодинна вихідна потужність Dsl-Gen (кВт);

c = коефіцієнт перетину кривої дизельного палива (л/год/кВт);

d = нахил кривої дизельного палива (л/год/кВт продуктивність);

$E_{Dsl,gen}$ = річне виробництво електроенергії Dsl-Gen (кВт·год/рік);

η_{Dsl} = ККД генератора (%);

m_{Dsl} = загальна річна витрата палива (кг/рік);

LHV_{Dsl} = нижча теплотворна здатність дизельного палива (МДж/кг), (1 кВт·год = 3,6 МДж);

Акумулятор для зберігання енергії. Акумуляторна система може забезпечити надійність електричних систем, оскільки вони накопичують енергію, коли виробництво коливається. Таким чином, це важливо для забезпечення стабільності автономних схем електрифікації на основі

відновлюваних джерел енергії. Максимальна ємність акумулятора [5] та екв. (10-б) . Кількість енергії заряду та енергії розряду на кроці часу (t) виражається за допомогою рівняння. (10-b) і рівняння (10-с), відповідно [5]. Крім того, SOC батареї в будь-який момент часу розраховується за допомогою рівняння. (10-г) [5]. Протягом години ємність сховища підпорядковується обмеженням, сформульованим рівнянням. (10-е) – (10-г) [5].

$$E_{BES} = \frac{E_{load,d} \cdot DA}{\eta_{BDC} \cdot \eta_{BES} \cdot DOD} \quad (10-a)$$

$$E_{BES, ch}(t) = E_{BES}(t-1) \cdot (1 - \mu) + \eta_{BES} \cdot \left[E_{gen}(t) \cdot \eta_{BDC} - \frac{E_{load}(t)}{\eta_{BDC}} \right] \quad (10-b)$$

$$E_{BES, disch}(t) = E_{BES}(t-1) \cdot (1 - \mu) + \left[\frac{E_{load}(t)}{\eta_{BDC}} - E_{gen}(t) \cdot \eta_{BDC} \right] / \eta_{BES} \quad (10-c)$$

$$SOC_{BES}(t) = \frac{E_{BES, st}(t)}{C_{BES}} \quad (10-d)$$

$$SOC_{min} \leq SOC_{BES}(t) \leq SOC_{max} \quad (10-e)$$

$$E_{BES, min} \leq E_{BES}(t) \leq E_{BES, max} \quad (10-f)$$

$$E_{BES, max} = SOC_{max} \cdot E_{BES} \text{ \& } E_{BES, min} = (1 - DOD) \cdot E_{BES} \quad (10-g)$$

де E_{BES} = потужність BES (кВт·год);

$E_{load,d}$ = загальна добова потреба в навантаженні (кВт·год/день);

$E_{BES, st}$ = енергія, що зберігається в BES (кВт·год);

$E_{BES, min}$ = мінімальна накопичена енергія в BES (кВт·год);

$E_{BES, max}$ = максимальна накопичена енергія в BES (кВт·год);

η_{BDC} = ККД BDC (%);

η_{BES} = ККД BES (%);

μ = швидкість саморозряду БЕС (0,007%/год)

DA = щоденна автономія;

DOD = глибина розряду акумулятора ;

Двонаправлений перетворювач включено в гібридну енергетичну систему для підтримки та перетворення потоку потужності від шини змінного струму та шини постійного струму і навпаки. У цьому дослідженні використаний перетворювач складається з випрямляча та інвертора, де їх вихідна потужність розраховується за допомогою рівнянь. (11-а), (11-б) відповідно [5].

$$P_{BDC,inv}(t) = \eta_{DC-AC} \bullet [P_{PV,o}(t) + P_{BES}(t) + P_{TLC,dc}(t)] \quad (11-a)$$

$$P_{BDC,rec}(t) = \eta_{AC-DC} \bullet [P_{WT}(t) + P_{CHP,o}(t) + P_{Dsl,o}(t) + P_{TLC,ac}(t)] \quad (11-b)$$

де $\eta_{DC/AC}$ = ефективність інверсії (%);

$\eta_{AC/DC}$ = ефективність випрямлення (%);

$P_{BDC,inv}$ = вихідна потужність інвертора (кВт);

$P_{BDC,rec}$ = вихідна потужність випрямляча (кВт);

Регулятор теплового навантаження TLC (або електричний котел) дозволяє надлишку електроенергії обслуговувати навантаження на теплову шину [5]. Очікується, що інтеграція TLC в HRPGS ефективно покращить загальну продуктивність системи з точки зору зменшення розмірів компонентів, меншої залежності від паливних генераторів, таким чином підвищить частоту радіочастот і зменшить викиди вуглецю, а також вартість системи. HOMER підтримує моделювання TLC за допомогою даних про вартість, термін служби та розмір [5].

2 ФОРМУВАННЯ МЕРЕЖІ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

В даній роботі рекомендується створення системи автономного електропостачання на основі комбінованого використання генеруючих модулів відновлюваних джерел енергії, сучасної елементної бази схем накопичення енергії, її перетворення, розподілу та регулювання, де розглядається проблема електропостачання наземних індивідуальних та/або колективних споживачів, відірваних від централізованого електропостачання, або розміщені в зонах критичного електропостачання.

До особливостей цієї розробки можна віднести те, що як перше джерело приймаються лише відновлювані джерела енергії (ВДЕ): сонячна енергія, вітрова енергія та енергія мікро водотоків, див. рис.2.1 [6].

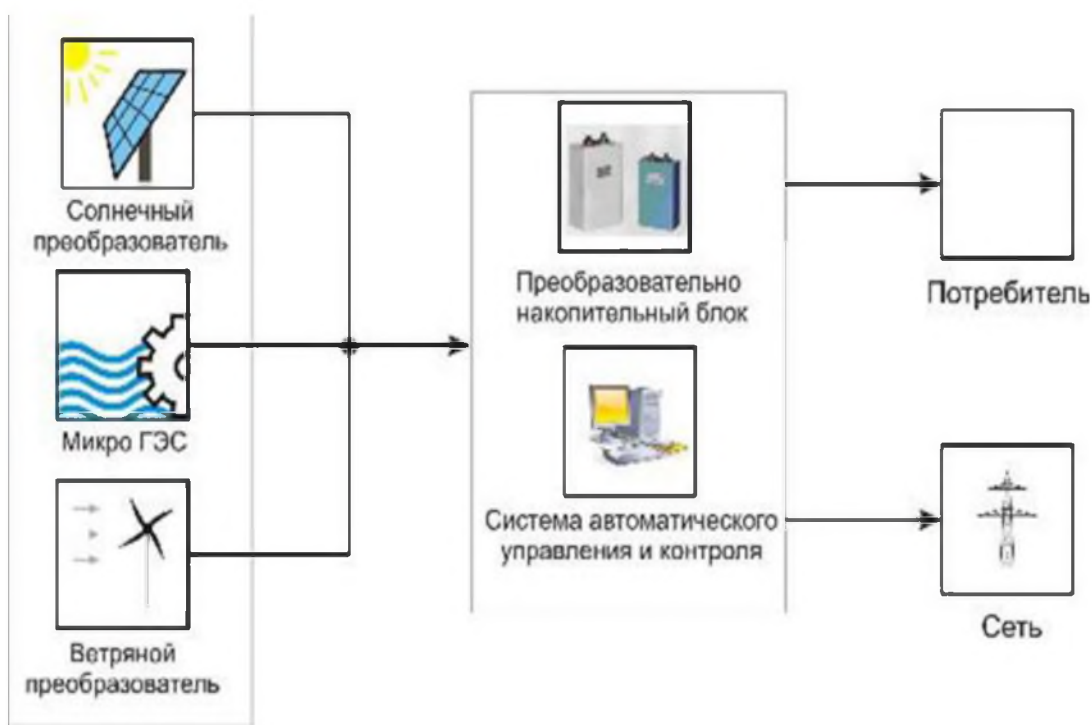


Рисунок 2.1 - Схема накопичення електричної енергії, засобів перетворення та розподілу електроенергії

При цьому розглядається застосування накопичувачів електричної енергії, засобів перетворення та розподілу електроенергії, а також використання сучасних засобів управління та контролю функціонування системи із застосуванням елементної бази обчислювальної та мікропроцесорної техніки.

З початку з метою візуалізації блокового складу системи, опису функцій, що виконуються цими блоками, а також для позначення енергетичних, командних, інформаційних та інших міжблочних зв'язків було розроблено формальну узагальнену функціональну структурну блок-схему гібридного комплексу автономного електропостачання.

Розробка та аналіз блок-схеми призвели до осмислення та формулювання нових ідей та вимог до гібридного комплексу автономного електропостачання, а саме у системі, що розробляється, застосовуються три перетворювачі ВДЕ з повним винятком «вибухових» технологій, що спалюють викопне паливо. Тут немає, як у «класичній» схемі гібридної системи електропостачання, див. рис.2.2 [6].

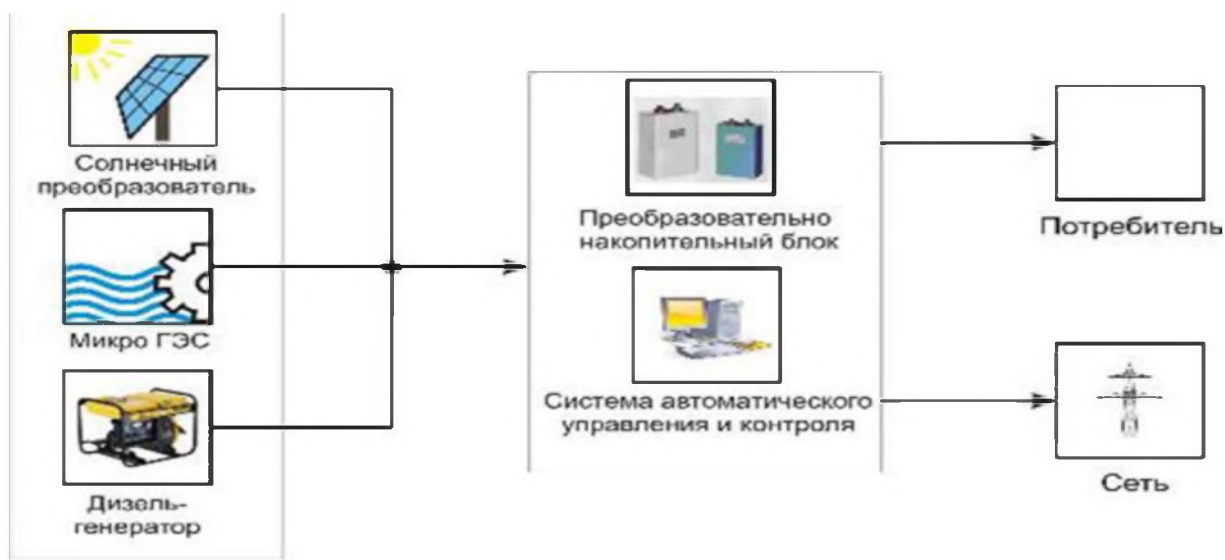


Рисунок 2.2 - Схема накопичення електричної енергії з дизельним генератором

Для так званого, «керованого» провідного блоку генерації, яким у всіх комбінованих системах є дизель-генератор з генеруючими блоками на ВІЕ, що виконують функції додаткових (до дизель генератору джерел енергії у вигляді сонячної батареї та/або вітрогенератора [6]. Функції синхронізатора генеруючих блоків повинна взяти на себе система автоматичного контролю та управління (АСУК).

Системі накопичення електричної енергії по відношенню до споживача надаються функції додаткового джерела енергії, що призводить до поділу загальноприйнятої системи акумуляції на систему накопичення великою електричною ємністю, що виконує роль четвертого «генератора» і буферну систему, що акумулює, що виконує роль синхронізатора генеруючих блоків [6].

Нова функція системи накопичення, в свою чергу, призводить до необхідності розширення її можливостей у вигляді АСУК.

Розділено два поняття: «споживач електричної енергії» та “приймач електричної енергії”.

Під «споживачем» мається на увазі людина, котра користується реалізації своєї життєдіяльності тим чи іншим «приймачем» електричної енергії [6].

У класичному розумінні, тільки споживач має можливість і право прийняття рішення використання електричної енергії тим чи іншим приймачем.

Поділ цих понять призводить до можливості гнучкішого вирішення питань необхідності використання в даний момент часу того чи іншого приймача електроенергії за допомогою АСУК (рис.2.3) [6].

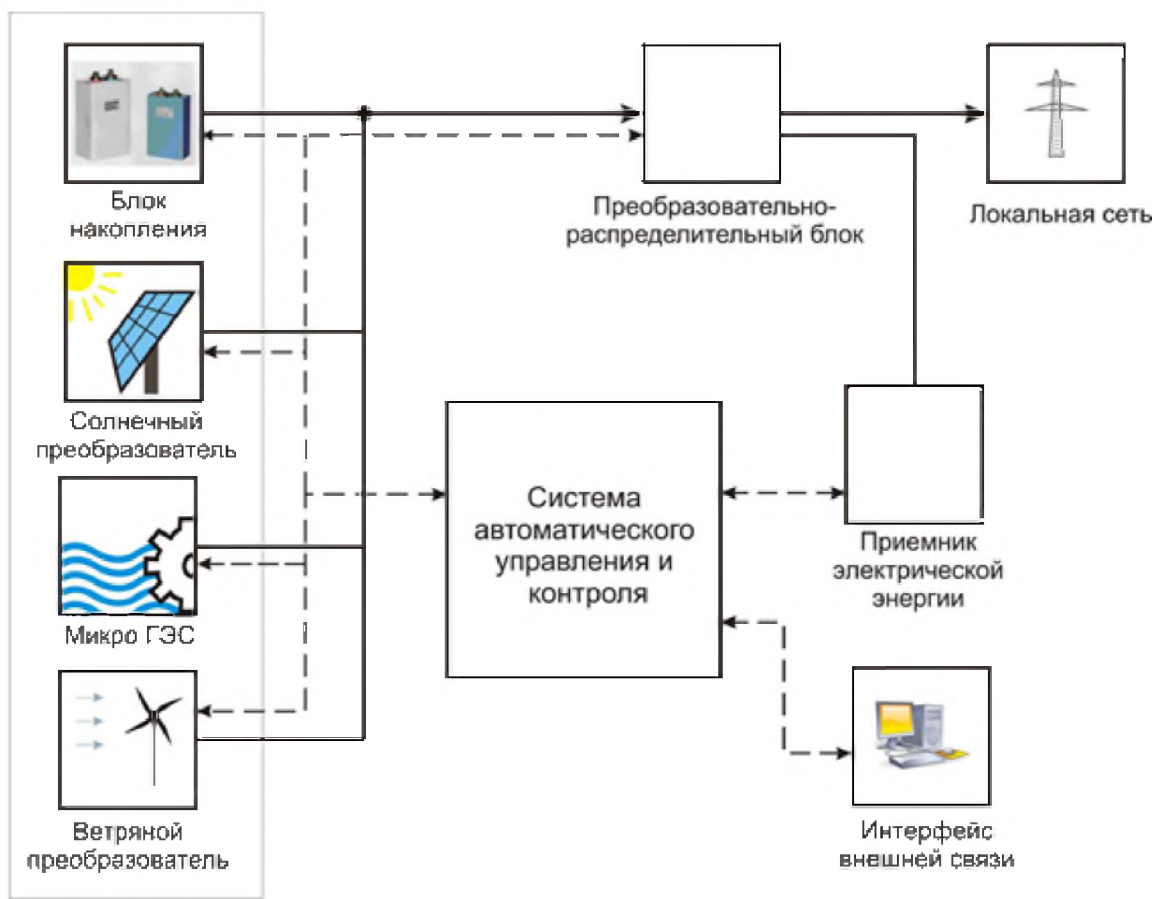


Рисунок 2.3- Схема накопичення електричної енергії та виводу до локальної мережі

Як елемент розподіленої енергетики система, що розробляється повинна мати можливість підключення до локальної мережі та/або до іншої гібридної системи електропостачання. Виконання цієї вимоги також доручається системі АСУК.

Таким чином, у схемі електропостачання, що розробляється, провідна роль відводиться автоматичній системі управління і контролю - АСУК). Справді, на АСУК покладаються інформаційні, аналітичні та контрольно-управлінські функції. Позначимо основні їх докладніше.

1. До інформаційних функцій відносяться:
 - 1.1 здійснення внутрішньо системного міжблочного обміну інформацією;
 - 1.2 здійснення двостороннього обміну інформацією: система - оточення системи;

- 1.3 моніторинг параметрів первинних ВІЕ;
- 1.4 збирання інформації самоконтролю функціонування;
- 1.5 збирання статистичної інформації про життєдіяльність системи;
- 1.6 моніторинг антивандальної системи та системи інформаційної безпеки;
- 2. До аналітичних функцій відносяться:
 - 2.1 аналіз та короткострокове прогнозування параметрів первинних віе з урахуванням даних позасистемного контролю та зовнішніх джерел (інтернет);
 - 2.2 аналіз інформації самоконтролю, вибір рішення;
 - 2.3 аналіз інформації щодо функціонування системи, вибір рішень;
 - 2.4 аналіз поелементних збоїв, тимчасових виходів з ладу та аварійних ситуацій; вибір рішень;
 - 2.5 аналіз антивандальної та системи інформаційної безпеки, вибір рішень.
- 3 До контрольно-управлінських функцій слід віднести:
 - 3.1. Здійснення алгоритму пуско-налагодження,
 - 3.2. Позасистемний контроль параметрів первинних веі,
 - 3.3. Здійснення алгоритму перманентного самоконтролю,
 - 3.4. Здійснення основного алгоритму контролю та управління функціонуванням системи,
 - 3.5. Здійснення заходів антивандальної та системи інформаційної безпеки.

Система електропостачання, що розробляється з багатофункціональною системою автоматичного контролю та управління, поза сумнівом, відповідає вимогам концепції Smart Grid - це «електричні мережі, які відповідають вимогам енергоефективного та економічного функціонування енергосистеми за рахунок скоординованого управління та за допомогою сучасних двосторонніх комунікацій між елементами електричних

мереж, електричними станціями, акумулюючими джерелами та споживачами».

Відомо, що пошук рішень сучасних проблем енергетики як глобальних, так і локальних намітив в останній період якісно нові тенденції розвитку світової енергетики, що дають деякі підстави для оптимізму [6].

Перша тенденція пов'язана з широким використанням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) різних типів, що призвело до завдання їх підключення до існуючих енергетичних систем.

Друга тенденція пов'язана з модернізацією та інноваційним розвитком електричних мереж із використанням новітніх технологічних рішень, включаючи використання розподілених інформаційних мереж.

2.1. Висновки по розділу 2

Повертаючись до гібридної системи електропостачання, що розробляється, із застосуванням ВДЕ, сформулюємо деякі висновки.

Насамперед, слід зазначити, що всі розробники технологій Smart Grid бачать розвиток інтелектуальних мереж у підключенні до існуючих ліній електропередачі генеруючих систем із використанням ВІЕ.

І оскільки «контролювати електрику, що надходить із цих джерел, як із традиційних, практично неможливо», то слід розробляти та застосовувати технології Smart Grid тільки за вирішенням цього завдання підключення.

Розроблювана активно-адаптивна система електропостачання, зважаючи на закладену в неї можливість інформаційно - командного об'єднання енергетичних установок, має великі потенційні можливості своєї досконалості. Наприклад, є можливість нарощування потужності системи шляхом підключення додаткових генеруючих блоків, що використовують не

тільки зазначені первинні джерела ВДЕ (малі водні потоки, Сонце та вітер), але й інші (геотермальна, приливна енергія тощо)

І, нарешті, третє. Запланована до розробки інформаційно-управлінська та контрольна ієрархічна система дозволить вирішувати всі питання оптимізації функціонування систем електропостачання як автономних гібридних, так і об'єднаних, вирішуючи при цьому завдання як раціонального використання природних ресурсів, так і підвищення рівня енергозбереження.

3 ЕНЕРГЕТИЧНА НЕЗАЛЕЖНІСТЬ БУДИНКУ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ТЕПЛОВОГО НАСОСУ

3.1 Енергоефективний будинок

Об'єкт, що розглядається, - приватний будинок, розташований у м. Покровськ. це будинок, в якому дуже мале споживання енергії поєднується з комфортним мікрокліматом. Економія енергії у таких будинках сягає 90% [7].

У енергоефективного будинку річна потреба в опаленні може бути меншою за 14 кВт·год/м². При цьому на сьогоднішній день у найпоширенішій конструкції приватного будинку (ж/б фундамент, система «тепла підлога» без утеплення, стіни 1,5 цегли з цементною штукатуркою, звичайними металопластиковими вікнами, утепленням покрівлі 150 мм і без припливно-витяжної вентиляції з рекуперацією тепла) споживання енергії на опалення становить 110-130 кВт · год на 1 м²на рік

В даний момент будинок знаходиться в процесі будівництва, його каркас та покрівля вже збудовані, внутрішні перегородки споруджені, вікна та двері встановлені. Виходячи з цього, можливе здійснення лише кількох критеріїв енергоефективного будинку, а саме:

- 1) система опалення;
- 2) Пасивне та активне використання відновлюваної енергії;
- 3) Вентиляція;
- 4) Побутові прилади та освітлення;

Економна витрата води та повернення теплоти від використаної теплої води

Для забезпечення системи опалення будемо використовувати теплові насоси типу повітря- повітря.

Однією з основних елементів є робоче тіло, зображене рис.3.1. Діапазон робочих тіл фактично безмежний. Кожна рідина здатна випаровуватися в інтервалі тисків від 0,1 до 2 МПа при прийнятній температурі представляє інтерес. Холодоагенти відповідно до стандартного переліку. ASHRAE розділені на галоїдовуглецеві, циклічні органічні сполуки, азеотропи вуглеводні, кисневі сполуки, азотні сполуки.

На погляд, вибір робочого тіла впливає КОП, який залишається майже постійним для широкого набору холодоагентів із суттєво різними тисками та щільностями, якщо при цьому температури випаровування та конденсації однакові [7].

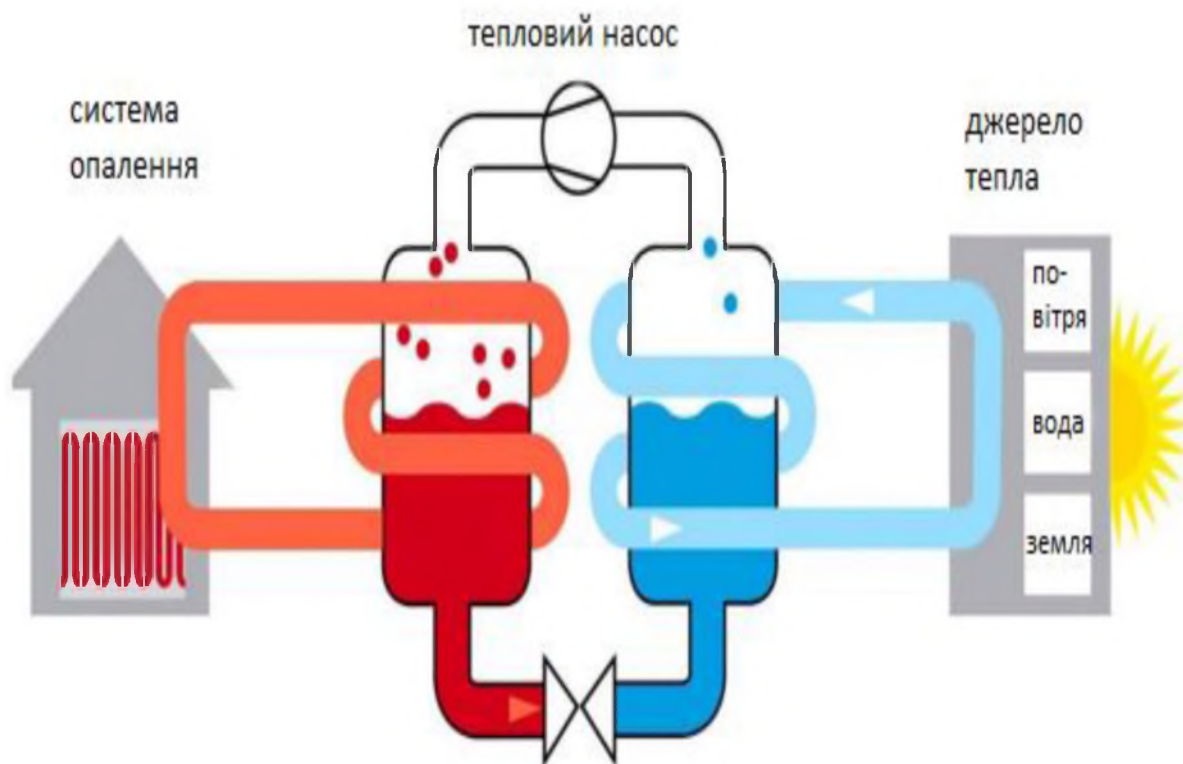


Рисунок 3.1 – Схема роботи теплового насоса в будівлі

Компресори у ТНУ є найважливішим компонентом. Компресори поділяються на 2 групи – для вологої та сухої пари. Існує кілька типів

компресорів. Одним із таких типів є ротаційні лопаткові компресори. Ці компресори зазвичай працюють при низьких тисках і ступенях стиснення, вони також називаються компресорами зі ковзкими лопатками. Їх характерний високий ККД, вони придатні для високих швидкостей обертання. Стиснення відбувається між ковзними лопатками. Ротаційні компресори застосовуються при потужності приводу до 5 кВт і менше. Вихідний тиск рідко перевищує 1 МПа, а різниця тисків зазвичай трохи більше 0,4 МПа [7].

Специфіка передачі тепла від повітря до холодоагенту полягає в тому, що теплопровідність повітря в 5 - 10 разів нижче ніж у циркулюючої в контурі рідини. У зв'язку з цим необхідно або компенсувати це за рахунок збільшення площі, або за рахунок зниження витрати в контурі, що призводить до затримки олії в теплообміннику та масляному голодуванні компресора та виходу його з ладу.

При проектуванні повітряних теплообмінників зазвичай застосовують мідні або алюмінієві трубки з ребра для збільшення площі теплообміну.

Такі конструкції бувають активного та пасивного вигляду. Активні теплообмінники оснащуються вентиляторами збільшення витрати повітря через ребра теплообмінника. Пасивні теплообмінники досягають необхідної передачі тепла лише рахунок площі ребра.

Розрахункова теплова потужність ТНУ для системи тепlopостачання складала 150 кВт за мінімальної температури низькопотенційного джерела тепла (повітря) + 1 °С.

Акцентуємо увагу на 2 та 4 пункті. Як активне використання енергії з відновлюваних джерел розглянемо енергопостачання будинку за рахунок вітроенергетичних установок. А побутові прилади та освітлення будемо підбирати з високим класом енергоефективності та низьким енергоспоживанням.

Автономна енергоустановка, яка буде використовуватися буде складатися з вітроелектростанції та дизельного генератора, та теплового насоса на рис.3.1.

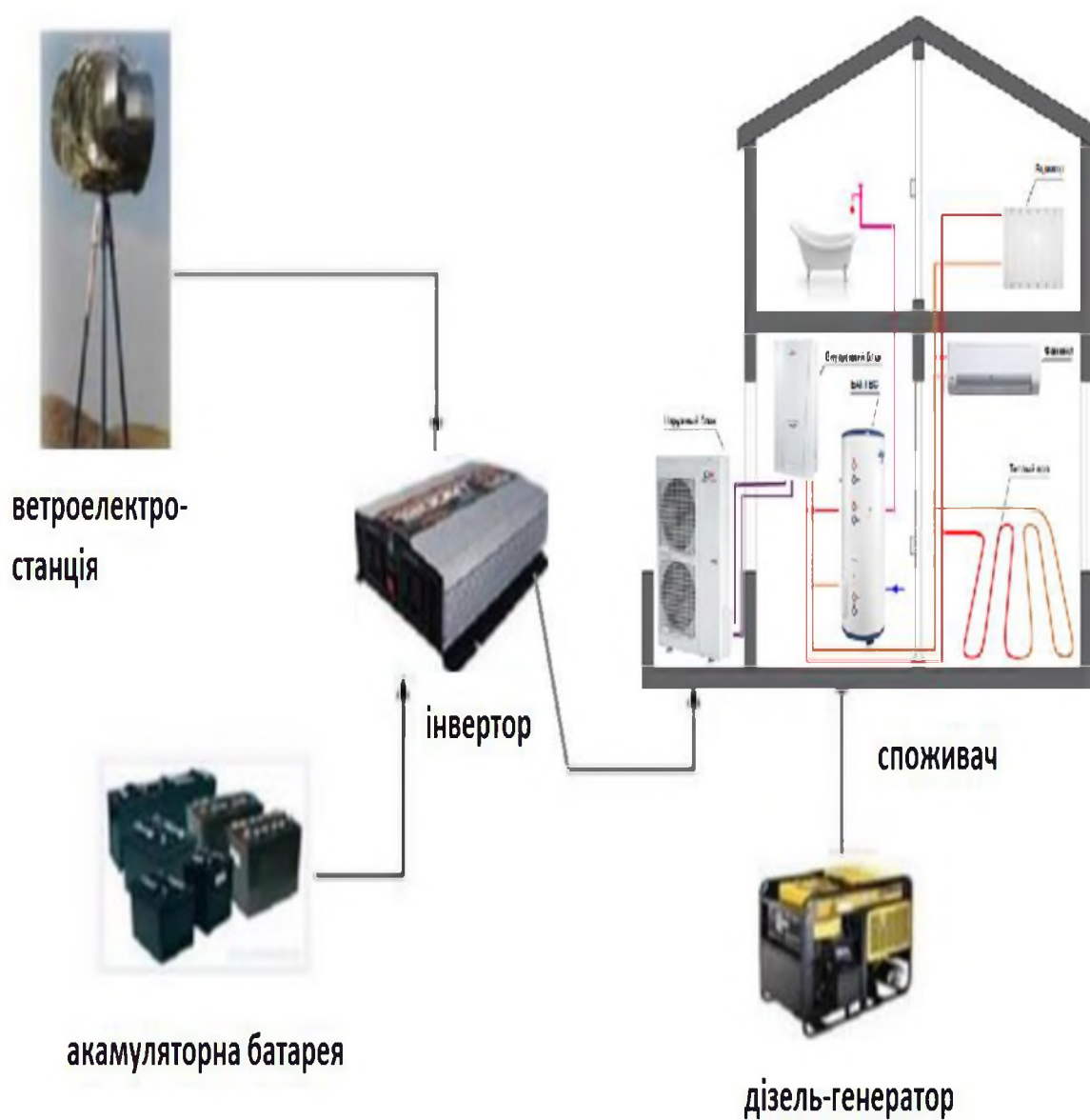
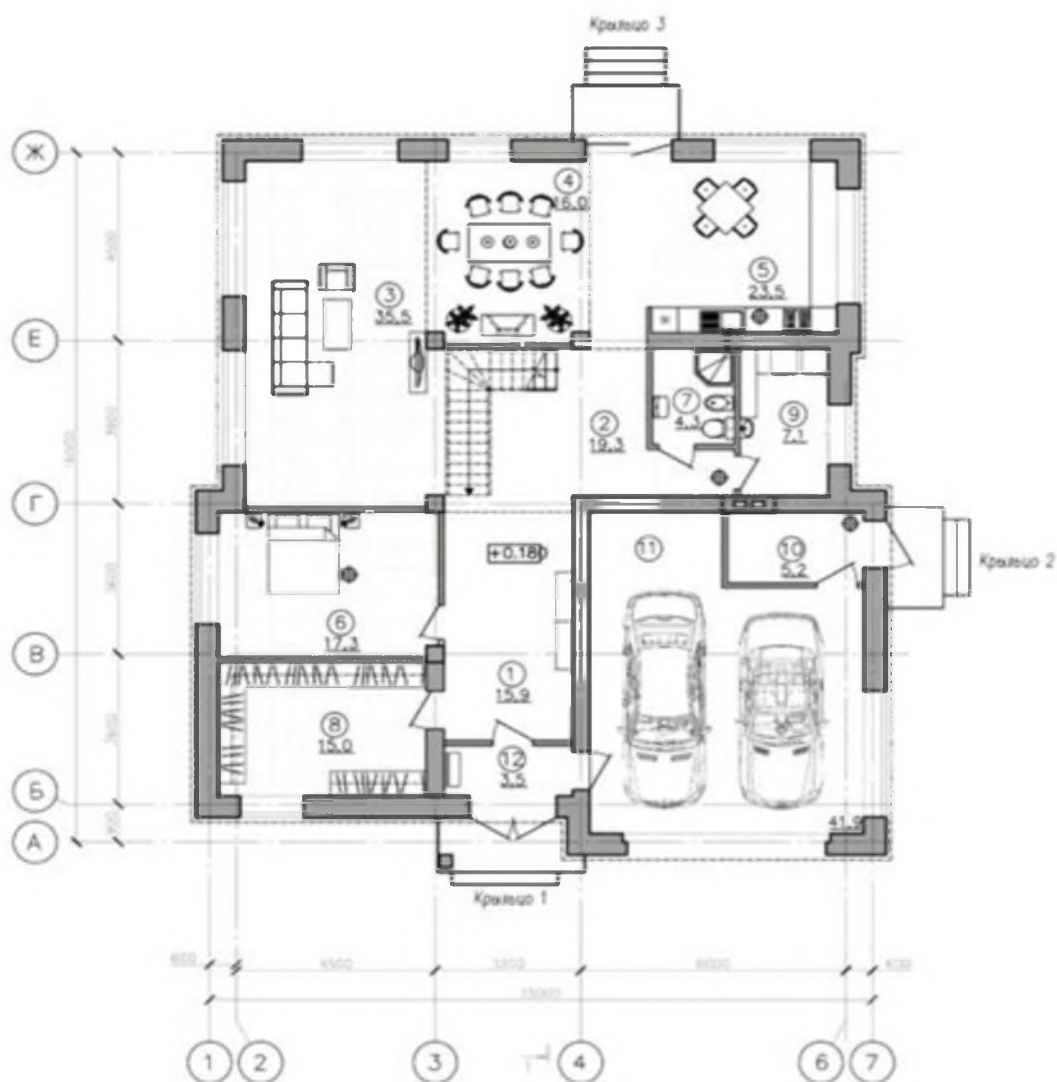


Рисунок 3.1 – Схема комплексної енергетичної системи будівлі з ВЕД та тепловим насосом

План першого та другого поверху будинку представлений на рис.3.2 та рис.3.3.



1 – передпокій, 2 – хол, 3 – вітальня, 4 – їдальня, 5 – кухня, 6 – гостьова спальня, 7 – санвузол, 8 – гардероб, 9 – пральня, 10 – котельня, 11 – гараж, 12 – тамбур.

Рисунок 3.2 - План першого поверху будівлі

Схема електропостачання представлена на рис.3.4 по наступному принципу:

- якщо виробленої енергії від вітроелектростанції достатньо, то струм від вітроелектростанції через інвертор подається на навантаження;
- при відсутності вітру, і при достатньому заряді акумуляторів, акумулятори через інвертор подають живлення на навантаження;

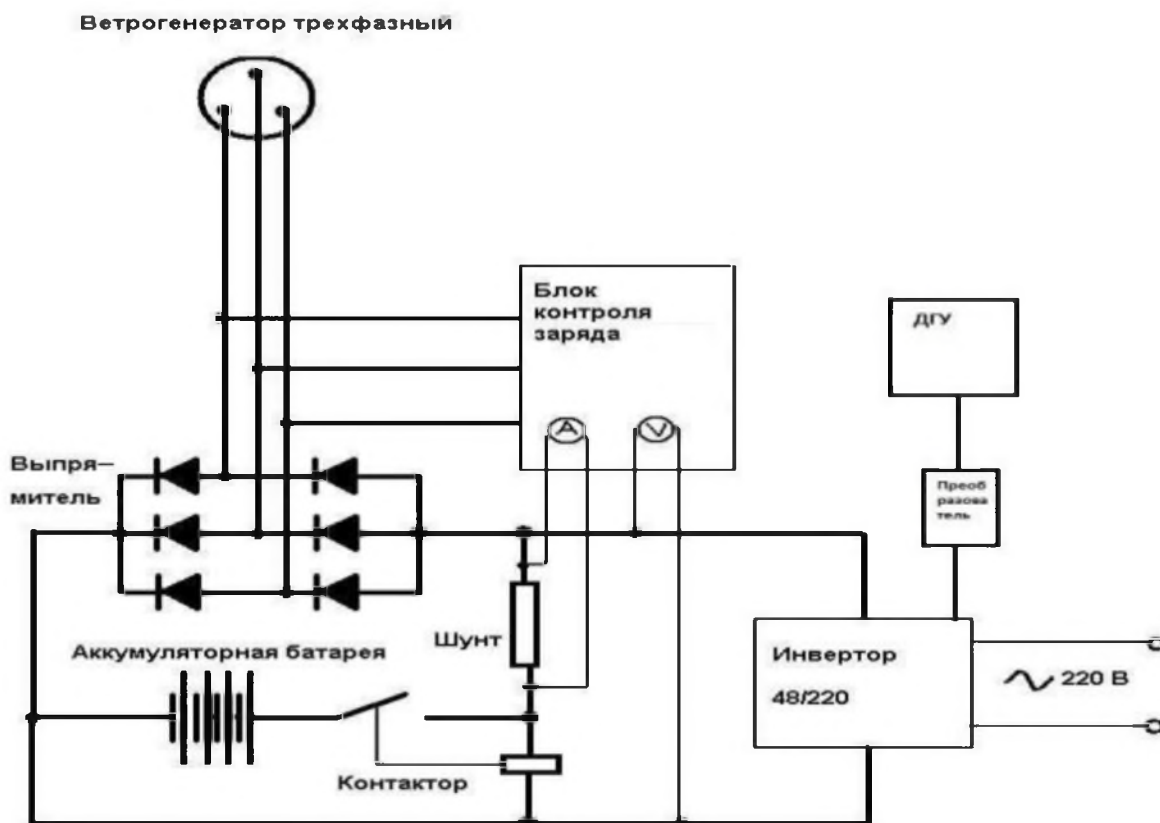


Рисунок 3.4 - Електрична схема з застосуванням дизельного генератора

Перш ніж приступити до проектування автономній електростанції, необхідно заздалегідь знати, яке навантаження та потужність використовується в будівлі. За передньою інформацією будинок знаходиться на території Покровська, де щорічна швидкість вітру 5-7 м/с.

Таблиця 3.1 – Витрати на споживачів

електроприлади	Потужність, кВт (р)	Щоденний час роботи (t)	Споживання електроенергії, кВт*год
Холодильник	0,0825	10	0,825
Праска	1,1	0,2	0,22
Пилосос	0,66	0,4	0,264
Телевізор	0,11	4	0,44
Мікрохвильова піч	1,43	0,6	0,858

Продовж. табл.3.1.

Фен	0,66	0,1	0,066
Пральна машина	2,42	2	4,84
лампи	0,066	3	0,198
Чайник	2,035	0,2	0,407
Електрична панель	3	3	9
духовка	3	1	3
Електро інструмент (насос)	0,125	24	3
Разом			23,12

Побудуємо добовий графік навантаження на рис.3.5 усього обладнання, для цього використовуємо табл.3.2 , де відібрані прилади, що працюють у певний момент дня і ночі.

Таблиця 3.2 – Час роботи приладів протягом доби

Час	Потужність,квт	Прилади
01:00:00	0,1485	х,л,е
02:00:00	0,1485	х,л,е
03:00:00	0,1485	х,л,е
04:00:00	0,1485	х,л,е
05:00:00	0,1485	х,л,е
06:00:00	0,1485	х,л,е
07:00:00	6,6275	х, м, п,л,ч,е
08:00:00	3,1485	х, л,д,е
09:00:00	0,1485	х, л,е
10:00:00	0,1485	х, л,е
11:00:00	3,0825	х, е
12:00:00	3,0825	х, е
13:00:00	3,0825	х, е
14:00:00	3,0825	х, е
15:00:00	3,0825	х, е
16:00:00	3,0825	х, е

Продовж. табл.3.2.

17:00:00	6,6275	х, м, п,л,ч,е
18:00:00	6,6275	х, м, п,л,ч,е
19:00:00	3,1485	х, л,д,е
20:00:00	0,1485	х, л,е
21:00:00	3,135	х, л,е
22:00:00	3,66	х, л,е
23:00:00	3,11	х, л,е
00:00:00	4,43	х, л,е

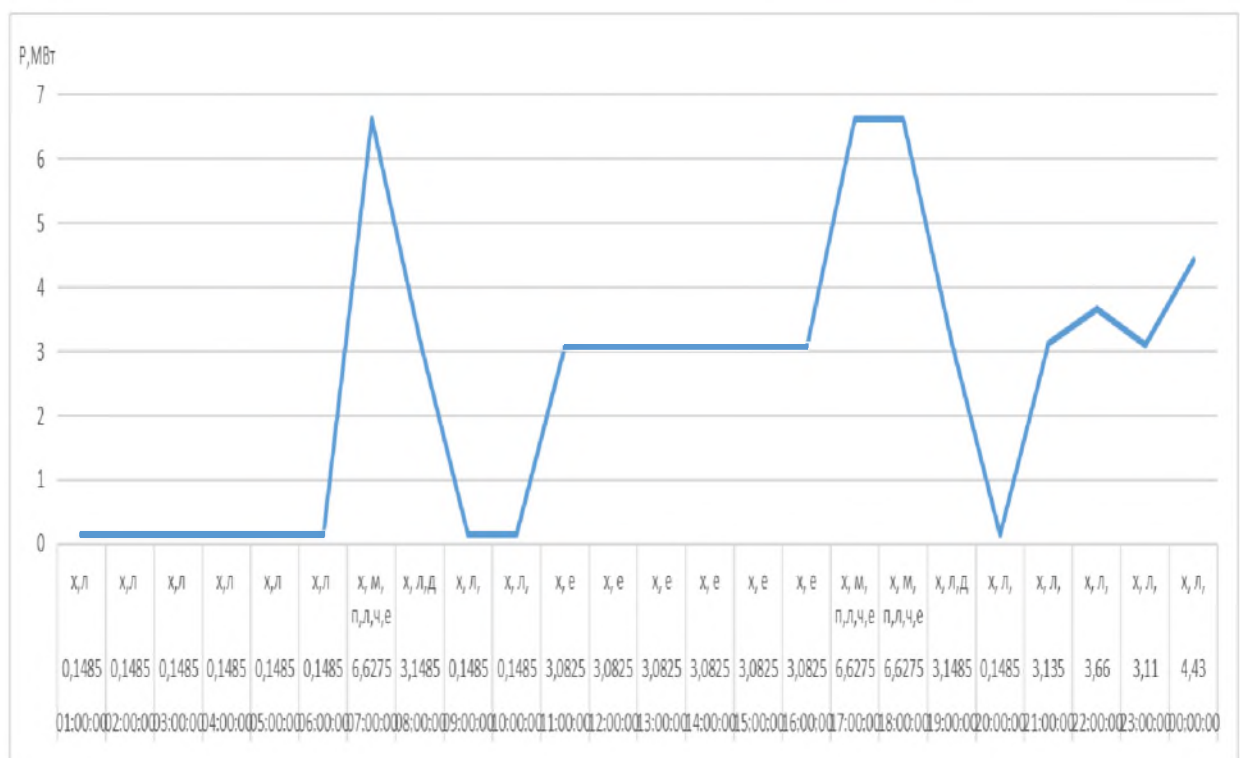


Рисунок 3.5 - Час роботи приладів та споживання електроенергії протягом суток

Визначимо номінальну потужність вітроенергетичної установки для автономного енергоживлення об'єкта.

Середня швидкість вітру в регіоні дорівнює 5-7 м/с. Середньодобове споживання об'єкта нам відомо- $E_{\text{сут}} = 23120 \text{ Вт} \cdot \text{год}$. Виходячи з цих даних по формулі (2) находимо середньо годинне споживання:

$$E_{\text{год}} = E_{\text{сут}} / 24 \quad (3.2)$$

$$E_{\text{год}} = 23120 / 24 = 963,25 \text{ Вт*год}$$

Мінімальна потужність вітроустановки повинна бути не менше 1000 Вт. Тому розглянута схема електропостачання будівлі. Для перебудови в разі недостатньої потужності в системі буде включений дизельний генератор. Також буде проведено підрахунок навантаження на будівлю.

3.2 Вибір вітряка

Вибір ВЕУ визначається електричним навантаженням електроспоживачів, яка була розрахована в попередньому розділі, та вітровими характеристиками місцевості, де буде розміщуватися установка. У табл.3.3 представлені дані про повторюваність швидкостей вітру в місці розташування розглянутого приватного будинку на кожен із місяців [7].

Таблиця 3.3 - Швидкості вітру по місяцям

Місяць	Швидкості вітру, м/с							
	0-1	1-2	3-4	5-6	7-8	9-10	11-12	12-13
січень	0,511	0,278	0,167	0,089	0,044	0,011	0,006	0,006
лютий	0,533	0,289	0,167	0,067	0,033	0,011	0,006	0,004
Березень	0,500	0,322	0,167	0,067	0,044	0,011	0,000	0
Квітень	0,389	0,322	0,211	0,089	0,067	0,022	0,011	0
Травень	0,344	0,355	0,211	0,111	0,056	0,022	0,011	0
Червень	0,389	0,377	0,211	0,089	0,044	0,000	0	0
Липня	0,466	0,377	0,178	0,056	0,033	0,000	0	0
Серпень	0,477	0,366	0,189	0,056	0,022	0,000	0	0

Вересень	0,455	0,322	0,189	0,078	0,044	0,022	0	0
Жовтень	0,389	0,333	0,200	0,100	0,056	0,022	0,011	0
Листопад	0,433	0,322	0,189	0,089	0,044	0,022	0,011	0
грудень	0,566	0,278	0,144	0,067	0,033	0,011	0,011	0
Рік	0,454	0,328	0,185	0,080	0,043	0,013	0,006	0,001

Розглянемо вітроустановки з малою швидкістю початку обертання, адже згідно з даними табл. 3.1 у цій місцевості переважають вітри ≤ 5 м/с. У табл. 3.4 представлені варіанти подібних до ВЕУ [8-10].

Таблиця 3.4 – характеристики Вітряків

Назва	Falcon Euro 3 кВт	Falcon 5 кВт	Falcon 10 кВт
Потужність	3 кВт	5 кВт	10 кВт
Фото			
Діаметр ротора, м	3.4	6.0	8.0
Ометна площа, м2	13.6	28.3	50.3
Номінальна потужність, Вт	3 000	5 000	10 000
швидкість вітру, м/с	11	10	10
Пікова потужність, Вт	3 200	7 000	15 000
Вихідна напруга, В	24	48	380

Розрахуємо кількість енергії, яка може бути вироблена вітроустановкою для кожного місяця з питомою площею, що омивається, з урахуванням повторюваності швидкостей для заданого району [7]:

$$W_{\text{год}}^{\text{м}} = \beta T \left(\sum_{v_{\text{min}}}^{v_p} v_i^3 \cdot t^* + v_p^3 \sum_{v_p}^{v_{\text{max}}} t^* \right), \text{ кВт} \cdot \text{ч} / \text{м}^2,$$

де $\beta = 2 \cdot 10^{-4}$ - коефіцієнт, що враховує характеристики вітру;

T – число годин роботи ВЕУ на місяці, год;

v_i – середня швидкість у градації, м/с;

v_p – робоча швидкість вітроустановки, м/с;

$v_{\max}$ – максимальна швидкість вітроустановки, м/с;

$v_{\min}$ – мінімальна швидкість вітроустановки, м/с

t^* -повторюваність швидкості вітру для даної градації.

$$W_{\text{год}}^M = 2 \cdot 10^{-4} \cdot 31 \cdot 24 \left[\begin{array}{l} (2^3 \cdot 0.51 + 2.5^3 \cdot 0.278 + \\ 4.5^3 \cdot 0.16 + 6.5^3 \cdot 0.09 + \\ 8.5^3 \cdot 0.04 + 10.5^3 \cdot 0.01) \end{array} + 11^3 (0.006 + 0.004 + 0) \right] = 14.68 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$$

Потім визначається повна енергія, що виробляється для кожного місяця [7]

$$W_{\text{ВЕУ}}^M = W_{\text{год}}^M A, \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

де A – площа, яку використовує вітроколеса, м^2 .

Таким чином проводиться розрахунок для усіх місяців та вітроустановок. Дані розрахунків зведено до табл.3.5.

Таблиця 3.5 - Енергія, вироблена ВЕУ

	Falcon Euro 3 кВт		Falcon 5 кВт		Falcon 10 кВт	
Місяць	Wудм ,	WBЭм У ,	Wудм ,	WBЭм У ,	Wудм ,	WBЭм У ,
січень	кВт·ч/м ²	кВт·ч,	кВт·ч/м ²	кВт·ч,	кВт·ч/м ²	кВт·ч,
лютий	15,169	206,25	14,234	402,82	14,773	743,16
Березень	12,023	163,57	11,176	316,25	11,66	586,74
Квітень	12,177	165,66	11,869	336,05	11,869	597,19
Травень	18,997	258,39	18,051	510,84	18,579	934,34
Червень	19,547	265,87	18,678	528,66	19,217	966,79

Липня	11,396	154,99	11,572	327,36	11,572	581,9
Серпень	9,064	123,31	9,152	259,05	9,152	460,35
Вересень	8,206	111,54	8,25	233,53	8,25	415,03
Жовтень	14,3	194,37	13,794	390,5	13,794	694,1
Листопад	18,953	257,73	17,996	509,19	18,535	932,25
грудень	16,808	228,69	15,818	447,59	16,346	822,03
	13,035	177,21	12,034	340,45	12,573	632,39
За рік	0	2307,69	0	4602,18	0	8366,27

Визначимо необхідну кількість (N) ВЕУ для повного енергопостачання будівлі у кожен із місяців.

$$N = W_{\text{потр}}^{\text{м}} / W_{\text{ВЕУ}}^{\text{м}},$$

де $W_{\text{потр}}^{\text{м}}$ - енергоспоживання об'єкта, що розглядається, в поточному місяці, розраховується як добуток середнього споживання електроенергії на кількість днів на місяці.

Результати розрахунку представлені у табл.3.6.

Таблиця 3.6 - Підрахунок кількості ВЕУ

Місяць	Споживання, кВт·год	Кількість, шт., марка		
		Falcon 3	Falcon 5	Falcon10
січень	780,681	4	2	1
лютий	705,133	4	2	1
Березень	780,681	5	2	1
Квітень	755,502	3	1	1
Травень	780,681	3	1	1
Червень	755,502	5	2	1
Липня	780,681	6	3	2

Серпень	780,681	7	3	2
Вересень	755,502	4	2	1
Жовтень	780,681	3	2	1
Листопад	755,502	3	2	1
грудень	780,681	4	2	1
Максимальна кількість	0	7	3	2

Враховуючи потреби в кількості БЕУ (див. табл. 3.6) найвигідніше буде обрати другий варіант установки - Falcon 5 кВт з вихідною напругою 48 В є більш раціональною для вибору інвертора та акумуляторної батареї, а це краще ніж 380 В.

У даному підрозділі проведено оцінку ефективності роботи вітроенергетичних установок у розглянутому регіоні з урахуванням місцевих швидкостей вітру. За підсумками розрахунків обрано БЕУ Falcon 5 кВт у кількості 3 штук з вихідною напругою 48 для більш комфортного вибору інвертора.

3.2 Математичні моделі структур БЕУ

Механічна потужність, яка виробляється лопатями вітрової турбіни, що має 3 лопасті :

$$P_{\text{мех}} = 0,5 \cdot \pi \cdot \rho \cdot R^2 \cdot C_p(Z, \beta) \cdot V^3,$$

Де ρ – щільність повітряного потоку;

V – швидкість вітру;

R – радіус ометаної поверхні

$C_p(Z, \beta)$ – відносний коефіцієнт використання енергозбереження вітру для комп'ютерної моделі.

$$C_p(Z, \beta) = c_1 \left(\frac{c_2}{Z_i - c_3 \beta - c_4} \right) e^{\frac{-c_5}{Z_i}} + c_6,$$

$c_1 - c_6$ – узагальнені імперичні коефіцієнти турбін для 3 лопастей;

β - кут атаки;

Z_i – відносна швидкохідність визначається з рівняння:

$$\frac{1}{Z} = \frac{1}{Z + 0,08 \beta} - \frac{0,035}{\beta^3 + 1}$$

Z - фактична швидкість:

$$Z = \frac{v_{ск.взу}}{V_{ветра}} = \frac{\omega \cdot R}{V},$$

Механічний момент на валу вітрової турбіни або генератора:

$$M = \frac{P_{мех}}{\omega}$$

ω - частота обертання обертання валу генератора або вітрової турбіни;

Рівняння динаміки синхронного генератора і ж вітрової турбіни:

$$\frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} [M_{вр} - M_{нагр} - F \cdot \omega],$$

Обертальний електромагнітний момент:

$$M_{эл} = \frac{3}{2} p [(L_{ds} - L_{qs}) \cdot i_d \cdot i_q + i_q \cdot \psi_f],$$

i_d – продольный ток, А;

i_q – поперечный ток, А;

$$\begin{cases} \frac{di_d}{dt} = \frac{1}{L_{ds}} \cdot u_d - \frac{r_s}{L_{ds}} i_d + \frac{L_{qs}}{L_{ds}} \cdot \omega_e i_q \\ \frac{di_q}{dt} = \frac{1}{L_{qs}} u_q - \frac{r_s}{L_{qs}} i_q + \frac{L_{ds}}{L_{qs}} \cdot \omega_e i_d - \frac{\psi_f \omega_e}{L_{qs}} \end{cases},$$

Система рівнянь, яка описує динаміку механічної системи:

$$\begin{cases} \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J} (M_e - M_f - M\omega - M_m) \\ \frac{d\theta}{dt} = \omega_m \end{cases},$$

Математична модель перетворювальних пристроїв.

Математична модель випрямляча має вхід:

Напруга на виході випрямляча:

$$U_{\text{вых}} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} U_{\text{макс}} = 1,65 \cdot U_{\text{макс}} = 2,34 \cdot U_{\text{ср.кв.тик.}},$$

$U_{\text{мах}}$ – максимальна або амплітудна напругення;

$U_{\text{ср.кв.лик}}$ – середньоквадратичне напругення всіх пікових значень по хвилі.

Математична модель інвертора має вигляд:

$$U = \frac{4}{\pi} \cdot U_m \left[\cos \theta \cdot \sin \omega t + \frac{1}{3} \cos 3\theta \cdot \sin 3\omega t + \frac{1}{5} \cos 5\theta \cdot \sin 5\omega t + \dots \right]$$

$$U_{\text{вых}} = \frac{2}{\pi} U_m \sum_{n=1}^{\infty} \left(\frac{\cos \theta \cdot \sin \omega t}{n} \right) [1 - (-1)^n],$$

Де U_m – амплітудне напругення;

θ – кут сдвигу по фазі;

ω – кутова частота, $n= 1, 2, 3, 4, \dots$;

Математична модель накопичувачів електронної енергетичної:

$$V_{bat} = V_1 + I_{bat} \cdot R_1,$$

$$R_1 = R_{ch} = \left(0,785 + \frac{0,139}{[1,06 - SOC(t)] \cdot n_s} \right) \frac{1}{SOC_m},$$

$$V_1 = V_{ch} = [2 + 0,148 \cdot SOC(t)] \cdot n_s,$$

$$R_1 = R_{dch} = \left(0,19 + \frac{0,1037}{[SOC(t) - 0,14] \cdot n_s} \right) \frac{1}{SOC_m},$$

$$V_1 = V_{dch} = [1,926 + 0,124 \cdot SOC(t)] \cdot n_s,$$

$$SOC(t + dt) = SOC(t) \left(1 - \frac{Ddt}{3600} \right) + \frac{K_b (V_{bat} \cdot I_{bat} - R_1 \cdot I_{bat}^2) dt}{3600},$$

$$SOC(t) = SOC(t-1) + \frac{1}{3600} \int_{t-1}^t \left[\frac{K_b \cdot V_1 \cdot I_{bat}}{SOC_m} - SOC(t-1)D \right] Dt,$$

$$U_{акб} = U_1 + I_{акб} \cdot R_1,$$

Де

$$R_1 = R_{xp} = \left(0,785 + \frac{0,139}{[1,06 - Y3(t)] n_s} \right) \frac{1}{Y3_{мкк}},$$

4 ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ СИСТЕМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ВДЕ У MATLAB

В роботі проводимо дослідження роботи вітроенергетичної установки малої потужності горизонтально-осьового типу без навантаження. У програмі MATLAB за допомогою елементів бібліотеки Simulink і SimPowerSystem була створена математична модель рівня, яка описує процес роботи частин БЕУ. Компоненти моделі, представлені на рис.4.1 (вітрова турбіна, синхронний генератор на постійних магнітах і акумуляторна батарея) гранично точно відображають динаміку вироблення потужності і її акумулювання.

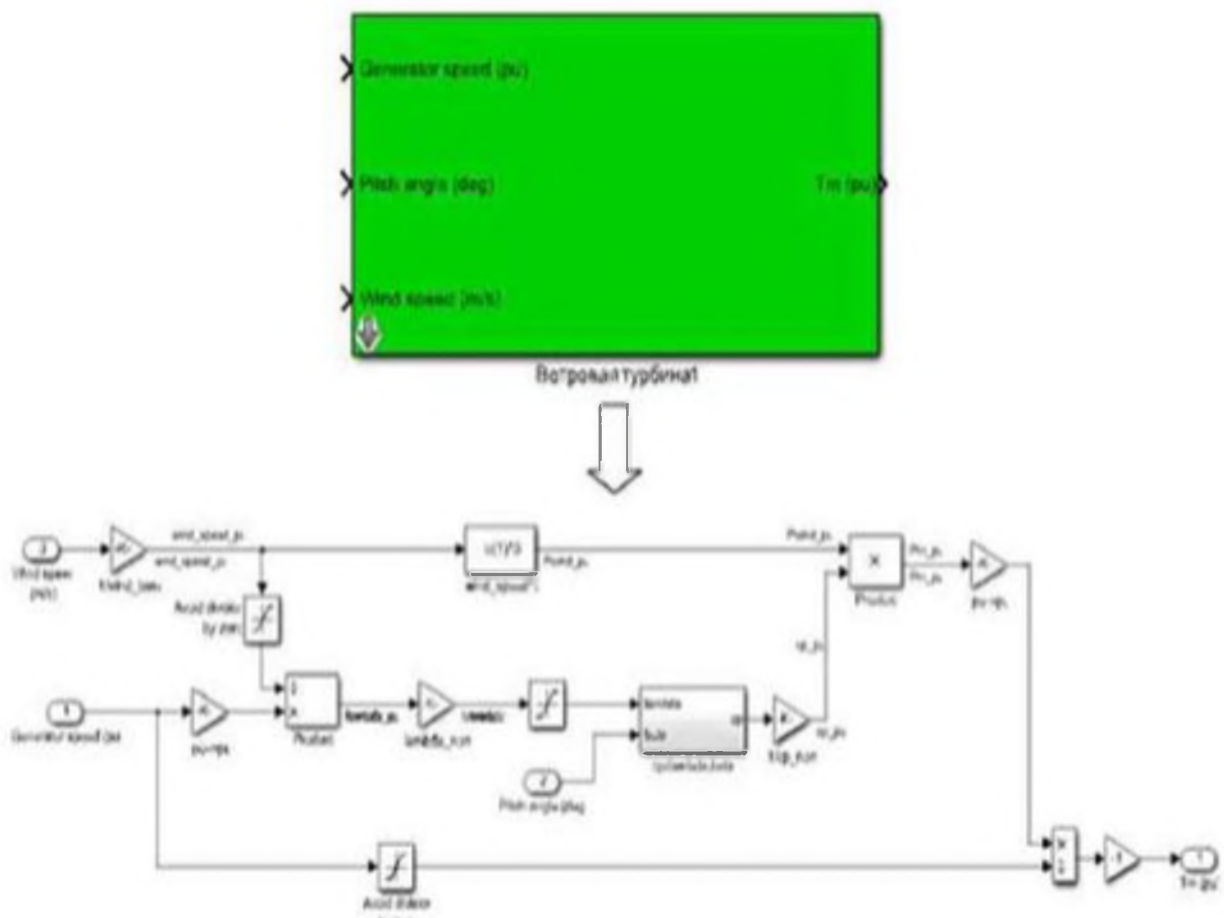


Рисунок 4.1- Модель віторвої турбіни

Для побудови комп'ютерної імітації іонної моди реальної ВЕУ ми розділили на кілька компонентів, математичні моделі яких, описані вище.

Для відповідності моделі використані і певні параметри реальної ВЕУ машини Falcon 5, технічні характеристики, якого представлені в табл.4.1.

Таблиця 4.1 – Параметри ветрової турбіни для моделювання

швидкість	5,5	7,2	8,6	9,5	11	12,5
частота обертання, обер/хв	310	400	420	442	460	480
кутова частота, рад/с	32,4	41,86	43,96	46,26	48,1	50,2
індуктивність, Гн	0,017	$8 \cdot 10^{-3}$	$5,328 \cdot 10^{-3}$	$4,36 \cdot 10^{-3}$	$3,12 \cdot 10^{-3}$	$2,37 \cdot 10^{-3}$
потокосцеплення, Вб	0,085	0,082	0,08	0,079	0,075	0,071

Параметри вітрової турбіни, здаються в відносних одиницях:

- номінальна механічна потужність вітрової турбіни: 1 кВт;
- базисна потужність електронного генератора: 1000/0,9 (з урахуванням втрат потужності у вітровій турбіні);
- базисна і номінальна швидкість вітру: 1,2 м/с;
- Коефіцієнт відношення максимальної потужності до відносної швидкості вітру: 0,73;
- Коефіцієнт базисної частоти обертання: 1,2.

Під час дослідження вхідних і вихідних параметрів для блоку були застосовані спеціальні коефіцієнти, що змінюють відносні величини в іменовані і навпаки. Для того, щоб відстежити динаміку зспираються на математичну модель вітрової турбіни, були отримані максимальні вироблення потужності та механічного моменту при різноманітних швидкостях вітру (кут атаки дорівнює 0) у відносних одиницях, представлених на рис. 4.2• та 4.3.

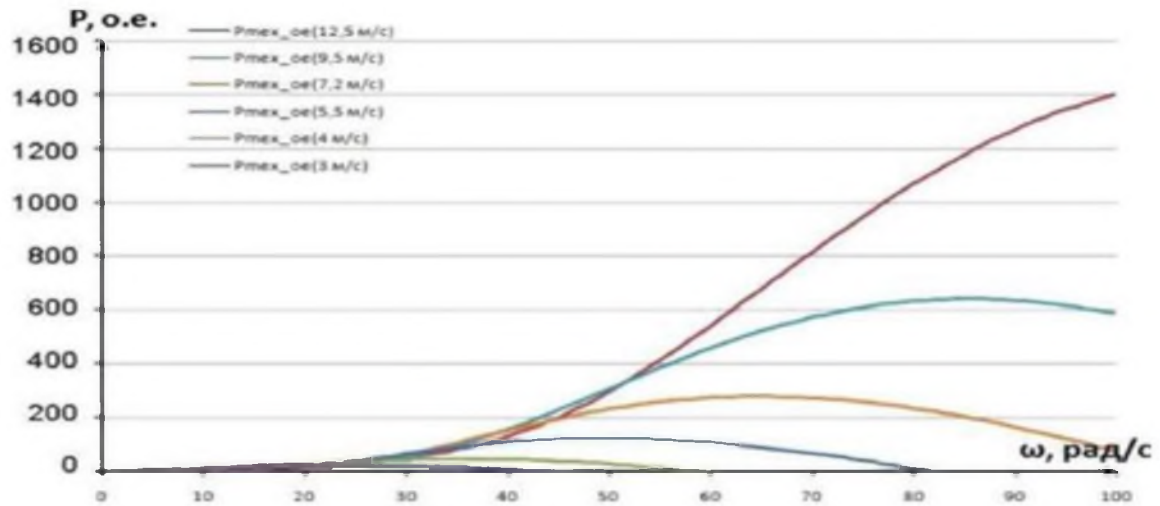


Рисунок 4.2 – Динаміка зміни механічного моменту

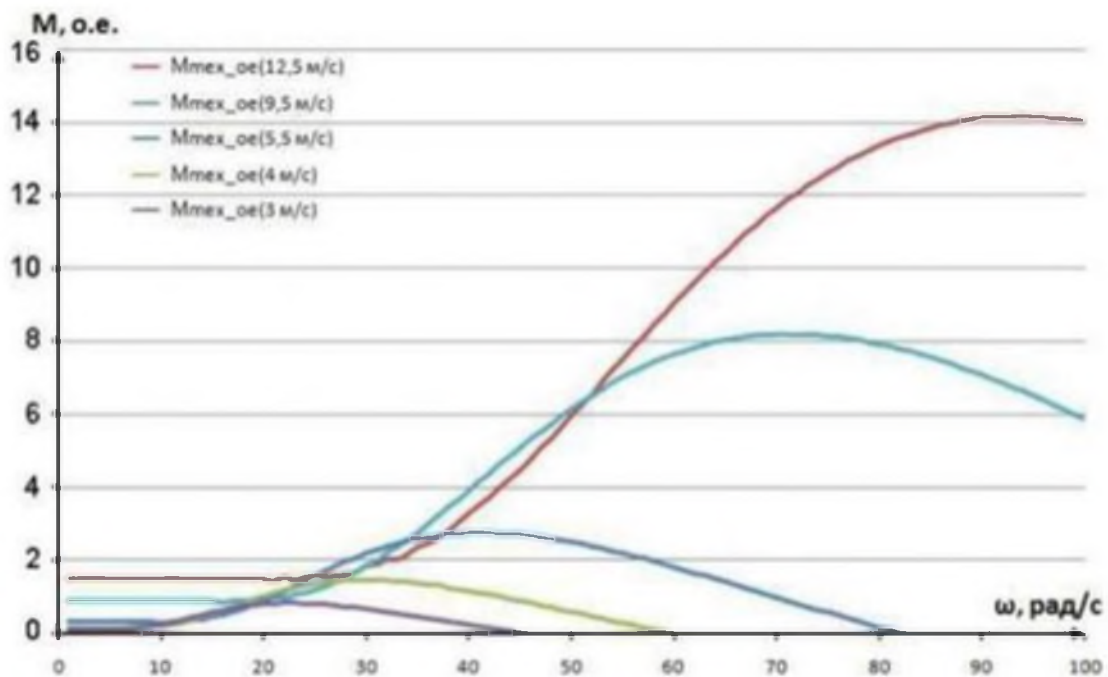


Рисунок 4.3 – Динаміка зміни потужності

Синхронний генератор на постійних магнітах має :

- Опір фази статора 0,576 Ом;
- Кількість пар полюсів генератора: 8;
- Момент інерції генератора: 0,02649 кг·м²;
- Номінальний момент: 19,9 Нм.

Акумуляторна батарея:

- Номінальна напруга: 24 В;

- Ємність: 100 А * год;
- Початковий рівень заряду: 25%.

Створена модель з використанням вітряка наведена на рис.4.4

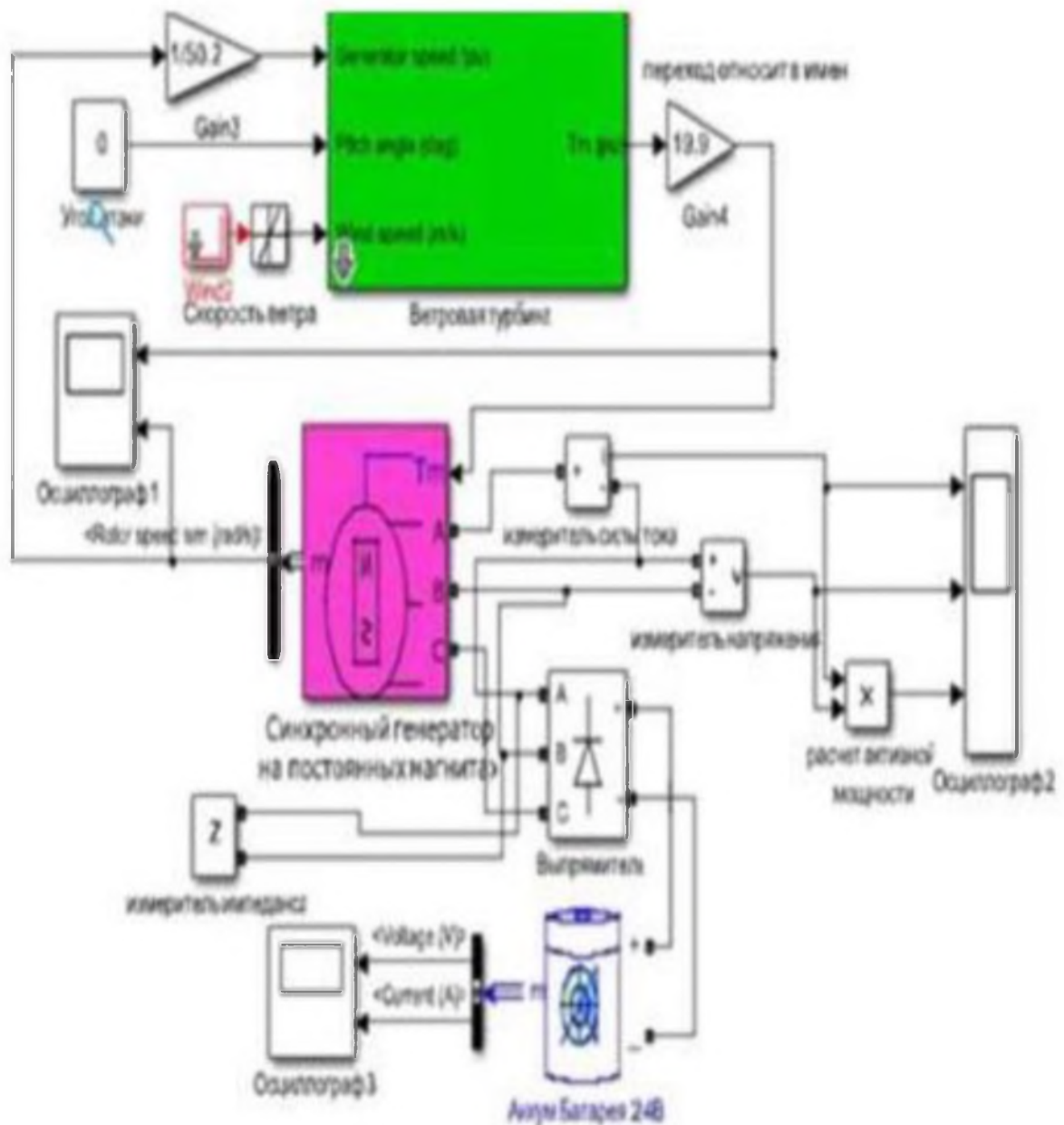


Рисунок 4.4. – Модель вітряка, для отримання необхідної потужності

Проведемо моделювання по наступній схемі 1, коли :

- Номінальна швидкість вітру: 12,5 м/с;
- Частота обертання: 480 об/хв;
- Тривалість стимуляції: 5 секунд.

Отримані осцилограми наведені на рис.4.5-рис.4.7 .

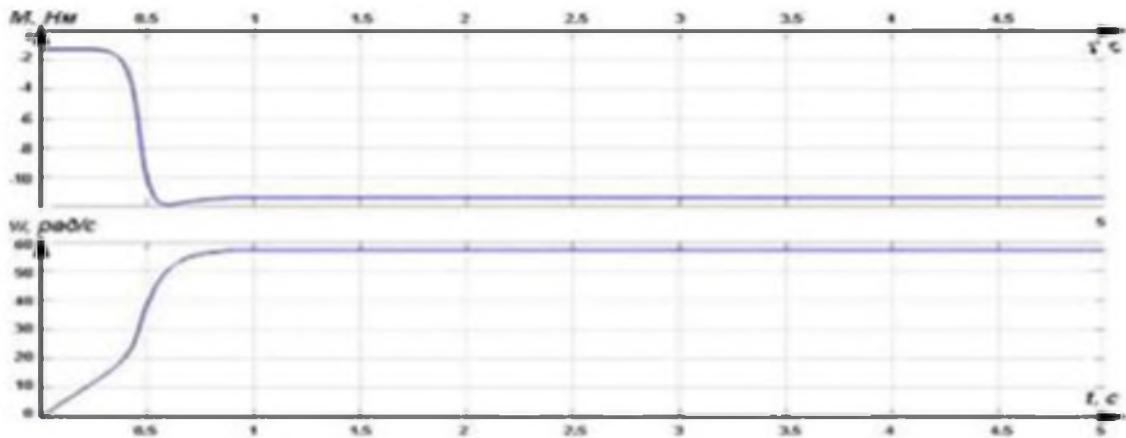


Рисунок 4.5 -Отримана осцилограма

За допомогою ослабленої осцилограми можна сказати, що ВЕУ виходить на встановлено значення частоти обертання і моменту за 0,8 секунд. При цьому обмежувачий момент, пояснюється тим, що застосовуваний блок є «синхронною машиною», і представлений в якості генератора.

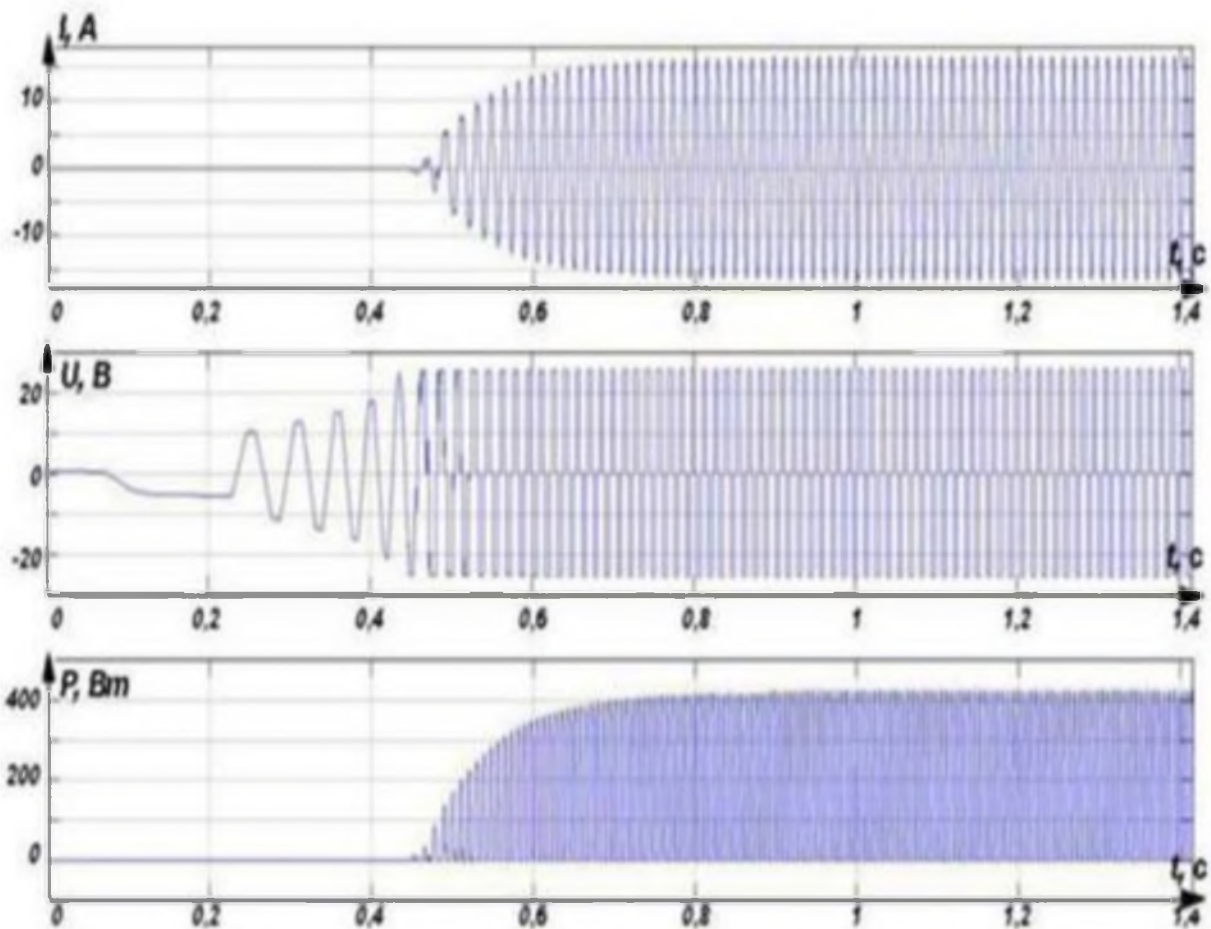


Рисунок 4.6 -Отримана осцилограма сили струму, напруги та потужності

Відповідно до ослабленої осцилограми вироблення потужності при номінальній швидкості вітру складає 420• Вт, це говорить про те, що ВЕУ не виходить на номінальну потужність.

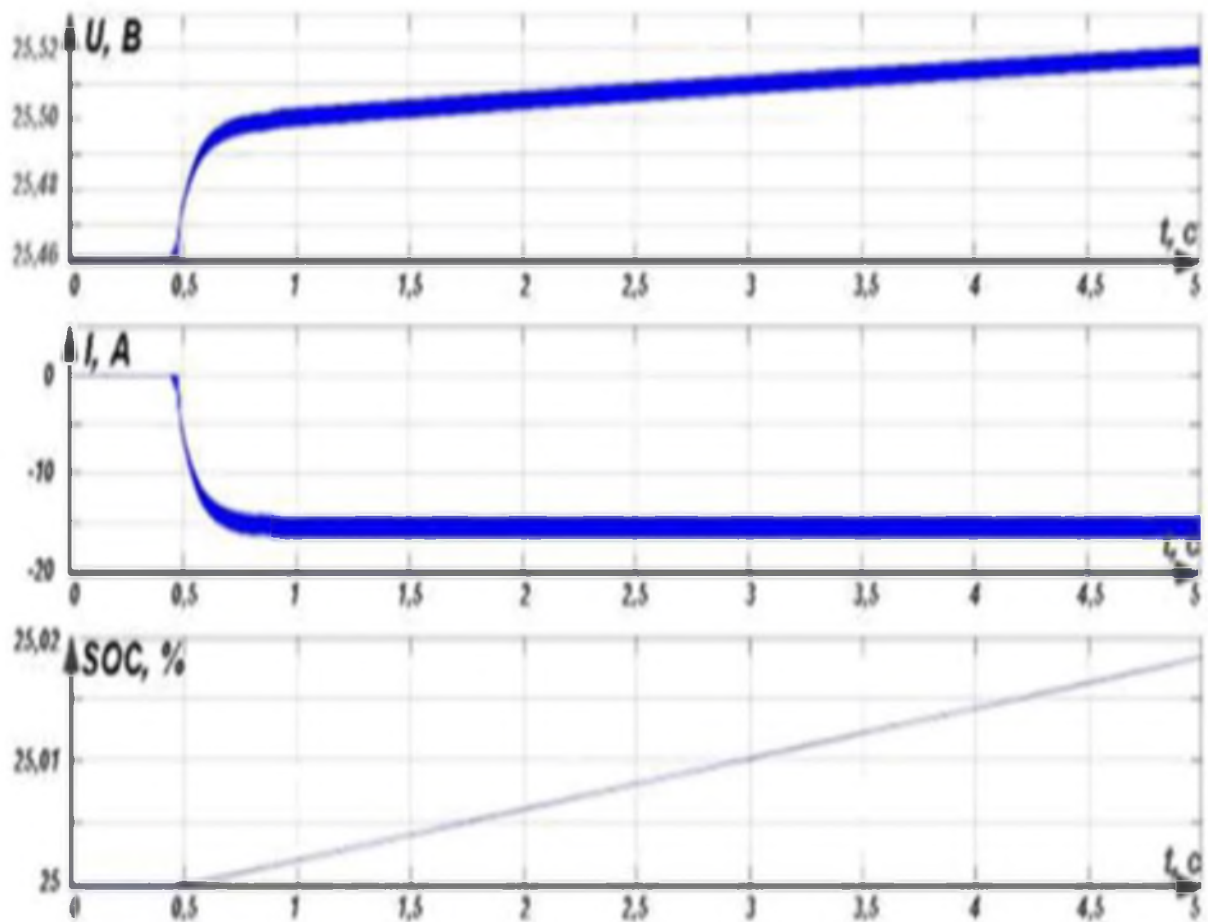


Рисунок 4.7 -Отримана осцилограма напруги, сили струму та рівень заряду акумулятору

За отриманими осцилограмами можна зробити висновок про те, що процес заряду акумуляторної батареї відбувається приблизно за 4,43 секунди, при якому рівень зряду збільшується на 0,019.

Схема 2.

В даному випадку розбивається розгін вітрової турбіни при швидкості вітру від 7 м/с, а за зміною зміни швидкості на 12,5 м/с через 1,5 секунди та представлено на рис.4.8.

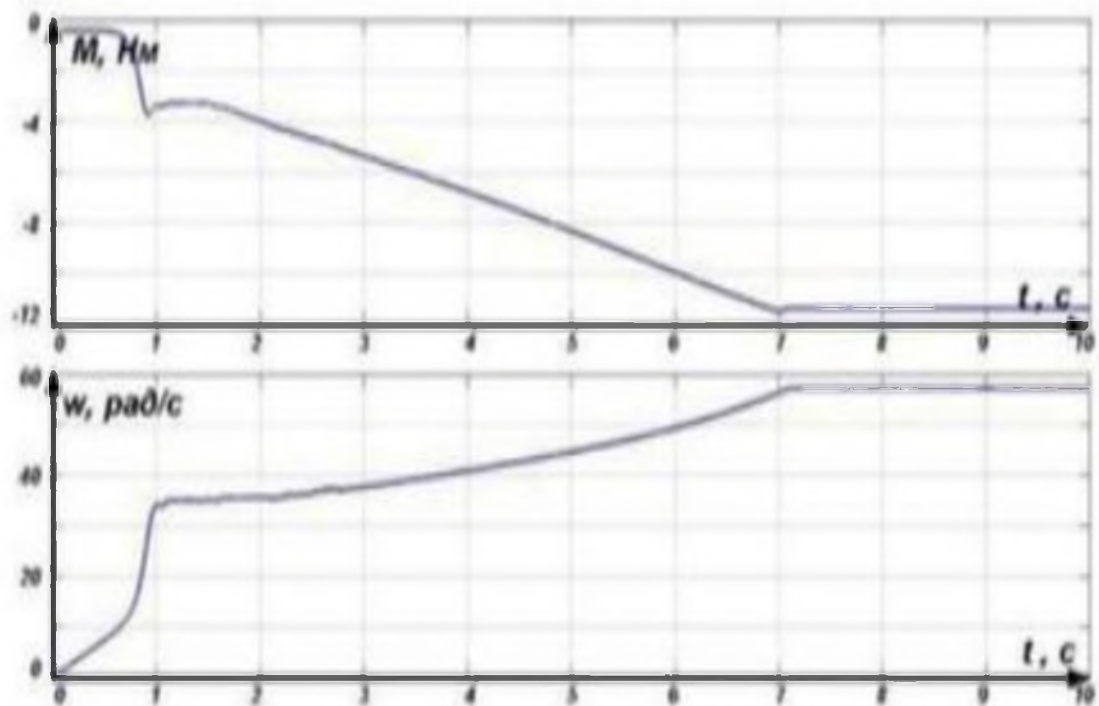


Рисунок 4.8 -Зміна частоти та обертового моменту від швидкості вітру

Моделювання роботи ВЕУ чималої потужності горизонт - осьового типу під навантаженням. Дослідження режимів роботи ВЕУ під навантаженням вимагає наявності у складі всіх необхідних вузлів (рис.4.9), Розглянемо функціонування ВЕУ під активним навантаженням.

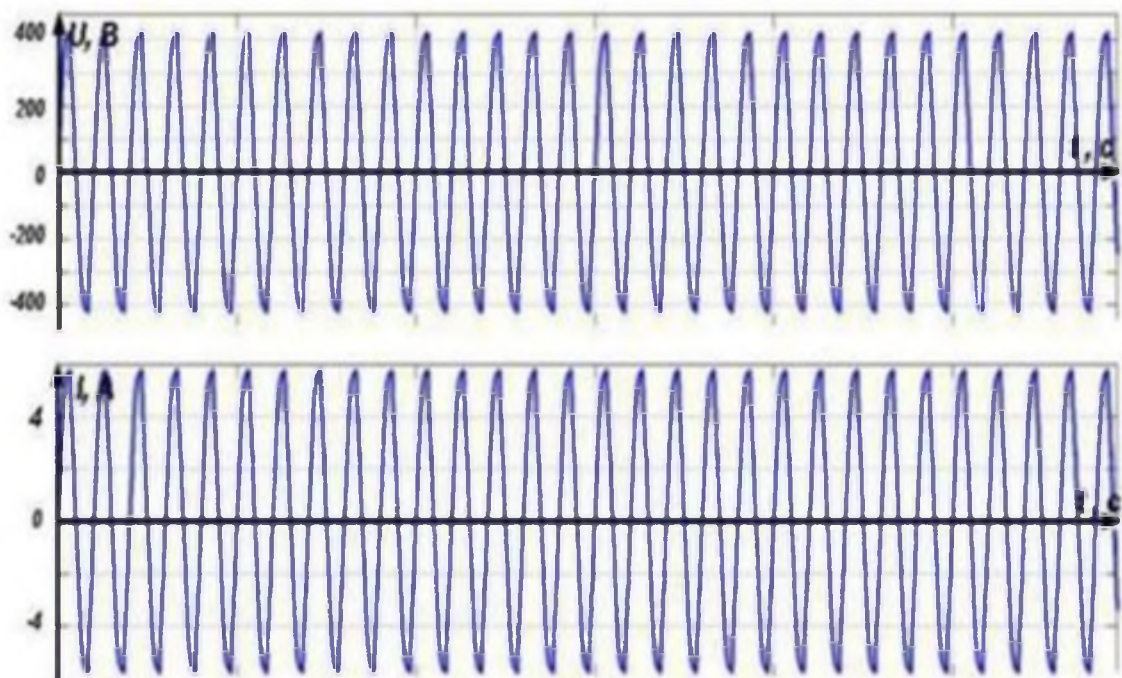


Рисунок 4.9 -Отримана осцилограма напруги, сили струму

Основні параметри, які використовували для проектування:

- швидкість вітру 12,5 м/с;
- вироблена фізіологічна потужність: 480 Вт;
- рівень заряду батареї при ємності 100 Ач: 50%;
- потужність інвертору: 3 кВА;
- потужність трансформатора: 3 кВА;
- потужність навантаження: 900 Вт (7,2 Ом)

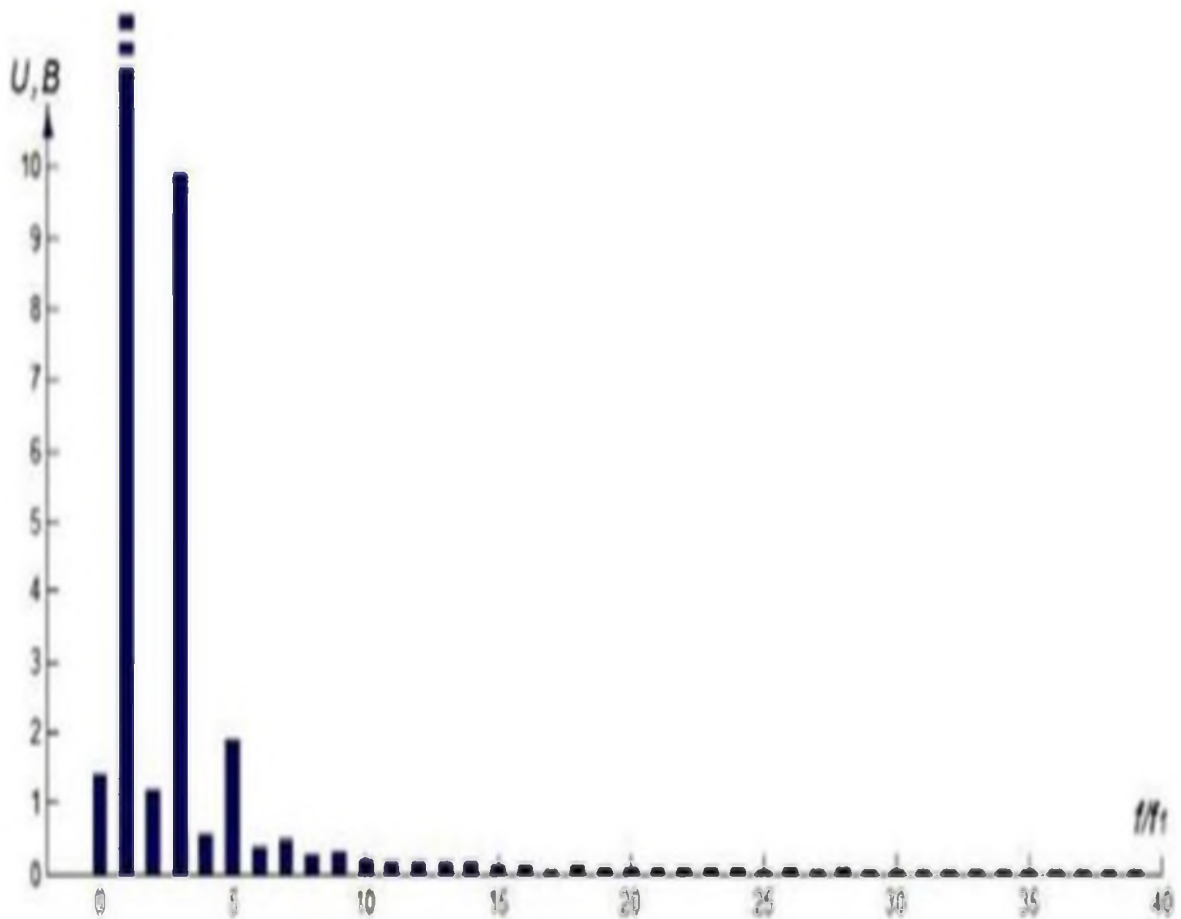


Рисунок 4.10 -Гармонійний склад під навантаженням

Також необхідно відзначити, що навантаження в більшості випадків в автономних системах електропостачання є однофазною, а вимогою для інвертора є синусоїдальне напруга стандартної частоти 50 Гц .

4.4. Висновок по розділу

В розділі розглянуто імітаційну модель реальної ВЕУ чималою потужності горизонтно-осьового типу в середовищі MATLAB. На основі математичних моделей компонентів досліджувалися процес роботи ВЕУ при різних швидкостях вітру без навантаження і під навантаженням.

Отримані осцилограми показують, що забезпечується якісне енергопостачання споживачів, завдяки синусоїдальності форм напругень і струмів з низьким гармонічним складом. При розпізнаванні значень токів під навантаженням на виході інвертора до трансформатора напрузі 24 В склало 37,5 А (по 12,5 А на кожному плечі інвертора), а значення струму споживача при 220 В склало 4,1 А при потужності 900 Вт.

ВИСНОВКИ

У цій роботі проведено комплексна розробка енергетичної системи будівлі з ВЕД та тепловим насосом, також була розроблена імітаційна модель вітроенергетичної установки горизонтально-осьового типу у програмі MATLAB. За допомогою математичних моделей були досліджені процеси, що відбуваються під час роботи ВЕУ з різною швидкістю вітру. Також однією з умов було вивчення роботи вітряка під навантаженням та без навантаження.

Осцилограми, які були отримані в ході роботи, говорять нам про те, що енергопостачання відбувається якісно та повною мірою. Це здійснюється завдяки синусоїдальності форм напруги та струмів з низьким гармонічним складом.

Розглянуто імітаційну модель реальної ВЕУ чималою потужності горизонтально-осьового типу в середовищі MATLAB. На основі математичних моделей компонентів досліджувалися процес роботи ВЕУ при різних швидкостях вітру без навантаження і під навантаженням.

Отримані осцилограми показують, що забезпечується якісне енергопостачання споживачів, завдяки синусоїдальності форм напруги і струмів з низьким гармонічним складом. При розпізнаванні значень токів під навантаженням на виході інвертора до трансформатора напруги 24 В склало 37,5 А (по 12,5 А на кожному плечі інвертора), а значення струму споживача при 220 В склало 4,1 А при потужності 900 Вт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Nikolaos A. Efkarpidis, Styliani A. Vomva, Georgios C. Christoforidis, Grigoris K. Papagiannis, Optimal day-to-day scheduling of multiple energy assets in residential buildings equipped with variable-speed heat pumps, *Applied Energy*, Volume 312, 2022, 118702, <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.118702>.
2. Daniel Kalús, Peter Janík, Daniela Koudelková, Veronika Mučková, Martin Sokol, Contribution to research on ground heat storages as part of building energy systems using RES, *Energy and Buildings*, Volume 267, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112125>.
3. Smajil Halilovic, Leonhard Odersky, Thomas Hamacher, Integration of groundwater heat pumps into energy system optimization models, *Energy*, Volume 238, Part A, 2022, 121607, <https://doi.org/10.1016/j.energy.2021.121607>.
4. Yubo Wang, Zhenhua Quan, Heran Jing, Lincheng Wang, Yaohua Zhao, Performance and operation strategy optimization of a new dual-source building energy supply system with heat pumps and energy storage, *Energy Conversion and Management*, Volume 239, 2021, 114204, <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114204>.
5. M.R. Elkadeem, Kotb M. Kotb, Khaled Elmaadawy, Zia Ullah, Emad Elmolla, Bingchuan Liu, Shaorong Wang, András Dán, Swellam W. Sharshir, Feasibility analysis and optimization of an energy-water-heat nexus supplied by an autonomous hybrid renewable power generation system: An empirical study on airport facilities, *Desalination*, Volume 504, 2021, 114952, <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.114952>.
6. Тюхов И.И. 1 , Беренгартен М.Г. 1 , Вариводов В.Н. 2 , Симакин В.В. // I Международная конференция «Возобновляемая энергетика: Проблемы и перспективы» - Махачкала – 2010 Секция 3:

«Комбинированные энергетические технологии, сочетающие геотермальную энергию и другие ВИЭ» 238 Особенности формирования интеллектуальных сетей гибридных комплексов энергоснабжения с использованием возобновляемых источников энергии

7. Использование низкопотенциальной тепловой энергии // АВОК. – 1999. - № 5.
8. 3. Группа компаний «Комплект-Юг» [<https://teplotek-ug.ru/p149063874-vetrogenerator-falcon-euro.html>]
9. Группа компаний «Комплект-Юг» [<https://teplotek-ug.ru/p10040637-vetrogenerator-kvt.html>]
10. Группа компаний «Комплект-Юг» [<https://teplotek-ug.ru/p10040720-vetrogenerator-kvt.html>]
11. Межотраслевые правила по охране труда по эксплуатации электротехнических установок. - М.: НЦ ЭНАЦ, 2001. - 216 с.

ДОДАТОК А. Охорона праці

А.1 Потенційно небезпечні та шкідливі виробничі фактори

Побутове середовище має вирішальне значення для здоров'я кожної людини, тому що в різних приміщеннях, де можливі екологічні події, люди проводять зараз більшу частину свого часу, як робітника, так і вільного, і особливо це актуально для мешканців міста.

Робочі офіси, власні приватні будинки, знята квартира, де більшість людей здійснюють свою постійну діяльність, також можуть сприяти розвитку різних захворювань, у тому числі і небезпечних інфекційних.

Виділяється кілька факторів ризику для житлових приміщень, які можуть істотно вплинути на самопочуття та здоров'я людини і, перш за все, звичайно, це мікроклімат у приміщеннях. У нього включається температурно-вологісний стан у квартирі або будинку, а також робота припливно-витяжний вентиляції у приміщеннях. Радіаційний фактор визначається наявністю в приміщенні природних та штучних радіонуклідів. На здоров'я людини також має значний вплив електромагнітне випромінювання, джерелами якого можуть бути техніка, що використовується в побуті, комп'ютери, а також силові трансформаторні, що знаходяться поза квартирою.

Наступний небезпечний для людини мікробіологічний фактор пов'язується із розмноженням у приміщеннях мікроорганізмів в умовах підвищеної та постійної температури та вологості.

Основну небезпеку для здоров'я людини становить підвищене утримання в деяких будівельних або оздоблювальних матеріалах радіонуклідів, а також накопичення радіоактивного газу радону, який може надходити в житлове приміщення з ґрунту і накопичуватися в основному в

підвалах і кімнати перших поверхів будинків. Радон легко розчиняється у воді, тому може накопичуватися в приміщеннях з підвищеною вологістю та місцями, де постійно використовується вода – у ванних кімнатах, туалетах, а також у кухнях, обладнаних газовими плитами. Таким чином, сприятливо впливають на здоров'я людини мікрокліматичні умови залежать від стану приточновитяжної вентиляції або системи кондиціонування, ефективної роботи систем електропостачання, вживання необхідних заходів щодо освітленості та інсоляції приміщень, наявності в будинках або офісах кімнатних рослин, що забезпечують нормальний режим вологості.

А.2. Вплив електромагнітних полів.

Одним із найпоширеніших негативних факторів міського середовища є електромагнітні фактори, що включають досить велике кількість найрізноманітніших електричних та електромагнітних впливів, пов'язаних із використанням електрики або магнетизму.

Одними з таких факторів є електромагнітні поля чи випромінювання (ЕМП або ЕМП), які створюються при роботі силових електромереж та електроустаткування. Електромагнітні поля є так звані векторні поля, які складаються з тих, що перекривають одне одного електричних та магнітних потоків. Незважаючи на те, що життєдіяльність людей проходить за умов природного магнітного поля Землі, напруженість якого становить близько 10 А/м, що оточує людину технічна середовище дуже часто впливає на людину магнітними полями з напруженістю, яка на кілька порядків перевищує природний магнітне тло. В даний час виділяють досить велику кількість штучних ЕМП впливають на здоров'я та самопочуття людини, що знаходяться як усередині житлових і громадських будівель, так і поза ними:

- Електричні транспортні засоби;
- Лінії силових електропередач (ЛЕП);
- Теле-і радіоцентри;

- вся електрична проводка всередині будівель та споруд;
- Супутниковий, стільниковий зв'язок;
- побутові електроприлади;
- Персональні комп'ютери.

Електромагнітні коливання, створюваних ЛЕП, та різними передавальними центрами, має досить широкий спектр. Виходячи з цього, в залежно від частоти випромінювання, розрізняють:

- Низькі частоти (НЧ), частота коливань 0,003 Гц -300 кГц.
- Середні частоти (СЧ), частота коливань 300 -3000 кГц.
- Високі частоти (ВЧ), частота коливань 3-30 МГц.
- Спектр дуже високих частот (ОВЧ) - 30 -300 МГц.
- Спектр ультрависоких частот (УВЧ) -300 МГц -3000 МГц.
- Спектр надвисоких частот (НВЧ)-3-30 ГГц.
- Вкрай високі частоти (КВЧ) - 30 - 300 ГГц.

Найбільш високою біологічною небезпекою та найбільш активним вплив на живі організми мають електромагнітні впливи КВЧ і НВЧ діапазонів, і саме ЕМП цих частот призводять до найбільш тяжким формам ураження організму людини. Організм людини, що знаходиться в електромагнітному полі, поглинає його енергію, при цьому в тканинах можуть виникати високочастотні струми з утворенням теплового ефекту, при цьому чим вища потужність, коротша за довжину хвилі і триваліша час опромінення, тим більше негативний вплив ЕМП на організм.

А.3 Методи захисту від ЕМП.

Основним способом захисту від шкідливого впливу ЕМП у житловій зоні є створення санітарних і захисних зон навколо шкідливого випромінювання, що виробляє об'єктів. Також сюди можна віднести озеленення та застосування спеціальних будівельних конструкцій, що унеможливають випадкове опромінення людини. Під час будівництва

житлових будинків також забороняється використовувати такі будівельні матеріали, які велику проникність для радіовипромінювання. Найбільш прийнятним матеріалом для будівель є залізобетон, що має всередині металевий каркас, що екранує.

Для запобігання несприятливому впливу ЕМП на населення встановлено гранично допустимі нормативи напруженості електромагнітного поля, вимірюється в кВ/м:

- усередині будівель становить 0,5 кВ/м;
- на території зони житлової забудови – 10 кВ/м;
- у ненаселеній місцевості (часто відвідуваної людьми) – 15 кВ/м;
- у важкодоступній місцевості (недоступній людям) – 25 кВ/м.

Стіни котеджу є будовою з газобетону, через певні проміжки укладається металева арматура. Поблизу від житлового району відсутні сильні джерела ЕМП. Таким чином, рівень ЕМП у приміщеннях не перевищуватиме гранично допустимих значень.

ДОДАТОК Б. ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРОЛЕРА ДО
РОБОТИ

Перелік зауважень нормоконтролера до роботи

Позначення документа	документ	Умовне позначення	Зміст зауваження

ДАТА _____

підпис(ПІБ)_____