

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

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

(підпис) О. КОЛЛАРОВ
(ініціали, прізвище)
«___» _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
БАКАЛАВРА

на тему Підвищення надійності роботи енергосистеми мікрорайону за
рахунок альтернативних джерел енергії.

Виконала студентка 4 курсу, групи ЕЛК-19
(шифр групи)

спеціальності підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та
(шифр і назва спеціальності підготовки)
та електромеханіка»

Євгенія ЦУКАНОВА

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Керівник зав. каф., к. т. н., доц., О. КОЛЛАРОВ

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

(підпис)

Рецензент

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

(підпис)

Нормоконтроль:

Е. НЕМЦЕВ

(підпис)

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

Студент

(підпис)

(дата)

(дата)

ЛУЦЬК – 2023

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)

« » _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Євгенії ЦУКАНОВІЙ

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Підвищення надійності роботи енергосистеми мікрорайону за рахунок альтернативних джерел енергії.

керівник роботи Олександр КОЛЛАРОВ, канд. техн. наук, доцент

(ім'я та прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____ № _____

2. Строк подання студентом роботи 06 червня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи: План-схема мікрорайону міста Мирноград,

Перелік споживачів та кількість мешканців.

Характеристика побутових закладів .

Перелік обладнання котельні мікрорайону.

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

1. Аналіз впровадження альтернативних джерел енергії.

2. Розрахунок навантажень споживачів мікрорайону.

3. Розрахунок перерізу кабелів.

4. Розрахунок ТП. Вибір основного обладнання СЕС.

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
Розділ 1-4	О. КОЛЛАРОВ, зав. каф.		
Охорона праці	О. КОЛЛАРОВ, зав. каф.		
Нормоконтроль	Е. НЕМЦЕВ, ст. викл. каф.		

7. Дата видачі завдання 08 травня 2023 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розділ 1	06.05.23 – 12.05.23	
2.	Розділ 2	13.05.23 – 20.05.23	
3.	Розділ 3	21.05.23 – 23.05.23	
4.	Розділ 4	23.05.23 – 27.05.23	
5.	Охорона праці	27.05.23 – 06.06.23	
6.			
7.			
8.			
9.			

Студентка _____
(підпис)

Євгенія ЦУКАНОВА _____
(ім'я та прізвище)

Керівник роботи _____
(підпис)

Олександр КОЛЛАРОВ _____
(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Цуканова Євгенія Русланівна. Підвищення надійності роботи енергосистеми мікрорайону за рахунок альтернативних джерел енергії / Increasing the reliability of the microdistrict's power system at the expense of alternative energy sources / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «Бакалавр» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». -ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2023.

Об'єктом дослідження є енергетична система мікрорайону міста.

Предметом дослідження є розробка технічних заходів для підвищення надійності системи електропостачання житлового мікрорайону міста із використанням альтернативних джерел енергії.

Мета дипломної роботи: вибір раціональної системи електропостачання житлового мікрорайону міста на базі альтернативної електроенергетики.

В теоретичній частині наведено всі основні поняття та вихідні данні які потрібні для розробки проекту.

В спеціальній частині наведено розрахунки електричних навантажень, вибір основного обладнання, розрахунок ефективності проектованої автономної системи.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: РОЗРАХУНКОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ, ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ ПАНЕЛІ, СОНЯНА РАДІАЦІЯ, ГЕНЕРАЦІЯ, АКУМУЛЯТОРНІ БАТАРЕЇ, ВПРОВОДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНА УСТАНОВКА

ЗМІСТ

1	ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА	6
1.1	Локальні електричні системи	6
1.2	Сучасний стан та перспективи розвитку альтернативних джерел енергії.....	9
1.3	Шляхи генерації електроенергії за допомогою вітрових та сонячних установок	14
1.4	Загальний потенціал відновлюваних джерел енергії в Україні.....	18
1.5	Особливості проектування малих вітроенергетичних установок	19
1.6	Електроживлення на основі фотоелектричної батареї	30
1.7	Вплив відновлюваної енергетики на надійність та стійкість енергосистеми	38
2	РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	42
2.1	Вихідні дані об'єкту розрахунку	42
2.2	Розрахунок навантажень, приєднаних до шин ТП	45
2.3	Вибір силових трансформаторів для ТП	51
2.4	Вибір шинопроводів ТП.....	53
2.5	План та вибір перерізу кабельних ліній електропостачання 0,4 кВ	53
2.6	Розрахунок середнього добового споживання електроенергії	56
2.7	Розрахунок СЕС	57
	ВИСНОВКИ.....	63
	ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....	64
	ДОДАТОК А ОХОРОНА ПРАЦІ	66

1 ТЕОРЕТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Локальні електричні системи

Електроенергетична система - це система, яка об'єднує електричні частини електростанцій, мережі та споживачів, які є взаємопов'язаними за спільним режимом та безперервністю процесу виробництва, розподілу та споживання електроенергії.

Електрична мережа - це комплекс електроустановок, призначених для передачі електричної енергії. Вона включає в себе підстанції, розподільні пристрої, повітряні та кабельні лінії передачі електричної енергії.

Розподільні електричні мережі були розроблені для транспортування та розподілу електроенергії, яка виробляється на великих електростанціях централізовано. Зараз, з використанням нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), вони перетворюються на локальні електроенергетичні системи (ЛЕС).

Це ставить нові завдання, такі як:

- суміщення графіків навантаження споживачів та генерації ВДЕ з урахуванням їх нестабільності;
- оптимізація керування потоками потужності з метою зменшення втрат електроенергії та поліпшення її якості;
- забезпечення балансової надійності електроенергії в ЛЕС, що формують як централізоване, так і місцеве виробництво, тощо.

Розподілене генерування електроенергії характеризується тим, що воно складається з відносно невеликих за потужністю електричних станцій, розташованих по всій електроенергетичній системі (ЕЕС), але зосереджених переважно в розподільних електричних мережах (РЕМ). Зазвичай це електростанції, що використовують відновлювальні джерела енергії, такі як сонячна, вітрова та гідроелектростанції малої потужності, що нестабільно генерують енергію через залежність від природних умов. Вони постачають електроенергію найближчим споживачам та можуть передавати надлишки енергії в мережі централізованого електропостачання. Тому

розподільні мережі енергопостачальних компаній повинні забезпечувати перенесення електроенергії від розподільних підстанцій до споживачів та від джерел електроенергії через підстанції до ЕЕС [1].

Локальні електричні системи (ЛЕС) в Україні входять до складу розподільних електричних мереж (РЕМ), що належать енергопостачальним компаніям (ЕПК). Ці ЛЕС можуть бути розглянуті як окремі розподільні електричні мережі або їх складові частини, що використовують джерела розосередженої генерації енергії, такі як нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії. В світі існує багато проектів ЛЕС, таких як ЛЕС Кіфнос в Греції, ЛЕС Аїті, Кіятанго і Хачінохе ЛЕС в Японії та інші.

Ознакою ЛЕС є підключення до РЕМ розосереджених джерел електроенергії. Швидке зростання тарифів на електроенергію спонукає не лише підприємців середнього та малого бізнесу, але й населення України використовувати різні види відновлювальних джерел енергії, такі як сонячні теплові колектори, фотоелектричні модулі, сонячні електричні станції, сонячні теплові електричні станції, міні гідроелектростанції (ГЕС), когенераційні установки, вітрові електричні станції тощо. Використання власних відновлювальних джерел енергії зменшує споживання вартісної електроенергії з центральних живильних джерел.

У випадку виникнення надлишку електроенергії споживачі можуть передавати її в РЕМ енергопостачальних компаній (ЕПК), що дозволяє їм перетворюватися на активні елементи ЛЕС. На сьогоднішній день існують тарифи на електроенергію, що згенерована такими активними споживачами, а також програми пільгового кредитування, що спонукають споживачів впроваджувати ВДЕ [2].

Впровадження ВДЕ представниками різних форм власності має на меті поліпшити навантаження на РЕМ, збільшити їх ефективність, наприклад, шляхом приближення ВДЕ до споживачів та зменшення втрат електроенергії під час транспортування. Це призводить до підвищення надійності та якості електропостачання, що в свою чергу підвищує соціальні стандарти населення, що проживає в районі ЛЕС.

Щоб задовольнити потреби споживачів у електроенергії, іноді необхідно поєднувати традиційні джерела живлення з відновлюваною енергією, оскільки залежність роботи від природних факторів у ВДЕ не завжди забезпечує достатню потужність.

На даний момент, враховуючи російську агресію проти України та завдану шкоду енергосистемі, не завжди вдається працювати зі стандартними параметрами для якості електроенергії та надійності електропостачання. Також розподільні мережі 6–10 кВ практично не витримують суттєвих стихійних лих.

Стихійні лиха та руйнування в результаті бойових дій значної частки електрогенеруючого обладнання призводять до аварій в енергосистемі. У подібних випадках відключають значну кількість споживачів на довгий час незалежно від того, чи є наявним мережевий резерв. Один з необхідних заходів для забезпечення ефективної роботи енергетичної системи в наш час - це все більше використання відновлюваних джерел енергії, а також оптимізація режимів роботи ЛЕС, разом з іншими заходами.

Отже, необхідно забезпечувати резервне живлення для кожного елемента мережі, проте завдання створення схем резервного електропостачання ускладнюється в умовах експлуатації кабельних електричних мереж 6-10 кВ у середніх і великих містах. У таких мережах та ситуаціях керовані РДЕ можуть використовуватись як резервні джерела живлення, що підвищує надійність РЕМ, навіть у випадку умовно-керованих РДЕ під час їх роботи.

Більшість країн світу використовують відновлювальну енергію (ВЕ), яка широко застосовується в комунальному та побутовому секторі. Наприклад, можна згадати про офшорні вітрові електростанції (ВЕС), а також фотоелектричні панелі, що встановлюються на дахах, фасадах будинків, квартир і громадських будівель тощо.

1.2 Сучасний стан та перспективи розвитку альтернативних джерел енергії

Останнім часом розвинені країни світу все більше зосереджують увагу на проблемі фінансування розробок та впровадження альтернативних технологій через кілька причин. По-перше, невідновлювальні паливно-енергетичні ресурси (ПЕР) мають вичерпний характер, і наразі не існує реальної можливості повної заміни їх. По-друге, на ринку спостерігається загальна тенденція до зростання цін на традиційні енергоресурси, що обумовлено рідкісністю товару та штучними обмеженнями його видобутку. По-третє, нестабільність на ринках паливно-енергетичних ресурсів, обумовлена спекулятивним характером операцій, а також складна політична ситуація в частині країн видобутку ПЕР та транзитних країнах. Нарешті, країни намагаються підвищити свою енергетичну безпеку як складову економічної безпеки[3].

У результаті того, що державне управління України стимулювало формування стратегій розвитку енергетики, з'явилася багато приватних господарств, які бажають мати незалежні джерела енергії і навіть отримувати прибуток від продажу електроенергії в мережу. Головними факторами, які призвели до появи таких приватних домогосподарств, були державне фінансування (за останні роки було виділено близько 1,5 млрд. грн. на розвиток альтернативної енергетики з державного бюджету) та "зелений тариф", який приваблює як вітчизняних, так і зарубіжних інвесторів.

В Україні існує різноманітність проектів для альтернативної енергетики, що варіюються від мегаватних вітряних електростанцій до невеликих сонячних станцій, які можуть бути встановлені на дахах будинків. Зелене світло та зелений тариф доступні для всіх, хто бажає мати власне незалежне джерело електроенергії для власного використання та продажу надлишків до державної мережі. Закон обмежує потужність сонячних електростанцій до 30 кіловат. Зелений тариф пов'язаний з курсом долара та євро, а ПДВ становить 19,5%. Фотоелектричні станції мережевого

типу повинні синхронізуватися з загальною мережею. Домогосподарства, які генерують більше електроенергії, ніж споживають, не платять за користування електроенергією. Зелені ставки тарифу поступово зменшуються з часом, і період з 2015 по 2029 роки розділений на кілька інтервалів з різними ставками. Однак, володарі сонячних електростанцій можуть зафіксувати ставку зеленого тарифу одноразово при оформленні документів з "Обленерго".

Серед проблем, які гальмують широке використання сонячної енергії, варто відзначити: низьку інтенсивність сонячного випромінювання, необхідність встановлення систем охолодження для панелей та високу вартість фотоелементів. Недоліками вітрової енергетики є несталість та нерегулярність вітрового потоку, можливість створення перешкод для радіо- та телепередач великими генераторами вітродвигунів та можливість завдання шкоди птахам лопатями. З недоліків гідроенергетики можна виділити: затоплення територій, порушення погодних умов завдяки створенню водосховищ, погіршення якості води та можливість створення несприятливого середовища для риби та інших живих організмів, а також можливість пошкодження русла річки в результаті дії води.

Визначення наступних головних причин, що спонукають до активного інвестування в розвиток альтернативної енергетики можуть бути наступні:

- зниження вартості "зеленої" енергії;
- створення нових робочих місць відновлювальної енергетики, особливо важливо для сільських районів, де розвиток установок, що працюють на біомасі, є дуже перспективною справою;
- підвищення енергетичної безпеки держави, шляхом заміщення традиційних паливно-енергетичних ресурсів, більшість з яких є імпортованими, на альтернативні джерела, це зменшить рівень залежності держави від країн-постачальників традиційних енергоресурсів та позитивно вплине на економіку держави;
- привабливість альтернативної енергетики для інвесторів, оскільки це є стрімко зростаючим ринком;

- зменшення потреби в державних субсидіях для відновлювальної енергетики;
- покращення екологічного стану завдяки розвитку "зеленої" енергетики, що зменшує викиди вуглекислого газу від промислових підприємств та теплових електростанцій.

Українські проекти, спрямовані на збільшення енергоефективності, включають ініціативу з усунення бар'єрів, що перешкоджають інвестуванню в енергоефективність громадських будівель у малих та середніх містах України, за допомогою механізму ЕСКО. Головна мета цього проекту полягає в зменшенні викидів парникових газів шляхом створення сприятливих умов, таких як правове, нормативне та ринкове середовище, а також розвиток інституційного, адміністративного та технічного потенціалу, що дозволить проводити енергоефективні заходи у громадських будівлях, таких як лікарні, школи, вищі навчальні заклади, державні установи, дитячі будинки сиріт, аптеки, центри зайнятості, бібліотеки та музеї, за допомогою моделі ЕСКО.

Україна має потребу в енергії, що базується на альтернативних та відновлювальних джерелах. Це відповідає світовим тенденціям розвитку "зеленої енергетики" та приносить вигоду від використання такої енергії. Необхідно відзначити, що Україна має потенціал для розвитку альтернативної та відновлювальної енергетики. Однак, успішність впровадження цієї енергетики залежить від державної підтримки, що створює значні перешкоди для розвитку "зеленої енергетики" в Україні.

Отже, для покращення існуючого становища необхідно:

- державне управління повинно спрямовувати зусилля на розроблення, контроль та впровадження ефективних екологічно-чистих технологій виробництва енергії з метою забезпечення сталого розвитку країни;
- переглянути нормативно-правову базу щодо ринку альтернативної енергетики і створити нові механізми стимулювання компаній та приватних домогосподарств до розвитку альтернативної енергетики;

- збільшити активність банківських програм щодо фінансування проектів в галузі альтернативної енергетики.

Наприклад, одним із проявів сучасної Німеччини є процес енергетичного перетворення (Energiewende), що передбачає з поступовою відмовою від використання традиційних джерел енергії та збільшенням використання відновлюваних джерел енергії до переважаючих показників в енергетичному балансі країни. Наразі, альтернативні джерела енергії становлять 35% від загального енергоспоживання. Прогнозують, що до 2025 року ця цифра складе 35-40%, а до 2035 року - 55-60%. Щоб досягти цих цілей, в країні діє система стимулюючих тарифів на використання відновлюваної енергії, міні-кредитів для населення на придбання енергозберігаючої техніки, програма модернізації будівель, яка щороку фінансується до 1,5 млрд євро, а також розвиток високовольтних ліній, наукові дослідження передових технологій та інші заходи. Важливо зазначити, що енергозбереження в Німеччині має екологічно орієнтований характер і призводить до щорічного зменшення викидів парникових газів на 130 млн. тон.

Після фінансової кризи у США було визнано, що "зелена" енергетика є одним з пріоритетів розвитку, оскільки використання традиційного енергетичного ресурсу, такого як вугілля, має негативний вплив на довкілля. З метою підвищення енергоефективності економіки та модернізації енергетичної інфраструктури було розроблено кілька основних заходів. Перш за все, було розроблено системи уловлювання та зберігання вуглецю, що виділяється під час спалювання вугілля. Крім того, було зосереджено увагу на розвитку альтернативної енергетики, зокрема, на зниженні вартості сонячної енергії, інтеграції "зелених" енергетичних об'єктів в єдину електричну мережу, розробці нових видів біопалива, створенні електромобілів нового покоління, підвищенні теплостійкості будівель тощо. Політика енергозбереження підтримується за допомогою різних економічних та адміністративних заходів, таких як фінансування розробок нових видів біопалива, державні закупівлі автомобілів з електричними та гібридними двигунами, податкові кредити для встановлення енергоефективного обладнання в домашньому господарстві, фінансове

стимулювання "зеленого" будівництва та квоти на споживання та виробництво "зеленої" енергії.

Підсумовуючи зарубіжний досвід у галузі енергозбереження, можна зробити такі висновки:

- енергетична політика іноземних країн націлена на економне та раціональне споживання енергоресурсів, а не на їх збільшення виробництва;
- велика увага приділяється енергоефективному устаткуванню та технологіям;
- кожен рік за кордоном зростає обсяг електроенергії, що отримується з альтернативних джерел енергії;
- проблеми енергозбереження пов'язані з вирішенням екологічних питань;
- існують конкретні програми та механізми стимулювання енергозбереження, такі як державні субсидії, пільгове кредитування, податкові пільги для виробників енергоефективних технологій та власників житла, що покращують його теплотехнічні характеристики, а також пільгові тарифи.

Міжнародна фінансова корпорація, що є членом групи Світового банку, уклала партнерську угоду з метою прискорення росту будівництва "зелених" будинків у країнах, що розвиваються. Ця співпраця має на меті масштабування "зеленого" будівництва в найближчій перспективі. Досягнення цієї мети можливо шляхом фінансування проектів, підтримки ініціатив та забезпечення доступу до новітніх технологій в будівельній галузі [4].

Для стимулювання розвитку альтернативної енергетики в Україні в сучасних умовах необхідна державна підтримка. Закордонний досвід успішно демонструє застосування таких інструментів, як інвестиційний податковий кредит, гарантовані тарифи на енергію, «зелені сертифікати», фіксовані пільгові виплати та прискорена амортизація устаткування. Мінекономіки, аналізуючи світові тенденції, розробляє рішення на державному рівні для підготовки до майбутніх викликів. Зараз розробляється візія «зеленого» енергетичного переходу до 2050 року, а також програма

реформування вугільної галузі та податку на викиди CO₂ з метою сплати за використанні викопні палива та збору коштів для підвищення енергоефективності.

1.3 Шляхи генерації електроенергії за допомогою вітрових та сонячних установок

Одним з головних недоліків використання відновлюваних джерел енергії, таких як сонячні та вітрові, є їх нерівномірний та непередбачуваний часовий розподіл. Цю проблему можна вирішити кількома способами. Перший спосіб - це підключення до загальної електричної мережі, коли енергія виробляється самою установкою, а коли вона не використовується, може бути направлена до мережі. Цей метод є досить поширеним в країнах Західної Європи. Другий спосіб - використання потужних акумуляторних батарей разом з вітровими або сонячними установками малої потужності. Однак цей метод має свою проблему - високу вартість таких акумуляторів. Третій спосіб - використання гібридних систем, що складаються з різних типів установок альтернативної енергетики, які можуть доповнювати одна одну та компенсувати нерівномірний часовий розподіл енергії.

Гібридні системи, які включають сонячні та вітрові установки, а також акумуляторні батареї, стають все більш популярними в останні часи. Використання таких систем має велике значення для боротьби зі змінами клімату в помірноконтинентальних регіонах, де атмосферна циркуляція характеризується циклонічною та антициклонічною діяльністю. Ці процеси створюють передумови для нерівномірного розподілу сонячної та вітрової енергії протягом року.

Особливості вітрового потенціалу України (рис. 1.1) полягають в тому, що середні швидкості вітру 3-4 м/с спостерігаються в центральних частинах лісостепової і степової зони, Чернігівському Поліссі, північній частині Полтавсько-Роменської лісостепової області, Придніпровської низовини та підобласті передгір'їв Кримських гір. На висоті 16 м протягом всіх сезонів середні швидкості вітру на всій території України не бувають менше 3 м/с, за винятком невеликої ділянки фізико-географічної області Південного берега Криму, де середня швидкість навіть

взимку дорівнює лише 2,4 м/с. Середні швидкості більше 5 м/с характерні для лісостепової області Волинської височини, півдня і південного сходу степової зони. Весною на більшій частині території України переважають середні швидкості вітру 4-5 м/с, влітку - 3-4 м/с, а восени майже на всій лісостеповій зоні - в межах 3-4 м/с. Лише на невеликих ділянках узбережжя Чорного і Азовського морів середні швидкості вітру перевищують 5 м/с. Степова зона, за винятком Старобільської степової області південних відрогів Середньо-Руської височини, характеризується швидкостями вітру 4-5 м/с. Найбільші середньорічні швидкості вітру (6 м/с) спостерігаються в південно-східних та південних районах степової зони України [5].



Рисунок 1.1 – Вітровий потенціал України

Для вивчення потенційних можливостей використання геліоенергетики важливо знати режим сонячної радіації на конкретній території України. Цей режим залежить від астрономічних та географічних факторів, таких як широта місця, стан атмосферного повітря, рельєф території, ґрунтово-рослинний покрив та господарська діяльність. Крім цього, окремо варто враховувати вплив забудови, промислових викидів та змін альбедо.

Використовуючи розподіл сонячної радіації (рис. 1.2) за широтою протягом року, можна встановити показники для даної широти та часу, що дозволяє вивчити закономірності географічного розподілу радіації та її складових на досліджуваній території - це астрономічний фактор. Найпростіші закономірності можна вивчити на рівній відкритій місцевості при ясному небі, коли розподіл сонячної радіації залежить від астрономічних факторів та прозорості атмосфери. Залежність місячних та добових значень радіації від географічної широти спостерігається протягом всього року. Найбільш очевидним є це взимку: в січні на півдні України сумарна радіація на 60% вища, ніж на півночі, в той час як у липні різниця не перевищує 3%. Залежність сумарної радіації від широти пояснюється перш за все залежністю місячних значень прямої радіації, тоді як місячні значення розсіяної радіації в межах України майже не залежать від широти.

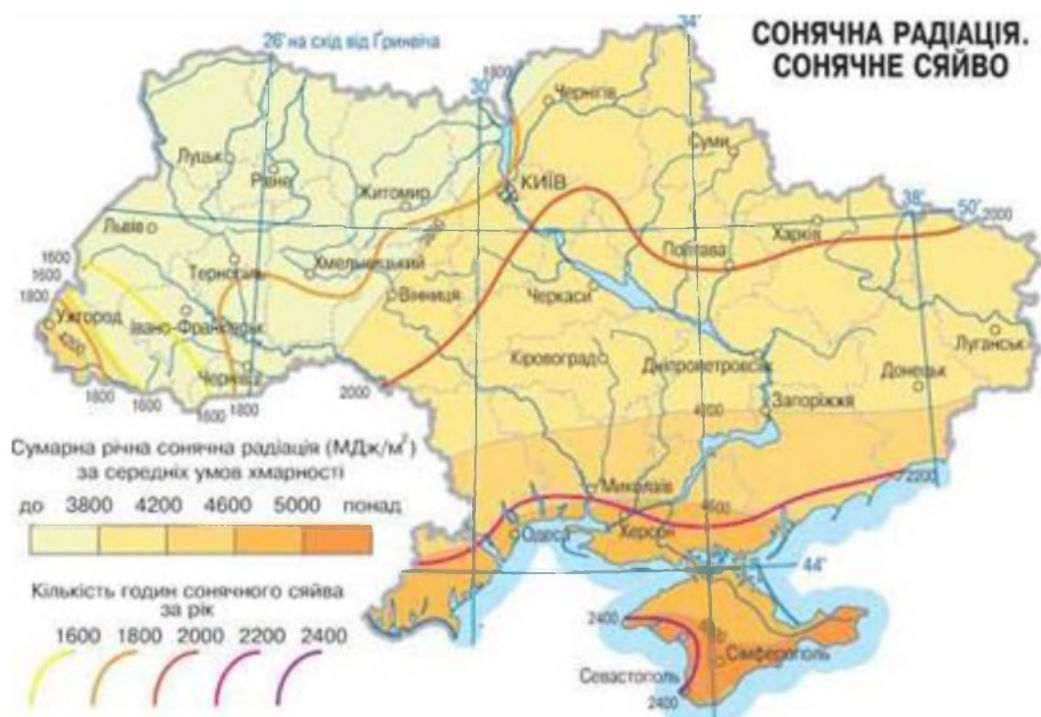


Рисунок 1.2 – Розподіл сонячної радіації по території України

Найбільш підходящим періодом для використання енергії сонячної радіації є теплий період року, оскільки він має малу змінність щодо сумарної та прямої радіації на всій території - різниця між ними становить всього 3-8% для північних і

південних районів. У той же час, для середніх умов хмарності різниця між ними становить 15-30%, яка є наслідком впливу хмарності, кількість якої влітку в південних районах значно менша, ніж в північних.

Взимку та восени, розподіл сумарної радіації залежить від висоти Сонця та тривалості дня, що свідчить про широтну зональність. Хоча прозорість атмосфери також змінюється у цей період через атмосферну циркуляцію, а також через проходження атмосферних фронтів, циклонів та антициклонів, ці зміни лише підкреслюють широтний розподіл сумарної радіації. Наприклад, у січні прозорість збільшується від північних районів до Причорномор'я та Криму. Проте влітку, особливо в місяці теплого півріччя, розподіл сумарної радіації різко порушується через вплив місцевих умов, таких як прозорість атмосфери, що стає головним фактором територіальної мінливості. Крім того, величина сумарної радіації залежить від альbedo підстелюючої поверхні, та змінюється на схилах через вплив експозиції та кута нахилу. Однак, геліоустановки можуть орієнтуватись у просторі без урахування кута нахилу та експозиції схилу.

Довжина світового дня та тривалість сонячного освітлення залежать від показників, які також впливають на надходження розсіяної радіації, особливо на крутих схилах та в забудові, де відбиття може збільшувати надходження сонячних променів на поверхню у певній точці. Розподіл сумарної радіації залежить від взаємодії всіх цих факторів, і роль кожного може змінюватись залежно від пори року. Астрономічні фактори та територіальна мінливість альbedo відіграють важливу роль в холодний період року, тоді як у теплу частину року, насамперед хмарності впливають на надходження радіації.

Для забезпечення стабільності енергопостачання при обмеженому надходженні сонячної або вітрової енергії необхідна можливість накопичення енергії. В якості засобів накопичення енергії використовуються акумулятори, функція яких полягає в згладжуванні коливань енергії протягом певного часового інтервалу, що дозволяє забезпечити стабільне енергопостачання. Для компенсації тривалих перерв у постачанні енергії необхідно мати більшу ємність акумуляторів.

Акумулятори є критично важливими та, можливо, найбільш витратною складовою альтернативних систем. Надійність та зручність експлуатації енергетичної установки залежать від якості та ємності акумуляторів. Однак не кожна акумуляторна батарея може бути успішно використана в гібридному комплексі "вітрогенератор + фотоелектричні модулі". Акумулятори, що використовуються в такому комплексі, повинні мати підвищену надійність та відповідати особливим технічним характеристикам, зокрема, здатність до тривалих і глибоких циклів заряду-розряду.

1.4 Загальний потенціал відновлюваних джерел енергії в Україні

У лютому 2015 року, за даними Міжнародного агентства з відновлюваної енергії (IRENA), технічно досяжний річний потенціал використання відновлюваних джерел енергії в Україні складав 68,6 млн. тонн нафтового еквіваленту (Мт. н.е.) або 98 млн. умовних паливних одиниць за даними Інституту відновлюваної енергетики НАН України. Цього достатньо для покриття приблизно 50% загального енергоспоживання України.

За даними ДТЕК та Всесвітньої асоціації вітроенергетики, загальний потенціал використання енергії вітру в Україні оцінюється у межах 16-24 ГВт. Економічно обґрунтованим вважається потенціал розміром 16 ГВт. Серед регіонів, які мають найбільший потенціал, наявність перспективних умов спостерігається в південних та південно-західних областях, де середня річна швидкість вітру на висоті 80 метрів перевищує 7,5 м/сек, згідно з даними Кабінету Міністрів та Державної агенції з енергоефективності та енергозбереження за 2014-2015 роки.

До 2018 року ці дані були переглянуті в більшій мірі в результаті зміни підходу до визначення потенціалу (таб. 1.1).

Таблиця 1.1 - Оцінка середньорічного енергетичного потенціалу ВДЕ України

Джерело даних	Вид ВДЕ		Потужність, ГВт	Електроенергія, млрд. кВт·год / р
IRENA, NREL (офшор)	ВЕС	Разом, у т.ч.:	466	1428
		оншор	320	858
		офшор	146	570
	СЕС		71	88
	Всього ВДЕ		537	1516
ІВЕ НАНУ	ВЕС	Разом, у т.ч.:	688	2174
		оншор	438	1190
		офшор	250	984
	СЕС		83	99
	Всього ВДЕ		771	2273
Енергетична стратегія 2035	Всього ВЕС і СЕС		-	25

Україна має значний потенціал сонячної енергії, з середньорічною кількістю сонячного випромінювання від 1070 кВт·год/м² на півночі до 1400 кВт·год/м² на півдні та ще більше на півострові Крим. Сонячні фотоелектричні установки можуть бути ефективно використані протягом більшості року з піковою ефективністю від квітня до жовтня на півдні та з травня до вересня на півночі. В Україні, переважна більшість трансформації сонячної енергії в електроенергію відбувається за допомогою сонячних фотоелектричних установок. У країні є достатня кількість сировини та промисловий та інтелектуальний потенціал для їхнього виробництва, що дозволяє задовольнити вітчизняний попит та має потенціал для експорту. (КабМін, 2014, Держенергоефективності, 2015).

1.5 Особливості проектування малих вітроенергетичних установок

Вітрова енергетична установка представляє собою пристрій, що перетворює кінетичну енергію вітру на інші форми енергії. Залежно від типу енергії, що

виробляється, вони можуть бути класифіковані як вітромеханічні або вітроелектричні [6].

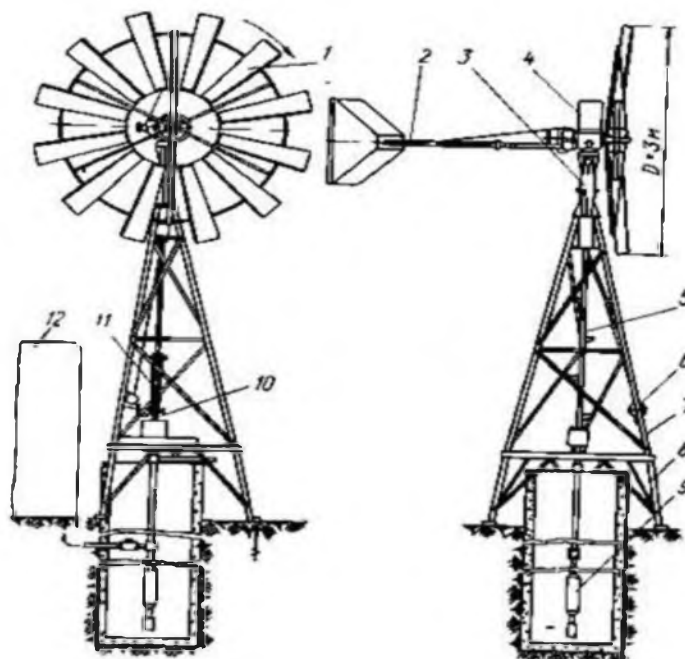


Рисунок 1.3 – Вітромеханічна установка: 1 – ротор, 2 – хвіст, 3 – поворотний пристрій, 4 – гондола, 5 – приводна штанга, 6 – пусковий механізм, 7 – опора, 8 – основа, 9 – насос, 10 – штанга насоса, 11 – ручний привод, 12 – резервуар

Структура вітромеханічних установок (показана на рис. 1.3) включає наступні компоненти.

Ротор - це система обертових аеродинамічних елементів, таких як лопаті, які з'єднані з одним валом і призначені для перетворення кінетичної енергії вітру на механічну енергію обертового валу. Ротор може бути орієнтованим проти напрямку повітряного потоку, коли він знаходиться перед опорою і в робочому стані, і орієнтованим у напрямку повітряного потоку, коли він знаходиться за опорою і в робочому стані.

Гондола - це компонент вітрової установки, розташований на вершині опори, який призначений для розміщення вузлів кріплення валу ротора, мультиплікатора, трансмісії та/або інших елементів.

Опора (вежа, башта, щогла) - це структура, яка підтримує гондолу та ротор над поверхнею землі. Висота опори вибирається з урахуванням не лише зростання швидкості вітру, але також з урахуванням вимог до монтажу, ремонту, обслуговування, ваги та вартості.

Опорно-поворотний механізм - це пристрій, який використовується для повороту гондoli та ротора навколо вертикальної осі у напрямку повітряного потоку. Цей механізм може бути додатковою компонентом - віндрозою, яка складається з багатолопатевого ротора і призначена для виконання опорно-поворотної системи у напрямку повітряного потоку.

Система управління поворотом гондoli забезпечує утримання осі ротора в напрямку повітряного потоку з мінімальним відхиленням або нуканням.

Трансмісія - це система, яка використовується для передачі крутного моменту від валу ротора до робочої машини.

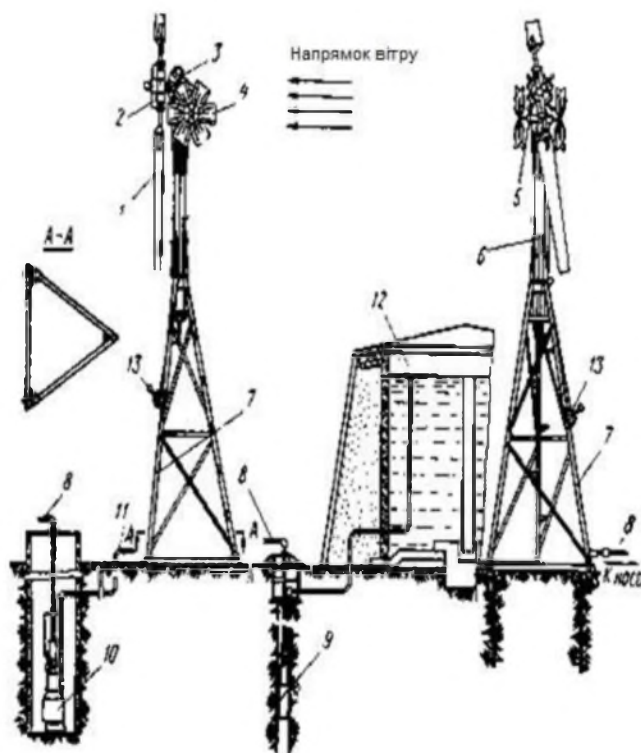


Рисунок 1.4 – Вітроелектрична установка: 1 - ротор, 2 - муьтїплїкатор, 3 - електрoгенератор, 4 - вїндрози, 5 - гондола, 6 - опора, 7 - основа, 8, 11 - трубопровїд, 9 - занурений насос, 10 - пневмонасос, 12 - резервуар, 13 - пусковий механїзм

Конфігурація вітроелектричних установок (показана на рис. 1.4) складається зі згаданих компонентів, але має додаткові елементи, що залежать від режиму роботи: пряме підключення до навантаження або робота з акумуляторними пристроями. Електрогенератор зазвичай розташовується у гондолі. Передача електроенергії здійснюється за допомогою кабелів або рухомих контактів. Автоматична система керування отримує інформацію про стан та роботу механізмів установки, обробляє її згідно з програмою та забезпечує запуск, підтримку робочих параметрів і аварійне зупинення установки у випадку аварійних ситуацій.

Лопаті є найбільш складним і дорогим компонентом вітроустановки. До останнього часу в Україні не було налагодженого виробництва лопатей для вітроустановок потужністю в діапазоні 2...100 кВт. Зарубіжні компанії, зокрема авіаційні (Boeing), аерокосмічні та суднобудівні, займаються проектуванням та виробництвом лопатей. Виготовлення лопатей для швидкісних вітроустановок є складним процесом через високі вимоги до їх характеристик. Ці вимоги включають високу міцність на розривання і згинання, відносно невелику масу, здатність працювати в широкому діапазоні температур (-50°C ... $+60^{\circ}\text{C}$), стійкість до обмерзання, точність форми профілю лопаті, низьку шорсткість поверхні та інші. Крім того, лопаті мають складну геометричну форму, включаючи повздовжнє гвинтове кручення, змінну хорду профілю вздовж довжини, обтічні торці лопатей і т.д. Щоб відповідати цим вимогам, лопаті виконують з композитних матеріалів, таких як склопластик, вуглепластик або пресований алюміній.

Силова трансмісія вітроустановки складається з валу ротора, який розташований в підшипниках. Другий кінець валу з'єднується з тихохідним валом мультиплікатора за допомогою пружної або іншої муфти, що відповідає вимогам щодо передавального відношення, крутного моменту, швидкості обертання, мастила та інших умов. Швидкохідний вал мультиплікатора через пружну муфту з'єднується з навантаженням, яким зазвичай є електрогенератор або компресор. Вітроустановка має гальмівний пристрій (стрічковий, дисковий або колодковий), який зазвичай розташовується на швидкохідному валу мультиплікатора або на другому вихідному

кінці валу електрогенератора. Гальмівний пристрій повинен забезпечувати плавне гальмування ротора без перевантажень за крутним моментом. Це може досягатися за допомогою введення пружини або дроселя до складу гальмівного пристрою в разі використання гідравлічного приводу. Для зменшення перевантажень за крутним моментом під час гальмування роторів часто використовують аеродинамічне гальмування поворотом лопаті або її кінцевої частини, а також гальмівний аеродинамічний щиток.

Для орієнтації ротора на вітер у вітроустановках використовується поворот гондоли відносно опори. Це досягається за допомогою опорного підшипника, розташованого між гондолою і опорою. У вітроустановок потужністю від 0,1 до 1 кВт зазвичай використовується хвіст (флюгерний пристрій на консолі) для орієнтації на вітер. В більш потужних вітроустановках використовується ввідрозні черв'ячний механізм з одним або двома додатковими малими роторами для повороту гондоли на вітер. Коли потужність вітроустановки досягає 100 кВт і більше, використовується електропривод (мотор-редуктор) з великим передавальним відношенням. Це дозволяє знизити кутову швидкість повороту гондоли і зменшити гіроскопічний момент, що діє на лопаті ротора. При цьому блок керування виконавчим електродвигуном пов'язується з датчиком напрямку вітру, який встановлюється на гондолі.

Сама по собі вітроелектростанція (ВЕУ) не є повноцінним джерелом енергії в звичному розумінні. Для ефективного використання цієї енергії необхідно перетворити її на відповідні параметри, створити запас енергії на періоди відсутності вітру та, при необхідності, мати резервування для випадків, коли ці періоди тривалі. Відповідно до цього можна виділити дві основні групи малих вітроелектростанцій: установки, які підключені до електричної мережі, та автономні системи.

Малі вітроелектростанції, які підключені до електричної мережі, комплектуються інверторами, що забезпечують необхідні параметри електроенергії для сумісної роботи установки з електричною мережею.

В автономному режимі, вітроелектростанція працює незалежно і може бути поєднана з іншими енергетичними установками як складова комбінованої системи

енергопостачання. Такі системи використовуються для різноманітних цілей, таких як водопостачання, електричне та теплове опалення будинків, виробництво та зберігання водню. При цьому вони можуть бути поєднані з дизель-генераторами, тепловими насосами, електролізерами та іншими пристроями.

Автономні вітрові установки з батареями акумуляторів (АБ) широко застосовуються як в світовій практиці, так і в Україні.

Нижче наведено послідовність дій, яку потенційний споживач може виконати при виборі та використанні вітроустановок малої потужності, згідно з алгоритмом:

1) Для визначення цілей та очікувань встановлення вітроелектричної системи (ВЕС), необхідно усвідомити, що вітер є непередбачуваним і незбалансованим джерелом енергії. В результаті, власник вітроустановки може скористатися нею у наступних ситуаціях:

- як автономне джерело енергії: ВЕС може бути використана як самостійне джерело енергії у тих місцях, де відсутнє централізоване електропостачання;
- як резервне джерело енергії: ВЕС може служити як запасне джерело енергії для економії споживання електроенергії з централізованої мережі та забезпечення електропостачання відповідальних споживачів у разі відключення основного джерела енергії;
- як мережева установка з продажем електроенергії: ВЕС, підключена до електричної мережі, може генерувати електроенергію, за яку ви отримуватимете прибуток від продажу за зеленим тарифом.

Крім того, в другому випадку досягається розв'язання проблеми збереження цінного обладнання, яке може вийти з ладу через низьку якість енергії в мережі, особливо в сільських районах.

2) Провести вибір вітроустановки (ВЕУ).

В загальному випадку, всю різноманітність вітроустановок можна розділити на дві основні групи:

- вітроустановки, які використовують силу лобового тиску, такі як барабанні, багатолопатеві горизонтально-осьові, карусельні, ротори Савоніуса, вітрильні і т.д;
- вітроустановки, які використовують аеродинамічну підйомну силу, такі як ротори Дар'є, швидкохідні горизонтально-осьові ВУ.

Важливо враховувати, що потужність, яку може розвивати вітроустановка, визначається за формулою:

$$N = C_p \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot V^3 \cdot F \quad (1.1)$$

де $\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$ - густина повітря при нормальних атмосферних умовах;

V - швидкість вітру, в м/с;

F - площа, через яку цей вітрової потік проходить (площа обмаху), в м²;

C_p - коефіцієнт використання енергії вітру чи коефіцієнт потужності.

Коефіцієнт потужності визначає ту частину енергії, яку можна видобути з вітрового потоку за допомогою вітроприймального пристрою. Для ВУ першого типу зазвичай коефіцієнт використання енергії (C_p) не перевищує 0,1, тоді як для ВУ другого типу він становить від 0,3 до 0,5. Оскільки ВЕУ першої групи мають значно менший коефіцієнт використання енергії вітру порівняно з установками другої групи, це призводить до вищої металоємності в декілька разів і обмеженої можливості регулювання. У зв'язку з цим, вони практично не використовуються ніде на сьогоднішній день.

До другої групи вітроустановок відносяться класичні горизонтально-осьові вітроустановки та вертикально-осьові ротори Дар'є. Враховуючи очевидні переваги роторів Дар'є, такі як розташування силової трансмісії і електрогенератора на землі та відсутність механізму орієнтації на вітер, у них є важливий недолік: при одному оберті ротора аеродинамічна підйомна сила змінюється по величині і напрямку відносно лопаті. Це призводить до складних змінюваних динамічних навантажень на лопаті та підшипники, що веде до втомного руйнування елементів вітроустановки.

Цей фактор обмежує широке застосування таких систем. Отже, горизонтально-осьові вітроустановки мають найбільше поширення на сьогоднішній день.

З рівняння (1.1) випливає, що потужність, яку виробляє вітровий потік, пропорційна кубу швидкості вітру. Це означає, що подвоєння швидкості вітру призведе до збільшення потужності вісьми разів. Однак, цю потужність необхідно якось обмежити. Це обмеження можна досягти шляхом зменшення коефіцієнта потужності (C_P) або площі обмаху (F). На практиці це досягається шляхом зміни кута атаки лопатей (поворот лопатей) або повороту всього ротора (вітроколеса) подалі від напрямку вітру. Таким чином, для вітроустановки необхідно мати систему регулювання потужності або систему захисту, щоб контролювати цей процес.

3) Для досягнення ефективної роботи вітроенергетичної установки (ВЕУ), необхідно визначитися з наявністю необхідної швидкості вітру.

З виразу (1.1) видно, що швидкість вітру є визначальною для обчислення потужності вітроустановки (ВУ).

Якщо ми приймаємо номінальну швидкість вітру, яка використовується для розрахунку міцності компонентів ВУ та вибору потужності генератора або насоса, як середньорічну швидкість, то всю енергію, яка виробляється при швидкостях вітру, що перевищують це значення V_{cp} (рис. 1.5), ми просто ігноруємо та не враховуємо.

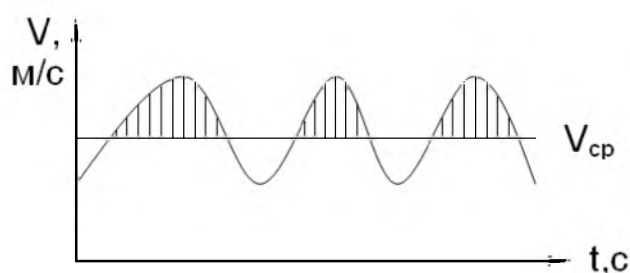


Рисунок 1.5 – Середньорічна швидкість вітру

На основі практичного досвіду та літературних джерел було встановлено, що швидкість вітру, відома як розрахункова або номінальна швидкість V_n , повинна знаходитися в певних межах:

$$V_n = (1,25 \div 2) \cdot V_{cp}, \text{ м/с} \quad (1.2)$$

Нижнє значення цього діапазону (1,25) застосовується в основному до вітроустановок, що використовуються в сільському господарстві для механічних робіт та беруть участь у технологічних процесах. Для таких установок, важливіше забезпечення неперервного функціонування протягом більшої кількості годин на рік, ніж зменшення річного виробітку через невикористання швидкостей вітру, що перевищують розрахункову швидкість (V_n). Перевага надається гарантуванню (зазвичай не на 100%) безперервності технологічного процесу.

У вітроелектричних установках, які призначені для вироблення електроенергії, особливо тих, що мають системи накопичення енергії, наприклад, акумуляторні батареї, головною метою є максимізація використання енергії з вітрового потоку протягом певного періоду часу. Тому для таких вітроустановок значення коефіцієнта при середньорічній швидкості вітру (V_{cp}) приймається ближче до 2.

Для більшості регіонів України, значення середньорічної швидкості вітру становить приблизно від 4 до 4,5 м/с. Відповідно до державного стандарту України (ДСТУ 7337:2013 "Вітроенергетика. Установки електричні вітряні. Параметричний ряд"), розрахункова швидкість вітру не повинна перевищувати 9 м/с, при умові, що вітроелектрична установка встановлюється на тій же висоті, де було виміряне середньорічне значення швидкості вітру.

4) Визначити, яку потужність вітроелектричної станції (ВЕС) необхідно встановити для задоволення вашої енергетичної потреби.

Звичайно, розрахунок річного виробітку електроенергії від вітроелектричної установки (ВЕУ) є складним процесом, що базується на статистичних даних щодо повторюваності швидкості вітру у даному регіоні, а також на прогнозуванні. Іноді

використовують спрощений підхід. В таких випадках використовується поняття коефіцієнта використання встановленої потужності, який вказує, який відсоток днів у році ВЕУ працює з встановленою потужністю. Якщо ВЕУ вибрана правильно для конкретного місця згідно з рекомендаціями виразу (1.2), то значення цього коефіцієнта зазвичай знаходиться в діапазоні $0,25 \div 0,3$. Таким чином, прогнозована річна вироблення електроенергії ВЕУ може бути приблизно розрахована на основі наступної формули :

$$Q_z = (0,25 \div 0,3) \cdot 8760 \cdot N_{уст}, \quad (1.3)$$

де Q_z – річний виробіток електроенергії, кВт·год;

8760 – кількість годин в році, в годинах;

$N_{уст}$ – встановлена потужність ВЕУ, кВт.

5) Визначити, яку потужність необхідно резервувати для забезпечення надійної роботи споживача.

Існують два критерії для визначення розміру ємності АБ:

- перший критерій заснований на фінансових можливостях і передбачає, що чим більше ємність, тим краще.
- другий критерій базується на гарантованому забезпеченні електроенергією певного набору електричних приладів протягом необхідного часу.

Кількість електроенергії, необхідна для роботи цих приладів, визначається наступним чином:

$$E_{\Sigma} = \sum N_i \cdot t_i, \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (1.4)$$

де N_i – потужність електроприладу, в кВт;

t_i – необхідний час роботи, в годинах.

Кількість електроенергії, яке може забезпечити АБ:

$$E_A = \frac{k \cdot U \cdot C}{1000}, \text{кВт} \cdot \text{год} \quad (1.5)$$

де k - ККД АБ;

U – напруга АБ, в В;

C – ємність АБ, в А·год.

Тоді, відповідно, необхідна ємність АБ буде дорівнювати:

$$C = \frac{\sum N_i \cdot t_i}{k \cdot U}, \text{А} \cdot \text{год} \quad (1.6)$$

Вираз (1.6) потребує коригування ємності АБ з урахуванням особливостей кислотних АБ, які, як правило, не можуть бути повністю розряджені. Деякі типи АБ, зокрема автомобільні, не рекомендується розряджати більше 20% ємності, тоді як інші, такі як герметичні, можуть бути розряджені до 80% ємності.

Ще одним способом збільшення ефективності системи є встановлення додаткового джерела енергії, наприклад, фотоелектричних батарей (ФЕБ), паралельно з ВЕУ. Таким чином, зарядка АБ може здійснюватись від вітру, сонця або обох джерел одночасно. ВЕУ та ФЕБ взаємодоповнюють один одного протягом року, з урахуванням сезонних змін (більше вітру взимку, більше сонячної енергії влітку).

6) Визначити, які небажані наслідки можна очікувати від використання вітроелектроустановок (ВЕУ).

Перш за все, для кожного типу вітроелектроустановки (ВЕУ) необхідно мати мінімум протокол державних приймальних випробувань (або документ, що його замінює), який підтверджує відповідність типу ВЕУ стандартам системи охорони праці. Ці стандарти включають заходи зі захисту від електричного струму, пожежної безпеки, шуму, вібрацій, інфразвукових впливів та інших аспектів.

Оскільки ВЕУ встановлюється на опорі, необхідно також прийняти заходи для захисту від блискавки. Це може включати окрему систему блискавковідведення або комбіновану систему, що поєднується з самою встановленою ВЕУ.

1.6 Електроживлення на основі фотоелектричної батареї

Фотоелементи прямо перетворюють енергію сонячного випромінювання на електричну енергію, що призводить до їх простої конструкції. Фотоелементи можуть бути з'єднані послідовно або паралельно, утворюючи фотобатареї, які зазвичай виготовляються у формі плоских модулів. Коли фотобатареї з'єднані разом і працюють на спільне навантаження, вони формують електростанції. В порівнянні з сонячними електростанціями, що використовують термодинамічний цикл, фотобатареї потребують менших витрат на будівництво та експлуатацію, що сприяє зниженню вартості отриманої з них енергії. Модульна конструкція спрощує налаштування сонячних електростанцій і дозволяє їх використання в побутовому секторі [7].

Фотоелементи виготовляються шляхом використання напівпровідникових структур з різною провідністю або шляхом зміни хімічного складу напівпровідників. Більшість фотоелементів виготовляють з кремнію. Коефіцієнт корисної дії (ККД) фотоелементів залежить від однорідності структури напівпровідника та його фотопровідності. Тому для фотоелементів використовують кремній з низькою кількістю дефектів.

Приблизно 80% усіх модулів виготовляють на основі полі- або монокристалічного кремнію. Фотоелементи, що використовують монокристалічний кремній, мають ККД до 17% (з середнім значенням 14%), а полікристалічний кремній має середній ККД близько 12%. Кристалічні елементи мають тривалість служби 30-50 років.

Фотоелементи на основі аморфного кремнію мають низький ККД (приблизно 8%) і стабільність, тому вони переважно використовуються в низькопотужних елементах живлення.

Вартість фотоелементів залежить від ціни кремнію, який використовується у їх виготовленні. Оскільки для досягнення високого ККД використовують кремній з найменшою кількістю домішок, це призводить до зростання загальної вартості фотобатареї.

У тонкоплівкових фотоелементах, щоб зменшити використання кремнію, його наносять тонким шаром на підкладку, таку як металеві стрічки, скло або полімерні плівки. Це дозволяє скоротити обсяг кремнію і спростити технологію виробництва, що знижує загальну вартість таких фотоелементів. ККД тонкоплівкових фотоелементів становить близько 8%. Однак, їхнім недоліком є деградація властивостей під впливом сонячного випромінювання.

У органічних фотоелементах замість кремнію використовуються барвники або полімери, які є більш доступними з точки зору вартості. ККД полімерних фотоелементів не перевищує 10%.

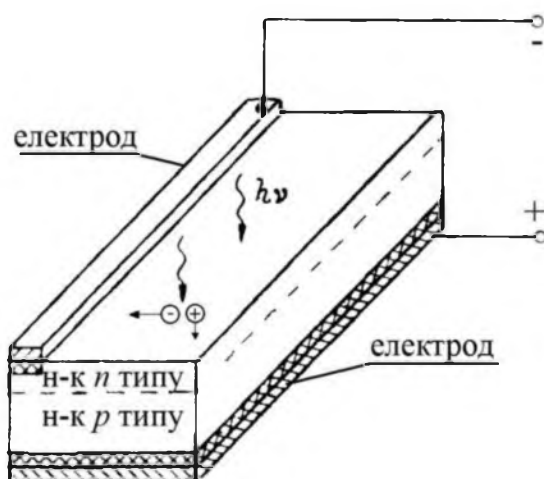


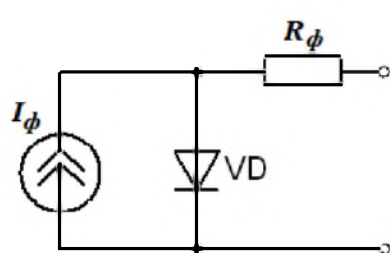
Рисунок 1.6 – Напівпровідниковий фотоелемент

Кремнієвий фотоелемент складається з напівпровідникового матеріалу, частина якого, що піддана освітленню, має провідність n-типу, а непідсвічена

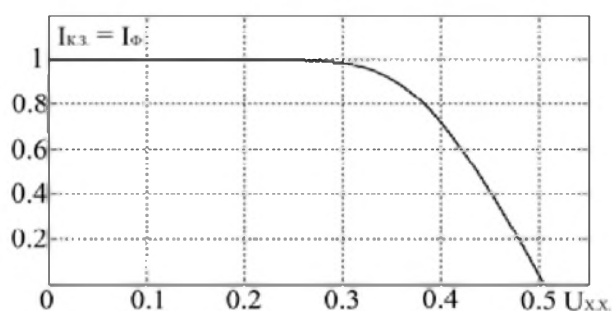
частина має провідність р-типу. Він також має два електрода. Смушковий електрод з малою площею підключений до області n-типу, що дозволяє збільшити ефективну площу освітленого напівпровідника. На зворотній стороні області р-типу розташований монолітний електрод.

Під впливом фотонів світла, атоми напівпровідника типу n переносять електрони з валентної зони до зони провідності, створюючи два типи носіїв заряду: вільні електрони та дірки. Це спричиняє потік струму в зовнішньому колі фотоелемента.

На рисунку 1.7 показані еквівалентна схема заміщення фотоелемента та його вальт-амперна характеристика (ВАХ).



а) Схема заміщення



б) ВАХ

Рисунок 1.7 – Характеристики фотоелемента

Внаслідок дії фотоструму I_ϕ утворюються вільні носії заряду у освітленому фотоелементі. Фотострум дорівнює струму короткозамкненого фотоелемента $I_\phi = I_{кз}$. У випадку, коли до фотоелемента підключено навантаження, частина фотоструму протікає через навантаження, а інша частина протікає через р-n перехід фотоелемента. Якщо зовнішній коло розімкнuto, весь фотострум протікає через р-n перехід фотоелемента, що призводить до максимальної напруги на фотоелементі, яка позначається як U_{xx} (для кремнієвого фотоелемента, U_{xx} приблизно дорівнює 0,6 В). Сила фотоструму залежить від рівня освітленості та площі фотоелемента. ВАХ фотоелемента апроксимують формулою :

$$I_H = I_\phi - I_0 \cdot \left(e^{\frac{q_e \cdot U_H - I_H \cdot R_\phi}{A \cdot k \cdot T}} \right), A \quad (1.7)$$

де I_0 – зворотній струм діода,

$q_e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, заряд електрона,

$k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К, стала Больцмана,

T – абсолютне значення температури,

A – константа, значення якої має значення в межах 1-2.

Фотобатарея складається з кількох ланцюжків однотипних фотоелементів, які з'єднані послідовно. Кожен ланцюжок фотоелементів має діод, який вмикається послідовно з ним. Цей діод використовується для усунення зворотних струмів, які можуть протікати через ланцюжок фотоелементів, коли один з його елементів затінений.

Застосування діода дозволяє уникнути недоречностей, пов'язаних з меншою ефективністю ланцюжка фотоелементів через затінення одного з його елементів. У такому випадку, коли ланцюжок стає затемненим, відповідний ланцюжок відключається від навантаження. На рисунку 1.8 показано фотобатарею з трьох ланцюгів.

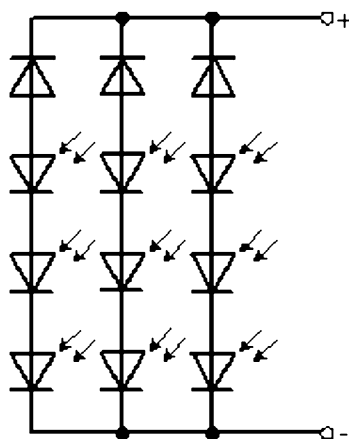


Рисунок 1.8 – Фотоелектрична батарея

ВАХ (вольт-амперна характеристика) фотобатареї складається з сумування ВАХ її фотоелементів. Виробники надають ВАХ фотобатарей для різної сонячної потужності, при цьому номінальна потужність розраховується для випромінювання на рівні 1000 Вт/м^2 та враховує відповідність опору навантажувального кола опору виходу фотобатареї: $R_H = R_{\text{вих}}$. При використанні інших значень опору навантаження, фотобатарея може віддавати меншу потужність. Типові ВАХ фотоелемента і криві залежності потужності від напруги навантаження ($P = f(U_H)$) наведені на рисунку. 1.9.

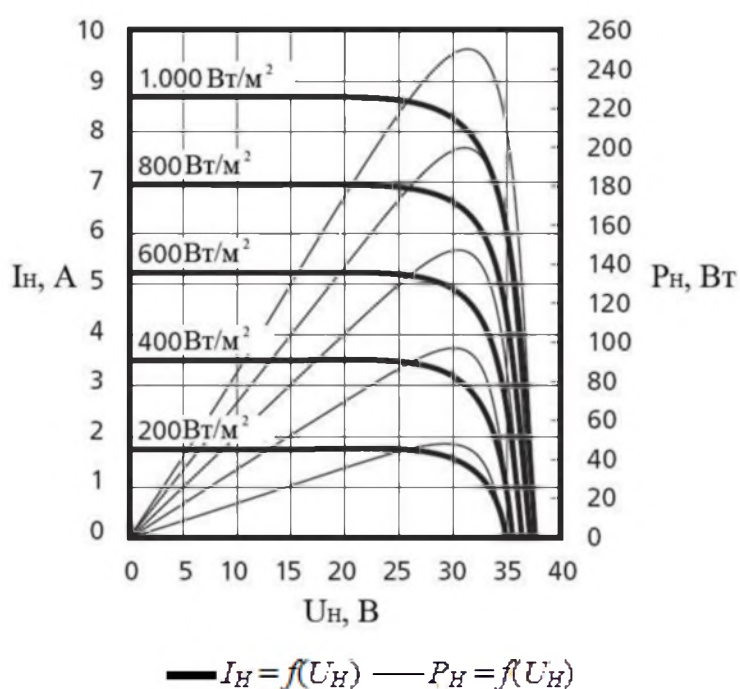


Рисунок 1.9 – Сімейство ВАХ і кривих потужності фотобатареї

З рисунку можна зрозуміти, що фотострум фотобатареї змінюється пропорційно до рівня освітленості, тоді як напруга холостого ходу майже не залежить від освітленості. Загалом, точка максимальної потужності відповідає значенню напруги в діапазоні $(0,7-0,8) U_{\text{ХХ}}$ і струму в діапазоні $(0,85-0,93) I_{\text{КЗ}}$, і практично не залежить від потужності сонячного випромінювання.

Для забезпечення відповідності вихідного опору фотобатареї та опору навантаження використовується постійний перетворювач напруги (ППН), який працює

в режимі стабілізації вхідного струму або напруги. Для накопичення електричної енергії на виході ППН встановлюють акумуляторну батарею.

На рисунку 1.10 приведена структурна схема автономного джерела живлення постійного струму на основі фотобатареї.

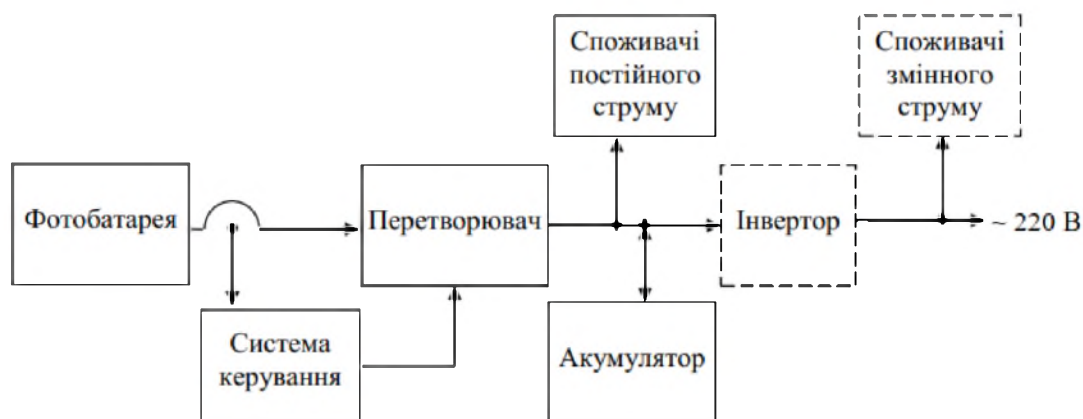


Рисунок 1.10 – Автономне джерело живлення на основі фотобатареї

Для подачі змінного струму до споживачів або для генерації енергії в електричну мережу на виході системи встановлюють пристрій, що здійснює інверсію напруги, відомий як інвертор.

У системі керування для визначення робочої точки фотобатареї з максимальною потужністю обчислюють вихідну потужність батареї на основі миттєвих значень вихідного струму і напруги. Потім постійний напруговий перетворювач (ППН) регулює вихідний струм (або напругу) фотобатареї таким чином, щоб змістити її робочу точку в напрямку збільшення вихідної потужності.

Для оцінки економічної ефективності використання сонячних електростанцій (СЕС) необхідні такі вихідні дані:

- середньомісячна денна енергетична освітленість (E), вимірювана в кіловат-годинах на квадратний метр ($\text{кВт}/\text{м}^2$);
- середні річні значення сумарної радіації на горизонтальну поверхню ($\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$);

- середньомісячні значення сумарної радіації на горизонтальну поверхню ($E_{\text{мес}}$), вимірювані в кіловат-годинах на квадратний метр ($\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$).

В таблиці на рисунку 1.11 наведено дані за спостереженнями НАСА стосовно середньомісячної сонячної інсоляції на території України у $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2/\text{день}$ за останні 22 роки.

Міста/Місяці	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень	Сер.
Вінниця	1.07	1.89	2.94	3.92	5.19	5.30	5.16	4.68	3.21	1.97	1.10	0.90	3.11
Дніпропетровськ	1.21	1.99	2.98	4.05	5.55	5.57	5.70	5.08	3.66	2.27	1.20	0.96	3.36
Донецьк	1.21	1.99	2.94	4.04	5.48	5.55	5.66	5.09	3.67	2.24	1.23	0.96	3.34
Житомир	1.01	1.82	2.87	3.88	5.16	5.19	5.04	4.66	3.06	1.87	1.04	0.83	3.04
Запоріжжя	1.21	2.00	2.91	4.20	5.62	5.72	5.88	5.18	3.87	2.44	1.25	0.95	3.44
Івано-Франківськ	1.19	1.93	2.84	3.68	4.54	4.75	4.76	4.40	3.06	2.00	1.20	0.94	2.94
Київ	1.07	1.87	2.95	3.96	5.25	5.22	5.25	4.67	3.12	1.94	1.02	0.86	3.10
Кропивницький	1.20	1.95	2.96	4.07	5.47	5.49	5.57	4.92	3.57	2.24	1.14	0.96	3.30
Луцьк	1.02	1.77	2.83	3.91	5.05	5.08	4.94	4.55	3.01	1.83	1.05	0.79	2.99
Луганськ	1.23	2.06	3.05	4.05	5.46	5.57	5.65	4.99	3.62	2.23	1.26	0.93	3.34
Львів	1.08	1.83	2.82	3.78	4.67	4.83	4.83	4.45	3.00	1.85	1.06	0.83	2.92
Миколаїв	1.25	2.10	3.07	4.38	5.65	5.85	6.03	5.34	3.93	2.52	1.36	1.04	3.55
Одеса	1.25	2.11	3.08	4.38	5.65	5.85	6.04	5.33	3.93	2.52	1.36	1.04	3.55
Полтава	1.18	1.96	3.05	4.00	5.40	5.44	5.51	4.87	3.42	2.11	1.15	0.91	3.25
Рівне	1.01	1.81	2.83	3.87	5.08	5.17	4.98	4.58	3.02	1.87	1.04	0.81	3.01
Суми	1.13	1.93	3.05	3.98	5.27	5.32	5.38	4.67	3.19	1.98	1.10	0.86	3.16
Сімферополь	1.27	2.06	3.05	4.30	5.44	5.84	6.20	5.34	4.07	2.67	1.55	1.07	3.58
Тернопіль	1.09	1.86	2.85	3.85	4.84	5.00	4.93	4.51	3.08	1.91	1.09	0.85	2.99
Ужгород	1.13	1.91	3.01	4.03	5.01	5.31	5.25	4.82	3.33	2.02	1.19	0.88	3.16
Харків	1.19	2.02	3.05	3.92	5.38	5.46	5.56	4.88	3.49	2.10	1.19	0.90	3.26
Херсон	1.30	2.13	3.08	4.36	5.68	5.76	6.00	5.29	4.00	2.57	1.36	1.04	3.55
Хмельницький	1.09	1.86	2.87	3.85	5.08	5.21	5.04	4.58	3.14	1.98	1.10	0.87	3.06
Черкаси	1.15	1.91	2.94	3.99	5.44	5.46	5.54	4.87	3.40	2.13	1.09	0.91	3.24
Чернігів	0.99	1.80	2.92	3.96	5.17	5.19	5.12	4.54	3.00	1.86	0.98	0.75	3.03
Чернівці	1.19	1.93	2.84	3.96	4.54	4.75	4.76	4.40	3.06	2.00	1.20	0.94	2.94

Рисунок 1.11 – Рівні сонячної інсоляції в містах України у $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2/\text{день}$

В таблиці 1.2 наведено тривалість світлового дня в годинах протягом року для Донецької області. Тривалість дня відображена для першого числа кожного місяця.

Таблиця 1.2 – Тривалість світлового дня для Донецької області

Січ.	Лют.	Бер.	Квіт.	Трав.	Черв.	Лип.	Серп.	Вер.	Жов.	Лист.	Груд.
8.26	9.29	11.00	12.48	14.28	15.45	15.59	15.02	13.26	11.43	09.59	08.41

Формула розрахунку потужності сонячної панелі :

$$W = k \cdot P \cdot E, \text{Вт} \quad (1.8)$$

де k – фіксоване коефіцієнт, який дорівнює 0,5 в літній період та 0,7 – в зимній;

P – потужність сонячної панелі, кВт;

E – значення сонячної інсоляції за обраний період згідно рис.1.11, кВт·год/м²/день.

Для знаходження максимальної кількості сонячних панелей треба розділити максимальну добову потужність споживача на знайдену за формулою (1.8) потужність сонячної панелі та округлити у більшу сторону:

$$N = \frac{P_{\text{доб.спож}}}{W}, \text{шт} \quad (1.9)$$

де $P_{\text{доб.спож}}$ – максимальне добове споживання, кВт·год ;

W – розрахункова потужність однієї сонячної панелі, кВт·год ;

У випадку України, рекомендується вибирати кут нахилу панелей у діапазоні від 35 до 45 градусів. Однак, для точного розрахунку оптимального кута нахилу для конкретної локації потрібно використати географічну широту цієї локації у формулі :

$$n = \text{географічна широта}^\circ \cdot 0,76 + 3,1^\circ, \quad (1.10)$$

Системи автономного електроживлення забезпечують стабільне постачання електроенергії споживачам, навіть у випадку відсутності зовнішньої електричної мережі, шляхом накопичення електроенергії під час її наявності і подальшого використання у моменти потреби, зберігаючи власні резерви генерації.

Для гібридних систем з фотоелектричними панелями необхідно мати акумулятори з достатнім зарядом, щоб накопичувати енергію, вироблену панелями

протягом дня, для подальшого використання. Важливо знайти оптимальну ємність акумулятора, оскільки занадто велика ємність призведе до постійного недозаряджання, що негативно впливає на стан і тривалість його роботи. З іншого боку, занадто мала ємність не задовольнить потреби навантаження і може призвести до глибокого розряду акумулятора, що також негативно позначиться на його працездатності.

Сонячні електростанції найчастіше використовують акумуляторні батареї з робочими напругами 12, 24 або 48 В. Вибір напруги батареї і її кількості залежить від - параметрів інвертора та необхідної ємності акумуляторів для житлового будинку. Для визначення потрібного струму акумуляторної батареї необхідно використовувати відповідну формулу:

$$I_{роз} = \frac{P_{доб.спож}}{U_{ном.АКБ}}, A \quad (1.11)$$

де $I_{роз}$ – розрахункове значення струму АКБ, А ;

$P_{доб.спож}$ – максимальне добове споживання, кВт·год ;

$U_{ном}$ – номінальна робоча напруга АКБ, В.

Для з'єднання всіх елементів системи сонячної електростанції необхідно вибрати відповідні кабелі. Надійність, ефективність та безпека роботи всієї системи сонячної електростанції залежать від правильного вибору перетину кабелів.

1.7 Вплив відновлюваної енергетики на надійність та стійкість енергосистеми

Стратегічними документами щодо розвитку вітчизняної енергетики передбачається збільшення потужності вітрових та сонячних електростанцій. Однак, наявні дані з різних досліджень показують значну варіацію досяжних рівнів. В

перспективі найближчого десятиліття очікується досягнення потужностей, які не менше декількох гігават. Варто враховувати, що вітрова енергетика характеризується змінним і непередбачуваним видачею потужності, що може негативно вплинути на режими роботи об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України. Особлива увага потрібна при забезпеченні стабільності динамічних процесів у системах енергопостачання та в організації диспетчерського керування енергосистемами. У таких умовах набуває великого значення завдання забезпечення прогнозованості та керованості вітровими електростанціями з урахуванням поточного режиму енергосистеми.

Якщо значне використання вітрової та сонячної енергетики не супроводжується енергетичними технологіями накопичення, то необхідне регулювання поточної потужності енергосистеми, щоб збалансувати коливання енергії вітру. Забезпечення балансу між споживанням електроенергії та регулюванням частоти є основною технічною проблемою в енергосистемах з великим обсягом вітрової енергетики.

В першу чергу, важливо враховувати поточну потужність ВДЕ, а також розподіл ймовірності її варіацій, включаючи мінімальні, максимальні та середні значення. Це необхідно для передбачуваності та визначення потреб у резервній потужності.

Другим важливим аспектом є темп зміни потужності ВДЕ, оскільки він впливає на стійкість енергосистеми та вимоги до резервних потужностей.

Значне збільшення частки ВДЕ в енергосистемі призводить до відтіснення теплових електростанцій, що ускладнює регулювання частоти. Крім того, зменшується механічна інерція системи генераторів, оскільки сонячні електростанції не мають інерції, а вітрові електростанції працюють через електронний міст (випрямляч-інвертор). Тому необхідний достатній обсяг резерву для регулювання частоти та забезпечення надійного енергопостачання у випадку втрати генерації чи навантаження.

При збільшенні частки ВДЕ в енергосистемі природні коливання потужності можна згладжувати різними способами. Наприклад, коливання групи ВДЕ та

сонячних електростанцій можуть бути збалансовані шляхом їх географічного розташування в межах енергосистеми.

Розмір необхідних резервів у енергосистемі визначається обсягом різних відхилень (небалансів потужності), які мають бути скомпенсовані через вторинне регулювання. Серед таких відхилень можна виокремити наступні: нерегулярні коливання активної потужності, спричинені випадковим характером навантаження; помилка в регулюванні балансу потужності, яка виникає через розбіжність між прогнозованим та фактичним графіками навантаження; розрахунковий небаланс потужності. Варто зазначити, що для забезпечення балансу потужності в електричній мережі важливою є колективна поведінка споживачів та всіх електрогенеруючих підприємств, незалежно від технологій, використовуваних для виробництва електроенергії.

Відповідно до вказівок нормативних документів, зокрема "Кодексу системи передачі" і "Кодексу систем розподілу" (виданих НКРЕКП у 2018 році) та СОУ НЕК 341.001:2019 "Вимоги до вітрових та сонячних електростанцій при їхній роботі паралельно з об'єднаною енергетичною системою України", встановлені вимоги щодо устаткування пристроями захисту для сонячних та вітрових установок. Ці вимоги спрямовані на захист вітрових та сонячних електростанцій та забезпечення стабільної роботи загальної електричної мережі.

Власник електростанції має обов'язок забезпечити оснащення електростанції з такими характеристиками:

- захист від пошкоджень, які можуть виникнути внаслідок збоїв або аварійних ситуацій у загальній електричній мережі. Це включає захист від симетричних або несиметричних коротких замикань, відновлення напруги після ліквідації аварійних ситуацій або збоїв, а також захист від підвищення напруги у неушкодженій фазі при несиметричних коротких замиканнях, обривах фаз тощо;
- захист від пошкоджень, які можуть виникнути внаслідок несинхронного підключення;

- максимальний захист електричної мережі загального призначення від широкого спектру небажаних впливів, що походять від вітрових та фотоелектричних електростанцій;
- захист від відключення у некритичних ситуаціях для вітрових та фотоелектричних електростанцій.

Функції захисту та відповідні налаштування електростанції повинні бути встановлені на основі актуальних показників. Якщо виміряні значення відрізняються від номінальних значень, електростанція повинна бути відключена або зупинена. Час відключення електростанції у разі аварійних ситуацій повинен бути чітко визначений функціями захисту. Вимірювання частоти та напруги повинні здійснюватися для всіх трьох фаз як лінійної напруги. Нормативні документи встановлюють необхідний обсяг пристроїв релейного захисту на рівні штатних значень при підключенні розподільної генерації з напругою 10 кВ.

Нормативні вимоги стосуються використання вітрових та сонячних фотоелектричних електростанцій, які використовують статичні електронні перетворювачі енергії. Ці вимоги розподіляються в залежності від загальної номінальної потужності електростанцій в точці їх приєднання:

- вітрові та фотоелектричні електростанції потужністю від 150 кВт до 2 МВт відносяться до категорії електростанцій малої потужності, які можуть впливати на режими роботи локальних вузлів розподільчих мереж середньої напруги;
- вітрові та фотоелектричні електростанції потужністю від 2 МВт до 25 МВт відносяться до категорії електростанцій середньої потужності, які можуть впливати на режими роботи місцевих (локальних) електричних мереж середньої та високої напруги;
- вітрові та фотоелектричні електростанції потужністю понад 25 МВт відносяться до категорії електростанцій значної потужності, які можуть впливати на режими роботи місцевих (локальних) електричних мереж, магістральних електричних мереж, а також значно впливати на баланси потужності енергосистем.

Вітрові та фотоелектричні електростанції повинні здатися впоратися з відхиленнями частоти та напруги в точці приєднання під час нормальної роботи та аварійних ситуацій експлуатації. При цьому генеруюча потужність електростанції повинна бути зменшена до мінімально можливого рівня.

Максимальні ($U_{\text{макс}}$) та мінімальні ($U_{\text{мін}}$) значення напруги для мереж з напругою від 0,38 кВ до 154 кВ визначаються відповідно до міжнародного стандарту з урахуванням максимально допустимих відхилень напруги.

2 РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Вихідні дані об'єкту розрахунку

Була проаналізована система електропостачання мікрорайону м. Мирноград Донецької обл., який складається з 5 тис. мешканців та має соціально-побутові приміщення. Район має рівномірну забудову на території з рівнинним рельєфом. Основними споживачами електричної енергії є житлові будинки, громадські та інші установи. У районі знаходяться 5-ти та 3-ти поверхові будинки, обладнані електричними плитами. Крім того, на території району є комунально-побутові та громадські будівлі, такі як медичні заклади, дитячі дошкільні заклади, освітні та продовольчі заклади, а також промтоварні магазини та пункти побутового обслуговування населення. Газова котельня є ще одним споживачем електроенергії. Більшість споживачів належить до 2 категорії надійності електропостачання, включаючи житлові будинки, газову котельню, загальноосвітню школу та дошкільний навчальний заклад.

Вимоги до надійності електропостачання регламентовані ПУЕ та Державними будівельними нормами України.

Електропостачання району забезпечується від шин ЦЖ, які отримують електроенергію з головної понижуючої підстанції, що працює на рівні напруги 110/10 кВ. Ця підстанція живиться від шин районної підстанції, розташованої на північ від

неї на відстані 2 кілометрів. Крім проєктованого району, ще три райони міста живляться від шин ЦЖ з подібними характеристиками споживачів. На рисунку 2.1 в масштабі 1:4000 представлено генеральний план проєктованого району з порядковими номерами об'єктів, що розташовані на його території.



Рисунок 2.1 - Генеральний план мікрорайону «5/6» м. Мирноград

Таблиця 2.1 - Загальна характеристика споживачів.

№ ТП	Споживач	Характеристика споживача	Кількість квартир в будинку
2	вул. Севастопольська , буд. №№ 5,4,6,8,10,12	3-поверховий будинок з електроплитами	48
	вул. Севастопольська , буд. №№ 1,3,7,9,11	3-поверховий будинок з електроплитами	24
	вул. Одеська , буд. №№ 1,2,3,4,5,7,9,11	2-поверховий будинок з електроплитами	12
3	пров. Шкільний , буд. №№ 24,28, 30, 32	2-поверховий будинок з електроплитами	12
	пров. Шкільний , буд. № 26	5-поверховий будинок з електроплитами	60
	Дитячий садок «Попелюшка»	з електрифікованим хорчоблоком	
	ЗОШ № 1	з електрифікованою їдальнею	
	вул. Богоявленська , буд. №№ 1-6	2-поверховий будинок з електроплитами	12
4	вул. Гірнична , буд. №№ 23-26	3-поверховий будинок з електроплитами	24
	Амбулаторія №2	1-поверхова будівля	
	Ліцей № 92	з їдальнею	
	Котельня № 94	1-поверхова будівля	
	Вул. Гагаріна , буд.№№ 1,3,5,7,8	3-поверховий будинок з електроплитами	24
6	вул. Гірнична , буд. №№ 18-22	3-поверховий будинок з електроплитами	24
	вул. Гірнична , буд. № 17	5-поверховий будинок з електроплитами	60
	пров. Божка , буд. №№ 2,4	2-поверховий будинок з електроплитами	12
	Пров. Шкільний , буд. № 3	3-поверховий будинок з електроплитами	48
	Продуктовий магазин	1-поверхова будівля з кондиціонуванням повітря	220 м ²
	Магазин будівельних товарів	1-поверхова будівля	200 м ²
	Магазин господарських товарів	1-поверхова будівля	150 м ²

2.2 Розрахунок навантажень, приєднаних до шин ТП

У сучасних умовах основні завдання фахівців, які займаються проектуванням та експлуатацією сучасних систем електропостачання міських мікрорайонів багатоквартирних будинків, включають правильне визначення електричних навантажень, раціональну передачу та розподілення електроенергії між споживачами та гнучке управління. Для досягнення цих цілей потрібні вміння вибирати енергозберігаючі режими роботи ліній електропередач (ЛЕП), трансформаторів, реакторів та інших електричних апаратів. Надзвичайно важливим для забезпечення енергоефективності є вміння проводити заходи забезпечення високої якості електроенергії та правильної організації обліку електроенергії.

Було проведено розрахунок електричних навантажень для кожного споживача згідно з ДБН [8,9], щоб визначити навантаження на шинах 0,4 кВ ТП. Для житлових будинків та інших споруд використовують показник питомого навантаження, який залежить від характеристик споживача, таких як кількість квартир, тип використовуваних плит, вид опалення та наявність кондиціонування повітря. У разі підприємств торгівлі цей показник залежить від площі торгових залів та наявності кондиціонування повітря, для підприємств громадського харчування - від кількості місць, а для побутового обслуговування - від кількості робочих місць. Враховано, що біля кожного будинку є свердловина для забору води з насосом потужністю 5 кВт.

Як приклад наведено розрахунок навантажень багатоквартирного будинку № 26, пров. Шкільний.

Вихідні дані :

- кількість квартир – 60;
- кількість під'їздів – 4 ;
- кількість поверхів – 5;
- тип опалення – централізоване;
- тип використовуваних плит – електричні.

Квартири в житловому будинку (районі), які оснащені побутовими електроприладами та мають розрахункове навантаження, доцільно віднести до третього рівня електрифікації [ДБН], оскільки вони мають електричні плити потужністю до 8,5 кВт та площу до 90 м². Квартири житлового будинку, які відповідають цим критеріям, відносяться до третьої групи за рівнем електрифікації. Згідно таблиці 3.1 [9] визначаємо питома навантаження однієї квартири для даного типу житлового будинку з кількістю квартир 60.

Розрахункова потужність будинку визначено за формулою:

$$P_{p.б\ddot{y}д} = P_{кв.пит} \cdot n_{кв} + k_y \cdot P_c + P_{осв}, кВт \quad (2.1)$$

де $P_{кв.пит}$ – питома потужність однієї квартири, кВт;

$n_{кв}$ – кількість квартири, шт;

k_y – коефіцієнт участі в максимумі навантаження силових електроприймачів (0,9);

P_c – розрахункове навантаження силових електроприймачів будинку, кВт;

$P_{осв}$ – розрахункові навантаження освітлення, з урахуванням використання LED-світильників прийняте як 2 кВт на будинок, кВт.

$$P_{p.б\ddot{y}д} = 2,1 \cdot 60 + 0,9 \cdot 4,5 + 2 = 132,05,$$

Установки системи вентиляції, насоси для водопостачання та ліфтове обладнання вважаються складовими силового обладнання.

Розрахункове навантаження силових електроприймачів багатоквартирних будинків визначено згідно методу коефіцієнта попиту:

$$P_c = P_H \cdot K_{II}, кВт \quad (2.2)$$

де P_H – номінальна потужність групи електроприймачів, кВт;

$K_{\text{п}}$ – коефіцієнт попиту.

$$P_C = 5 \cdot 0,9 = 4,5,$$

Для даного типу житлового будинку, враховуючи наявність кондиціонерів повітря, були взяті коефіцієнти з таблиці 3.6 [9]: $\cos \varphi = 0,93$ та $\tan \varphi = 0,4$. Після цього ми визначили розрахункове реактивне навантаження групи житла, яке наведене до вводу 0,4 кВ.

$$\begin{aligned} Q_{p.б\ddot{y}d} &= P_{p.б\ddot{y}d} \cdot \tan \varphi_{кв}, \text{кВар} \\ Q_{p.б\ddot{y}d} &= 132,05 \cdot 0,4 = 52,82, \end{aligned} \quad (2.3)$$

Для визначення потужності, необхідної для розрахунку громадських адміністративних будівель та промислових підприємств, була використана наступна формула:

$$P_{p.ад.б\ddot{y}d} = P_{итт} \cdot M, \text{кВт} \quad (2.4)$$

де $P_{\text{пит}}$ – питоме навантаження будівлі (величина, яка береться з табл. 3.15 [9] залежно від призначення будівлі);

M – продуктивність будівлі.

Для котельні № 94 питоме навантаження розраховане з урахуванням встановленого обладнання переліченого в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Загальна характеристика обладнання котельні № 94.

Найменування обладнання	Потужність, кВт	Кількість, шт	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$	K_B	$P_{\text{зм}},$ кВт	$Q_{\text{зм}},$ кВар	$S_{\text{зм}},$ кВА
Пальник газовий блочний автоматизований $Q=0.77-5.2$ МВт	11	2	0,8	0,75	0,65	14,3	10,7	
Насос циркуляції мережної води (зовнішній контур), $G=192$ м ³ /год., $H=40$ м.в.ст.	30	3	0,85	0,62	0,7	63	39	
Насос мережної води (внутр. контур) $G=137$ м ³ /год., $H=30$ м.в.ст.	15	3				31,5	19,5	
Насос рециркуляційний $G=59$ м ³ /год., $H=20$ м.в.ст.	4	2				5,6	3,5	
Насос підживлювальний води (зовн. контур) $G=16$ м ³ /год., $H=36$ м.в.ст.	3	2				4,2	2,6	
Насос підживлювальний води (внутрішн. контур) $G=2,5$ м ³ /год., $H=34,5$ м.в.ст. 3	0,75	2				1,05	0,65	
Насос сирієї води $G=20$ м ³ /год.,	3	2				4,2	2,6	

Н=30 м.в.ст.								
Водонагрівач електричний накопичувальн ий V=50л	0,9	2				1,26	0,8	49,07
Лампи енергосберігаю чі 42Вт	0,042	25				1,05		
Загальне значення						126,2	79,35	

Розрахункове навантаження лінії живлення ТП при спільному електропостачанні цивільних та житлових будинків (приміщень) різного призначення $P_{p.заг}$ визначається за формулою:

$$P_{p.заг} = P_{max} + P_{p.буд} \cdot K_y, кВт \quad (2.5)$$

де P_{max} - найбільше з навантажень будівель (приміщень), що живляться лінією ТП, кВт;

$P_{p.буд}$ - розрахункові навантаження всіх інших будівель (приміщень), крім будинку, що має найбільше навантаження, які живляться лінією ТП, кВт;

K_y - коефіцієнти, що враховують частку електричних навантажень будівель (приміщень) громадського призначення і житлових будинків у найбільшому розрахунковому навантаженні P_{max} , прийняті за таблицею 3.14 [9].

Отримані дані наведені в таблиці 2.3.

	Амбулаторія №2	30	0,15	0,92	0,43	4,5	1,9	4,5	1,9
	Загальні навантаження							529,67	211,9
6	вул. Гірничя , буд. №№ 18-22	24	2,1	0,93	0.4	56,9	22,76	284,5	113,8
	вул. Гірничя , буд. № 17	60				132,5	53	132,5	53
	пров. Божка , буд. №№ 2,4	12				31,7	12,68	63,4	25,36
	пров. Шкільний , буд. № 3	48				107,3	42,92	107,3	42,92
	Продуктовий магазин	220м²	0,25	0,8	0,75	55	41,25	55	41,25
	Магазин будівельних товарів	200м²	0,14	0,85	0,62	28	17,4	28	17,4
	Магазин господарських товарів	150м²				21	13	21	13
	Загальні навантаження							639,7	255,88

2.3 Вибір силових трансформаторів для ТП

Загальні розрахункові навантаження ТП, кВА:

$$S_{ТП2} = \sqrt{P + Q} = \sqrt{1181,9^2 + 472,76^2} = 1272,95 \text{ ,}$$

$$S_{ТП3} = \sqrt{P + Q} = \sqrt{496,99^2 + 198,8^2} = 535,27 \text{ ,}$$

$$S_{ТП4} = \sqrt{P + Q} = \sqrt{529,67^2 + 211,9^2} = 570,5 \text{ ,}$$

$$S_{ТП6} = \sqrt{P + Q} = \sqrt{639,7^2 + 255,88^2} = 688,98$$

При виборі трансформаторів враховуються такі фактори, як розрахункове навантаження споживача, вхідна напруга і напруга електроприймачів, а також

необхідність регулювання. У випадку паралельної роботи силових трансформаторів важливо, щоб їх коефіцієнти трансформації були однаковими, групи з'єднання обмоток мали однакові значення, а також збігалися значення напруги короткого замикання.

Силові трансформатори є основним обладнанням підстанції, і від їх експлуатації залежить надійна та безпечна робота об'єкта. Важливо, щоб трансформатори не перевантажувалися, і їх розмір та тривалість роботи визначалися залежно від навантаження, типу трансформатора, сезону та умов охолодження.

Для ТП № 2 за формулою 2.6 обираємо два трансформатори на паралельну роботу ТСЗС-1000/10, каталожні дані наведені в таблиці 2.4.

$$S_{p.ТП} \leq S_{ном.тр} \quad (2.6)$$

Таблиця 2.4 – Каталожні дані трансформатора ТСЗС-1000/10

Тип	Схема підкл. обмоток	$S_{ном}$, кВа	$U_{ном}$ обмоток, кВ		Втрати, Вт		u_k , %	I_x , %
			ВН	НН	P_x	P_k		
ТСЗС 1000/10	Y/Y	1000	10	0,4	3000	12000	8	2

Для ТП № 3, ТП № 4 та ТП № 6 обираємо по два трансформатори типу ТСЗ-400/10, каталожні дані наведені в таблиці 2.5.

Таблиця 2.4 – Каталожні дані трансформатора ТСЗ-400/10

Тип	Схема підкл. обмоток	$S_{ном}$, кВа	$U_{ном}$ обмоток, кВ		Втрати, Вт		u_k , %	I_x , %
			ВН	НН	P_x	P_k		
ТСЗ 400/10	Y/Y	400	10	0,4	1300	5400	5,5	3

2.4 Вибір шинопроводів ТП

Розрахунок та вибір шин для розподілу напруги 0,4 кВ від трансформатору виконується за наступними формулами :

$$I_{\text{ном.зб.шин}} > I_{\text{роб.мах}} \quad (2.7)$$

Для двотрансформаторної ТП максимальний робочий струм дорівнюватиме:

$$I_{\text{роб.мах}} = \frac{1,4 \cdot S_{\text{ном.тр}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{ном.НН}}}, A \quad (2.8)$$

Звідки :

$$I_{\text{роб.мах.ТП2}} = \frac{1,4 \cdot 1000}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 2021 \text{ ,}$$

$$I_{\text{роб.мах.ТП3}} = I_{\text{роб.мах.ТП4}} = I_{\text{роб.мах.ТП6}} = \frac{1,4 \cdot 400}{\sqrt{3} \cdot 0,4} = 808 \text{ .}$$

За довідником [11] для ТП № 2 обираємо мідні прямокутні шини 120×8 мм з номінальним довготривалим струмом 2080 А. Для ТП №№ 3, 4, 6 – мідні прямокутні шини 50×6 мм з номінальним довготривалим струмом 955 А.

2.5 План та вибір перерізу кабельних ліній електропостачання 0,4 кВ

Для споживачів II категорії надійності електропостачання застосуємо окремо прокладені кабелі з секціонуванням шин ВРП-0,4 кВ будівель.

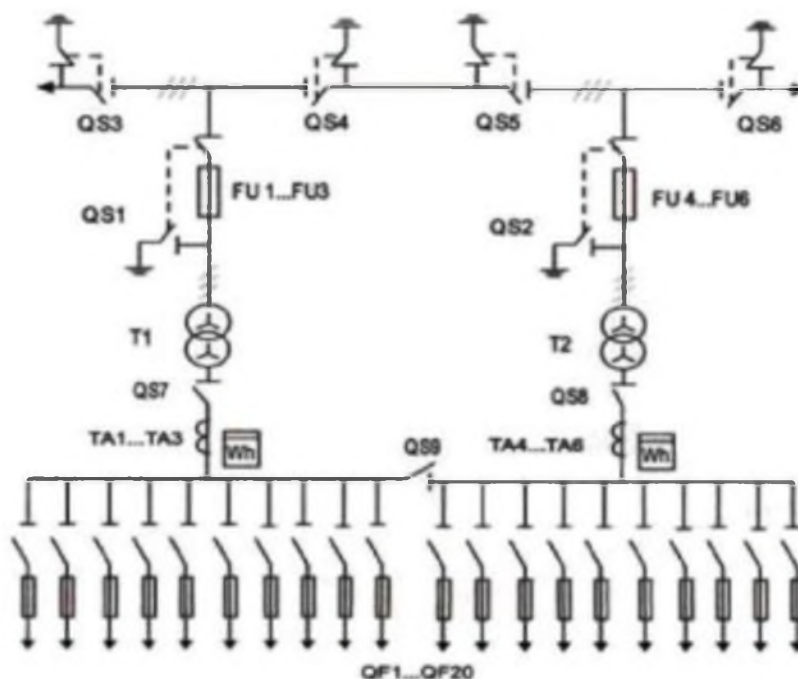


Рисунок 2.2 – Схема принципова електрична однолінійна

Орієнтуючись на розташування будов мікрорайону, проводять прокладання кабельних трас у кварталах. Для ефективного живлення споживачів, які знаходяться поруч з трансформаторною підстанцією (ТП), рекомендується використовувати окремі кабельні лінії.

Розрахунок струмів, що виникають в нормальному і аварійному режимах здійснюються за формулою :

$$I_{роз} = \frac{S_{буд}}{\sqrt{3} \cdot U_{ном} \cdot n}, A \quad (2.9)$$

де n - кількість кабельних ліній, що беруть участь в електропостачанні споживача.

Розрахуємо переріз кабельних ліній за формулою:

$$F_{роз} = \frac{I_{max}}{J_{ек}}, мм^2 \quad (2.10)$$

де $J_{ек}$ - нормоване значення економічної щільності струму, А/мм², для заданих умов роботи, вибране згідно [12].

Для вибраної марки кабелю $J_{ек} = 1,6$ А/мм², оскільки приймаємо, що число годин використання максимуму навантаження більше 5000 годин.

Для післяаварійного режиму тривалий допустимий струм розраховуємо аналогічно. За аварійний режим прийнятий режим, при якому один з кабелів перестає працювати.

Результати розрахунків кабелів зведемо до таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Перетин кабелів та допустимі струми споживачів

Споживач	Кількість жител/ особистості	$I_{роз}, А$	$I_{роз ПА}, А$	$F_{роз}, мм^2$	$I_{доп}, А$	$F, мм^2$
БКБ	60	102,98	205,96	64,31	255	95
БКБ	48	83,4	166,81	52,125	175	50
БКБ	24	44,23	88,45	27,68	90	35
БКБ	12	24,64	49,28	15,4	60	16
ЗОШ № 1	213 уч.	40,47	80,94	25,29	90	35
ДС «Попелюшка»	97 уч.	32,12	64,24	20	75	25
Ліцей №92	115 уч.	43,9	87,81	27,43	90	35
Котельня		107,58	215,16	67,24	255	95
Маг.прод.товарів	220 м ²	49,51	99,23	30,94	110	50
Маг.буд.товарів	200 м ²	23,78	47,57	14,68	60	16
Маг.госп.товарів	150 м ²	17,81	35,63	11,13	42	10

Як видно з таблиці 2.5 для багатоквартирних будинків с кількістю квартир 48-60 та котельні обираємо кабель марки АПвБбШв та прокладаємо його в землі.

Для інших споруд обираємо провід СІП з прокладанням в повітряних лініях.

До вводу домового (несилового) навантаження підключаються стояки. Від стояків через щиток у кожную квартиру відходить не менше двох груп проводів однієї фази і нульового проводу (рис. 2.3).

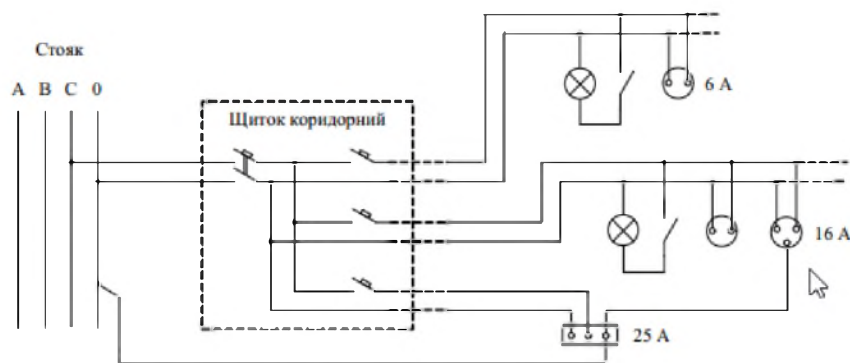


Рисунок 2.3 – Квартирна мережа

2.6 Розрахунок середнього добового споживання електроенергії

Для визначення середнього добового споживання електроенергії застосований коефіцієнт використання електроприладу (K_v). Помноживши номінальну потужність електроприладу на коефіцієнт використання, складаємо отримані результати.

Таблиця 2.6 – Розрахункові дані добового споживання електроенергії

Споживач	$P_{н\gamma}$ кВт	K_v	$W_{доб}$, кВт·год (1 кв.)	$W_{доб}$, кВт·год (60 кв.)	$W_{доб}$, кВт·год (48 кв.)	$W_{доб}$, кВт·год (24 кв.)	$W_{доб}$, кВт·год (12 кв.)
Чайник	2	0,85	1,7	102	81,6	40,8	20,4
Пральна машина	1,2	0,65	0,78	46,8	37,44	18,72	9,36
Пилосос	2,5	0,6	1,5	90	72	36	18
Праска	1,5	0,6	0,9	54	43,2	21,6	10,8
Блендер	0,3	0,5	0,15	9	7,2	3,6	1,8
Холодильник	0,2	0,6	0,12	7,2	5,76	2,88	1,44
Ел плита	4	0,6	2,4	144	115,2	57,6	28,8
Мультиварка	1,5	0,6	0,9	54	43,2	21,6	10,8

Витяжка	0,7	0,6	0,42	25,2	20,16	10,08	5,04
НВЧ піч	2	0,6	1,2	72	57,6	28,8	14,4
Вентилятор	0,06	0,4	0,024	1,44	1,152	0,576	0,288
Кондиціонер	1,5	0,5	0,75	45	36	18	9
LED-лампи	0,1	0,3	0,03	1,8	1,44	0,72	0,36
Ноутбук	0,2	0,3	0,06	3,6	2,88	1,44	0,72
Телевізор	0,1	0,3	0,03	1,8	1,44	0,72	0,36
Всього на добу			10,964	657,84	526,27	263,16	131,57

2.7 Розрахунок СЕС

Розрахуємо параметри та обладнання СЕС, які можна встановити на дахах типових будівель даного мікрорайону. Для цього визначимо площі дахів будівель, помноживши довжину та ширину. Так як конструкція дахів відрізняються і мають вентиляційні канали та інші особистості, приймемо за корисний простір 80 % площі для плоского даху (БКБ, Котельня, Ліцей,) , та 40% для похилого . Розрахунок є приблизним та для кожного випадку треба використовувати більш детальну інформацію.

Таблиця 2.7 – Розрахункові площі встановлення СЕС

Тип будівлі	Довжина, м	Ширина, м	Площа даху, м ²	Розрахункова площа, м ²
БКБ 60 квартир	80	12	960	768
БКБ 48 квартир	40	12	480	192
БКБ 24 квартири	25	12	300	120
БКБ 12 квартир	27	10	270	113
Котельня	40	10	400	320
Ліцей № 92	45	24	1080	864
ЗОШ № 1	70	12	840	336

Проаналізувавши ринок сонячних панелей для порівняння візьмемо три моделі різних виробників, а саме: Risen RSM120-8-590m Titan 590 Вт.

Сонячна батарея Risen RSM120-8-590M Titan 590 Вт – це найпотужніша модель нового покоління від всесвітньо визнаного бренду Risen Energy представлена на ринку України на момент кінця 2021 року. Сонячна панель дотримується нового тренду на ринку, а саме збільшення потужності 500+ Вт завдяки збільшенню корпусу панелі, що допомагає зменшити її вартість і кількість матеріалів для її встановлення (металоконструкція тощо).

Дана модель Райзен 590 Вт має відмінність у внутрішній комутації елементів, що істотно відрізняє її від попередників і конкурентів. А саме збільшена сила струму і знижена напруга, як порівняти з іншими моделями, що дає можливість збільшити кількість панелей у стрінзі, під'єднуючи їх до сучасних моделей інверторів, як-от Huawei M3 і Solis 5G.

Сонячна панель InterEnergy IE210*210/M/55/MH 560 Вт – це монокристалічна сонячна панель високої потужності, яку виробляє компанія Inter Energy. Панель має потужність 560 Вт і призначена для використання у великих системах сонячної енергетики, включно з комерційними та промисловими проєктами.

Ця модель використовує передові технології, такі як PERC (Passivated Emitter and Rear Cell), що забезпечує високу ефективність перетворення сонячної енергії в електроенергію. Панель також має високий коефіцієнт перетворення, який досягає 21,43%, що дає змогу отримати велику кількість енергії навіть за низької інтенсивності сонячного світла.

Також має високу стійкість до атмосферних впливів і тривалих періодів експлуатації. Вона відповідає стандартам якості та надійності, що робить її ідеальним вибором для використання.

Сонячна панель ABI-SOLAR AB600-60MHC 600 Вт BIFACIAL – двостороння сонячна панель, яка зібрана з 12ВВ PERC комірок, що дає змогу зменшити відстань між шиною і струмопровідною лінією, що сприяє збільшенню потужності.

Half-cell технологія дає змогу знизити опір комірки та підвищити ефективність. Серія Bifacial має можливість перетворювати на електричну енергію не тільки пряме сонячне світло, що надходить на лицьову сторону, а й відбите випромінювання. Це дає змогу забезпечити більшу вихідну потужність, зменшити втрати при затіненні, поліпшити температурні коефіцієнти. Також графен покриття і подвійне скло дає змогу збільшити механічну стійкість.

Виготовлення та складання сонячних панелей ABi-Solar AB600-60MHC, Bifacial здійснюється тільки на підприємствах зі списку Bloomberg Tier 1. Кожен фотомодуль ABi-Solar проходить обов'язкове тестування на відповідність заявленим характеристикам. Повна відповідність світовим технологічним стандартам: IEC61215, IEC61730, CE, ROHS, TÜV.

Таблиця 2.8 – Технічні характеристики сонячної панелі

Характеристика	Модель		
Модель	Risen RSM120-8-590m Titan 590 Вт	InterEnergy IE210*210/M/55/MH 560 Вт	Abi-Solar AB600 60MHC BF 600 Вт, Bifacial
Потужність, Вт	590	560	560
Максимальна напруга системи, В	1500	1500	1500
Напруга холостого ходу, В	41,2	38,66	41,5
Напруга при макс. потужності, В	34,32	32,36	34,5
Струм к.з., А	18,21	18,32	18,33
Струм при макс. потужності, А	17,2	17,31	17,4
Тип кристалу	Монокристал	Монокристал	Монокристал
Кількість комірок	120	55×2	144(6×24)

ККД	20,8%	21,43%	21,2%
Дріт	4 мм ²	4 мм ²	4 мм ²
Тип роз'єму	Сумісний з MC4	Сумісний з MC4	Сумісний з MC4
Гарантований термін експлуатації	25 років	25 років	25 років
Діапазон робочих температур	-40°C~+85°C	-40°C~+85°C	-40°C~+85°C
Габарити	2172мм × 1303мм × 35мм	2384 мм × 1096 мм × 35 мм	2172 мм × 1303 мм × 35 мм
Вага	31,5 кг	29,5 кг	31,5 кг

Для встановлення оберемо модель Abi-Solar AB600 60МНС BF 600 Вт, Bifacial Вт. За вказаними габаритами на даху 60-квартирного будинку ми можемо встановити ці панелі як показано на рисунку 2.4.(схема приведена для однієї секції будинку).

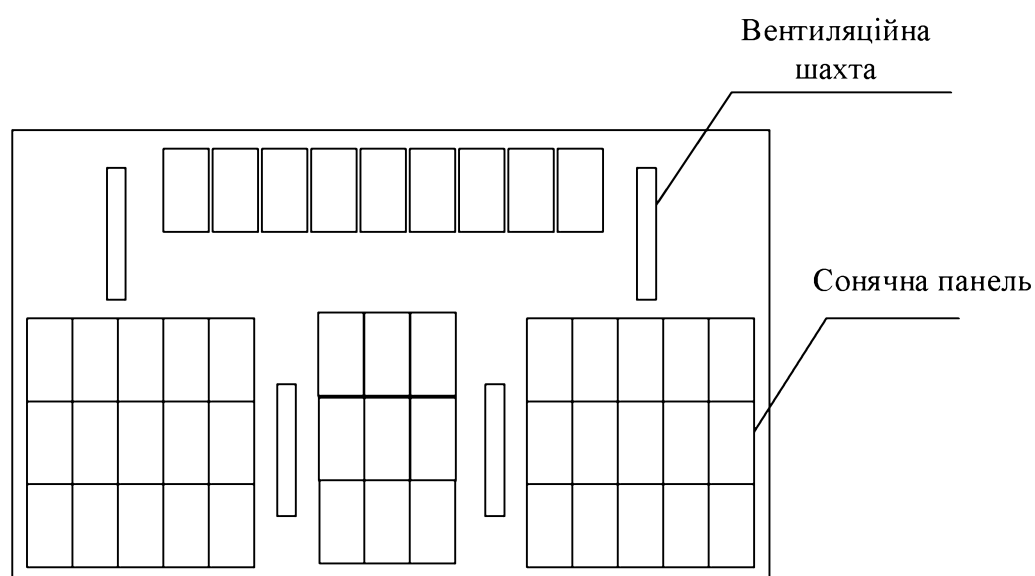


Рисунок 2.4 – Схема розташування сонячних панелей на даху БКБ на 60 квартир (для однієї секції дома)

Кількість панелей становитиме 192 шт. Використовуючи формулу 1.8 розрахуємо фактичну кількість виробленої енергії для однієї панелі та всього масиву для зимнього та літнього періодів, враховуючи коефіцієнти та рівень інсоляції (зима - 1,38 кВт·год/м²/день, літо – 4,96 кВт·год/м²/день).

Для літа :

$$W_{\text{літо}} = 0,5 \cdot 0,6 \cdot 4,96 = 1,488$$

Для зими :

$$W_{\text{зима}} = 0,7 \cdot 0,6 \cdot 1,38 = 0,579$$

Помноживши за формулою 1.9 на кількість панелей отримаємо відповідно 285,696 кВт· год. – влітку та 111,168 кВт· год.-взимку.

Оптимальний час роботи панелей – з 9.00 до 16.00, на цей період припадає 70% виробленої енергії.

Тобто навіть взимку, виробляючи 778,176 кВт· год/добу, СЕС буде покривати добові потреби будинку, а надлишок електроенергії надаватиметься в електромережу за «зеленим тарифом».

Для забезпечення роботи розрахованої СЕС обираємо інвертор Solis 3P-110K-5G мережевий трифазний для сонячних електростанцій 110 кВт (10375041), який має наступні характеристики :

10 MPPT (ВТМП), максимальна ефективність: 98,7% ;

Коефіцієнт навантаження інвертора: >150%

Висока щільність відстеження потужності 90 MPPT/МВт ;

Сумісний із двосторонніми модулями ;

Захист AFCI, активне зниження ризику виникнення пожежі ;

Максимальна вхідна напруга: 1100 V ;

Номінальна напруга: 600 V;

Пускова напруга: 195 V ;

Діапазон напруги МРРТ: 180-1000 V;
 Макс. вхідний струм: 10*26 A;
 Макс. струм короткого замикання: 10*40 A;
 Кількість входів на МРРТ: 10/20;
 Номінальна вихідна потужність: 100 kW;
 Макс. повна вихідна потужність: 110 kVA ;
 Макс. вихідна потужність: 110 kW ;
 Номінальна напруга мережі: 3/N/PE, 220 V/380 V, 230 V/400 V;
 Номінальна частота мережі: 50 Hz/60 Hz;
 Номінальний вихідний струм: 152.0 A/144.3 A;
 Макс. вихідний струм: 167.1 A;
 Коефіцієнт потужності: >0.99 (від -0,8 до +0,8) THDi: <3% ;
 Максимальний ККД: 98.7% ;
 Європейський ККД: 98.3% ;
 Розміри (Ш*В*Д): 1065*567*344.5 мм;
 Вага: 84 кг Топологія: Без трансформатора ;
 Власне споживання (ніч): <2 W ;
 Діапазон робочих температур довкілля: -25 ~ +60°C;
 Відносна вологість: 0-100% ;
 Захист IP: IP66 ;
 Тип охолодження: Вентилятор з інтелектуальним регулюванням обертів.
 Розрахункові дані по інших будівлям зведемо до таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Розрахункові дані виробітку енергії за добу в літній та зимовий періоди

Тип будівлі	Розрахункова площа, м ²	Можлива кількість панелей, шт	Кількість виробленої енергії, кВт·год/добу	
			зима	літо
БКБ 60 квартир	768	192	778,176	1999,872
БКБ 48 квартир	192	65	263,445	677,04
БКБ 24 квартири	120	40	162,12	416,64

БКБ 12 квартир	113	36	145,908	374,976
Котельня	320	110	445,83	1145,76
Ліцей № 92	864	300	1215,9	3124,8
ЗОШ № 1	336	118	478,254	1229,088

Порівнявши отримані дані з таблиці 2.6 та 2.9, бачимо, що для БКБ на 48 та 24 квартири не достатньо встановленої СЕС для покриття середньодобових потреб у зимній період. Але влітку всі будівлі матимуть повне покриття власних потреб, а надлишок передаватиметься до мережі.

ВИСНОВКИ

У даній роботі було розроблено технічні заходи для підвищення надійності системи електропостачання існуючого житлового мікрорайону м. Мирноград Донецької області за допомогою альтернативних джерел енергії. В ході роботи були проаналізовані сучасний стан та майбутній розвиток альтернативної енергетики в Україні на основі літературних джерел та наукових статей.

На основі зібраних в ході переддипломної практики інформаційних даних був проведений порівняльний аналіз системи електропостачання мікрорайону та вказано на її переваги та недоліки.

Виконано розробку варіантів впровадження альтернативних джерел електроенергії шляхом розташування сонячної електростанції промислового типу на даху багатоквартирного житлового будинку.

Міські електричні мережі мають свої недоліки, такі як періодичні поломки через погодні умови або аварійні ситуації, які можуть призводити до відключення електропостачання в цілих мікрорайонах на декілька годин або навіть днів. Також виникає проблема втрати потужності під час транспортування електроенергії від станції до кінцевих приймачів, що призводить до неповного постачання електроенергії до будинків.

Однак, використання модульних панелей на сонячних батареях може розв'язати ці проблеми. Будинок, який використовує таку систему, стає незалежним від

централізованого електропостачання через провідні мережі. Крім того, невикористана електроенергія, що накопичується в будинку, може бути використана для живлення інших об'єктів громадського користування.

Впровадження отриманих результатів для забезпечення надійної роботи мережі електропостачання житлового мікрорайону дозволить знизити навантаження в мережі, та зменшити кількість аварій, а застосування сонячної електростанції дозволить знизити викиди в атмосферу шкідливих речовин.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Оптимізація режимів електричних мереж з відновлюваними джерелами електроенергії: монографія / П. Д. Лежнюк, О. Є. Рубаненко, І. О. Гунько – Вінниця : ВНТУ, 2017. – 164 с.
2. Зміни від 11.07.2019 до Закону України «Про альтернативні джерела енергії» [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.yurfact.com.ua/zminy-do-zakonodavstva-2019/zminy-vid-11-07-2019-do-zu-pro-alternatyvni-dzherela-enerhii>.
3. Кушнір Д. Сучасний стан та перспективи розвитку альтернативної енергетики / Д. Кушнір, М. Балджи // Науковий вісник [Одеського національного економічного університету]. - 2019. - № 3. - С. 113-126. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nv_2019_3_9.
4. Перевозова І. В. Оцінка соціальної складової ефективності переходу на альтернативні джерела енергії / І. В. Перевозова, Н. В. Шиловцева, Т. О. Максименко // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія : Міжнародні відносини. Економіка. Країнознавство. Туризм. - 2019. - Вип. 10. - С. 167-174. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VKhMv_2019_10_19.
5. Комплексне використання відновлюваних джерел енергії: Курс лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. для студ. спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського ;

- уклад.: М.П. Кузнєцов, О.А. Мельник – Електронні текстові дані (1 файл: 7,93 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. – 304 с.
6. Відновлювані джерела енергії / За заг. ред. С.О. Кудрі. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2020. – 392 с.
 7. Мережі постійного і змінного струму з альтернативними джерелами енергії – 1: Конспект лекцій [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 171 «Електроніка» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Є.В. Вербицький, Л. М. Батрак – Електронні текстові дані (1 файл: 8,18 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 140 с.
 8. Технічна політика: Побудова та експлуатація електричних мереж. Технічна політика // Міністерство енергетики та вугільної промисловості України. Київ: ДП «НЕК «Укренерго», 2014. 250 с
 9. ДБН В.2.5-23:2010 Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 169 с.
 10. ДБН В.2.5-28:2018 Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2018. 137 с.
 11. Правила улаштування електроустановок. - Видання офіційне. Міненерговугілля України. - Х. : Видавництво "Форт", 2017. - 760 с.
 12. Надійність електроенергетичних систем і електричних мереж: підручник /А. В. Журахівський, С. В. Казанський, Ю. П. Матєєнко, О. Р. Пастух. – Київ. :КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. – 456 с. – Бібліогр. : с. 450-452.

ДОДАТОК А ОХОРОНА ПРАЦІ

Основні причини ураження електричним струмом включають:

- випадкове доторкання або наближення до небезпечної відстані до активних частин електрообладнання, що перебувають під напругою;
- поява напруги на металевих конструктивних елементах електрообладнання, таких як корпуси, оболонки, через пошкодження ізоляції або інших причин;
- поява напруги на відключених струмопровідних елементах, на яких працюють люди, через випадкове ввімкнення установки;
- виникнення шагової напруги на земельній поверхні внаслідок замикання провідника на землю.

Основні заходи для захисту від ураження електричним струмом включають:

- 1) Забезпечення недоступності активних частин електрообладнання, що перебувають під напругою, від випадкового доторкання до них.
- 2) Застосування захисного розділення кола.
- 3) Усунення небезпеки ураження електричним струмом при наявності напруги на корпусах, оболонках та інших компонентах електрообладнання шляхом використання низьких напруг та подвійної ізоляції, вирівнюванням потенціалу, захисним заземленням, зануленням, захисним відключенням і застосуванням спеціальних захисних пристроїв, таких як переносні пристрої та засоби.
- 4) Організація безпечної експлуатації електрообладнання.

Захисне розділення кола є необхідним в розподільних електричних системах, де провідники мають велику довжину або значний опір ізоляції, а ємність провідників відносно землі є великою. В таких умовах ізольована нейтраль та нормальна функція ізоляції провідників можуть бути недостатньою для запобігання ураженню людини електричним струмом при доторканні до провідника або іншого предмета, що знаходиться під фазною напругою.

Захисне розділення кола може вирішити цю проблему шляхом розбиття довгих гілок електричної системи на менші ізолювані сегменти, які не з'єднані електрично між собою. Для цього використовуються спеціальні розподільні трансформатори. Це призводить до збільшення опору ізоляції та зменшення ємності провідників відносно землі на ізолюованих ділянках електричної системи, що сприяє загальному покращенню безпеки.

Захисне заземлення є спеціальним з'єднанням металевих частин обладнання з землею, які зазвичай не перебувають під напругою в звичайних умовах, але можуть потрапити під напругу внаслідок пошкодження ізоляції електрообладнання. Головна мета захисного заземлення полягає в усуненні ризику ураження людей електричним струмом у випадку виникнення напруги на конструктивних частинах електрообладнання, наприклад, при "замиканні на корпус".

Принцип функціонування захисного заземлення полягає у зниженні до безпечних значень напруги доторкання та кроку, що виникають внаслідок "замикання на корпус". Це досягається шляхом зниження потенціалу заземленого обладнання та вирівнювання потенціалів, шляхом підняття потенціалу основи, на якій стоїть людина, до потенціалу, близького за величиною до потенціалу заземленого обладнання.

Захисне заземлення використовується в трифазних електричних системах з напругою до 1000 В з ізолюованою нейтраллю, а також в системах з напругою більше 1000 В з будь-яким режимом нейтралі.

Заземлювальний пристрій складається з заземлювача - металевих провідників, які знаходяться в електричному контакті з землею, і заземлюючих провідників, що з'єднують заземлені частини електрообладнання з заземлювачем. Існують два типи заземлювальних пристроїв: виносні та контурні.

Виносний заземлюючий пристрій характеризується розташуванням свого заземлювача поза територією, де знаходиться заземлююче обладнання, або заземлювач розміщується на обмеженій ділянці цієї території. Одним з недоліків виносного заземлюючого пристрою є віддалення заземлювача від заземлюючого електрообладнання, що призводить до коефіцієнта $a=1$. Тому такий тип заземлення

застосовується для невеликих струмів замикання на землю та частково у системах з напругою до 1000 В, де потенціал заземлювача не перевищує безпечного значення напруги доторкання. Однак перевагою цього типу заземлення є можливість вибору місця розташування електродів з найменшим опором ґрунту.

Контурний заземлюючий пристрій характеризується розташуванням окремих заземлювачів по контуру або периметру території, на якій знаходиться заземлююче обладнання, або їх рівномірним розподілом по всій території. При контурному заземленні забезпечується вирівнювання потенціалу на території до такого рівня, щоб максимальні значення напруги доторкання та кроку не перевищували допустимі норми. Це досягається за допомогою правильного розміщення окремих заземлювачів. Усередині приміщень вирівнювання потенціалу відбувається природним шляхом через металеві конструкції, трубопроводи, кабелі та інші провідні елементи, які знаходяться в зв'язку зі заземлювальною системою.

Захисне заземлення є необхідним для безпечної експлуатації обладнання, яке може потрапити під напругу внаслідок пошкодження його ізоляції. В приміщеннях з підвищеним ризиком або вимогами безпеки, заземлення є обов'язковим при номінальній напрузі електрообладнання вище 36 В змінного струму і 50 В постійного струму, а в приміщеннях без підвищеної небезпеки - при напрузі 500 В і вище. У вибухонебезпечних приміщеннях заземлення застосовується незалежно від величини напруги. Таким чином, за допомогою захисного заземлення можна уникнути ризику ураження людини електричним струмом при виникненні напруги на конструктивних частинах електрообладнання, що призводить до "замикання на корпус".

Занулення - це підключення корпусів та інших сталевих елементів електрообладнання до заземленого нульового проводу живильного кола. Ці елементи зазвичай не перебувають під напругою в звичайних умовах, але можуть опинитися під напругою внаслідок пошкодження ізоляції. Основна функція занулення така сама, як і у захисного заземлення - запобігання ризику ураження людей електричним струмом при пробії на корпус. Ця задача вирішується автоматичним відключенням пошкодженого обладнання від живильного кола.

Принцип дії занулення полягає в перетворенні пробой на корпусі в однофазне коротке замикання, тобто з'єднання між фазним і нульовим проводами, з метою створення значного струму. Цей струм використовується для активації захисних пристроїв, таких як плавкі вставки або автоматичні вимикачі, які призначені для відключення обладнання від джерела живлення. Швидкість відключення пошкодженого обладнання залежить від типу захисного пристрою і складає 5-7 секунд для плавких вставок та 1-2 секунди для автоматичних вимикачів. Занулення застосовується в колах з напругою до 1000 В із глухозаземленою нейтраллю, зазвичай це кола з напругою 380/220 В або 220/127 В.

Схема занулення включає в себе використання нульового проводу, заземлення нейтралі джерела струму і повторне заземлення нульового проводу. Це створює коротке замикання з низьким опором, яке забезпечує достатньо великий струм. Головною метою цього струму є швидке спрацювання захисту, що призводить до миттєвого відключення пошкодженого обладнання від джерела живлення.

Відповідно до вимог ПУЕ, нульовий провід повинен мати провідність, що не менша половини провідності фазного проводу. Це гарантує, що струм короткого замикання буде достатнім для швидкого відключення пошкодженої електроустановки, знижуючи ризик ураження людини електричним струмом при пробойі на корпус. Занулення обов'язково застосовують для електричних колов з напругою 380/220 В.