

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра Електричної інженерії
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Тарасенко М. Г.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« 08 » лютого 2021 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 141 – електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

(шифр і назва спеціальності)

студенту Василенкові Богданові Миколайовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Автономна фотоелектрична установка з розподіленою фотоелектричної генерацією

Керівник роботи Філюк Ярослав Олександрович, к.т.н.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

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

2. Термін подання студентом завершеної роботи 18 червня 2021 року

3. Вихідні дані до роботи Провести дослідження інтеграція сонячної електростанції в автономні системи електропостачання з дизельною електростанцією.

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

1. Аналітичний розділ

2. Проектно-конструкторський розділ

3. Розрахунковий розділ

4. Безпека життєдіяльності та основи охорони праці

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

1. Автономна фотоелектрична установка з розподіленою фотоелектричної генерацією

2. Модель автономної системи електропостачання

3. Результати моделювання фотоелектричної установки

4. Автономно-гібридна система електропостачання

5. Висновки

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 08 лютого 2021 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	26.02.2021	
2	Аналітичний розділ	31.03.2021	
3	Проектно-конструкторський розділ	16.04.2021	
4	Розрахунковий розділ	30.04.2021	
5	Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	14.05.2021	
6	Висновки	31.05.2021	
7	Оформлення пояснювальної записки	03.06.2021	
8	Оформлення графічної частини	14.06.2021	

Студент

_____ (підпис)

Василенко Б.М.

_____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Філюк Я.О.

_____ (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

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

Стор. 66 ; рис. 29; табл. 8; креслень 5; джерел 19; додатків 2.

Кваліфікаційна робота бакалавра виконана на підставі завдання на тему: «Автономна фотоелектрична установка з розподіленою фотоелектричної генерацією».

Мета роботи - є вивчення можливості інтеграція сонячної електростанції (СЕС) в автономні системи електропостачання (АСЕП) з дизельною електростанцією (ДЕС). Для досягнення поставленої мети використано розрахункові та графоаналітичні методи, кліматичні характеристики заданого регіону, пакети програм Mathcad, Excel, графічний редактор Microsoft Visio, Matlab.

Представлено структуру гібридної автономної енергосистеми в MatLab і техніко-економічний аналіз. Приведено загальний опис обладнання, яке використовувалося для моделювання перехідних процесів. Результати моделювання включали в себе випадки єдиної ФЕС і розподілене монтажне виконання конструкції. Також було обговорено проблеми з якістю електроенергії і втратами електроенергії в сільських мережах. Ці результати порівнюються з випадком АСЕП без ВДЕ

Ключові слова: автономна система електропостачання, економічна ефективність, відновлювальні джерела енергії, генератор, сонячна радіація, вітрогенератор, сонячна батарея, графік навантаження.

					<i>КРБ 19 - 019.00.00.00 ПЗ</i>					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	РЕФЕРАТ					
Розроб.		Василенко Б.М.						Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Філюк Я.О.								
Консульт.								<i>ТНТУ, гр.ЕТс-41</i>		
Н. Контр.		Вакулєнко О.О.								
Затверд.		Тарасенко М.Г.								

ЗМІСТ

Реферат	3
Вступ	6
1 Аналітичний розділ	8
1.1 Характеристики розподілу енергетики	8
1.2 Аналіз розподіленої генерації	9
1.3 Тенденції розвитку розподіленої фотоелектричної генерації за кордоном	11
1.3.1 Сполучені Штати Америки	11
1.3.2 Німеччина	15
2 Розрахунковий розділ	19
2.1 Математичне опис моделі з використанням matlab	19
2.1.1 Блок дизельної електростанції	19
2.2 Блок сонячної електростанції	21
2.3 Блок сонячної радіації і температури навколишнього середовища	26
2.4 Блок споживачів і ліній електропередачі	32
3 Проектно–конструкторський розділ	38
3.1 Техніко-економічний аналіз	38
3.1.1 Блок-схема АСЕП з розподіленою системою ФЕС	38
3.1.2 Регулювання сонячної електростанції	40
3.1.3 Інвертор	43
3.1.4 Акумуляторні батареї	49
3.1.5 Дизельна електростанція	52

					<i>КРБ 19 - 019.00.00.00 ПЗ</i>						
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ЗМІСТ						
Розроб.		Василенко Б.М.							Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Філюк Я.О.									
Консулт.									<i>ТНТУ, гр.ЕТс-41</i>		
Н. Контр.		Вакуленко О.О.									
Затверд.		Тарасенко М.Г.									

3.2	Результати техніко-економічного аналізу	54
4	Безпека життєдіяльності та основи охорони праці	58
4.1	Організація охорони праці на підприємстві	58
4.2	Інфрачервоне випромінювання та особливості його дії на організм людини	59
4.3	Штучне освітлення виробничих приміщень, його нормування та види	61
	Загальні висновки	63
	Перелік посилань	62

					<i>КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Децентралізоване енергопостачання є одним з найважливіших питань сучасної енергетики. Ціна на електроенергію для споживачів в регіонах з децентралізованим енергопостачанням набагато перевищує ціну для тих, хто підключений до мережі. Причинами високих цін на електроенергію в регіонах з децентралізованим енергопостачанням є високі транспортні витрати, погане обслуговування генеруючого обладнання та змінне навантаження, що призводить до не ефективних умов роботи.

Відновлювана енергія може внести істотний внесок у вирішення проблеми енергопостачання в різних регіонах України. Найбільш перспективним варіантом є створення автономних енергетичних систем на основі вітрових і фотоелектричних станцій електропостачання. Зниження вартості фотоелектричних панелей в поєднанні з простотою їх установки і експлуатації збільшує популярність фото-дизельної автономної енергії в Україні.

Сонячні розподілені генератори є найбільш перспективними технологіями використання поновлюваних джерел енергії в мережах з низькою напругою. Розподілені генератори встановлені для задоволення місцевих потреб в якості додаткового джерела з постійним відсотком потужності від основної.

Метою роботи є вивчення можливості інтеграція сонячної електростанції (СЕС) в автономні системи електропостачання (АСЕП) з дизельною електростанцією (ДЕС), завдання якої вимагає рішення багатьох проблем, зокрема:

1. Вивчення змінни навантаження у віддалених населених пунктах електрифікації та енергії сонячної радіації протягом дня.

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Василенко Б.М.			ВСТУП	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Філюк Я.О.						
Консульт.								
Н. Контр.		Вакуленко О.О.						
Затверд.		Тарасенко М.Г.						
						ТНТУ, гр.ЕТс-41		

2. Співвідношення потужностей дизельної і фотоелектричної частин станції в залежності від конфігурації АСЕП.

3. Якість і вартість втрат електроенергії в АСЕП з розподіленої фотоелектричної генерацією.

4. Оптимальна конфігурація в залежності від структури одного або декількох блоків з урахуванням навантаження споживача.

					<i>КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1. АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Характеристики розподілу енергетики

Розподілена генерація - область електроенергетики, яка виробляє електричну енергію в конкретній точці або поблизу точки її використання. Розподілена сонячна енергія може бути розташована на дахах будинків або на землі і зазвичай пов'язана з локальною розподільчою мережею. Нинішні тенденції розвитку розподіленої фотоелектричної системи показують, що держави, адміністративні та муніципальні управління активно експериментують з політикою, спрямованою на заохочення розподіленої сонячної системи, щоб компенсувати піковий попит на електроенергію і стабілізувати місцеву мережу по рівню напруги.

У 2013 році глобальний обсяг виробництва розподілених енергоресурсів склав 113,53 млрд. дол. США. Очікується, що зростаюча стурбованість щодо витрат, пов'язаних з установкою ліній електропередач для виробництва електроенергії великими електростанціями, збільшить зростання промисловості розподіленої енергетики [1].

РГ має здатність генерувати електрику з різних джерел від звичайних до не традиційних джерел енергії. В результаті вони стали екологічно чистою альтернативою для виробництва електроенергії, і ця тенденція, ймовірно, триватиме протягом наступних кількох років.

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ					
Розроб.		Василенко Б.М.						Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Філюк Я.О.								
Консульт.										
Н. Контр.		Вакуленко О.О.								
Затверд.		Тарасенко М.Г.			ТНТУ, гр.ЕТс-41					



Рисунок 1.1 - Структурна схема розподіленої фотоелектричної генерації [11]

Активна економічна підтримка, яка надається провідними країнами вобласті РГ, буде стимулювати зростання виробництва електроенергії за рахунок альтернативних джерел, таких як сонячна енергія, вітроенергетика та геотермальна енергія. Однак, висока вартість установок РГ стане критичним фактором, що негативно позначається на зростанні.

1.2 Аналіз розподіленої генерації

За останнє десятиліття, ідея інтеграції розподілених фотоелектричних генераторів в існуючу АСЕП перейшла в нову стадію широко застосовуваних, перспективи розвитку якої не зупиняються. Розподілені фотоелектричні генератори можуть забезпечити безліч переваг, включаючи зниження витрат на розподіл енергетичної системи, гнучку роботу і підвищену надійність. Місцева генерація може зменшити втрати енергії і відкласти інвестиції в локальну інфраструктуру, де розвитку піддаються лінії передачі і розподілу електричної енергії.

Однак, крім багатьох переваг розподілених генераторів, впровадження цих систем може бути досить складним в існуючих енергетичних магістральних мережах напругою 0,4 кВ. Основними проблемами, пов'язаними з розподіленими

					<i>КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ресурсами, є проблеми регулювання напруги, флікери напруги, нерівномірність добового графіка споживання навантажень споживачів, зростаюча вартість інтеграції даних установок і т.д. [1].



Рисунок 1.2 - Мнемосхема гібридної системи електропостачання [2]

Відомо, що електрична мережа структурована з одностороннім потоком потужності: генерація, передача і розподіл. Однак, з впровадженням розподілених генераторів це одностороннє правило потоку потужності буде вже не дійсним. На відміну від традиційної генерації, розподілений генератор дозволяє виробляти електроенергію локально - в основному, дуже близько до виділених навантажень, або іншим точкам приєднання до мережі. Проте, потік активної потужності від розподільних ресурсів невеликий.

У відповідності зі стандартами європейських країн інституту інженерів електротехніки та електроніки IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) тисячі п'ятсот сорок сім [3] розподілені генератори не вносять зміни в регулювання напруги або частоти. Більш того, вони повинні працювати при фіксованому коефіцієнті потужності або діапазоні між 0,95 провідним джерелом електричної енергії і допоміжним. Внесок в активну потужність, в основному, є єдиною умовою розподілених генераторних установок. Багато робіт якісно відбили переваги даних вимог до розподіленої енергетиці [5-8].

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Варто відзначити, що системи диспетчерського управління та збору даних SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) можуть бути недоступні в віддалених територіях з АСЕП для дистанційного керування. Контроль генерується від розподіленого ресурсу повинен виконуватися локально і автоматично за допомогою належного управління електроспоживання балансується, оскільки неможливість розгорнути техніку, або вислати спеціалізованого інженера, відповідального за роботу з кожним блоком генерації, викликає ряд труднощів. На сьогоднішній день, проведено багато досліджень з моделювання енергетичних процесів з розподіленою генерацією. Більшість робіт акцентує увагу на нагрів акумуляторів і теплових насосів [4-8], де були запропоновані варіанти використання додаткових потужностей, коли генерування перевищує споживання. Акумуляторний накопичувач є перспективним способом зберігання енергії, однак, більш цікавим з точки зору науково-дослідницької діяльності буде можливість математичного моделювання АСЕП з розподіленою фотоелектричної генерацією, коли вся генеруєма енергія витрачається на споживача від обох джерел.

Крім того, оптимальні розміри і гнучкість в розташуванні системи фотоелектричних перетворювачів (ФЕП) були неодноразово оцінені з техніко-економічної та інженерно-практичної точок зору як для споживача, так і для генеруючої компанії [5].

1.3 Тенденції розвитку розподіленої фотоелектричної генерації за кордоном

1.3.1 Сполучені Штати Америки

Історія надійних стимулів, державної підтримки в поєднанні зі порівняно високими показниками роздрібною торгівлі, прогресивно і адаптується технологією виробництва конструкцій ВДЕ, вивели США на провідні позиції з точки зору потужності розподіленої фотоелектричної генерації. Це зростання, а також розвиток акумуляторних накопичувачів-сховищ, підйом ринку електромобілів і інші виникають технології розподіленої енергетики привели до

					<i>КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кількох вдалих законодавчих актам, що викликали шквал пропозицій та реалізацій проектів ВДЕ.

Коллоборації державних і комунальних програм стимулювання і триваюча дискусія про цінності і майбутньої ролі розподіленої енергетики в США - все це розгортається на тлі недавнього поновлення державного стандарту розвитку штату Каліфорнія, де основними цілями ставляться [5]:

1. Розвиток та використання ВДЕ до 50% до 2030 року.
2. Скорочення викидів парникових газів на 40%, що виявиться нижче рівня 1990 року до 2030 року.
3. Застосування розподіленої енергетики повинно допомогти скоротити завантаження інфраструктурних утворень на периферії.
4. Рішення проблеми з надійністю мережі електропостачання великих підприємств штату.
5. Зміцнення ринкових позицій, які направляють комунальний сектор в сторону отримання додаткових енергоресурсів від поновлюваних джерел, що підвищує енергоефективність і попит розподіленої енергетики.

Зростання розподілених фотоелектричних елементів був обумовлений різким падінням загальної вартості сонячних модулів і був додатково стимульований зниженням споживчих витрат за рахунок більшої доступності та прийняття на ринку прав власності для третіх осіб. Не зважаючи на швидке зростання розподілених фотоелектричних і вітроенергетичних генерацій, ці ресурси вносять дуже малу частину загального електропостачання в США. На рис. 1.3 і 1.4 зображені останні тенденції прийняття рішень для розподілених фотоелектричної і вітрової енергетики [19].

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

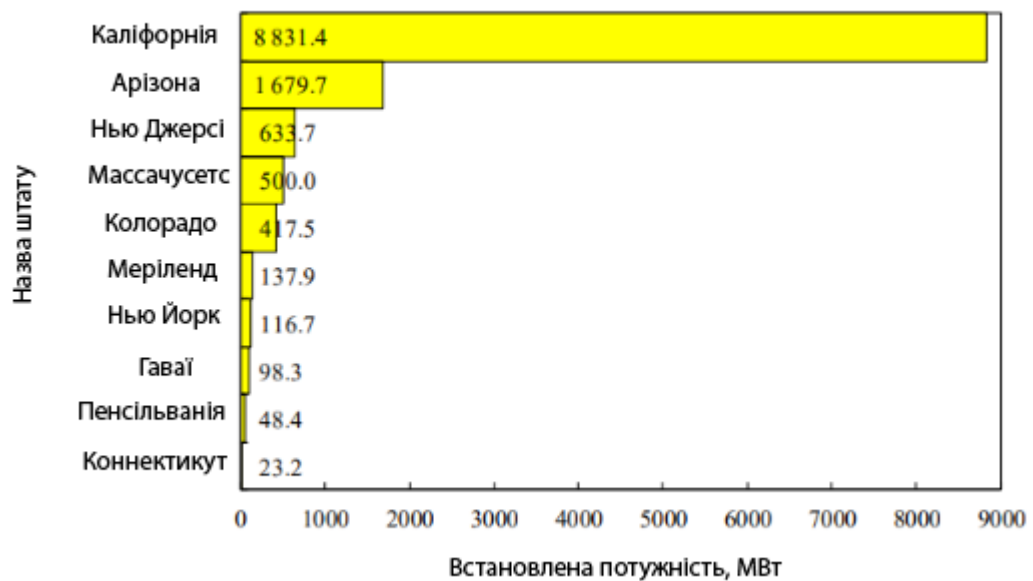


Рисунок 1.3 - Генерована потужність від встановлених відновлюваних енергоресурсів за червень 2017 року

У Каліфорнії домінують сонячні батареї, розташовані на дахах комунальних секторів, близько 40% встановленої потужності країни, що багато в чому пов'язано з традиційними державними програмами стимулювання, такими як «Каліфорнійська сонячна ініціатива» (California Solar Initiative), а також з роздрібними цінами на електроенергію, які є одними з найвищих в країні. Штат Арізона, НьюДжерсі і Массачусетс слідує за Каліфорнією, відповідно становлячи близько 10%, 8% і 7% від загальної встановленої потужності країни (див. Рисунок 3).

На підставі даних Департаменту енергетики та управління енергетичної політики і системного аналізу Сполучених Штатів (US Department of Energy Office of Energy Policy and Systems Analysis) були представлені тенденції розвитку розподіленої енергетики в країні [17]:

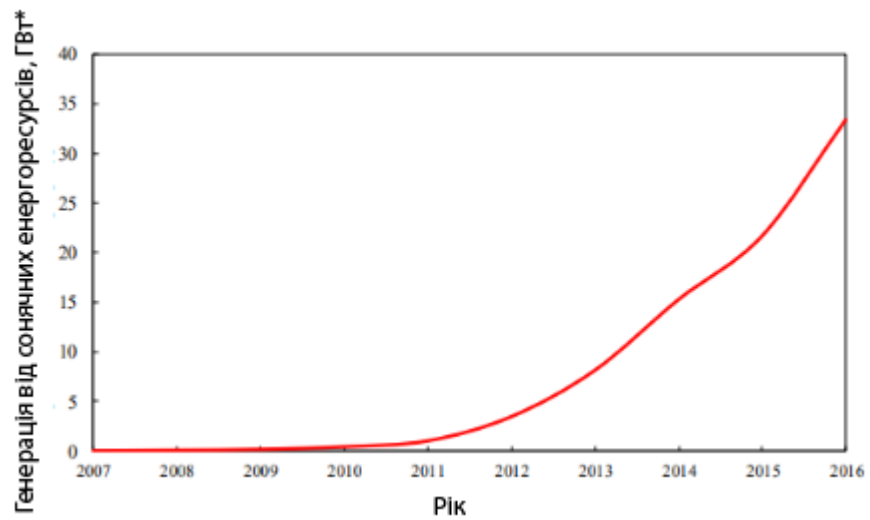


Рисунок 1.4 - Зростання вироблення від фотоелектричної генерації в США[17]

На рисунку 1.4 показані останні тенденції в прийнятті рішень для фотоелектричної генерації в Сполучених Штатах, де абсолютно чітко простежується прискорення на початку століття. У США є 1721 СЕС, вони генерують 1% електроенергії країни.



Рисунок 1.5 - Розподіл сонячних електростанції по території США [19]

					<i>КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3.2 Німеччина

У 2016 році в Німеччині було встановлено нову потужність від фотоелектричних станцій (ФЕС) в розмірі 1,2 ГВт, що відповідає майже 2% від загальної потужності сонячної генерації по всьому світу. У німецькому законодавстві з поновлюваних джерел енергії EEG (Erneuerbare Energien Gesetz) 2014 і 2017 року, федеральний уряд встановив щорічну мета 2,5 ГВт фотоелектричної генерації [15].

За експертною оцінкою, задоволення більшості або всіх потреб Німеччини в енергії від поновлюваних ресурсів буде досягнуто до 2050 року. Для цього потрібно потужність 150-200 ГВт фотоелектричних систем. Це означає, що в середньому до 4-5 ГВт сонячної генерації необхідно встановлювати щорічно до 2050 року. З часом старі фотоелектричні системи повинні бути замінені, але на даний момент заміна установок не зіграє великої ролі. Це пояснюється тим, що цільова потужність в 200 ГВт фотоелектричних станцій не буде досягнута, так як термін їх служби складає близько 30 років. Аналіз показує, що 6-7 ГВт фотогенерації необхідно замінювати щороку. Трансформація всього енергетичного сектора на ВДЕ не є метою нинішнього федерального уряду Німеччини. Передбачається мінімальна частка 80% поновлюваних джерел енергії до 2050 року [20].

Понад 98% німецьких (це більш ніж мільйон) ФЕС підключені до децентралізованої низьковольтної мережі і генерують сонячну електрику в безпосередній близькості від споживачів. Установки з ФЕП потужністю більше 1 МВт складає всього 15% від загальної потужності ФЕС в Німеччині. Це означає, що передача сонячної електрики відбувається переважно децентралізованим чином, тим самим ліквідовуючи будь-які вимоги про розширенні німецької національної мережі передачі електричної енергії.

					<i>КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

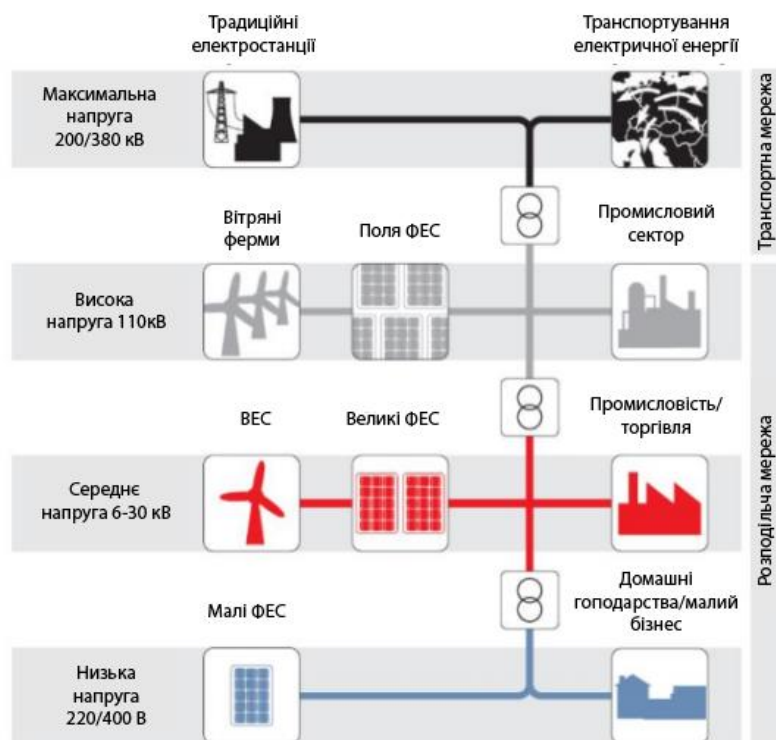


Рисунок 1.6 - Структура німецької електромережної системи

Висока щільність електростанцій в низьковольтній секції електро мережі може привести до того, що вироблення електроенергії перевищить споживання в цій ділянці мережі в дні максимальної сонячної радіації. В цьому випадку трансформатори знову подають живлення в мережу середньої напруги. В секціях з високою щільністю генерації це може підштовхнути трансформаторні станції до їх граничних значень. Рівний розподіл СЕС по всім секціях мережі зменшує необхідність розширення системи електро-постачання .

За рисунком 1.6 можна зробити висновок, що децентралізовані ФЕС добре локалізовані, тим самим забезпечуючи подачу і розподіл існуючої електричної енергії в мережу. Великі ФЕС невеликих заводів в мало населених районах вимагають, щоб розподільна мережа і трансформаторні станції були посилені на певних ділянках.

Подальше розширення ФЕС має проводитися з великою увагою до постачання електроенергії, щоб спростити розподіл сонячної електрики. Землі Баварії і Бранденбурга мають в три-чотири рази більше встановленої потужності

сонячної генерації на одного жителя в порівнянні із землями Саарланд, Північний Рейн-Вестфалія, Саксонія чи Гессен (див. Рисунок 1.7).

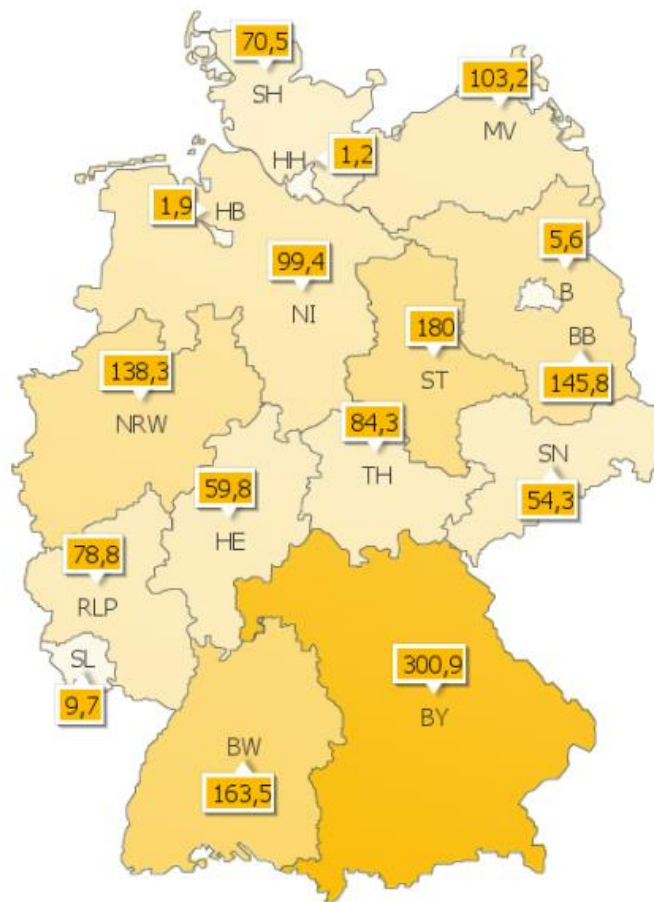


Рисунок 1.7 - Встановлена потужність сонячних електростанцій в МВт / пік за 2015 год

Як показано на рисунку 7, СЕС широко поширені серед шістнадцяти земель і не обмежуються тільки південними регіонами країни. Важливо відзначити, що протягом перших трьох кварталів 2017 року 37,5% енергії Німеччині було вироблено на основі ВДЕ. Станом на кінець 2016 року частка ВДЕ склала 34%. Обсяг виробництва відновлюваної енергії за цей період досяг 151,6 ТВт·год.

1. Енергія вітру виробляла 16,4% електроенергії в Німеччині (66,6ТВт · год). Проте вітер є найбільшим джерелом енергії в країні після бурого вугілля.

2. Сонячна енергія згенерувала 8,7% - більше, ніж генерація газу(8,4%).

									Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ				

На підставі даних Фраунхоферського інституту сонячних енергетичних систем (Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme ISE) були представлені тенденції розвитку енергетики в Німеччині:

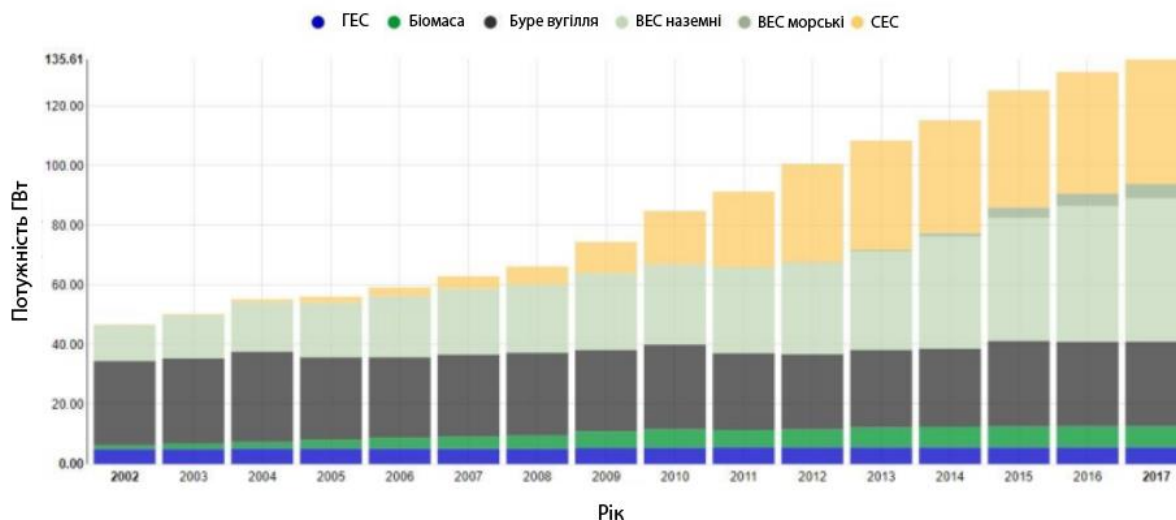


Рисунок 1.8 - Графік встановлених потужностей виробництва електроенергії [19]

Вугілля все ще домінує в енергетичному секторі Німеччини, що негативно позначається на здатності країни виконувати свої кліматичні зобов'язання. 25% електроенергії, виробленої на бурому вугіллі, і 15,9% на чорному вугіллі. В цілому, це трохи менше, ніж частка вугілля в 2016 році. Відповідно до німецького законодавства по ВДЕ в 2020 році ВДЕ має виробляти 40-45% електроенергії в країні. Згідно [13], ця мета, ймовірно, буде досягнута ще раніше.

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Математичне опис моделі з використанням matlab

У цьому розділі наводиться загальний опис моделювання розподіленої сонячної генерації з використанням Simulink в MatLab, поведінку фотоелементів при різних параметрах, таких як рівні сонячної радіації за сезон і температура навколишнього середовища. Більш того, в цьому розділі основна увага приділяється математичному опису сонячної радіації, нерівномірним змін в споживанні сільського поселення за сезон і моделювання дизель-генератора.

2.1.1 Блок дизельної електростанції

Основну частину децентралізованої енергетики України складають ДЕС, які відповідають великій кількості жорстких вимог, що пред'являються до АСЕП. Широкий вибір ДЕС представлений на енергетичному ринку як вітчизняними, так і зарубіжними виробниками. Широкомасштабне застосування дизельних електростанцій пояснюється великою кількістю їх незаперечних переваг перед іншими способами електропостачання споживача [5]:

1. Щодо високий коефіцієнт корисної дії (ККД), до 35-40%.
2. Швидкість запуску дизель-агрегату від одиниць до десятків секунд (в залежно від номінальної потужності) і, відповідно, висока маневреність.
3. Наявність автоматизованого технологічного процесу, що визначає можливість тривалого оперування без технічного обслуговування.
4. Невеликий питома витрата води або повітря для охолодження двигунів.
5. Мінімальність і простота допоміжних систем технологічного процесу, що дозволяють обходитися малою кількістю обслуговуючого персоналу.
6. Мала потреба в будівельних обсягах (до 1,5-2м³/кВт), швидко плинність будівництва споруд станції і монтажу основного генеруючого обладнання.
7. Можливість блочно-модульного виконання ДЕС, що зводить до мінімуму

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Василенко Б.М.			ПРОЕКТНО- КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Філюк Я.О.						
Консуьлт.								
Н. Контр.		Вакуленко О.О.						
Затверд.		Тарасенко М.Г.						
						ТНТУ, гр.ЕТс-41		

будівельні роботи в місці установки.

Оснoву ДЕС складає дизельний двигун, який має ряд переваг в порівнянні з іншими типами двигунів внутрішнього згоряння: менша вартість і витрата палива, більший моторесурс, висока надійність, менш жорсткі вимоги до якості палива, відносно висока пожежна безпека [18, 20]. Для забезпечення стабільних вихідних електричних характеристик вироблюваної електроенергії, ДЕС містять в своєму складі автоматичну систему управління. Типова структурна схема загально ДЕС представлена на рисунку 2.1.

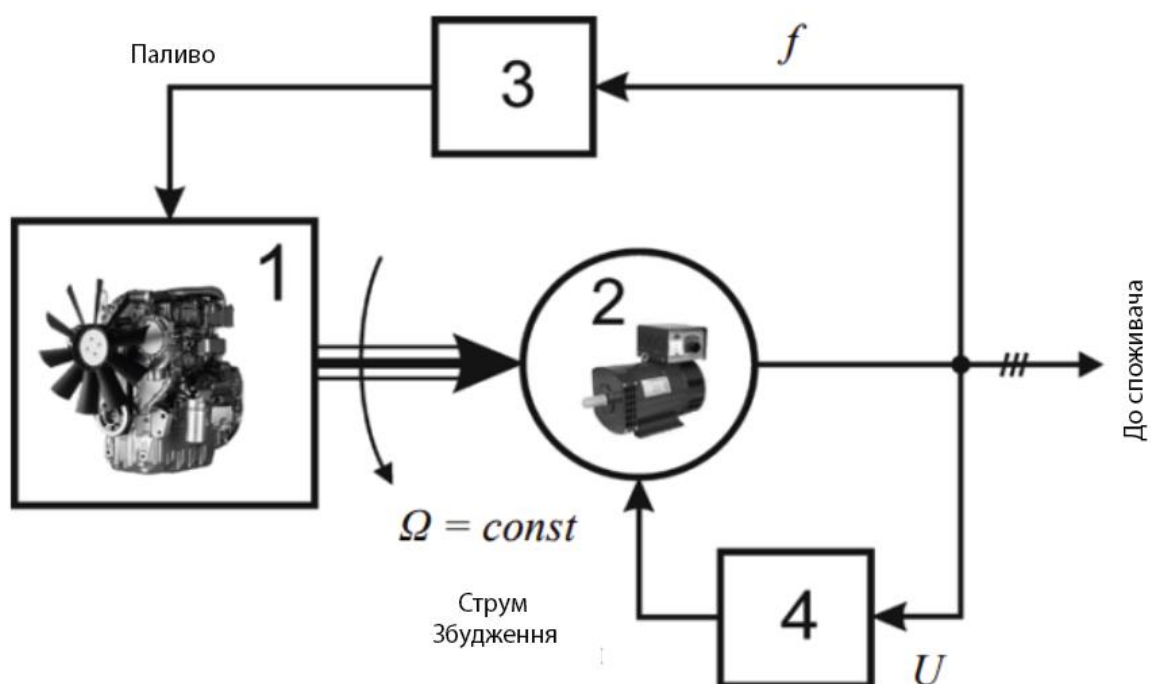


Рисунок 2.1 - Типова структурна схема ДЕС: 1 - дизельний двигун, 2 - синхронний генератор; 3 – регулятор частоти обертання дизеля; 4 - регулятор вихідної напруги.

У типовій класичній схемі ДЕС представлені дві системи автоматичного управління: система автоматичного управління частотою обертання дизеля (Частотою вихідної напруги) і система автоматичного управління напругою на виході генератора. Призначення першої автоматичної системи - стабілізація частоти обертання дизеля, призначення другий - стабілізація напруги генератора. В силу описаного принципу роботи ДЕС, для математичного опису було прийнято

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рішення еквівалентіровать ДЕС з регулюванням збудження синхронного генератора керованим джерелом напруги електрорушійної сили (ЕРС).

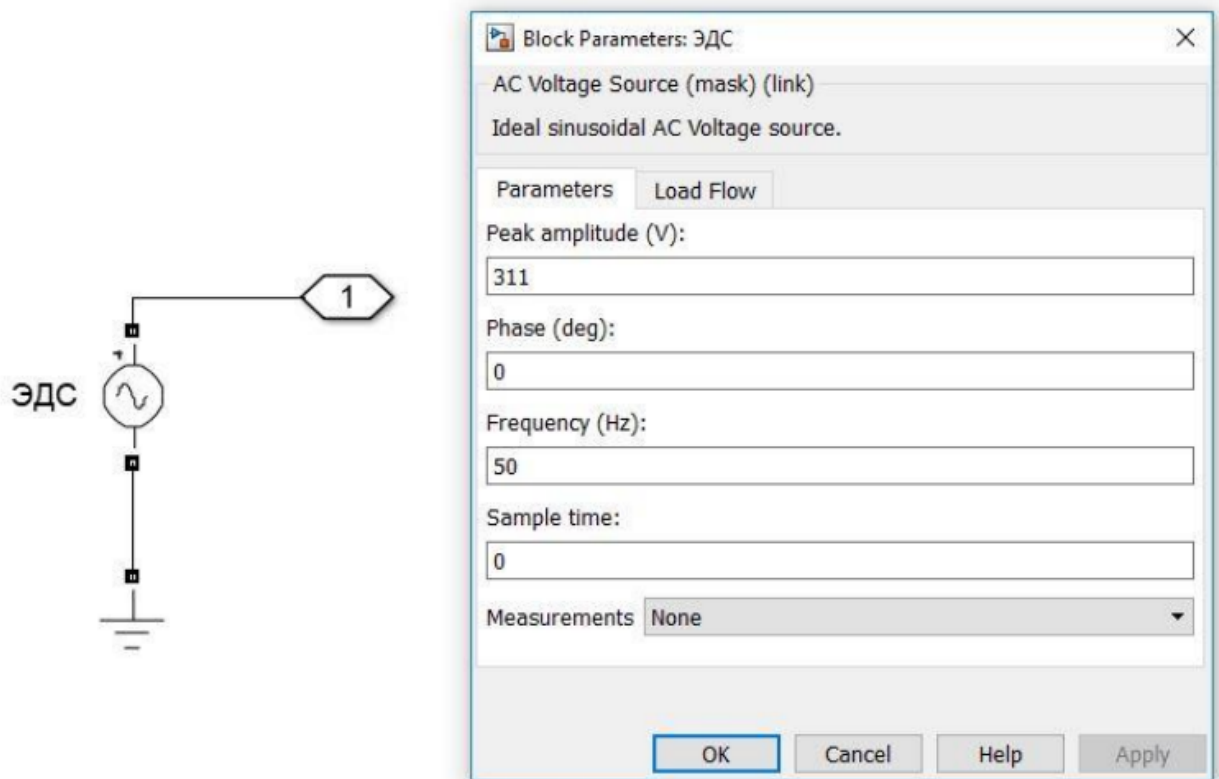


Рисунок 2.2 - Еквівалентіруемый джерело керованого напруги ЕРС

Рисунок 2.2 демонструє параметри блоку ДЕС через керований джерело напруги ЕРС, де для поставлених умов математичного моделювання була обрана мережа напругою 0,4 кВ децентралізованого району України. Амплітудне напруга матиме значення 311 В припромисловій частоті 50 Гц в однофазному виконанні.

2.2 Блок сонячної електростанції

Принципово СЕС можуть бути двох типів: термодинамічні та фотоелектричні. Фотоелектричні станції використовують ефект прямого перетворення сонячного випромінювання в електроенергію, відкритий в 1839 році французьким фізиком Беккерелем. Пристрої, що перетворюють сонячну радіацію

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

в електричний струм, називаються фотоелементами або сонячними елементами. Вони самі є джерелами ЕРС. Сонячні елементи генерують електричний струм в прямій залежності від добових, сезонних і випадкових змін опромінення. Ефективність перетворення сонячної енергії залежить не тільки від ККД фотоелемента, а й від узгодженості динамічного навантаження у зовнішньому колі. [3].

Фотоелементи в більшості випадків являють собою кремнієві напівпровідникові фотодіоди. При поглинанні світла напівпровідникової структурою енергія фотонів передається електронам матеріалу, що викликає поява вільних носіїв заряду. Носії заряду створюють потенційний градієнт в області р-п переходу, під впливом якого виникає електричний струм через електроприймачі. Типова величина різниці потенціалів - 0,5 В, щільність фото струму - 200 А / м² при питомій потужності сонячного випромінювання 1 кВт / м² [2].

Основна область застосування сонячних батарей зв'язується з освітлювальними системами, системами водопостачання, віддаленими станціями радіо зв'язку, маяками, дорожніми знаками і космічними апаратами. Батарея сонячних елементів зазвичай являє собою комбінацію з'єднаних паралельно модулів. Сонячний осередок, описана вище, - основний стандартний блок фотоелектричної системи. Як правило, розмір такої осередки - кілька квадратних міліметрів, а знімається потужність - близько 1 Пн. Для отримання більшої потужності кілька таких осередків пов'язують в послідовно-паралельні схеми і розміщують на панелі (модулі) розміром кілька квадратних дециметрів. Сонячні панелі або батареї являють собою групи з декількох модулів, електрично пов'язаних в послідовно-паралельні комбінації для отримання необхідних потужності і напруги [3].

					<i>КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 2.3 - Зовнішній вигляд моно-кристалічної сонячної комірки [3]

В даний час розвиток технологій і науки відбувається дуже швидко. На ринку існує три основних типи сонячних панелей: монокристалічна, полікристалічна і тонкоплівкова технологія. Глибокий техно-економічний аналіз всіх типів наведено в таблиці В1. Для процесу моделювання ми вибираємо монокристалічні сонячні панелі, тому що ці панелі використовуються в поточних проектах [4, 3]. Крім того, монокристалічна конструкція має такі переваги [8, 9]:

1. Монокристалічні панелі мають найвищі показники ефективності. ККД монокристалічних сонячних панелей зазвичай складають 15-20%. Сьогодні SunPower виробляє сонячні панелі з найвищою ефективністю на ринку США. Серія-X забезпечує ефективність перетворення панелей до 22,2% [9].
2. Монокристалічні кремнієві сонячні панелі є економічно ефективними. Оскільки ці сонячні панелі забезпечують найвищі вихідні потужності, вони також вимагають меншої кількості простору в порівнянні з будь-якими іншими типами. Монокристалічні сонячні батареї виробляють в чотири рази більше електроенергії в порівняно з тонкоплівковими панелями.

					<i>КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Монокристалічні сонячні панелі служать довше всіх. Більшість виробників сонячних батарей надають 25 років гарантії на свої монокристалічні сонячні батареї.

4. Вони мають тенденцію працювати ефективніше, ніж аналогічні номінальні полікристалічні сонячні панелі в умовах низької освітленості.

Для аналізу гібридної роботи СЕС з ДЕС на навантаження створена математична модель в додатку Simulink програми MatLab, показана на рисунку 2.4. Для моделювання перехідних процесів використовувалася бібліотека SimPowerSystems. Модель СЕС створена на основі апроксимованих характеристик фотоелектричного генератора і спрощених математичних функцій, що представлено у вигляді блоку-субсистема «Function of solar panel power».

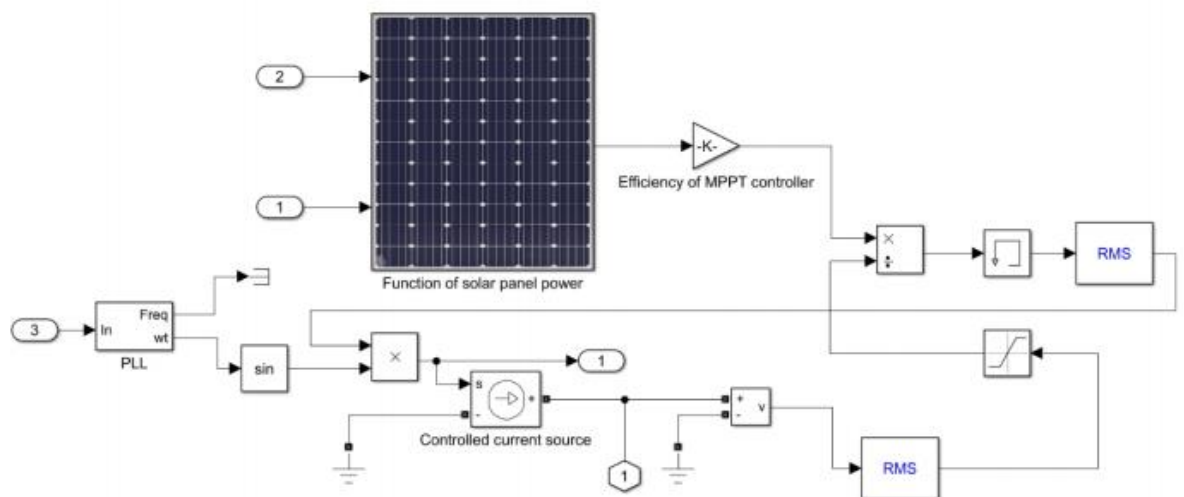


Рисунок 2.4 - Алгоритм роботи сонячної станції в програмі MatLab

ФЕС еквівалентується джерелом струму в блоці «Controlled current source», який може підключатися до різних точок мережі. Фотопанелі, що входять до складу СЕС, передають генерується потужність струму через мережевий інвертор. Сучасні інвертори з функціями відстеження максимальної точки Maximum Power Point Tracking (ТММ) за своїми вихідним характеристикам можуть також заміщатися джерелом струму блоку «Controlled current source» [20]. Вплив сонячного контролера враховано в блоці «Efficiency of MPPT controller». Спільна

паралельна робота двох джерел струму ДЕСі СЕС забезпечується за рахунок блоку фазового авто підстроювання частоти або ФАПЧ (Phase Lock Loop) «PLL» . Це система автоматичного регулювання, підстроює фазу керованого джерела струму (СЕС) так, щоб вона була дорівнює фазі опорного сигналу (ДЕС). Регулювання здійснюється завдяки наявності негативного зворотного зв'язку [20].

Головними факторами, що впливають на електричне виконання сонячних панелей, є:

1. Інтенсивність сонячного випромінювання.
2. Кут падіння сонячних променів.
3. Величина навантаження.
4. Робоча температура.

Для висунутих умов моделювання в даній роботі, було прийнято рішення спрощення і апроксимування функції роботи сонячної панелі. Висунуті фактори, описані вище, будуть мати наступний вигляд: Інтенсивність сонячного випромінювання. Величина світлового потоку максимальна в ясний сонячний день. При наявності невеликій хмарності світловий потік зменшується прямо пропорційно зменшенню інтенсивності сонячного випромінювання. Вольтамперна характеристика зсувається вниз при зниженні інтенсивності сонячного випромінювання (див. Рисунок 2.5) [3].

Вплив температури на вихідні параметри сонячного модуля. З зростанням температури струм короткого замикання збільшується, а напруга холостого ходу зменшується. Доведено, що збільшення робочої температури осередки на 1°C призводить до зниження видаваної потужності на 0,45%. Так як збільшення струму багато менше зменшення напруги, при великих температурах осередок генерує меншу потужність. Енергетична характеристика осередку для двох різних температур показана на рисунку 2.5. Як видно, доступна потужність на виході при більш низькій температурі більше. Таким чином, більш низька температура вигідніше для роботи фотоелектричної осередку [3].

					<i>КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

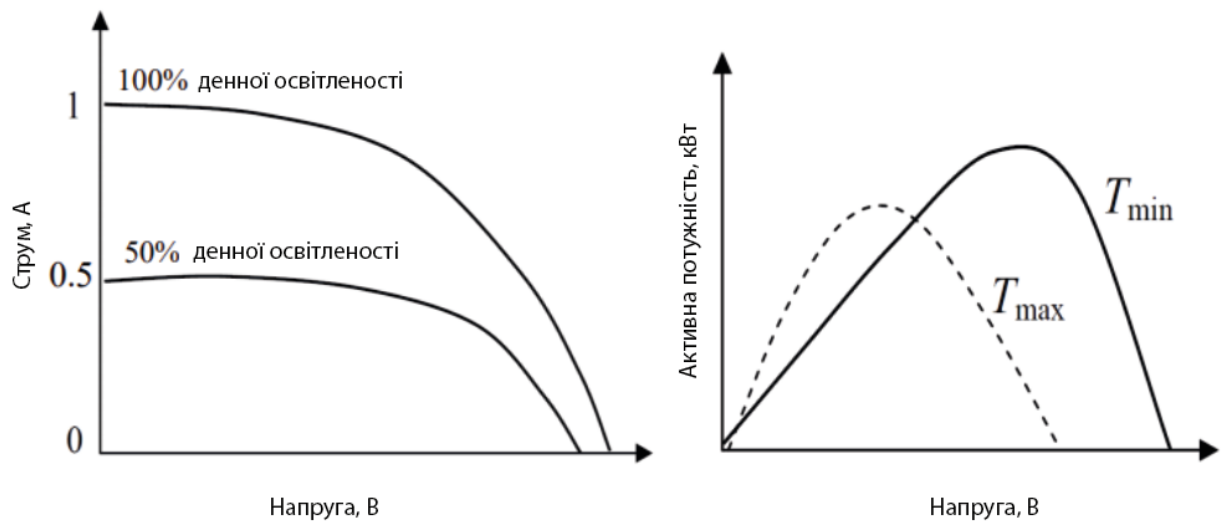


Рисунок 2.5 - Вольт-амперна характеристика (зліва) і вплив температури (праворуч) на вихідні параметри сонячного елемента [7]

Таким чином, блок-субсистема «Function of solar panel power» описує аналітичний вираз впливу температури навколишнього середовища і величини інтенсивності сонячного випромінювання, при розташуванні фотопанелі перпендикулярно падаючим променям [8, 9, 10].

Рівняння функції генерації потужності від сонячної панелі за двома вхідними параметрами температури навколишнього середовища і інтенсивності сонячного випромінювання представлена нижче [7]:

$$P_{sp} = \frac{C_f \cdot N_{sp} \cdot G \cdot \ln(10^6 \cdot G)}{T_{sp}},$$

де N_{sp} - кількість сонячних панелей;

C_f - постійний коефіцієнт параметрів в панелі сонячних батарей;

G - поточний рівень сонячної інсоляції, Вт/м² ;

T_{sp} - поточна температура сонячної панелі.

2.3 Блок сонячної радіації і температури навколишнього середовища

Сонячна радіація є невичерпним, потужним і екологічно чистим джерелом енергії. У багатьох країнах світу використання сонячної радіації для

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

господарських потреб набуває все більшого розмаху, інтерес до цієї проблеми стає дедалі більше як з боку потенційних споживачів сонячної енергії, так і з боку науково-дослідних організацій.

Незважаючи на всю привабливість сонячної радіації як джерела енергії, її використання для суспільних потреб на більшій частині території України обмежена кліматичними особливостями і відсутністю надійних методів за її визначенням. При цьому основними стримуючими факторами є порівняно невелика кількість жарких і сонячних днів в році, а також нестабільність надходження теплоти протягом дня. Проте в децентралізованих регіонах України енергія сонячної радіації може знаходити своє практичне застосування [3].

Величина первинної сонячної енергії, яка доступна для перетворення ФЕС, визначається інтенсивністю сумарного сонячного випромінювання в місці її установки, і залежить від географічних координат місця розташування ФЕС, просторової орієнтації сонячної панелі, а також від зовнішніх метеорологічних факторів: температури повітря, рівня хмарності, коефіцієнта відображення земної поверхні.

Більшість метеорологічних факторів мають стохастичну природу. В даний час при проектуванні ФЕС переважно поширення набули імовірнісні (статистичні) методи розрахунку радіаційних характеристик [16-18, 20], які використовують в якості вихідних даних спеціальні кліматичні довідники або електронні бази, складені за результатами багаторічних метеорологічних спостережень [3].

В основу розрахунку даної роботи покладено методику, що дозволяє визначити погодинне надходження сонячної радіації на похилу площину запропонованої Лю і Джорданом. При обчисленні сонячної радіації, що надходить на будь-яку похилу площину, беруть до увагу три складові радіаційного балансу [4, 6]:

$$Q_{\text{накл}} = S_{\text{накл}} + D_{\text{накл}} + R_{\text{накл}},$$

де $Q_{\text{накл}}$ - сумарна сонячна радіація, що падає на похилу поверхню, Вт / м² ;

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$S_{накл}$ - пряме сонячне випромінювання, падаюче на похилу поверхню, Вт / м² ;

$D_{накл}$ - розсіяна сонячна енергія, падаюча на похилу поверхню, Вт / м² ;

$R_{накл}$ - випромінювання, відбите від поверхні Землі, Вт / м² (значенням можна знехтувати).

Значення $S_{накл}$ знаходять по залежності:

$$S_{накл} = S_{орт} \cdot \cos \theta ,$$

де $S_{орт}$ - пряме сонячне випромінювання на ортогональну променям площину, Вт / м² .

$$S_{орт} = \frac{S_0 \cdot \sin \alpha}{\sin \alpha \cdot c} ,$$

де S_0 - сонячна постійна, тисяча триста дев'яносто п'ять Вт/м² ;

c - величина, характеризує ступінь прозорості атмосфери.

Косинус кута падіння прямого сонячного випромінювання на будь-яку площину в залежності (4) визначають наступним чином:

$$\begin{aligned} \cos \theta = & \sin \delta \cdot \sin \varphi \cdot \cos \chi - \sin \delta \cdot \cos \varphi \cdot \sin \chi \cdot \cos \gamma + \\ & + \cos \delta \cdot \cos \varphi \cdot \cos \chi \cdot \cos \omega + \cos \delta \cdot \sin \varphi \cdot \sin \chi \cdot \cos \gamma \cdot \cos \omega + \\ & + \cos \delta \cdot \sin \chi \cdot \sin \gamma \cdot \sin \omega, \end{aligned}$$

де φ - географічна широта місцевості, радий;

δ - схилення Сонця, радий;

χ - кут нахилу площини до горизонту, радий;

γ - Азімутная кут площини, радий;

ω - годинний кут, радий

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де N - порядковий номер дня в році, відлічуваний від 1 січня.

Синус кута α знаходять за формулою:

$$\sin \alpha = \sin \varphi \cdot \sin \delta + \cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \cos \omega.$$

Розсіяну сонячну радіацію, що надходить на похилу площину, визначають за формулою:

$$D_{\text{накл}} = D_{\text{гориз}} \cdot [0,55 + 0,434 \cdot \cos \theta + 0,313 \cdot (\cos \theta)^2]$$

де $D_{\text{гориз}}$ - потік розсіяної сонячної енергії (Вт / м²) на горизонтальну площину, визначається по залежності

$$D_{\text{гориз}} = \frac{1}{3} \cdot (S_0 - S_{\text{орт}}) \cdot \sin \alpha.$$

Розсіяна сонячна радіація, відбита від Землі:

$$D_{\text{землі}} = 0,47 \cdot A_{\text{землі}} \cdot (S_{\text{накл}} - D_{\text{гориз}})$$

де $A_{\text{землі}}$ - альbedo Землі.

Альbedo Землі - інтегральне ставлення в частках одиницю відбитого від Землі в усіх напрямках потоку сонячної енергії до потоку, що падає на поверхню, що відбиває Землі [3].

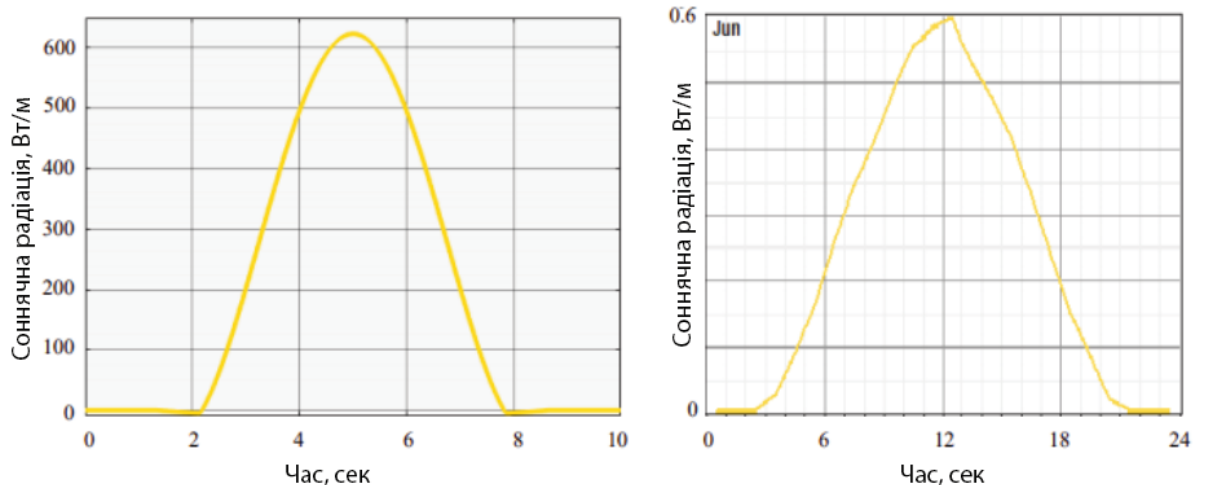


Рисунок 2.7 - Графіки сонячної радіації в червні Номер Energy (Праворуч) і побудований блок (зліва)

Модель виконана у вигляді підсистеми, що складається з восьми основних функціональних блоків, які забезпечують вирішення системи рівнянь (3) -(11). Створений блок (див. Рисунок 2.8) дозволяє отримати повний перелік величини прийдешньої сонячної радіації в будь-який день року в випадковому географічному розташуванні панелі для довільно орієнтованої поверхні. Для оцінки прийнятності створеного блоку на релевантність модульованих даних, результати моделювання повинні порівнюватися з програмним забезпеченням, яке вже давно використовується в науко водослідних і громадських цілях. У цьому випадку це буде HomerEnergy.

Необхідно відзначити, що Homer Energy використовує дані спостережень Національного управління з аеронавтики і дослідженню космічного простору (NASA), період спостережень яких був проводився з 1983 по 2004 року. Як ми можемо помітити, для обраної щоденної величини сонячної радіації в червні, створений блок має приблизно ті ж результати, що і Homer Energy.

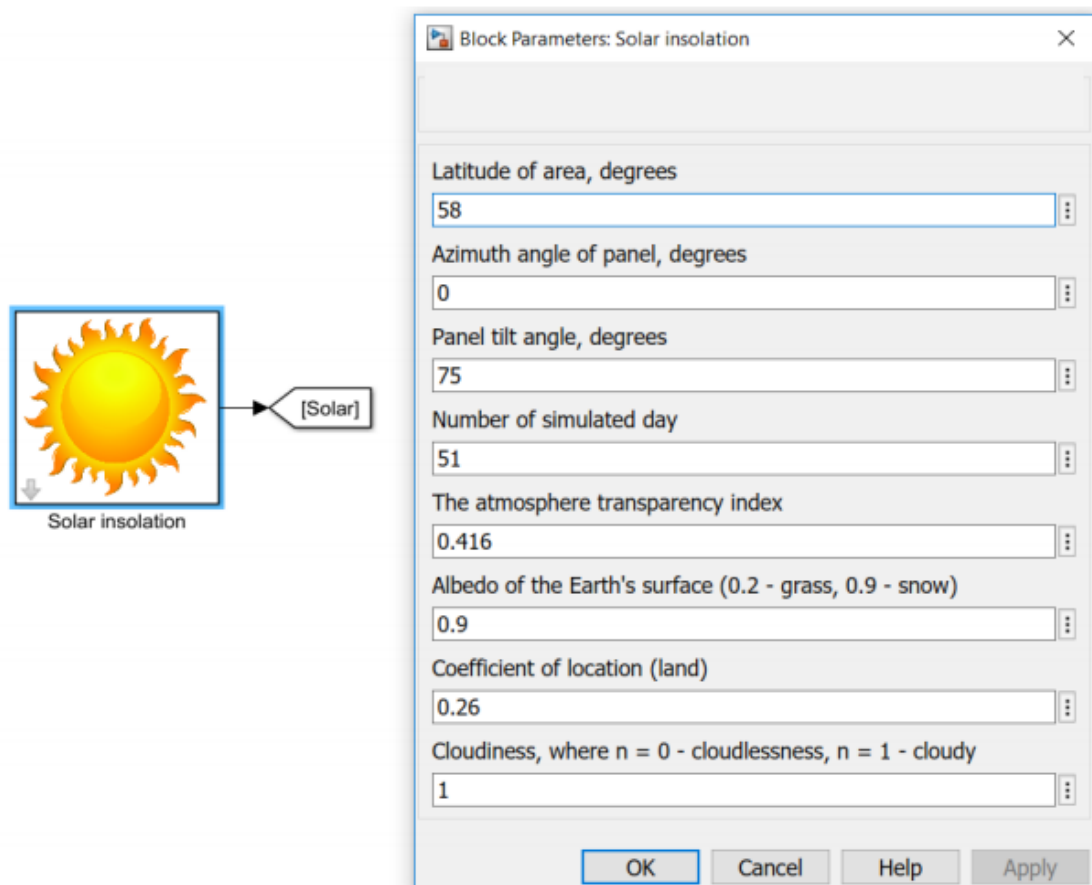


Рисунок 2.8 – Суб системи блоку сонячної радіації в MatLab

					<i>КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Модель дозволяє визначати поточні значення величини приходить сонячної радіації для будь-якого дня року в довільному географічному місці розміщення ФЕП на довільно орієнтовані поверхні. Домінуючий вплив на енергетичні характеристики фотоелектричних перетворювачів також надає величина температура довкілля. Для ФЕС, розташованих у високих північних широтах, до яких відносяться більшість територій України, зовнішні метеорологічні чинники можуть чинити істотний вплив на продуктивність сонячної батареї і їх бажано враховувати. Найбільш просто визначаються середньомісячні і середньодобові значення температури навколишнього повітря, які є незалежними величинами відпараметрів проектованої електроустановки. Вихідними даними для їх визначення є статистичні дані метеорологічних спостережень, які можна отримати з архівів метеорологічних сайтів і кліматичних довідників [7].

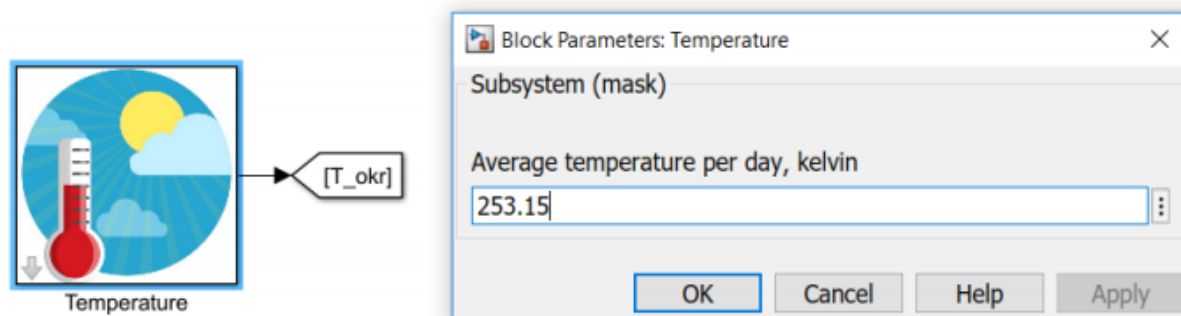


Рисунок 2.9 – Суб системи блоку температури навколишнього середовища в MatLab

Результати моделювання показали, що розроблені блоки працюють з задовільною точністю.

2.4 Блок споживачів і ліній електропередачі

Від електричних мереж в сільських районах зазвичай живляться велике число різноманітних споживачів електричної енергії, під якими розуміють приймач або групу приймачів електричної енергії, об'єднаних технологічним

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

процесом і розміщених на певній території. Електроприймачем, в свою чергу, називають апарат, агрегат або механізм, призначений для перетворення електричної енергії в енергію іншого виду.

У віддалених децентралізованих сільських районах знаходять такі споживачі електричної енергії:

1. Житлові будинки робітників і службовців в населених пунктах, фермерські господарства.

2. Об'єкти соціального значення: лікарні, школи, клуби, магазини, дитячі сади і т.д.

3. Дрібні підприємства виробництв з переробки природних ресурсів і сільського сподарської продукції.

Електричне навантаження в децентралізованих об'єктах – величина безперервно змінюється: одні споживачі включаються. Потужність, споживана включеними електроприймачами, також зменшується або збільшується зі зміною завантаження приводяться в дію робочих машин. Крім того, з плином часу загальна електрична навантаження безперервно збільшується, так як тенденція електрифікації сільського сподарського виробництва та побуту сільського населення постійно зростає [6].

Для моделювання різних типів електричних навантажень децентралізованих об'єктів сільської місцевості, показники величин визначають за нормативними типовим графіками реальних електричних навантажень, дані яких були отримані в ході статистичних спостережень періоду від 5 до 10 років. Для цілей даної дослідницької роботи зручні добові графіки навантаження за тривалістю. Базовою моделлю електричного навантаження служив типовий графік активної і реактивної навантаження сільських житлових будинків та ін., типовий для автономних споживачів.

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

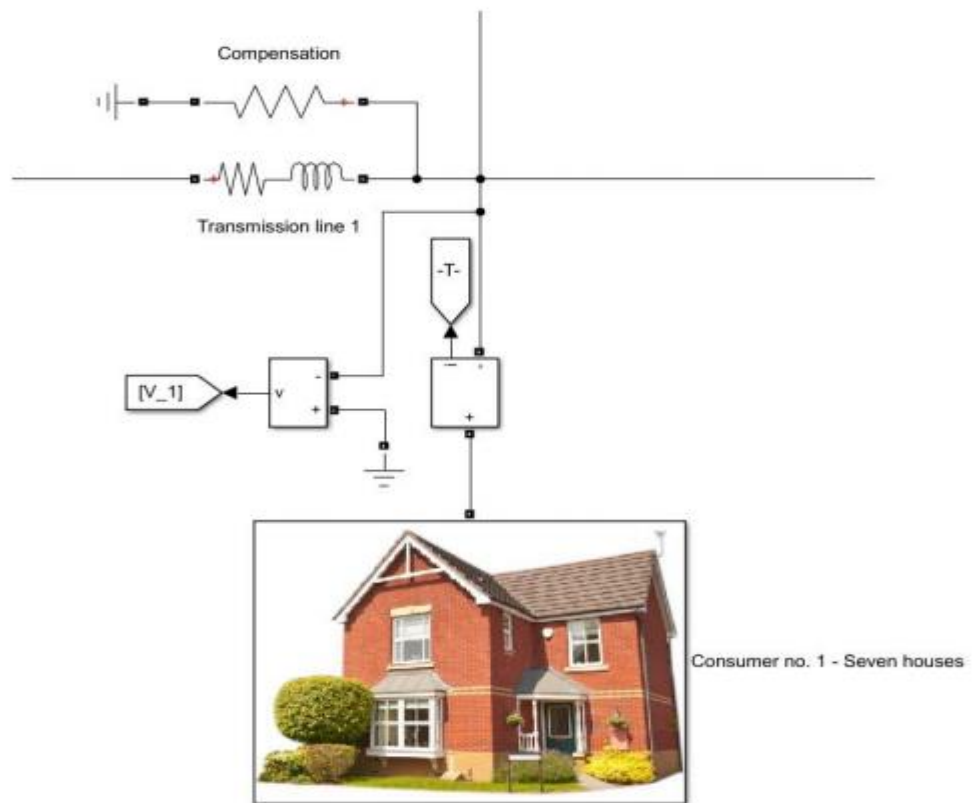


Рисунок 2.10 – Суб системи блоку споживача і лінії електропередачі в MatLab

Модель споживача побудована на базі керованих ключів відповідно до поділу тим часових інтервалів в перебігу дня: ранок, день, вечір, ніч з комутованою величиною активно-індуктивних опорів ділянок кола.

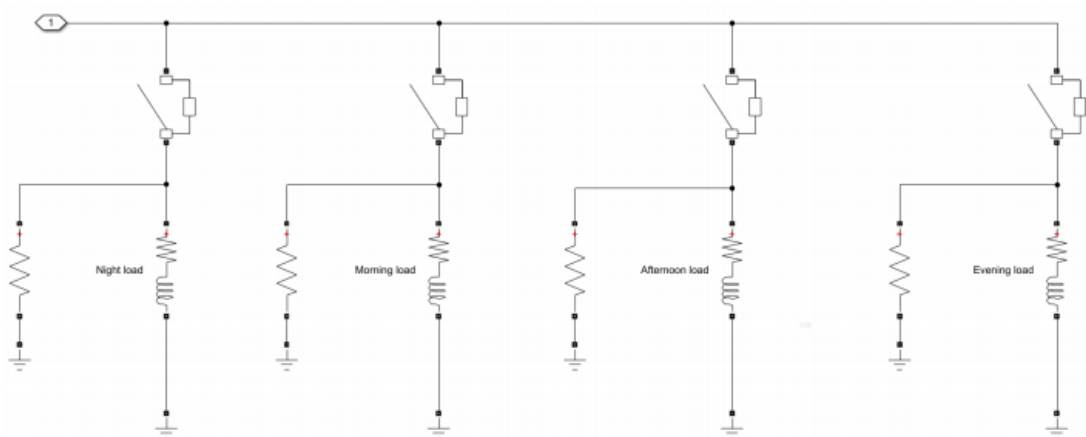


Рисунок 2.11 - Блок комутації добових фаз навантажень в MatLab

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Нижче ви побачите результати розрахунків, агреговані у вигляді добових графіків електричних навантажень, села Токма. Це сільське поселення складається з двох груп житлових будинків з різним рівнем споживання електроенергії (перший блок з семи будинків, другий блок з восьми будинків), будівлі початкової школи, магазину та адміністративної будівлі. Градація кольору діаграм навантаження ділить годинник добових фаз протягом модельованого дня споживання електричної енергії.

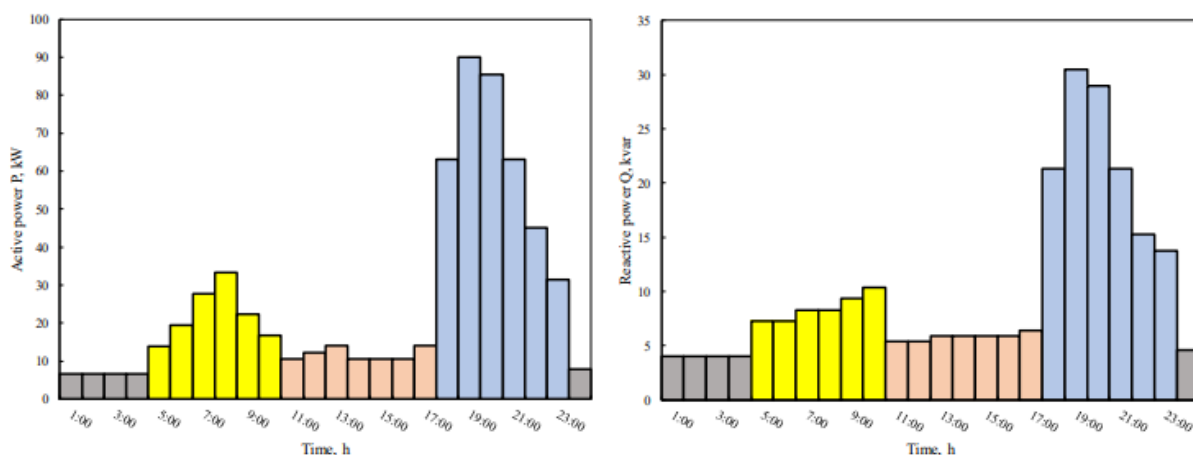


Рисунок 2.12 - Залежності споживання активної та реактивної потужності села за зиму

Як показано на рисунку 2.12, о 19:00 ми можемо спостерігати максимум споживання активної та реактивної потужності в зимовий час. Згідно номенклатурі ДЕС в селі, яка була описана в першому розділі, існують дві ДЕС з номінальною потужністю 30 і 60 кВт відповідно. Сірий колір відображає нічний споживання, жовтий колір – ранкове споживання, персиковий колір - день, а синій - вечірній.

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

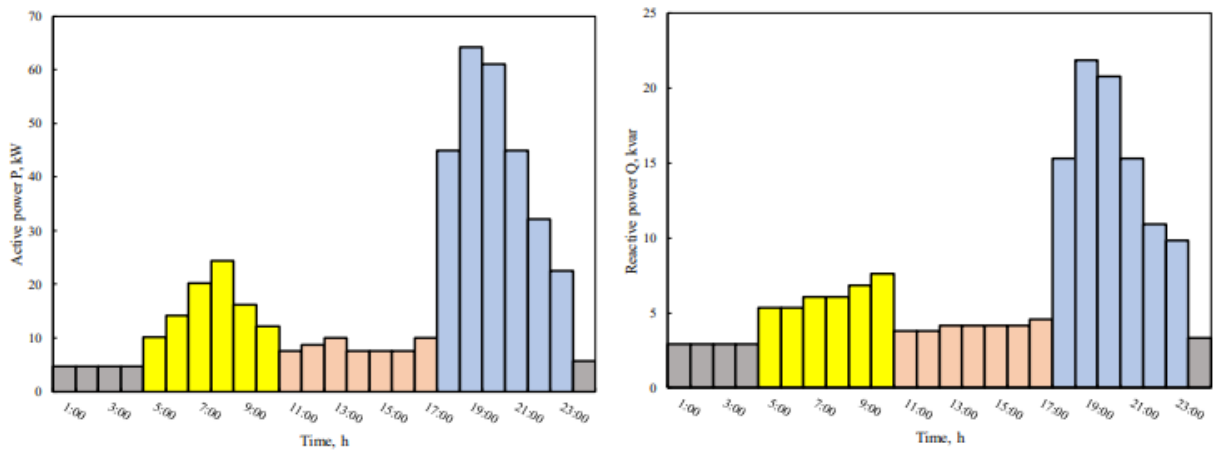


Рисунок 2.13 - Залежності споживання активної та реактивної потужності села за літо

Дана робота фокусує дослідження системи електропостачання для умов літнього сезону, яка доцільна, оскільки зимова інсоляція ($55-58^\circ$ північної широти) в 15 разів менше, ніж на влітку[20]. Величина річної інсоляції визначає створення СЕС, яка буде ефективна виключно в літній час. Взимку, зі збільшенням споживання енергії і зниженням інсоляції, роль СЕС значно знижується і практично не впливає на електричний режим системи. Отримані умови сприяють створенню математичної моделі АСЕП з розподіленою генерацією ФЕС.

Споживачі підключаються через секції живильних ліній з активно-індуктивними параметрами. Довжина ліній передачі обмежена максимально допустимим відхиленням напруги при навантаженні в кінці лінії щодо номінального значення. У Державному стандарті граничне значення для будь-якого відхилення не більше 10% [20]. Таким чином, довжина лінії буде залежати від відомих факторів, таких як питомий опір лінії та величина переданої навантаження. Розрахунок опору п'яти секцій магістральної ЛЕП з напругою 0,4 кВ представлений в наступній таблиці:

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

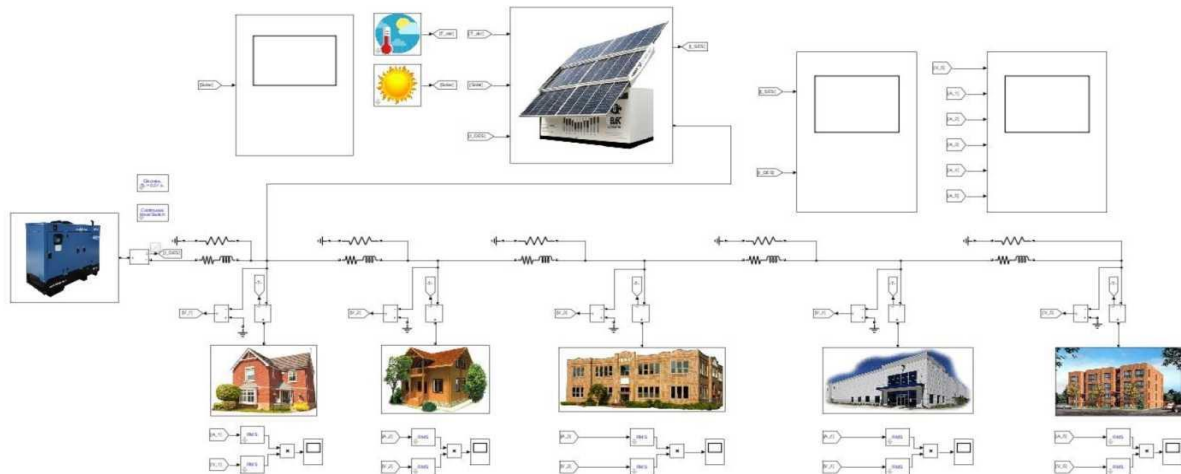


Рисунок 2.14 - Модель АСЕР в MatLab/Simulink

Таблиця 2.1 - Перетворення опорів ліній електропередач

Номер секції	Параметри		
	Довжина, м	R, Ом	L, Гн
1	200	0,17	$2,7 \cdot 10^{-4}$
2	10	0,0085	$1,3 \cdot 10^{-5}$
3	10	0,0085	$1,3 \cdot 10^{-5}$
4	25	0,0213	$3,3 \cdot 10^{-5}$
5	50	0,0425	$6,6 \cdot 10^{-5}$

3. РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

3.1 Техніко-економічний аналіз

У цьому розділі розглядається структура гібридної автономної енергосистеми. Представлено загальний опис обладнання, яке використовувалося для моделювання перехідних процесів. Результати моделювання включають випадки одиночній ФЕС і варіанти з розподіленим монтажним виконанням. Також пропонуються рекомендації по таким питань якості, як підвищення рівня напруги в кінці лінії електропередачі, зниження втрат електричної енергії. ці результати будуть порівнюватися з випадком АСЕП без ВДЕ.

3.1.1 Блок-схема АСЕП з розподіленою системою ФЕС

Мнемо схема електропостачання АСЕП з розподіленою системою ФЕС представлена на рисунку 3.1. ДЕС і ФЕС з'єднані паралельно з подачею на навантаження. Необхідно провести ряд математичних розрахунків для коригування моделі і отримання найбільш точних результатів з точки зору індикаторів електроенергії. Процес моделювання буде розділений на дві групи обчислень:

1. Єдина ФЕС без розподілу по мережі.
2. Розподілений монтажне виконання ФЕС уздовж мережі.

Частка переривчастої електроенергії в загальному енергетичному балансі гібридної системи електропостачання зазвичай становить не менше 50%. Навантаження на ДЕС збільшується зі зменшенням встановленої потужності установок з відновлюваної енергетики. збільшення тривалості режимів генерації відновлюваної енергоресурсу, недостатнє для поточного охоплення навантаження, визначає доцільність режимів паралельної роботи гібридної

					<i>КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ</i>			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Василенко Б.М.			РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Філюк Я.О.						
Консульт.								
Н. Контр.		Вакулєнко О.О.				<i>ТНТУ, гр.ЕТс-41</i>		
Затверд.		Тарасенко М.Г.						

силової установки [1]. Важливо зауважити, що мережевий інвертор може працювати паралельно тільки з досить потужною мережею електропостачання. У АСЕП така енергосистема створюється ДЕС. Провідні виробники сонячних інверторів не рекомендують зменшувати поточну завантаженість ДЕС в гібридних системах менш ніж до 40-50% щодо потужності повної генерації. Це обмеження засноване на умовах стабільності системи електроживлення [1].

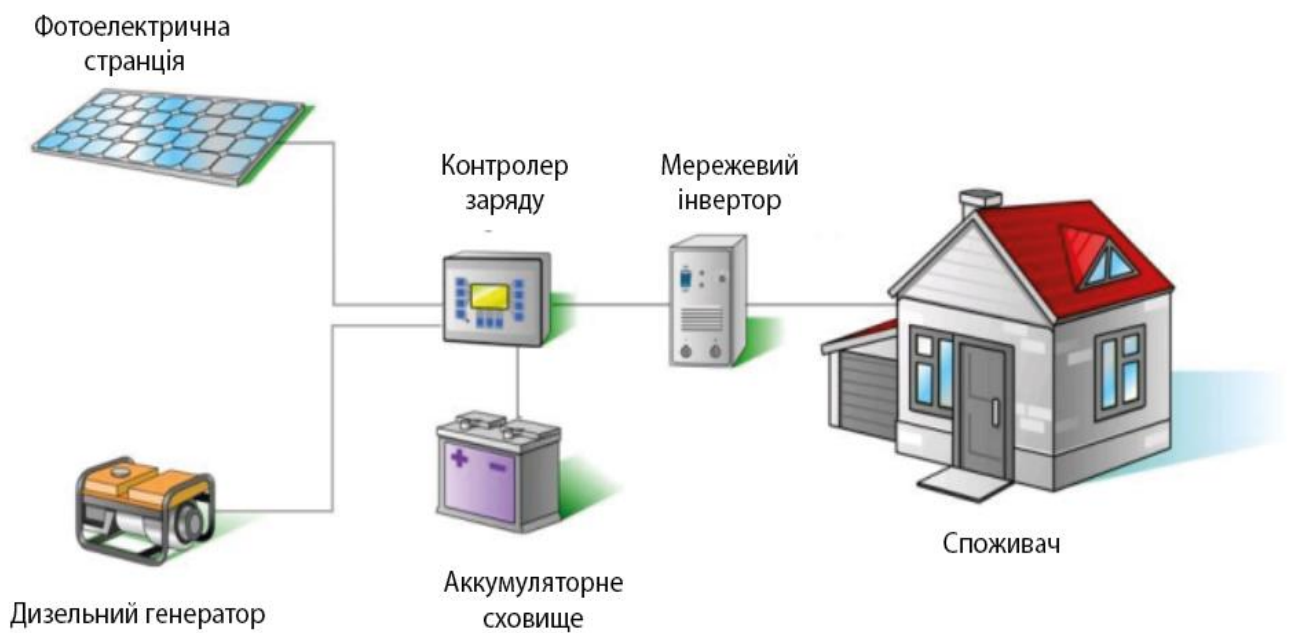


Рисунок 3.1 - Блок-схема автономно-гібридної системи електроживлення з фотоелектричним джерелом [7]

Гібридна система електропостачання на рисунку 3.1 має наступні переваги: як мережеві, так і автономні інвертори можуть застосовуватися навіть з мінімальним набором опцій і представлені на ринку ВДЕ в різних варіантах від численних виробників; батареї завжди повністю заряджені і використовуються в буферному режимі тільки в разі збоїв мережі. Така система рекомендується використовувати в системах електропостачання, де електрику споживається в основному під час денного світла, а відключення електромережі є рідкісними і короткими. Ця система має тільки один недолік: виробництво сонячної енергії припиняється, коли відбуваються збої мережі [1].

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У денний час мережевий інвертор забезпечує живлення для всіх споживачів. Надлишкова енергія відправляється в загальну мережу тільки в тих випадках, коли споживання менше, ніж генерація ФЕС, в той час як енергія сонця також використовується для заряду батарей. Ефективність мережевих інверторів становить понад 90%, що забезпечує хороші енергетичні характеристики всієї системи електроживлення.

3.1.2 Регулювання сонячної електростанції

Річне споживання електроенергії, за розрахунковими даними, в децентралізованому селі становить 195,1 МВт·год/рік, де передбачається, що число членів сім'ї, які проживають в житлових будинках, становить від двох до п'ятилюдина. Тому пропонована модель системи живлення повинна забезпечувати це навантаження обраним спів відношенням потужності між джерелами.

Для цього випадку моделювання необхідно знати ряд сонячних панелей, які будуть використовуватися для поліпшення якості рівня напруги, зниження витрати палива і зменшення втрат потужності в лініях передачі. Відповідно до описаним принципом режиму роботи мережевого інвертора, обмежена встановлена потужність ФЕС повинна становити не менше 50% від основного джерела електроенергії в АСЕП. Це обмеження у встановленій потужності повинно бути взято від основного джерела енергії в селі Токма. Таким чином, встановлена потужність ФЕС становить 40% від 76 кВт ДЕС, де кінцеве значення становить 30,4 кВт.

Грунтуючись на встановленій потужності ФЕС, ми можемо обчислити ряд необхідних сонячних панелей. Для моделювання були обрані монокристалічні сонячні панелі TSM-200 [9], які мають наступні параметри:

					<i>КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.1 - Параметри сонячної панелі TSM-200

Параметр	Значення
Номінальна потужність (P ном)	200 Вт
Номінальна напруга (U ном)	24 В
Напруга холостого ходу (U хх)	43,2 В
Струм короткого замикання (I кз)	6,22 А
Струм точки максимальної потужності (I макс)	5,56 А
Номінальна температура роботи осередку	-40 ... + 85 °С
Розміри	1580 x 808 x 40 мм ²
Вага	17,3 кг
Тип	монокристалічна

Для даного випадку кількість сонячних панелей буде описуватися рівнянням:

$$N = \frac{P_{сп}}{P_{ном}} = \frac{30,4}{0,2} = 152$$

Також необхідно визначити оптимальне значення кута зони прийому сонячної панелі. Для проведення розрахунків краще використовувати відомі математичні програмні пакети, наприклад, Simulink в MatLab. Є кілька можливих випадків орієнтації сонячних панелей під час їх роботи [1]:

1. Орієнтація за допомогою датчиків і систем стеження. Ці системи перпендикулярні потоку падаючого випромінювання. В цьому випадку параметри відстеження можливі як для двох осей (азимут і нахил), так і для однієї осі (нахилу).

2. Програмні алгоритми обертання сонячних панелей, в залежності від місця розташування сонця за допомогою спеціальних приводів. В цьому випадку варіанти повороту можливі як по двох осях (азимуту і нахил), так і по одній осі (нахилу).

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Дискретно-сезонна зміна кута нахилу панелі. В данному варіанті по азимуту панелі орієнтовані на південь.

4. Фіксоване положення панелі, як по куту нахилу, так і по азимуту, на весь період роботи.

Для моделювання пропонується використовувати третій варіант. Третій варіант має більш низьку енергоефективність, ніж перша або друга, але його легко реалізувати. Він зазвичай використовується на невеликих електростанціях (Наприклад, в селах) або коли сонячні панелі інтегровані безпосередньо в структуру будівлі. Слід зазначити, що орієнтація по азимуту на південь не може бути виконана дуже точно (з точністю до кількох градусів). Як показали дослідники в [1], зміна азимута на 15° знижує прихід сонячної радіації на поверхню на 5%.

Зазвичай сонячні панелі розташовуються під кутом нахилу, рівним широті області з південною орієнтацією. Якщо кількість сонячних панелей дозволяє здійснювати сезонні зміни нахилу з прийнятною робочою силою, цю особливість слід враховувати. Енергетичний потенціал сонячної радіації розподіляється більш рівномірно по всій Україні. Можливість використання ФЕС не тільки прямого сонячного випромінювання, але і дифузного дозволяє використовувати СЕС між $55-58^\circ$ північної широти [20].

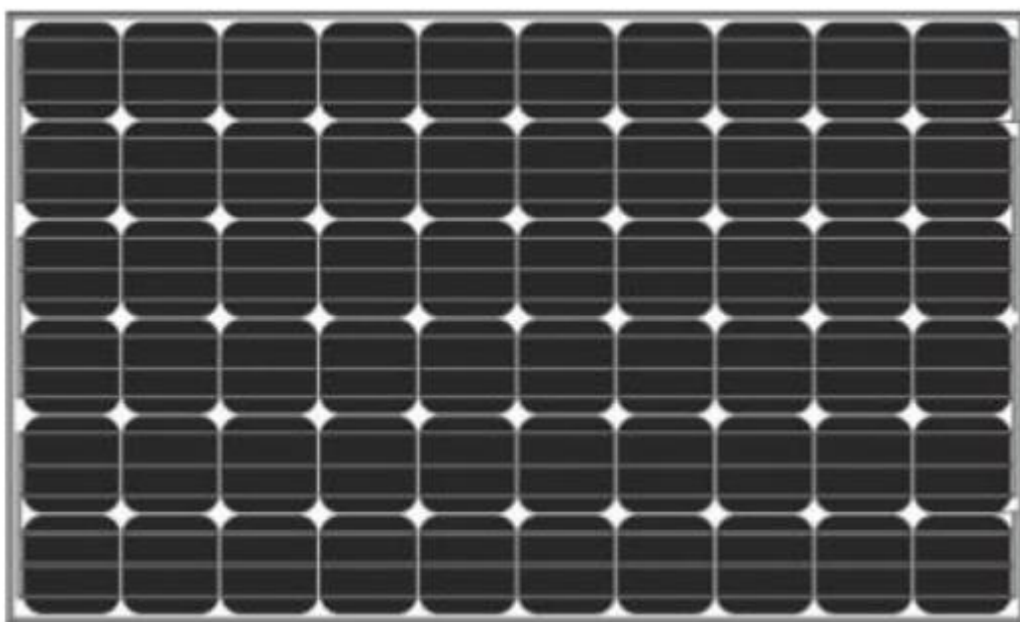


Рисунок 3.2 - Сонячна панель TSM-200 [9]

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таким чином, використовуючи описаний варіант, можна налаштувати кут нахилу приймальної поверхні сонячної панелі протягом типового дня року в середніх хмарних умовах для аналізованого сезону. Результати розрахунків оптимального кута нахилу сонячних панелей і азимутальної орієнтації наведені в таблиці нижче:

Таблиця 3.2 - Результати орієнтації сонячних панелей за сезон

Сезон	Кут нахилу	Азимутная орієнтація
Зима	75	південь, 0 °
Весна	30	південь, 0 °
Літо	30	південь, 0 °
Осінь	75	південь, 0 °

3.1.3 Інвертор

Інвертор - це пристрій, який перетворює постійний струм в змінний струм із заданими параметрами (напруга, частота). Крім того, як інтелектуальна система, він контролює роботу всієї енергетичної системи. SMA Solar Technology AG [80] є однією з провідних світових компаній в області розробки, виробництва і продажу енергетичного обладнання та пристроїв для будівництва різних систем електропостачання.

Технології SMA, розроблені з використанням новітніх досягнень в області електроніки, дозволяють максимально ефективно використовувати автономні, мережні і резервні енергосистеми на основі як традиційних, так і ВДЕ. Як технологічний лідер, SMA Solar Technology розробляє і виробляє високопродуктивні інвертори потужністю від 2 до 1000 кВт для установок будь-якого розміру, всіх класів потужності і специфікацій. Основною діяльністю SMA є розробка і виробництво інверторів. Інвертор є технічно найбільш важливим компонентом будь-якої енергосистеми, в якій використовуються генераторні установки постійного струму, такі як сонячна панель, вітрогенератор, ДЕС та інші. SMA пропонує безліч моделей інверторів, які можна розділити на три

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

важливі характеристики: потужність, режим постійного струму і топологія схеми. Використовувана потужність інвертора знаходиться в діапазоні від 1600 Вт до декількох МВт. Номінальна потужність може становити від 3 до 6 кВт для енергетичних систем приватного сектора, від 10 до 20 кВт для комерційних установок ФЕС на дахах підприємств або побутових будівель і від 500 до 800 кВт для СЕС [1].

Важливою технічною характеристикою інверторів є метод перемикання з боку постійного струму, який визначає можливі варіанти підключення фотоелектричних установок до інвертора. Ця особливість викликана тим, що в багатьох СЕС сонячний модуль може містити кілька масивів панелей, які мають різне освітлення, різний тип і, відповідно, різні вихідні характеристики. Для максимального використання сонячної енергії SMA розробила спеціальні багатоканальні інвертори.

Залежно від температури і інтенсивності падаючого випромінювання завжди існує точна кореляція між силою електричного струму і напругою, що дозволяє СЕС генерувати максимальну потужність. Це також називається максимальною точкою живлення. Оскільки температура і інтенсивність падаючого випромінювання постійно змінюються (наприклад, завдяки хмарам), система управління інвертором повинна безперервно контролювати максимальну точку живлення, щоб модулі ФЕС виробляли максимально можливу кількість електричної енергії. Для цієї мети використовується програма MPPT.

Багатоканальні інвертори мають два або більше каналу введення, кожен з яких має свій власний трекер. Особливий інтерес представляє масив сонячних панелей з різними поверхнями, які спрямовані по-різному або частково затінені. Незважаючи на більш високу вихідну потужність, основні інвертори мають тільки один трекер для максимального пошуку потужності. Вони особливо підходять для велико масштабної СЕС з однорідним набором сонячних панелей.

Відповідно до конкретним алгоритмом роботи, в цьому випадку було прийнято рішення використовувати мережевий інвертор. SMA Sunny Mini Central – це сонячний інвертор з високо ефективними сонячними перетворювачами

					<i>КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

енергії з ефективністю до 98%. Цей інвертор ідеально підходить для побудови сонячних енергетичних систем середньої потужності (від 15 кВт і більше). Передові технічні рішення, а також краще спів відношення ціна-продуктивність, дозволяють вбудованим перетворювачів Sunny MiniCentral бути ідеальними пристроями для середніх і великих сонячних установок, а невелика градація потужності забезпечує гнучкість конструкції дозволяє використовувати точну конфігураційну систему. SMA Sunny MiniCentral інвертори також відмінно підходять для створення автономних енергосистем [8].



Рисунок 3.3 - Інвертор SMA Sunny Mini Central 10000TL-10 [8]

Інвертори Sunny Mini Central, в поєднанні з контролером заряду, дозволяють створювати автономну мережу змінного струму з батареями, що відповідає найвищим стандартам якості. У системах, заснованих на сонячних Sunny Mini Central інверторах, генератори і споживачі електроенергії інтегровані в мережу в рівній мірі. Системи ФЕС, ВЕС, ДЕСі мікро-ГЕС можуть бути підключені на стороні змінного струму 220 В такж, як і звичайні споживачі [1].

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

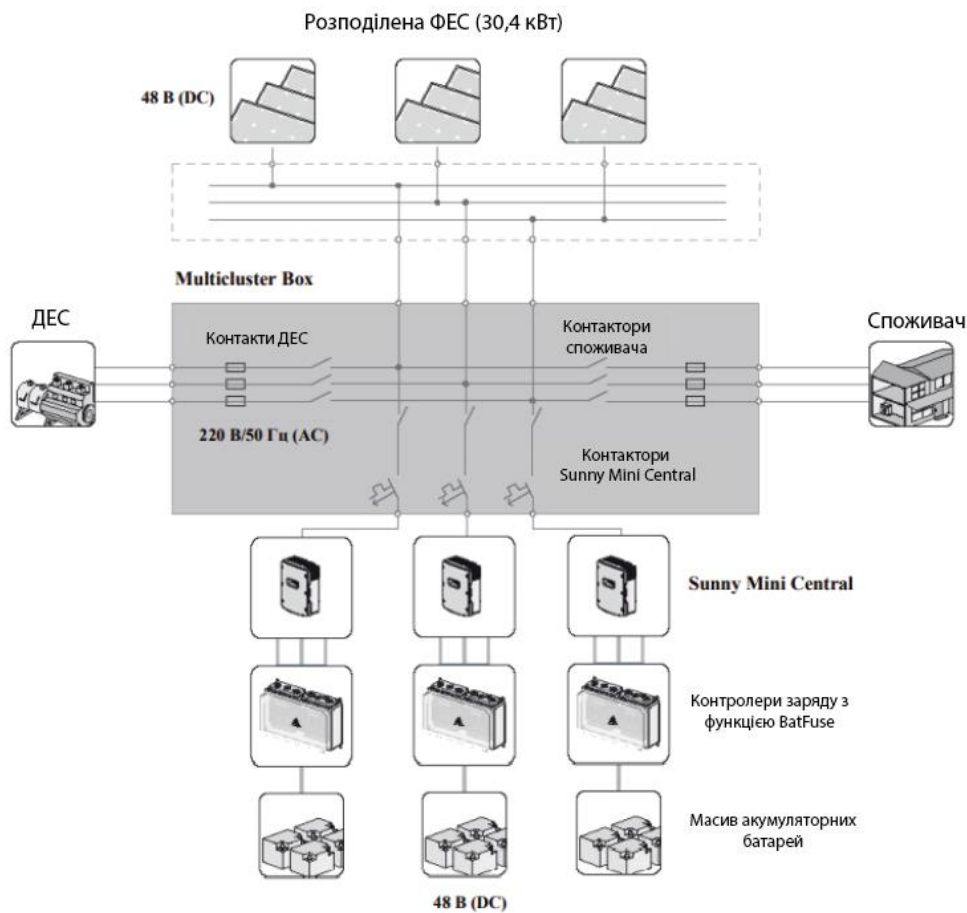


Рисунок 3.4 - Електрична схема автономної системи електроживлення [8]

Multicluster Box - це компонент багато кластерної технології SMA для систем з автономними електричними мережами. Multicluster Box є основним розподільником змінного струму, до якого можна підключити до дванадцяти трифазних кластерів. Кожен кластер складається з двох пристроїв того ж типу Sunny Mini Central, з'єднаних паралельно на стороні постійного струму. BatFuse захищає сполучні кабелі акумулятора [8].

Sunny Mini Central підтримує паралельну роботу до чотирьох пристроїв на одній фазі або трьох пристроях на трьох фазах без додаткових сполучних пристроїв. Інвертор дозволяє створювати автономні системи живлення потужністю від 15 кВт. Представлений інвертор має набір важливих параметрів, які будуть прийняті для майбутніх розрахунків. Надана інформація оформлена в наступній таблиці:

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.3 - Параметри інвертора Sunny Mini Central 10000TL-10

Параметр	Значення
Номінальна частота	50 Гц
Номінальна напруга (U ном)	220 (180-260) В
Номінальна потужність	10 кВт
Максимальна вхідна напруга	333-500 В (DC)
ККД	98%
Номінальний діапазон робочих температур	-25 ... + 60 °С
Габарити	468 x 613 x 242 мм
Вага	35 кг
Трифазне виконання / паралельне підключення в однофазному виконанні	Так/Так

Вибір інверторів заснований на потужності ФЕС. ФЕС має встановлену потужність 30,4 кВт з рядом сонячних панелей в кількості 152 штуки. Це означає, що з урахуванням встановленої потужності Sunny Mini Central 10000TL-10 10 кВт, це рівняння буде описуватися поруч інверторів:

$$N = \frac{P_{\text{ФЕС}}}{P_{\text{ном}}} = \frac{30,4}{10} \approx 3.$$

Виробники регулюють напругу підключених сонячних панелей, тому максимально допустимий вхідна напруга, вказане в технічних даних інвертора, повинна відповідати напрузі холостого ходу коло сонячної панелі або сумі напруг холостого ходу коло групи послідовно підключених сонячних панелей з запасом не менше 20%. Резервний запас пояснюється наступними умовами [1]:

1. Вхідна напруга, вказане виробником, може бути завищена.
2. Коли сонячна активність висока, напруга холостого ходу коло сонячної панелі може бути вище, ніж вказано виробником.

$$U_{\text{max}}^{\text{СП}} = 1,2 \cdot U_{\text{ХХ}} \cdot N_{\text{посл}} \leq U_{\text{max}}^{\text{инв}},$$

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де U_{xx} - напруга холостого ходу ланцюга сонячної панелі,
 $N_{\text{посл}}$ - кількість сонячних панелей, які з'єднані послідовно, та їхнє
 U_{max} - вхідна напруга для сонячних панелей. Згідно з правилом паралельного і послідовного з'єднання елементів електричних кіл, ряд сонячних панелей повинен задовольняти рівняння (14). Як було описано вище, число інверторів становить три. Це означає, що для кожної фази трифазного автономної системи електро живлення буде один інвертор. Кожен інвертор буде включати вимогу рівняння(14). Таким чином, сонячні панелі будуть пов'язані з наступним чином:

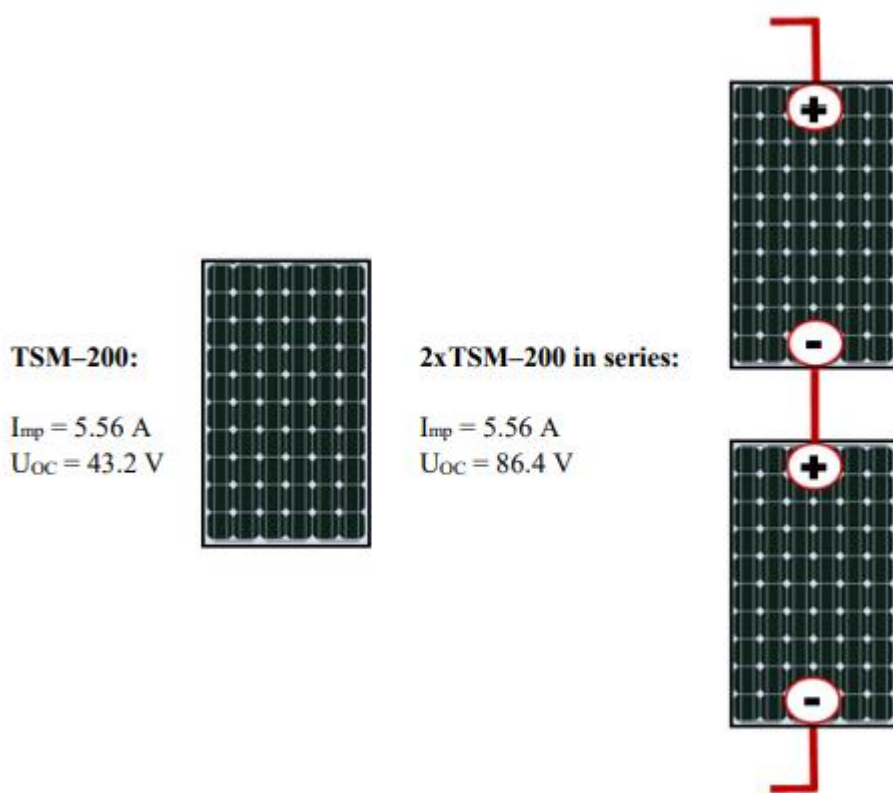


Рисунок 3.5 - Електрична схема підключення сонячних панелей

На підставі рисунка 3.5. порядок підключення сонячних панелей буде наступний: дві панелі послідовно з'єднані в двадцять шість блоків паралельних масивів. Цей масив буде складатися з п'ятдесяти двох сонячних панелей з одним інвертором. Той же принцип буде для залишилася частини інверторів. Необхідно відзначити, що кількість сонячних панелей має бути збільшено до 156 для симетричній структурі масиву.

					<i>КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$U_{\max}^{СП} = 1,2 \cdot 43,2 \cdot 2 = 103,2 \text{ В} \leq 230 \text{ В}.$$

Як ми бачимо, вимога в рівняння (15) виконується. Таким чином, ми використовуємо 156 сонячних панелей з інверторами SMA Sunny Mini Central.

3.1.4 Акумуляторні батареї

Дистанційні системи електроживлення з ФЕС використовуються там, де немає централізованої мережі електропостачання. Щоб забезпечити електроенергію в темний час доби або під час періодів відсутності сонячного світла, буде потрібно акумуляторна батарея. Основними умовами вибору таких пристроїв є [1]:

1. Стійкість до циклічної роботи.
2. Здатність витримувати глибокий розряд.
3. Низький саморозряд.
4. Стійкість до порушення умов заряджання та розряджання.
5. Довговічність.
6. Простота обслуговування.

Важливим параметром малих СЕС є компактність і герметичність. Ці вимоги повністю задовольняються акумуляторними батареями, виготовленими з використанням технологій «dryfit» або рекомбінації з використанням абсорбуючої електроліту (AGM). Вони характеризуються відсутністю експлуатаційних витрат і перебивають діапазон потужностей 1-12 000 А·год. Гази, вироблені під час зарядки, що непокидають акумулятор, тому електроліт не споживається і, отже, обслуговування не потрібно.

Експлуатація акумуляторних батарей з глибоким розрядом призводить до необхідності їх частої заміни. Ціни і технічне обслуговування таких систем значно зростають. Глибина розрядки акумуляторних батарей в сонячних системах, як правило, обмежена на рівні 30-40%, що досягається відключенням навантаження або збільшенням ємності акумулятора. Тому, для управління процесом зарядки, сонячна електростанція повинна включати в себе контролери заряду і розряду.

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.6 - Акумуляторна батарея Delta DTM 12250 L на основі технології AGM [9]

У батареях AGM використовується скловолоконний мат, насичений сірчаною кислотою. Батареї AGM іноді також називають сухими батареями, тому що скловолоконний мат насичений сірчаною кислотою тільки на 95%, в якому немає надлишкової рідини. Акумулятор AGM чистий, наприклад, при транспортуванні, немає необхідності дотримуватися вимог для небезпечних матеріалів. Вони відмінно підходять для АСЕП, вони можуть працювати в досить складних умовах і не текти навіть в разі пошкодження. Їх основним недоліком в порівнянні з рідинними батареями є висока вартість (вони стоять в 2-3 рази більше) [1].

Щоб визначити кількість акумуляторних батарей, необхідно розрахувати надлишкову енергію при виробленні електроенергії через ФЕС. Перевищення виробництва електроенергії від ФЕС по відношенню до споживання відбувається протягом всіх сезонів, але тільки весна і літо мають яскраво виражене перевищення. Грунтуючись на методиці розрахунку [3], ми повинні розглянути самий сонячний сезон за один модульований рік. Модуляція MatLab показує, що весна має максимум інсоляції, через відсутність хмарності протягом сезону. Перевищення енергії генерації завесняний сезон становить 141,1 кВт·год/добу.

Розрахунок ємності блоку акумуляторних батарей з урахуванням допустимої глибини розряду (блок складається з чотирьох батарей, підключених послідовно) визначається за виразом:

					<i>КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$W_{AKB} = U_{ном}^{AKB} \cdot C_{ном}^{AKB} \cdot k_p,$$

де $U_{ном}^{AKB}$ - номінальна напруга акумуляторної батареї, В,

$C_{ном}^{AKB}$ - номінальна ємність акумулятора, А · год,

k_p - обмеження глибини розряду акумуляторної батареї на рівні не менше 40%. Для моделювання була обрана батарея Delta DTM 12250 L [9], яка має такі параметри:

Таблиця 3.4 - Параметри акумуляторної батареї Delta DTM 12250 L

Параметр	Значення
Номінальн ємність	250 А·год
Номінальна напруга	12 В
Строк служби	10 років
Величина саморозряду	3% протягом місяця
Максимальний струм заряду	75 А
Максимальний струм розряду	1250 А
Номінальний діапазон робочих температур	-20 ... + 60 °С
Габарити	520 x 269 x 227 мм
Вага	74 кг
Тип	AGM

Відповідно до рівняння (16) максимальна накопичена енергія з обмеженням 40% складе 4,8 кВт·год для однієї батареї Delta DTM 12250 L. Після цього зауваження, ми можемо звести обчислення до визначення кількості блоків у відповідності з наступним рівнянням:

$$N_{блок} = \frac{W_{AKB}^{понад}}{W_{AKB}} = \frac{141,1}{4,8} = 29,39 \approx 30$$

На підставі рисунка 36 порядок підключення акумуляторних батарей буде таким же, як і для сонячних батарей. Чотири батареї послідовно з'єднані в тридцять блоків паралельних масивів. Один масив буде складатися з сорока

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

батареї з одним інвертором. Той же принцип буде для решти інверторів. Нарешті, кількість акумуляторних батарей становитиме 120 штук.

3.1.5 Дизельна електростанція

Відповідно до інформації, розкритої в другому розділі даної дисертації, дизель-генератори є дуже популярним варіантом НЕ тільки для автономного живлення, але і для широкого спектра інших випадків: аварійне джерело електропостачання, важлива складова частина гібридних систем. Цей спектр призводить до широко представленого ринку різних постачальників ДЕС, що мають різні варіанти встановленої потужності і підключається електроніки. Дизель-генератори виробляються в відкритому або закритому контейнері і можуть встановлюватися на різні ділянки з різними умовами експлуатації.

У даній роботі було прийнято рішення забезпечити поселення двома новими одиницями дизель-генераторів. Вони можуть покривати необхідну навантаження, де два з них складають по 16 кВт (один в резерві) і вже встановлений 60 кВт відповідно. Згідно з інформацією з першого розділу, с. Токма має дизельний генератор потужністю 30 кВт з незадовільним станом роботи. Два дизельних генератора потужністю 16 кВт будуть встановлені замість 30 кВт. Ця заміна, заснована на інтеграції нових джерел (ФЕС і акумуляторних батарей), веде до збільшення навантаження дизельного генератора. Це означає, що оптимальне співвідношення навантаження дизельного генератора становитиме від 40% до 80% на відміну від старого дизельного генератора потужністю 30 кВт, який завантажується з ВДЕ менш ніж на 30%.

Представлений дизельний генератор має ряд важливих параметрів, які будуть прийняті для майбутніх розрахунків економічних вигод. Дана інформація оформлена в наступній таблиці:

					<i>КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.5 - Параметри ДЕС АД-16-Т400-Р1 [10]

Параметр	Значення
Номінальн потужність	16 кВт
Оперативний резерв	18 кВт
Вихідний струм	3-фазний / 400 В / 50 Гц
Втрати палива (75% місць)	5,2 л / ч
Обсяг паливного бака	200 л
Автономний режим роботи	38,6 л
Габарити	1810 x 1020 x 1550 мм
Вага	950 кг
Питома втрата палива (100% завантаження)	220 г/кВт·год

Як показано в Таблиці 3.5, для гібридної системи цей дизель-генератор відповідає всім вимогам. Спів відношення навантаження знаходиться в межах 40-80%, і ми можемо використовувати цей генератор для моделювання. Він буде працювати для всього діапазону ефективно. Дизель-генератор - це легко регульований джерело енергії для поселення. Однак в разі, якщо навантаження збільшиться, буде потрібно нове обладнання, оскільки існуючий генератор буде працювати в умовах, близьких до номінальної потужності більшу частину часу.

					<i>КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

стабільність напруги в точках підключення споживачів електроенергії.

Результат відхилення напруги в автономній системі з ФЕС і без ФЕС підсумовані в таблиці нижче:

Таблиця 3.6 - Результати скорочення відхилень напруги

Фаза модельованого дня	Єдина ФЕС			
	Зимове відхилення,%		Літній відхилення,%	
	з ФЕС	без ФЕС	з ФЕС	без ФЕС
Ніч	1,82	1,82	1,36	1,36
Ранок	0,45	5,91	0,45	4,55
День	0,45	2,73	0,45	2,27
Вечір	1,36	14,09	0,91	11,82

Необхідно додати ще один результат розподіленого монтажного виконання ФЕС по всій довжині лінії електропередачі. Ця інтеграція полягає з декількох невеликих ФЕС з певною кількістю сонячних панелей. Кількість сонячних панелей було прийнято на основі пропорційної величини споживання кожної навантаження. коли напруга подається, в лінії електропередачі тече не нульовий струм, який прямо пропорційний споживаної потужності поселення в певний час. В середині лінії передачі є постійне електричне поле, яке надає руху заряди уздовж провідника. Електричне поле провідника (Лінії передачі) завжди направлено на який зменшується потенціал, або можна сказати, що електричне поле - це мінус градієнта потенціалу. Результати моделювання показали, що чим ближче до джерела напруги, тим більше потенціал провідної поверхні. Відповідний варіант з розподіленим монтажним виконанням ФЕС уздовж лінії передачі у вигляді малих станцій показав практично ті ж результати, що і при єдиній ФЕС. Цей варіант вимагає більшої кількості обладнання і може бути виправданий тільки з позитивним економічним обґрунтуванням.

Результати показали, що використання потужності від єдиної ФЕС з акумуляторними батареями на величині половини номінальної навантаження

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

системи зменшить падіння напруги в кінці лінії на 4-10%. Це досягається підключенням ФЕС на відстань від ДЕС, яке становить не менше половини загальної довжини лінії електропередачі [20]. Значно скорочується також величина втрат. Це скорочення за кожен сезон наводиться в наступній таблиці:

Таблиця 3.7 - Результати скорочення втрат електроенергії в лінії

Сезон	Скорочення, %
Зима	-7,8
Весна	-4,1
Літо	-2,8
Осінь	-5,4

Ефективність використання ФЕС в АСЕП без систем зберігання енергії істотно обмежена умовами роботи мережевих інверторів. Щоб стабілізувати напругу в енергосистемі і зменшити втрати електроенергії, рекомендується використовувати ФЕС з системами зберігання енергії і підключати їх ближче до кінця лінії розподілу або до точки підключення найпотужнішого споживача. Потужність генерації ФЕС обмежена половиною максимальної потужності споживання електроенергії [20].

					<i>КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Організація охорони праці на підприємстві

Охорона праці – це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці.

Дія закону “Про охорону праці” поширюється на всі підприємства не залежно від форм властивості та видів їх діяльності, а також на всіх громадян, які працюють на цих підприємствах.

Організацією охорони праці на підприємстві займається власник (керівник). Для цього він забезпечує функціонування систем управління охороною праці:

- 1) створює відповідні служби і призначає посадових осіб, відповідальних за вирішення питань з охорони праці;
- 2) забезпечує усунення причин, що призводять до нещасних випадків і профзахворювань;
- 3) здійснює постійний контроль за дотриманням працівниками правил експлуатації машин, механізмів, обладнання;
- 4) здійснює контроль за користуванням та індивідуальними засобами захисту;
- 5) при виникненні надзвичайних ситуацій і нещасних випадків, власник зобов'язаний вжити термінових засобів для допомоги потерпілим.

Служба охорони праці підпорядковується безпосередньо директору підприємства і виконує наступні функції:

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Василенко Б.М.			БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Філюк Я.О.						
Консульт.								
Н. Контр.		Вакуленко О.О.						
Затверд.		Тарасенко М.Г.						
						ТНТУ, гр.ЕТс-41		

- проводить керівництво роботою з охорони праці;
- забезпечує інструкціями, стандартами та іншими нормативними документами;
- веде облік і аналіз нещасних випадків і профзахворювань;
- бере участь у розслідуванні нещасних випадків;
- забезпечує колективними та індивідуальними засобами захисту працюючих;
- забезпечує проведення навчання та інструктажів з охорони праці, своєчасне проведення атестацій і переатестацій робітників, які виконують роботи підвищеної небезпеки.

Навчання та інструктаж працівників з питань охорони праці проводиться з працівниками, які поступають на роботу, та в процесі їх трудової діяльності.

За характером і часом проведення інструктажі з питань охорони праці поділяються на: вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий.

Вступний інструктаж проводиться з усіма щойно прийнятими на роботу працівниками, з учнями та студентами, які проходять практику.

Первинний інструктаж проводиться на робочому місці з новоприйнятими працівниками, або з групою осіб однієї спеціальності.

Повторний інструктаж проводиться з усіма працівниками на робочому місці через певні проміжки часу.

Позаплановий інструктаж проводиться у випадках введення в дію нових актів про охорону праці, заміні або модернізації устаткування, при порушенні працівником вимог охорони праці.

Цільовий інструктаж проводиться з працівниками при виконанні разових робіт, які пов'язані з обов'язками за фахом.. Цільовий інструктаж фіксується наряд-допуском, що дозволяє проведення робіт.

Усі інструктажі проводяться керівником робіт (начальником дільниці, майстром).

Про проведення інструктажів, стажуванню та допуск до роботи особа, яка проводила інструктаж, робить запис у журнал. При цьому обов'язкові підписи

					<i>КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

того, хто проводить інструктаж, і того, хто інструктував. Журнали інструктажів повинні бути пронумерованими, прошнурованими і скріплені печаткою.

Керівник підприємства зобов'язаний видати працівникові примірник інструкції з охорони праці за його професією, або вивісити її на робочому місці.

Робоче місце – це зона обслуговування окремим робітником відповідно визначеного місця технологічного процесу. Розмір зони залежить від особливостей технологічного процесу.

З метою економії сил і часу робітника, підвищення його працездатності необхідно раціонально облаштувати робоче місце: раціонально розмістити засоби управління контролю виробничим процесом, забезпечити механізацією та автоматизацією праці.

4.2. Інфрачервоне випромінювання та особливості його дії на організм людини

До інфрачервоних випромінювань належать електромагнітні випромінювання (ЕМВ) невидимої частини спектра, що знаходяться в діапазоні довжини хвилі $\lambda=0,78-1000$ мкм.

Джерелом інфрачервоного випромінювання є будь-яке тіло, температура поверхні якого перевищує температуру абсолютного нуля (-273°C). Спектральний склад випромінювань інфрачервоного діапазону залежить від температури поверхні тіла. Чим вища температура тіла, тим коротша довжина випромінюваної електромагнітної хвилі. Вплив інфрачервоного випромінювання на людину залежить від довжини хвилі, що випромінюється, й від глибини проникнення променів. В залежності від цього інфрачервоне випромінювання поділяють на три ділянки: А,В,С.

А – ближня (короткохвильова) – характеризується високою проникністю крізь шкіру $\lambda=0,78-1,4$ мкм;

В – середня (середньохвильова) – поглинається шарами дерми та підшкірною жировою тканиною $\lambda=1,4-3,0$ мкм;

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

C – далека (довгохвильова) – поглинається епідермісом $\lambda=3,0-1000$ мкм.

Інфрачервоне випромінювання, що потрапляє на тіло людини, впливає, перш за все, на незахищені його ділянки (обличчя, руки, шию, груди, очі). Основним його проявом є тепло, яке проникає на деяку глибину в тканини. Тіло людини може витримувати інфрачервоне випромінювання певної густини потоку енергії, яка вимірюється в $\text{Вт}/\text{м}^2$. Так, при густині потоку випромінювання величиною $280-260 \text{ Вт}/\text{м}^2$ відчувається ледь помітне тепло. Його людський організм може витримувати тривалий час без будь-яких змін у його функціональному стані. При густині потоку випромінювання величиною $560-1050 \text{ Вт}/\text{м}^2$ настає межа, коли людина не витримує дію інфрачервоного випромінювання. Знаходження людини протягом тривалого періоду часу в зоні інфрачервоного випромінювання значної потужності, як і при дії високих температур, впливає на центральну нервову систему, серцево-судинну систему (збільшується частота серцебиття, змінюється артеріальний тиск, прискорюється дихання), порушує тепловий баланс в організмі, що призводить до посиленого потовиділення, втрати необхідних для організму людини солей. Діючи на очі, інфрачервоне випромінювання викликає помутніння кришталика, опік сітківки, кон'юнктивіти.

Нормована допустима густина потоку енергії інфрачервоного випромінювання на робочому місці залежить від ділянки випромінювання.

Для ділянки А нормована густина потоку енергії не повинна перевищувати $100 \text{ Вт}/\text{м}^2$ при опроміненні 50% тіла і більше.

Для ділянки В - $120 \text{ Вт}/\text{м}^2$ при опроміненні поверхні тіла в межах 25-50%.

Для ділянки С - $150 \text{ Вт}/\text{м}^2$, якщо опромінюється не більше 25% поверхні тіла.

Для захисту людини від інфрачервоного випромінювання при перебуванні в приміщеннях з установками для імпульсного опромінення рослин використовують декілька способів.

					<i>КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Захист відстанню. Цей спосіб полягає в тому, що при віддаленні від джерела випромінювання густина потоку енергії зменшується пропорційно відстані до нього.

Захист часом передбачає обмеження перебування людини в зоні інфрачервоного випромінювання.

Теплоізоляція джерела випромінювання передбачає застосування конструкторських та технологічних рішень, направлених на теплоізоляцію випромінювальної поверхні матеріалами (скловата, цегла), що знижують температуру поверхні випромінювання.

Екранування джерела випромінювання полягає у використанні непрозорих або напівпрозорих екранів, які можуть бути відбиваючими або теплопоглинаючими. Для охолодження використовують водяні завіси з водяної плівки.

Індивідуальні засоби захисту: спецвзуття, спецодяг, який витримує високі температури і захищає від інфрачервоних випромінювань, який водночас є м'яким і повітронепропускним (брезент, сукно). Для захисту очей використовують спеціальні окуляри зі скельцями жовто-зеленого або синього кольору.

4.3. Штучне освітлення виробничих приміщень, його нормування та види

Штучне освітлення може бути загальним та комбінованим. Загальним називають освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення (не нижче 2,5 м над підлогою) рівномірно (загальне рівномірне освітлення) або з врахуванням розташування робочих місць (загальне локалізоване освітлення). Комбіноване освітлення складається із загального та місцевого. Його доцільно застосовувати при роботах високої точності, а також, якщо необхідно створити певний або змінний, в процесі роботи, напрямок світла. Місцеве освітлення створюється світильниками, що концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях. Застосування лише місцевого освітлення не допускається з огляду на небезпеку виробничого травматизму та професійних захворювань.

КРБ 19-019.00.00.00 113

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
------	------	----------	--------	------

За функціональним призначенням штучне освітлення поділяється на робоче, аварійне, евакуаційне, охоронне, чергове.

Штучне освітлення передбачається у всіх виробничих та побутових приміщеннях, де недостатньо природного світла, а також для освітлення приміщень в темний період доби. При організації штучного освітлення необхідно забезпечити сприятливі гігієнічні умови для зорової роботи і одночасно враховувати економічні показники.

Найменша освітленість робочих поверхонь у виробничих приміщеннях регламентується СНиП II-4-79 і визначається, в основному, характеристикою зорової роботи. Норми носять міжгалузевий характер. На їх основі, як правило, розробляють норми для окремих галузей промисловості.

В СНиП II-4-79 вісім розрядів зорової роботи, із яких перших шість характеризуються розмірами об'єкта розпізнавання. Найбільша нормована освітленість складає 5000 лк (розряд Ia), а найменша — 30 лк (розряд УШв).

					<i>КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У представленій кваліфікаційній роботі була розглянута і спроектована система електропостачання бази відпочинку.

У першому розділі ми пропонуємо загальний опис значення РГ, огляд літератури, що відноситься до РГ, а також міжнародний досвід на прикладах Німеччини, США, Китаю. На основі рівня законодавства в країнах, які були представлені вище, всі вони мають зв'язок між урядом і власниками ВДЕ. Програми надійних стимулів державної підтримки в поєднанні з відносно високими тенденціями роздрібної торгівлі, прогресивними і адаптивними технологіями для виробництва ВДЕ привели США і Німеччину до лідируючих позицій щодо встановленої потужності розподіленої фотоелектричної генерації. Це зростання, а також розвиток накопичувальних акумуляторів, зростання ринку електромобілів і інших технологій розподіленої енергії також привели до кількох успішних дій уряду, які спровокували ряд пропозицій і реалізації проектів ВДЕ.

У другому і третьому розділах представлено структуру гібридної автономної енергосистеми в MatLab і техніко-економічний аналіз. В даних розділах наводиться загальний опис обладнання, яке використовувалося для моделювання перехідних процесів. Результати моделювання включають в себе випадки єдиної ФЕС і розподілене монтажне виконання конструкції. Також було обговорено проблеми з якістю електроенергії і втратами електроенергії в сільських мережах. Ці результати порівнюються з випадком АСЕП без ВДЕ.

Коли ДЕС використовується без ФЕС, ми виявляємо, що рівень напруги в кінці лінії передачі зменшується на 6% і 5% в зимовий і літній час відповідно.

Додаткове джерело живлення у вигляді ФЕС допомагає перерозподіляти електроенергію між ДЕС і ФЕС. Грунтуючись на вплив ФЕС, ми пропонуємо змінити поточне значення напруги на різних ділянках лінії передачі. Ця інтеграція

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата						
Розроб.		Василенко Б.М.			ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Філюк Я.О.								
Консульт.										
Н. Контр.		Вакулєнко О.О.								
Затверд.		Тарасенко М.Г.								
					ТНТУ, гр.ЕТс-41					

зменшує втрати потужності в провідниках і забезпечує більшу стабільність напруги в точках підключення споживачів електроенергії. Результати показують, що використання потужності від єдиної ФЕС з акумуляторними батареями нарівні половини номінальної навантаження системи, зменшить падіння напруги в кінці лінії на 4-10%. Це досягається шляхом підключення ФЕС на відстані від ДЕС, яка складає не менше половини загальної довжини лінії електропередач. Ефективність використання ФЕС в автономних енергосистемах без систем зберігання енергії істотно обмежена умовами роботи мережевих інверторів. Щоб стабілізувати напругу в енергосистемі і зменшити втрати електроенергії, рекомендується використовувати ФЕС з системами зберігання енергії і підключати їх ближче до кінця лінії розподілу або до точки підключення найбільшого споживача.

					<i>КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Лукутин Б.В., Муравлев И.О., Плотников И.А. *Децентрализованные системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учебное пособие* / Б.В. Лукутин, И.О. Муравлев, И.А. Плотников - Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. - 100 с.
2. Wood J. *Local Energy: Distributed generation of heat and power*. London: The Institution of Engineering and Technology, 2008.
3. Удалов С.Н. *Возобновляемые источники энергии: учебное пособие* / С.Н. Удалов - 3-е изд., перераб. доп. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2014. - 459 с.
4. Evans L.R. *Fueling Our Future: An Introduction to Sustainable Energy*. New York: The United States of America by Cambridge University Press, 2007.
5. Dugan R.C., McGranaghan M.F., Santoso S., Beaty H.W. *Electrical Power Systems Quality*. Digital Engineering Library: The McGraw-Hill Companies, 2004.
6. Nysten-Haarala S. *The changing governance of renewable natural resources in northwest Russia*. Farnham: Ashgate Publishing Limited, 2008.
7. Елистратов В.В. *Автономное энергоснабжение*: Режим доступа: [//postnauka.ru/video/62744](http://postnauka.ru/video/62744)
8. Энергетическая стратегия России на период до 2035 года.. Режим доступа: http://www.energystrategy.ru/ab_ins/source/ES-2035_09_2015.
9. ЛЫКИН А.В. *Электрические системы и сети: учебное пособие* / А.В. ЛЫКИН - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2002. - 248 с.
10. ГОСТ Р 54531-2011. *Альтернативные технологии. Возобновляемые и альтернативные энергетические ресурсы. Термины и определения*. - М.: Стандартинформ, 2013. Режим доступа: <http://gostexpert.ru/data/files/54531-2011/70239.pdf>

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ					
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ					
Розроб.		Василенко Б.М.						Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Філюк Я.О.								66
Консульт.								ТНТУ, гр.ЕТс-41		
Н. Контр.		Вакуленко О.О.								
Затверд.		Тарасенко М.Г.								

11. Localized power generation: S&P Global Platts Режим доступа: <https://www.platts.com/newsfeature/2013/electricpower/powergen/local>
12. Total energy consumption: Enerdata. Global Energy Statistical Yearbook 2017 Режим доступа: <https://yearbook.enerdata.net/total-energy/world-consumption-statistics.html>
13. Standard for Interconnecting Distributed Resources IEEE 1547. New York, the Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. Publishing, 2003. Режим доступа: http://grouper.ieee.org/groups/scc21/1547/1547_index.html
14. Ran Fu, Feldman D., Margolis R., Woodhouse M., Ardani K. U.S. *Solar Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 2017*. National Renewable Energy Laboratory (NREL) Prepared under Task No SETP.10308.03.01.10, 2017. Technical report. Режим доступа: <https://www.nrel.gov/docs/fy17osti/68925.pdf>
15. Cintuglu M.H., Altamirano A, Mohammed O.A. *Modeling of PV Based Distributed Generator Systems with Diverse Load Patterns*. The 12th Latin American and Caribbean Conference for Engineering and Technology. Miami, 2014.
16. Amaresh K., Sankar V. *Modeling of Photovoltaic System Interconnected with Radial Distribution System using MATLAB/SIMULINK*. In International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) 3/2013. Режим доступа: http://www.ijeit.com/Vol%203/Issue%203/IJEIT1412201309_39.pdf
17. Krismadiata, Narsudin A.R., Ping H.W., Selvaraj J. *Photovoltaic module modeling using simulink/matlab*. The 3rd International Conference on Sustainable Future for Human Security SUSTAIN 2012. Malaya, 2012.
18. Rodriguez J.R., Ruiz F., Biel D., Guinjoan F. *Simulation and analysis of distributed PV generation in a LV network using MATLAB-Simulink*. Circuits and Systems (ISCAS), Proceedings of 2010 IEEE International Symposium on. Paris, 2010.
19. 1.3 Billion are living in the dark: The Washington Post. Режим доступа: <https://www.washingtonpost.com/graphics/world/world-without-power/>

					КРБ 19-019.00.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		