

ЖИТОМИРСЬКИЙ АГРОТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ

Відділення "Електрифікація та інформаційні системи"

Кафедра "Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка"

До захисту допущено
завідувач кафедри

Інна НЕЗДВЕЦЬКА

“ ____ ” ____ 2024 року

Пояснювальна записка

до дипломного проекту

освітньо-професійний ступінь: фаховий молодший бакалавр

спеціальність: 141 “ Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка ”

на тему: “ Проект системи альтернативного енергозабезпечення приватного
будинку на базі сонячної електростанції з даховим розміщенням фото-
модулів ”

Виконав: студент IV курсу, групи Е-42

спеціальності

141 “Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка”

_____ Валерій ЖУРАВСЬКИЙ

Керівник проекту _____ Богдан АНТИПЧУК

Рецензент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

м. Житомир – 2024 року

ЖИТОМИРСЬКИЙ АГРОТЕХНІЧНИЙ ФАХОВИЙ КОЛЕДЖ

Відділення "Електрифікація та інформаційні системи"
Кафедра "Електроенергетика, електротехніка
та електромеханіка"
галузь знань 14 "Електрична інженерія"
спеціальність 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"
освітньо-професійний ступінь: фаховий молодший бакалавр

ЗАТВЕРДЖУЮ
завідувач кафедри
Інна НЕЗДВЕЦЬКА

“ ____ ” _____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ СТУДЕНТУ

Журавському Валерію Олександровичу

1. Тема дипломного проекту “Проект системи альтернативного енергозабезпечення приватного будинку на базі сонячної електростанції з даховим розміщенням фото-модулів” та керівник дипломного проекту Антипчук Богдан Олександрович, затверджені наказом навчального закладу від 25 жовтня 2023 року, №434у.
2. Строк подання студентом проекту “__” червня 2024 року.
3. Вихідні дані до роботи: план даху приватного будинку.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити):
 - Вступ;
 - Характеристика поновлювальних джерел енергії;
 - Система альтернативного енергозабезпечення приватного будинку;
 - Економічна частина;
 - Охорона праці та техніка безпеки;
 - Висновки.
5. Перелік візуального та графічного матеріалу:
 - Схема електрична структурна. Система альтернативного енергозабезпечення приватного будинку на базі сонячної електростанції з даховим розміщенням фото-модулів.
 - Схема електрична принципова. Підключення сонячних фото-модулів до контролера заряду/розряду та інвертора.

- Схема електрична принципова. Щит АВР на базі пристрою введення резерву CHINT, модель NXZB-63H/4C.

6. Консультанти розділів проекту:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Вступ	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	25 жовтня 2023р.	
Розділ 1	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	25 жовтня 2023р.	
Розділ 2	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	25 жовтня 2023р.	
Розділ 3	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	25 жовтня 2023р.	
Розділ 4	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	25 жовтня 2023р.	
Висновки	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	25 жовтня 2023р.	
ГЧ та технічна документація.	Антипчук Б. О.– викладач спеціальних дисциплін	25 жовтня 2023р.	

7. Дата видачі завдання “25” жовтня 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1.	Вступ.	9.11.2023р.	
2.	Розділ 1	30.11.2023р.	
3.	Розділ 2	20.12.2023р.	
4.	Розділ 3	29.01.2024р.	
5.	Розділ 4	29.02.2024р.	
6.	Висновки	27.03.2024р.	
7.	Графічна частина та технічна документація	29.05.2024р.	

Студент: _____ Валерій ЖУРАВСЬКИЙ

Керівник проекту: _____ Богдан АНТИПЧУК

[illegible]

“ Проект системи альтернативного енергозабезпечення приватного будинку на базі сонячної електростанції з даховим розміщенням фото-модулів ”

РЕФЕРАТ

Дипломний проект складається із 82 листів пояснювальної записки, яка включає чотири розділи та графічну частину виконану на 3 листах формату А1 креслярського паперу.

У першому розділі проведено порівняння різних типів поновлюваних джерел енергії та обґрунтовано переваги використання саме сонячних фото-модулів (сонячних панелей).

У другому розділі проведено порівняльний аналіз різних типів фотоперетворювачів, розраховано їхню необхідну кількість та вибрано їх тип і модель; обґрунтовано вибір схеми електропостачання приватного будинку на базі дахового розміщення фото-модулів та типу і моделі інвертора, а також проведено розрахунок та розробку схеми підключення фото-модулів до інвертора. Розраховано та вибрано типи, моделі контролера заряду/розряду, акумуляторних батарей, пристрою АВР, лічильника електроенергії та кабелів для реалізації поставленого завдання в дипломному проекті.

У третьому розділі проведено економічний розрахунок розробленої системи альтернативного енергозабезпечення приватного будинку на базі сонячної електростанції з даховим розміщенням фото-модулів та обґрунтовано її економічну доцільність.

У четвертому розділі охарактеризовано вплив системи електропостачання за допомогою фотоперетворювальних систем на навколишнє середовище та описано охорона праці при монтажі обладнання, яке використовується у дипломному проекті та пожежну безпеку, при його експлуатації.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПОНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ	12
1.1 Типи поновлювальних джерел енергії	12
1.2 Переваги використання сонячних панелей	14
2 СИСТЕМА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИВАТНОГО БУДИНКУ	16
2.1 Вибір сонячних панелей для реалізації системи енергозабезпечення	16
2.1.1 Характеристика, будова та принцип роботи сонячних панелей	16
2.1.2 Порівняння різних типів сонячних панелей	19
2.1.3 Розрахунок кількості та вибір типу сонячних панелей	23
2.2 Вибір схеми електропостачання приватного будинку	31
2.3 Вибір способу з'єднання сонячних панелей та типу інвертора	36
2.3.1 Основні типи інверторів	36
2.3.2 Вибір інверторів та схеми їх підключення	39
2.4 Акумуляторні батареї	46
2.4.1 Типи акумуляторних батарей	46
2.4.2 Розрахунок кількості та вибір типу акумуляторних батарей	49
2.5 Контролер заряду / розряду	52
2.5.1 Існуючі типи контролерів заряду / розряду	52
2.5.2 Вибір типу контролера заряду / розряду акумуляторних батарей	53
2.6 Вибір пристрою автоматичного введення резерву	55
2.7 Вибір лічильників обліку електричної енергії	57
2.8 Вибір кабелів з'єднання	59
3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	62

					ДП.141.042.018.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата				
Розробив		Журавський В.						
Перевір		Антипчук Б.О.						
Н. Контр.		Антипчук Б.О.						
Затв.		Лавріщев О.О.						
					Літ.		Арк.	Аркушів
					У		6	82
					ЖАТФК, Гр. Е-42			

3.1 Динаміка вартості технологій відновлюваної енергетики	62
3.2 Розрахунок капітальних затрат	63
3.3 Розрахунок експлуатаційних витрат	66
3.4 Розрахунок терміну окупності розробленої систем	68
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ	72
4.1 Вплив системи електропостачання за допомогою фото-модулів на навколишнє середовище	72
4.2 Охорона праці при монтажі обладнання	73
4.3 Протипожежна безпека	75
ВИСНОВКИ	77
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ	78
ДОДАТКИ	80

ВСТУП

Електроенергетика є однією з основних галузей економіки України. Надійне та ефективне функціонування цієї галузі, стабільне постачання споживачів електричною та тепловою енергією, є ключовими для розвитку економіки країни та забезпечення комфортних умов життя населення. За розмірами, енергетична система України є шостою в Європі, поступаючись лише Німеччині, Франції, Італії, Іспанії та Великобританії.

У склад об'єднаної енергетичної системи (ОЕС) України входять електростанції енергогенеруючих компаній: 14 теплових електростанцій (ТЕС), 4 атомних електростанцій (АЕС), 7 гідроелектростанцій (ГЕС), 3 гідроакумулюючі електростанції (ГАЕС), а також 97 теплових електростанцій (ТЕЦ), малі гідроелектростанції (ГЕС), вітрові електростанції (ВЕС), сонячні електростанції (СЕС) та інші. Також до ОЕС входять магістральні електромережі ДП "НЕК "Укренерго" та розподільчі електромережі регіональних енергопостачальних компаній. ОЕС України забезпечує енергопостачання власних споживачів і взаємодіє з енергосистемами сусідніх країн, здійснюючи експорт та імпорт електроенергії.

Умовна структура виробництва електроенергії в Україні складається наступним чином: атомні електростанції виробляють – 43,1 %; гідроелектростанції і ГАЕС – 7,3%; ТЕС і ТЕЦ – 49%; інші – 0,6%; інші джерела енергії – 0,6%. До інших належать відновлювальні джерела енергії: вітряні електростанції, енергія сонця, біомаса [6].

Україна має велику територію та енергоємні галузі промисловості. Високий потенціал підвищення енергоефективності в промисловості пояснюється застосуванням застарілих технологій та обладнання.

					<i>ДП.141.042.018.ПЗ</i>		
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	<i>ВСТУП</i>		
Розробив		Журавський В.					
Перевір		Антипчук Б.О.					
Н. Контр.		Антипчук Б.О.					
Затв.		Лавріщев О.О.			<i>ЖАТФК, гр. Е-42</i>		
					Лім.	Арк.	Аркушів
					У	8	82

Наприклад, у 2016 році промисловість спожила 49 млрд. 821,9 млн. кВт·год., сільськогосподарські підприємства – 3 млрд. 515,6 кВт·год., а населення – 35 млрд. 693,2 млн. кВт·год. [6]. Крім того, Україна експортує електроенергію до країн Європи. Отже, основні причини енергоємності економіки України такі:

- висока частка енергоємних галузей економіки;
- слабкий енергетичний менеджмент;
- використання застарілих технологій у виробництві та високий рівень зношеності основних фондів обладнання;
- низька ефективність використання енергії.

Активне впровадження в економіку нашої країни поновлюваних джерел енергії допоможе підвищити енергоефективність.

Україна має великий потенціал використання відновлюваних джерел енергії, таких як гідроенергетика, вітрова і сонячна енергетика, завдяки своїм кліматичним умовам. Проте, на жаль, цей потенціал ще не повністю використовується. Наразі, відновлювальні джерела енергії становлять менше 1% в енергетичному балансі України [6].

Основними мотивуючими чинниками для розвитку сфери нетрадиційної енергетики в Україні мають стати: забезпечення якісного електропостачання споживачів; зменшення загроз для життя населення, які можуть виникнути через атомні електростанції; захист екосистеми шляхом зменшення залежності від вугілля у виробництві електроенергії; обмеження втрат у лініях електропередачі та підвищення стабільності і надійності за допомогою встановлення розподілених електростанцій, які використовують відновлювані джерела енергії.

Однак використання відновлювальних джерел енергії має свої особливості. По-перше, потрібні відповідні кліматичні умови; по-друге, підтримка нових енергетичних технологій на рівні держави; по-третє, деякі технології ще не досить розвинені або не є соціально прийнятними для населення за показниками вартості. Також проблемою є те, що деякі

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технології потребують включення в стратегії і плани таким чином, щоб фінансові ресурси для їх освоєння були доступні для проектування, виробництва і впровадження, але у деяких випадках, навіть якщо готові технології визнаються прийнятними, необхідно мати структури для їх розміщення, обслуговування, усунення несправностей та поломок.

Основні напрямки державного регулювання в галузі підтримки використання поновлюваних джерел енергії включають:

- створення сприятливих умов для будівництва та експлуатації об'єктів з використання поновлюваних джерел енергії;
- стимулювання виробництва електричної енергії з використанням відновлюваних джерел енергії; надання інвестиційних преференцій для будівництва та експлуатації об'єктів з використання поновлюваних джерел енергії;
- створення сприятливих умов для ефективної інтеграції об'єктів по використанню поновлюваних джерел енергії в єдину електроенергетичну систему і ринок електричної енергії України;
- створення сприятливих умов для ефективної інтеграції об'єктів по використанню поновлюваних джерел енергії в єдину електроенергетичну систему і ринок електричної енергії України.

Сонячна енергія є найбезпечнішим джерелом енергії на Землі. У нашій країні є великий потенціал у цій галузі. Найбільш освітлювані зони знаходяться ближче до екватора, такі як Крим і Одеська область, де можна отримати 1350 кВт·год. з одного метра квадратного на рік. На мапі України також є зони, з яких вчені сподіваються отримати 1250 кВт·год. з метра квадратного на рік, а найменш прогнозовані території можуть забезпечити від 1150 кВт·год. до 1000 кВт·год. [10].

Розвиток вітчизняної сонячної енергетики підтримується наявністю в Україні розроблених кремнієвих сонячних батарей високої ефективності. Важливим досягненням є також Центр випробувань фотоперетворювачів, який атестований Держстандартом України і розташований в Інституті

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

фізики напівпровідників НАН України, що користується попитом у зарубіжних організацій.

Технологія використання сонячної енергії має кілька напрямків. Перший напрямок полягає у прямому перетворенні енергії випромінювання в видимій частині спектру в електричну енергію за допомогою фотоперетворювачів. Другий напрямок включає отримання низької потенціальної енергії шляхом використання довгохвильової частини спектру для нагрівання води. Третій напрямок передбачає отримання концентрованої теплової енергії для виробництва високотемпературної водяної пари, яка потім використовується в паротурбінному циклі.

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПОНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

1.1 Типи поновлювальних джерел енергії

Криза 70-х років була першим ознакою енергетичної кризи, що спричинила значний інтерес до поновлюваних джерел енергії. Експлуатація природних невідновлюваних джерел енергії, таких як нафта, газ, вугілля та уран, призвела до їх виснаження і екологічної небезпеки, особливо від атомних і теплоелектростанцій. Саме ці фактори сприяли зростанню інтересу до поновлюваних джерел енергії, таких як сонячна енергія, енергія вітру, гідроенергія та енергія біомаси. Сонячна енергія може бути перетворена на доступні для використання форми за допомогою двох методів: фотоелектричного (пряме перетворення світлової енергії в електричну) та фото-термічного (перетворення світлової енергії в теплову, а потім, при необхідності, в електричну за допомогою пари, наприклад).

Використання поновлюваних джерел енергії дозволяє подолати проблему обмеженості ресурсів енергії. Ці джерела енергії забезпечують достатньо ресурсів для задоволення потреб людства як у сучасності, так і у майбутньому. Широке використання цих джерел дозволить також вирішувати проблеми екології. Яке саме з цих джерел енергії буде найбільш поширеним, визначить майбутнє, але вже сьогодні можна проаналізувати передумови для цього.

Порівняння поновлюваних джерел енергії буде здійснюватися за двома основними параметрами: площа, яку вони займають, та віддача електроенергії.

У таблиці 1.1 наведені питомі потужності різних типів електростанцій (з урахуванням площ, займаних спорудами і будівлями).

					ДП.141.042.018.ПЗ					
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата						
Розробив	Журавський В.				1 ХАРАКТЕРИСТИКА ПОНОВЛЮВАЛЬНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ			Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір	Антипчук Б.О.							У	12	82
								ЖАТФК, гр. Е-42		
Н. Контр.	Антипчук Б.О.									
Затв.	Лавріщев О.О.									

Території, зайняті під видобуток вугілля і руди, були враховані для теплових і атомних станцій. Площі виробництв будівельних і конструкційних матеріалів не були враховані, оскільки вони були приблизно однакові для всіх типів станцій. Очікується, що питома потужність атомних станцій зменшиться за рахунок збільшення територій, зайнятих під поховання відходів. Для сонячних станцій, особливо фотоелектричних, цей показник повинен збільшуватися за рахунок покращення ККД перетворювачів і більшого використання можливості розміщення їх на дахах будівель.

Таблиця 1.1 – Питомі потужності різних типів електростанцій [7]

Тип електростанції	Питома потужність, МВт/км ²
1	2
Сонячні станції	50...100
Вітрові станції	ДО 15
Гідроелектричні станції	ДО 10
Енергія біомаси	ДО 5
Теплові станції	ДО 30
Атомні станції	60...120

Віддача електроенергії визначається як співвідношення кількості енергії, виробленої системою протягом її терміну служби, до кількості енергії, витраченої на виробництво матеріалів та обладнання для цієї системи. Цей показник є основним для майбутнього повного переходу на поновлювані джерела енергії, оскільки він характеризує реальний приріст енергії до загального балансу (див. таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 – Віддача електроенергії різних типів електростанцій [7]

Тип станцій	Віддача електроенергії, %
1	2
Сонячні станції	20...100; 10...50
Вітрові станції	понад 20
Енергія біомаси	понад 20
Теплові станції	понад 15
Атомні станції	6...13

З таблиці 1.2 видно, що сонячні станції мають найкращу віддачу електроенергії, і це значення очікується збільшити в майбутньому. Використання фотоелектрики дозволяє отримувати поновлювану енергію і витрачати мінімальну кількість невідновлюваних матеріалів, за винятком деревини. Крім того, в Україні є достатньо запасів основного матеріалу - кремнію, який використовується для виготовлення скла і сонячних елементів. Тому, для досягнення мети даного дипломного проекту буде використаний саме такий тип станції.

1.2 Переваги використання сонячних панелей

Однією з основних переваг сонячних панелей є їх висока надійність. Вони ефективно використовують як пряме, так і розсіяне (дифузне) сонячне випромінювання. Важливо також, що вони мають низькі поточні витрати, оскільки фотоелементи працюють на безкоштовному паливі – сонячній енергії. Завдяки відсутності рухомих частин, вони не потребують особливого догляду, що спрощує обслуговування, знижує його вартість і збільшує термін служби при незначному зниженні експлуатаційних характеристик. Рентабельні фотоелектричні системи є ідеальним джерелом для споживачів, які знаходяться далеко від ліній електропередачі.

Також велике значення має екологічне питання, оскільки використання фотоелектричних систем не вимагає спалювання палива і не має рухомих деталей, що робить їх безшумними та екологічно чистими.

Питання модульності має велике значення для фотоелектричної системи. Власник такої системи може змінювати її розмір в залежності від своїх потреб в електроенергії. За необхідності, власник може збільшити або зменшити систему. Крім того, зі зростанням енергоспоживання та фінансових можливостей, є можливість додавати модулі кожні кілька років. На рисунку 1.1 показано приклад розміщення сонячних панелей на даху будинку та поблизу нього.

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14



Рисунок 1.1 – Приклад розміщення сонячних панелей

І найважливіше, це низькі витрати на будівництво. Фотоелектричні системи зазвичай розміщують близько до споживача, тому не потрібно тягнути лінії електропередачі на великі відстані, як у випадку підключення до ліній електропередачі. Крім того, не потрібен понижуючий трансформатор. Менше проводів – означає менші витрати і швидшу установку.

2 СИСТЕМА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИВАТНОГО БУДИНКУ

2.1 Вибір сонячних панелей для реалізації системи енергозабезпечення

2.1.1 Характеристика, будова та принцип роботи сонячних панелей

Фотоперетворювачі – це пристрої, які перетворюють світлову або сонячну енергію в електроенергію. Їх також називають фотовольтаїками (Photovoltaics), що походить від грецького слова "photos" – світло і одиниці електрорушійної сили "вольт". Перетворення сонячного світла в електрику відбувається у фотоелементах, які виготовлені з напівпровідникового матеріалу, наприклад, кремнію. Під впливом сонячного світла вони генерують електричний струм. З'єднавши фотоелементи в модулі, модулі в панелі, а панелі одну з одною, можна будувати великі фотоелектричні станції.

На сучасному ринку сонячних панелей спостерігається стабільний річний зріст приблизно на 20%, проте обсяги виробництва фотоелементів залишаються низькими. У 1998 році виробництво модулів по всьому світу становило близько 125 МВт, а ціна знизилася з 50 доларів за 1 Вт в 1976 році до 5 доларів за 1 Вт в 2021 році. Однак вартість кіловат-години електроенергії, виробленої фотоелектричною системою, залишається вищою від традиційної електроенергії від 3 до 10 разів (залежно від місцезнаходження та типу системи). Таким чином, ринок фотоелементів поки що займає невелику частку на світовому ринку. Проте він продовжує стабільно зростати в сегментах, де фотоелементи є конкурентоспроможними, наприклад, в автономних системах, віддалених від електромережі.

					ДП.141.042.018.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	2 СИСТЕМА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРИВАТНОГО БУДИНКУ	Лім.	Арк.	Аркушів
Розробив		Журавський В.				У	16	82
Перевір		Антипчук Б.О.						
Н. Контр.		Антипчук Б.О.				ЖАТФК, гр. Е-42		
Затв.		Лавріщев О.О.						

У багатьох регіонах світу відчутний значний прогрес. Уряд Японії щорічно інвестує 250 млн. доларів у збільшення виробничої потужності з 40 МВт (1997р.) до 300 МВт (2021р.). Європейські країни також реалізують власні програми, які мають на меті забезпечення енергетичної незалежності та врахування екологічних аспектів. Ці програми, спільно з екологічними проблемами, можуть значно прискорити розвиток цієї галузі.

Фотоелектричні системи, які використовують сонячну енергію, є простими у використанні і не мають рухомих частин. Однак, фотоелементи, що використовуються в цих системах, містять складні напівпровідникові пристрої, які аналогічні тим, що використовуються для виробництва інтегральних схем. Дія фотоелементів базується на фізичному принципі, за яким електричний струм виникає під впливом світла між двома напівпровідниками з різними електричними властивостями, які знаходяться в контакті один з одним. Фотоелектрична панель або модуль складається з таких елементів. На рисунку 2.1 показані основні складові елементи сонячної електростанції.

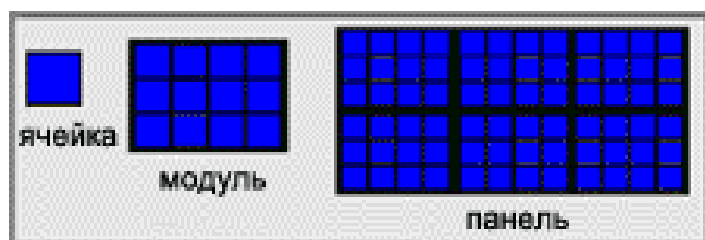


Рисунок 2.1 – Складові елементи сонячної електростанції

Фотоелектричні модулі або панелі виробляють постійний струм, який використовується в пристроях, що живляться від батарей. Змінний струм, навпаки, змінює свій напрямок через регулярні проміжки часу і використовується для більшості сучасних приладів і електронних пристроїв. У простих системах постійний струм фотоелектричних модулів використовується безпосередньо, а для отримання змінного струму необхідно використовувати інвертор.

Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		
					ЛП.141.042.018.ЛЗ	Аркуш

Сучасне виробництво фотоелементів практично повністю базується на кремнії. Приблизно 80% всіх модулів виготовляються з полі або монокристалічного кремнію, а решта 20% використовують аморфний кремній. Кристалічні фотоелементи є найпоширенішими і зазвичай мають синій колір з відблиском. Аморфні фотоелементи гладкі на вигляд і змінюють колір в залежності від кута зору. Монокристалічний кремній має найвищу ефективність (близько 14%), але він дорожчий, ніж полікристалічний, ефективність якого в середньому становить 11%. Аморфний кремній широко використовується в невеликих пристроях, таких як годинники і калькулятори, але його ефективність і довгострокова стабільність значно нижче, тому він рідко застосовується в силових установках.

У дослідній розробці є кілька типів альтернативних тонкоплівкових фотоелементів, які мають потенціал завоювати ринок у майбутньому. Найбільш розвиненими серед досліджуваних систем є фотоелементи, виготовлені з наступних матеріалів: аморфний кремній (a-Si: H), теллурид / сульфід кадмію (CTS), мідно-індієвий або мідно-галієвий діселенід (CIS or CIGS), тонкоплівковий кристалічний кремній (c-Si film), нанокристалічні сенсibilізовані барвником електрохімічні фотоелементи (nc-dye).

Більшість сучасних сонячних елементів, а саме – 99 %, виготовляють з кремнію (Si) – другої за поширеністю речовини на Землі. Інші сонячні елементи також побудовані на тому ж принципі, що і кремнієві. На рисунку 2.2 зображена будова і принцип роботи сонячної панелі.

Один шар кремнію піддають бомбардуванню атомами фосфору, що призводить до утворення надлишку електронів. Цей шар набуває негативного заряду ("N"). На іншому шарі виникає дефіцит електронів, що призводить до його позитивного заряду ("P"). Коли ці дві поверхні збираються разом з провідниками, вони утворюють світлочутливий електронно-дірковий перехід. Цей перехід називається напівпровідником, оскільки, на відміну від електропровідника, він проводить струм тільки в одному напрямку - від

негативного до позитивного. При впливі сонця або іншого інтенсивного джерела світла виникає постійний струм напругою приблизно 0,5 В. Сила цього струму (ампер) пропорційна світловій енергії (кількості фотонів). У будь-якій фотоелектричній системі напруга майже постійна, а струм пропорційний розміру фотоелементів і інтенсивності світла.

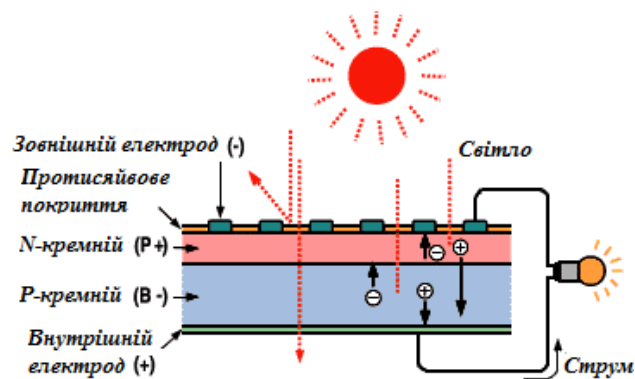


Рисунок 2.2 – Будова і принцип роботи сонячної панелі

Фотоелементи виготовляються з високочистого кремнію, змішаного у точних пропорціях з іншими речовинами. Високочиста кремнієва підкладка, з якої виготовляють фотоелементи, є дуже дорогою. Кількість високочистого кремнію, необхідного для виготовлення одного фотоелектричного модуля потужністю 50 Вт, досить для інтегральних схем близько двох тисяч комп'ютерів. Крім того, у фотоелементах містяться: алюміній, скло і пластмаса – дешеві і багаторазово використовувані матеріали.

2.1.2 Порівняння різних типів сонячних панелей

Сонячна панель – це група сонячних елементів, які з'єднані між собою і розташовані під скляним покриттям. Чим сильніше світло, що потрапляє на фотоелементи, і чим більша їх площа, тим більше електроенергії вони виробляють і тим більший струм вони генерують.

Сонячні панелі класифікуються за піковою потужністю у ватах. Ватт (Вт) – одиниця виміру потужності. Один піковий ват (ВтП) – технічна

характеристика, яка вказує на значення потужності установки в певних умовах, коли сонячне випромінювання в 1 кВт/м^2 падає на елементи сонячної панелі при температурі 25°C . Така інтенсивність досягається при хороших погодних умовах та коли Сонце знаходиться в зеніті. Для вироблення одного пікового вата потрібен один елемент розміром $10 \times 10 \text{ см}$. Більші модулі, площею $0,4 \text{ м}^2$, виробляють близько 40-50 ВтП. Однак сонячна освітленість рідко досягає величини 1 кВт/м^2 . Крім того, модуль на сонці нагрівається значно вище номінальної температури, що також знижує продуктивність модуля. У типових умовах середня продуктивність складає близько 6 Вт·год. в день і 2000 Вт·год. на рік на 1 ВтП.

Більшість міжнародних компаній виробляють фотоелектричні модулі та панелі з терміном експлуатації до 20 років, хоча якість продукції може відрізнятися. Наразі виробники гарантують вказану потужність на період до 10 років. Основним критерієм для порівняння різних типів панелей є ціна 1 ВтП потужності. Іншими словами, можна отримати більше електроенергії за ті ж гроші, використовуючи модуль ціною 600 доларів з піковою потужністю 120 ВтП, ніж за допомогою "дешевого" модуля потужністю 90 ВтП, який коштує 500 доларів. Номінальний ККД менш важливий при виборі системи.

Сонячні панелі поділяються на кілька видів залежно від способу їх виготовлення. Наразі найпоширенішими є полікристалічні та монокристалічні сонячні модулі (див. рис. 2.3).

Сонячні елементи, виготовлені з полікристалічного кремнію, є одним з найпоширеніших типів модулів для сонячних батарей. Коефіцієнт корисної дії (ККД) такої сонячної батареї становить 10-12%.

Сонячні полікристалічні панелі мають відмінне співвідношення якості та вартості, яке можна досягти завдяки більш економному виробничому процесу. У полікристалічного кремнію є області, розділені зернистими кордонами, що впливає на ефективність елементів.

На сьогоднішній день сонячні панелі з монокристалічного кремнію мають найвищі показники ефективності і термін їх служби перевищує 30

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
						20
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

років. Коефіцієнт корисної дії сонячної батареї на основі монокристалічного кремнію становить 14-17%.



а)

б)

Рисунок 2.3 – типи сонячних панелей: а) – монокристалічна; б) – полікристалічна

В таблиці 2.1 показано коефіцієнт корисної дії різних типів сонячних панелей [16].

Таблиця 2.1 – Коефіцієнт корисної дії сонячних панелей

Тип панелі	ККД
1	2
Монокристалічні	12-15%
Полікристалічні	11-14%
Телурид кадмію	7-8%
Аморфні	6-7%

Монокристалічні сонячні модулі виготовляються з одного кристала кремнію, що дозволяє досягти високої ефективності перетворення енергії. Аморфні модулі мають ефективність близько 8%, тому для досягнення потрібної потужності потрібно використовувати більше аморфних модулів, ніж кристалічних. Однак, аморфні модулі мають перевагу у гнучкості матеріалу основи, такого як сталь, скло, пластмаса та інші [16, 17].

Час відшкодування енергетичних витрат (ЧВЕВ) – це період часу, необхідний для виробництва такої ж кількості електроенергії, як витрачено на її виробництво, за допомогою фотоелектричної системи. Дослідження, проведені в 2004-2005 роках, показали, що фотоелектричні системи, встановлені на дахах, мають короткий термін відшкодування енергетичних витрат. Тому для досягнення мети нашого проекту ми будемо використовувати саме такий спосіб установки сонячних панелей. У таблиці 2.2 показано час відшкодування енергетичних витрат систем з різними фотоелектричними технологіями [15]. Його значення залежить від трьох чинників:

- ефективність перетворення сонячної енергії;
- обсяг світла (інсоляція), який одержує система;
- технологія виробництва сонячних елементів системи.

Таблиця 2.2 – Час відшкодування енергетичних витрат

Технологія виробництва кристалів	Час відшкодування енергетичних витрат (EPBT) (роки)	Енергія, витрачена на виробництво системи, в порівнянні з обсягом виробництва енергії (%)	Загальний обсяг виробленої енергії розділений на обсяг енергії, витрачена на виробництво системи
1	2	3	4
Монокристалічний кремній	2.7	10.0	10
Нестрічковий мультикристалічний кремній	2.2	8.1	12
Стрічковий мультикристалічний кремній	1.7	6.3	16
Телурид кадмію	1.0	3.7	27

З таблиці 2.2 видно, що енергетичні витрати навіть на найбільш енергоємних технологічних процесах виробництва не перевищують 10% від загального обсягу електроенергії, отриманої за термін експлуатації фотоелектричної системи [15].

2.1.3 Розрахунок кількості та вибір типу сонячних панелей

Вихідними даними нашого дипломного проекту є приватний будинок з фасадною площею 205,6 м² (див рис. 2.4). Саме для нього нам необхідно розробити систему енергозабезпечення за допомогою сонячних панелей.



Рисунок 2.4 – Зовнішній вигляд приватного будинку

Враховуючи інформацію із попереднього підрозділу, таку систему є доцільним встановлювати саме на даху будівлі та використовувати саме монокристалічний тип сонячних панелей, оскільки, в такому разі ефективність сонячної електроустановки буде найкращою. При виборі кількості монокристалічних сонячних панелей, основним критерієм служить допустима площа розміщення, тому, перш за все, проведемо аналіз архітектурно-будівельної документації будинку, а саме – його даху. План даху будівлі зображено на рисунку 2.5.

Дах будинку має плаский тип, на якому відсутні будь-які інженерно-технічні та вентиляційні споруди, які б заважали використовувати всю його площу в якості ефективної поверхні для розміщення сонячних панелей. Однак, він має специфічну прямокутну форму, тобто складається з двох прямокутних секцій зміщених одна відносно одної, які можна виділити під встановлення сонячних панелей, тому для подальших розрахунків назовемо їх – зона встановлення «А» та «Б».

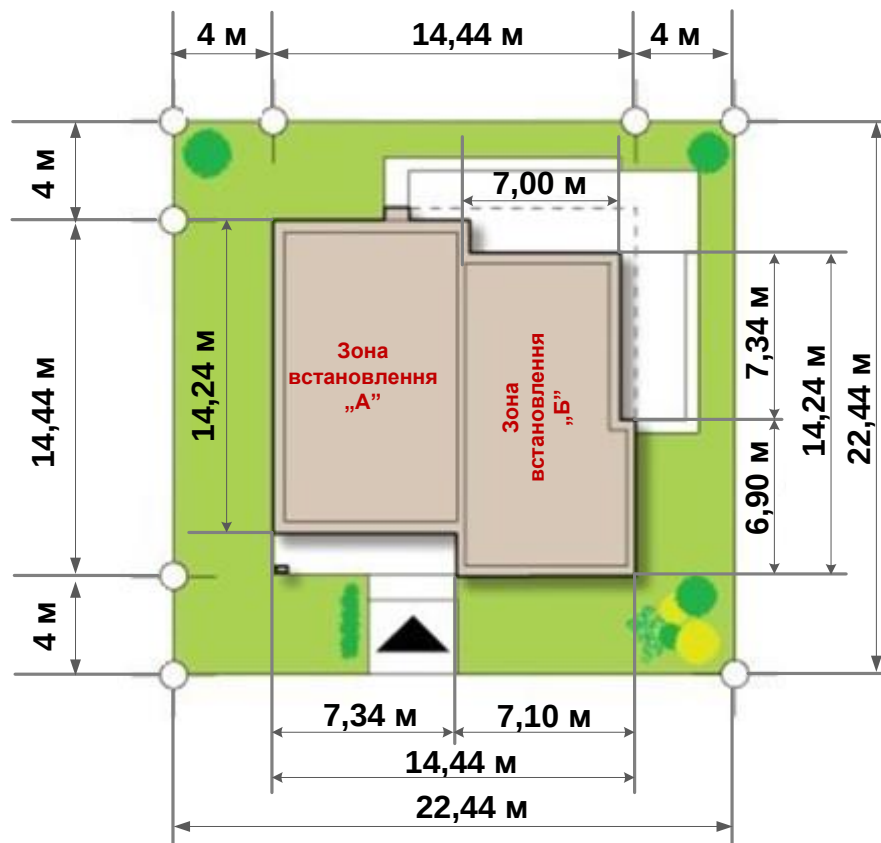


Рисунок 2.5 – План даху приватного будинку

Спершу, визначимо ефективні площі встановлення сонячних панелей, а саме площу зони встановлення «А» та зони «Б», які ми позначили на плані даху будівлі.

$$S_{\text{еф.зони}} = a_{\text{еф.}} \cdot b_{\text{еф.}}, \quad (2.1)$$

де:

$S_{\text{еф.зони}}$ – ефективна площа зони встановлення на даху приватного будинку, м^2 ;

$a_{\text{еф.}}$ – ширина ефективної зони встановлення на даху приватного будинку, м;

$b_{\text{еф.}}$ – довжина ефективної зони встановлення на даху приватного будинку, м.

Отримаємо наступні розрахункові дані:

$$S_{\text{еф.зони А}} = 7,34 \cdot 14,24 = 104 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{еф.зони Б}} = 7,10 \cdot 6,90 + 7,00 \cdot 7,34 = 100,37 \text{ м}^2.$$

Тепер, визначимо загальну ефективну площу встановлення сонячних панелей:

$$S_{\text{еф. загальне}} = S_{\text{еф.зони А}} + S_{\text{еф.зони Б}}, \quad (2.2)$$

де:

$S_{\text{еф. загальне}}$ – загальна ефективна площа зони встановлення на даху приватного будинку, м^2 ;

$S_{\text{еф.зони А}}$ – ефективна площа зони встановлення «А» на даху приватного будинку, м^2 ;

$S_{\text{еф.зони Б}}$ – ефективна площа зони встановлення «Б» на даху приватного будинку, м^2 .

Тоді загальна ефективна площа зони встановлення на даху приватного будинку буде рівна:

$$S_{\text{еф. загальне}} = 104 + 100,37 = 204,37 \text{ м}^2.$$

Далі, визначемо кількість сонячних панелей, яку необхідно буде встановити при використанні моделей тих чи інших розмірів серед тих, що є на ринку продажу, а також визначимо електричну потужність, яку вони вироблятимуть.

Існуючі на сьогоднішній день розміри сонячних панелей та потужності, які вони виробляють, наведені в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Характеристика сонячних панелей за розмірами

					ДП.141.042.018.ПЗ	Архив
						26
Зм.	Арж.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тип	Розміри панелі, мм	Потужність, Вт	Напруга, V	Струм, А
I	1956x992x50	270	35,5	7,61
II	1480x990x35	200	26,5	7,55
III	1320x990x35	180	23,5	7,66
IV	1480x680x35	140	17,5	8
V	1040x670x35	90	17,5	5,15

Проведемо розрахунок площі, яку займає одна панель кожного із представлених в таблиці 2.3 типу та визначимо їх потужність. В першу чергу, визначимо площу сонячної панелі кожного із типів за формулою:

$$S_{\text{панелі тип}} = a \cdot b, \quad (2.3)$$

де:

$S_{\text{панелі тип}}$ – площа однієї панелі конкретного типу, м²;

a – ширина панелі конкретного типу, м;

b – висота панелі конкретного типу, м.

Матимемо на ступні результати розрахунку площі для кожного із типів сонячних панелей:

$$S_{\text{панелі тип I}} = 0,992 \cdot 1,956 = 1,94 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{панелі тип II}} = 0,99 \cdot 1,480 = 1,47 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{панелі тип III}} = 0,992 \cdot 1,32 = 1,31 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{панелі тип IV}} = 0,68 \cdot 1,48 = 1,01 \text{ м}^2 ;$$

$$S_{\text{панелі тип V}} = 0,67 \cdot 1,04 = 0,69 \text{ м}^2.$$

Оскільки, дах приватного будинку – плаский, то сонячні панелі на ньому, для більшої ефективності, слід встановлювати під оптимальним кутом, який в свою чергу становить 35^0 . Тому враховуючи це, площа, яку буде займати одна панель кожного із типів на даху будинку, буде дорівнювати:

$$S_{\text{панелі}}^* = S_{\text{панелі тип}} \cdot \cos \alpha , \quad (2.4)$$

де:

$S_{\text{панелі}}^*$ – площа, яку займає одна сонячна панель конкретного типу на даху приватного будинку з урахування оптимального кута нахилу, м^2 ;

$S_{\text{панелі тип}}$ – площа однієї панелі конкретного типу, м^2 ;

α – оптимальний кут нахилу сонячної панелі, 0 .

Підставивши відомі дані до виразу 2.4 отримаємо, що:

$$S_{\text{панелі тип I}}^* = 1,94 \cdot \cos 35^0 = 1,59 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{панелі тип II}}^* = 1,47 \cdot \cos 35^0 = 1,2 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{панелі тип III}}^* = 1,31 \cdot \cos 35^0 = 1,04 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{панелі тип IV}}^* = 1,01 \cdot \cos 35^0 = 0,81 \text{ м}^2;$$

$$S_{\text{панелі тип V}}^* = 0,69 \cdot \cos 35^0 = 0,56 \text{ м}^2.$$

Визначаємо загальну можливу кількість встановлених сонячних панелей конкретного типу на даху приватного будинку з урахуванням його ефективної площі зони встановлення за формулою:

$$n_{\text{панелей типу}} = \frac{S_{\text{еф. загальне}}}{S_{\text{панелі}}^*}, \quad (2.5)$$

де:

$n_{\text{панелей типу}}$ — кількість сонячних панелей конкретного типу, шт;

$S_{\text{еф. загальне}}$ — загальна ефективна площа зони встановлення на даху приватного будинку, м²;

$S_{\text{панелі}}^*$ — площа, яку займає одна сонячна панель конкретного типу на даху приватного будинку з урахування оптимального кута нахилу, м²;

Підставивши вище отримані результати до виразу 2.5, будемо мати:

$$n_{\text{панелей типу I}} = \frac{204,37}{1,59} = 128 \text{ шт};$$

$$n_{\text{панелей типу II}} = \frac{204,37}{1,2} = 170 \text{ шт};$$

$$n_{\text{панелей типу III}} = \frac{204,37}{1,04} = 196 \text{ шт};$$

$$n_{\text{панелей типу IV}} = \frac{204,37}{0,81} = 252 \text{ шт};$$

$$n_{\text{панелей типу V}} = \frac{204,37}{0,56} = 364 \text{ шт.}$$

Визначимо загальну потужність, яку вироблятимуть кожен із конкретних типів сонячних панелей за формулою:

$$P_{\text{заг. панелей типу}} = n_{\text{панелей типу}} \cdot P_{\text{панелі типу}}, \quad (2.6)$$

де:

$P_{\text{заг. панелей типу}}$ — загальна потужність сонячних панелей конкретного типу, Вт;

$n_{\text{панелей типу}}$ — кількість сонячних панелей конкретного типу, шт;

$P_{\text{панелей типу}}$ — потужність однієї сонячної панелі конкретного типу, Вт;

Отже, будемо мати:

$$P_{\text{заг. панелей типу I}} = 128 \cdot 270 \text{ Вт} = 34560 \text{ Вт};$$

$$P_{\text{заг. панелей типу II}} = 170 \cdot 200 \text{ Вт} = 34000 \text{ Вт};$$

$$P_{\text{заг. панелей типу III}} = 196 \cdot 180 \text{ Вт} = 35280 \text{ Вт};$$

$$P_{\text{заг. панелей типу IV}} = 252 \cdot 140 \text{ Вт} = 35000 \text{ Вт};$$

$$P_{\text{заг. панелей типу V}} = 364 \cdot 90 \text{ Вт} = 32760 \text{ Вт}.$$

Як видно з отриманих розрахунків найбільш ефективними по потужності є сонячні панелі з розмірами типу I, III та IV, а тому далі визначимо, який серед трьох обраних типів є кращим з точки зору загальної вартості. В таблиці 2.4 наведено середня ринкова вартість популярних виробників моделей сонячних панелей з точки зору «ціна/якість» у відповідності до обраних нами типів, їх геометричних розмірів та потужності.

Таблиця 2.4 – Середня ринкова вартість сонячних панелей

Модель сонячної панелі	Тип	Розмір, мм	Потужність, Вт	Ціна, грн
Jarret Solar	I	1956x992x50	270	3955
Axitec Axipremium	III	1320x990x35	180	3050
Jarret Solar	IV	1480x680x35	140	2925

Використовуючи дані таблиці 2.4, визначимо ціну кожної із обраних сонячних панелей конкретного типу (I, III та IV), при цьому будемо враховувати дані отримані за виразом 2.5 (кількість сонячних панелей конкретного типу):

$$Y_{\text{заг. панелей типу}} = n_{\text{панелей типу}} \cdot Y_{\text{панелі типу}}, \quad (2.7)$$

де:

$Y_{\text{заг. панелей типу}}$ – загальна ціна сонячної панелей конкретного типу, грн;

$Y_{\text{панелі типу}}$ – ціна однієї сонячної панелі конкретного типу, грн;

$n_{\text{панелей типу}}$ – кількість сонячних панелей конкретного типу, шт.

Отримаємо, що:

$$Y_{\text{заг. панелей типу I}} = 128 \cdot 3955 \text{ грн} = 506240 \text{ грн};$$

$$Y_{\text{заг. панелей типу III}} = 196 \cdot 3050 \text{ грн} = 597800 \text{ грн};$$

$$Y_{\text{заг. панелей типу IV}} = 252 \cdot 2925 \text{ грн} = 737100 \text{ грн}.$$

З точки зору максимальної потужності виробництва електроенергії та ціни, для реалізації даного дипломного проекту буде доцільно використати саме сонячні панелі типу I, які мають, хоча і не найбільшу потужність виробництва із трьох обраних типів, але при їх встановленні виграють в ціні порівняно із панелями типу III та IV.

Тому, приймаємо до встановлення на даху приватного будинку монокристалічні панелі компанії-виробника Jarret Solar у кількості 128 штук (див. рис. 2.6).



Рисунок 2.6 – Монокристалічна панель Jarret Solar на 270 Вт

В таблиці 2.5 наведено технічна характеристика монокристалічної сонячної панелі Jarret Solar на 270 Вт.

Таблиця 2.5 – Технічна характеристика панелі Jarret Solar 270 Вт

Довжина, мм	1320
Матеріал рамки	алюміній
Потужність, Вт	270
Напруга при максимальній потужності, В	24
Напруга холостого ходу, В	34,2
Рівень захисту IP	67
Тип	монокристалічна
Струм короткого замикання, А	9,16
Струм при максимальній потужності, А	8,33
Товщина, мм	35
Ширина, мм	990

2.2 Вибір схеми електропостачання приватного будинку

Найбільш важливим у проектуванні системи електропостачання на базі сонячних панелей є раціональний вибір типу схеми їх підключення [19]. Від цього буде залежати надійність всієї, кількість коштів, які буде необхідно вкласти в даний проект.

Для початку розглянемо різні типи фотоелектричних систем, таких як:

- автономна система;
- система з'єднана з мережею;
- резервна система.

Кожна із вище зазначених систем має свої переваги та недоліки, а тому розглянемо їх детальніше та виберемо варіант, який краще всього підходить для вирішення поставленого завдання в даному дипломному проєкті.

Автономні фотоелектричні системи (див рис. 2.7) використовуються там, де немає мереж централізованого електропостачання. Для забезпечення енергією в темний час доби або в періоди без яскравого сонячного світла необхідна установка акумуляторних батарей. Система складається з сонячної панелі, контролера, акумуляторної батареї, кабелів, електричного навантаження.

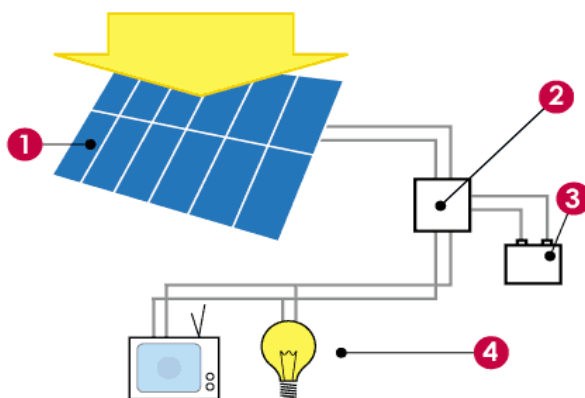


Рисунок 2.7 – Автономна фотоелектрична система: 1 – сонячні панелі; 2 – контролер заряду акумуляторів та інвертор; 3 – акумуляторні батареї; 4 – навантаження

Найголовніша перевага автономної фотоелектричної системи електропостачання – незалежність від мережі. Споживач не залежить від підвищення цін на електроенергію, аварії в мережі, обриву в лініях електропередач, погіршення якості електроенергії через перевантаження в мережі. Ще однією важливою перевагою даної системи є те, що автономна

генерація стимулює використовувати енергію максимально ефективно. Автономні фотоелектричні системи не забруднюють навколишнє середовище, що в сучасних умовах є дуже важливим критерієм при проектуванні об'єктів електропостачання.

Недоліками автономних систем є їх висока вартість у грошовому еквіваленті. Автономна система з поновлюваними джерелами енергії виробляє на початковому етапі експлуатації дорожчу електроенергію. Рішенням даної проблеми може стати наявність спеціальних заходів фінансової підтримки для власників таких типів електростанцій, але тут потрібно відзначити, що більшість фінансових механізмів стимулювання генерації від відновлюваних джерел енергії діють для систем, які є з'єднані з мережею і не застосовуються для повністю автономних систем з акумуляторами. Також до недоліків відносять обслуговування та ремонт системи, які є дуже важливими при експлуатації власної автономної енергосистеми. Власники таких систем повинні виконувати такий тип робіт самостійно: наймати спеціальний обслуговуючий персонал плюс нести витрати на закупівлю всього необхідного обладнання та витратних матеріалів. Також, автономні фотоелектричні системи використовують акумуляторні батареї для зберігання електроенергії, які вимагають регулярної заміни. Період заміни може коливатися від 5 до 15 років (зазвичай менше 10 років). Причому заміна акумуляторів повинна проводитися одночасно всіх зразу. Рішенням може стати купівля промислових акумуляторів з великим терміном служби, які коштують в три-чотири рази дорожче, ніж ті, що зазвичай використовуються. Крім вартості самих батарей потрібно враховувати вартість обслуговування і витрачений час при їх заміні. Також є деякий вплив на навколишнє середовище при виробництві, перевезенні та утилізації свинцю, який міститься в акумуляторах.

У порівнянні із фотоелектричною системою з'єднаною з мережею, автономні системи мають ще один серйозний недолік – це втрати надлишків виробленої енергії. Коли фотоелектрична система з'єднана з мережею

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
						33
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виробляє більше енергії ніж споживається, то цей надлишок може направлятися в мережу. При цьому потужності сонячної станції використовуються повністю в будь-який момент часу, незалежно від енергоспоживання. Якщо ж використовується фотоелектрична автономна система, то всі надлишки енергії повинні бути використані або ж, як це буває у більшості випадків, сонячна батарея просто відключається, коли акумулятори повністю заряджені, і система перестає виробляти електроенергію, тобто ефективність її роботи падає.

Коли є мережа централізованого електропостачання, але є бажання мати електроенергію від чистого джерела (Сонця), то сонячні панелі можуть бути з'єднані з електричною мережею (див рис. 2.8).

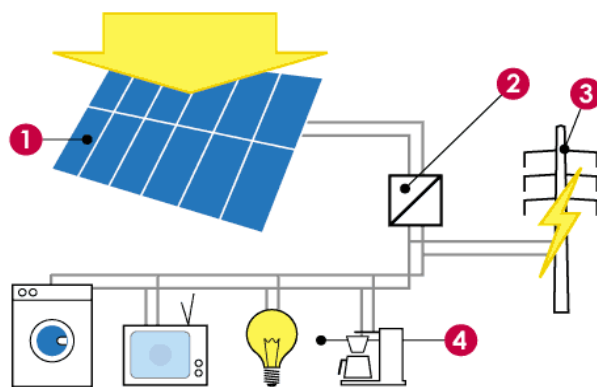


Рисунок 2.8 – Фотоелектрична система з'єднана з мережею: 1 – сонячні панелі; 2 – інвертор; 3 – мережа; 4 – навантаження

Власники фотоелектричної системи з'єднаної з мережею щомісяця можуть купувати та продавати електричну енергію. Електрична енергія в таких системах використовується на місці або подається в мережу. Коли ж власнику системи потрібно більше електрики, ніж вона виробляє – наприклад, ввечері, то така потреба автоматично задовольняється за рахунок мережі. Коли ж система виробляє більше електроенергії, ніж необхідно споживачам, то її надлишок відправляється (продається) в мережу. Таким чином, комунальна мережа виступає в ролі резерву для фотоелектричної

системи. В кінці місяця кошти за продану електроенергію віднімається з рахунку за спожиту електроенергію.

Використання відновлюваної енергії при наявності мережі дозволяє уникнути багатьох, якщо не всіх, недоліків автономних систем. Мережа є великим акумулятором зі 100% коефіцієнтом корисної дії, який може прийняти всі надлишки енергії. Крім того, електрична енергія, вироблена сонячною панеллю, буде використовуватися в повному обсязі. Ще однією із переваг фотоелектричної системи з'єднаної з мережею є те, що вона немає необхідності виробляти всю електроенергію за рахунок сонячних модулів, а також заощаджувати її.

Недоліком фотоелектричних систем з'єднаних з мережею є відсутність резервного електропостачання, однак – це не є недоліком там, де електромережа є надійною.

Резервні фотоелектричні системи (див. рис. 2.9) використовуються в тих випадках, де є з'єднання з мережею централізованого електропостачання, але мережа – ненадійна.

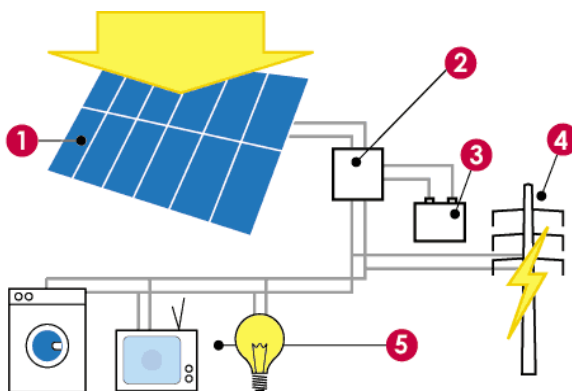


Рисунок 2.9 – Резервна фотоелектрична система: 1– сонячні панелі; 2 – контролер заряду акумуляторних батарей та інвертор; 3 – акумуляторні батареї; 4 – мережа; 5 – навантаження

Резервні системи можуть використовуватися для електропостачання в періоди, коли немає напруги в мережі. Потужність такої фотоелектричної

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДП.141.042.018.ПЗ

Аркуш

35

системи залежить від потужності, яка необхідна для живлення відповідного навантаження та від тривалості періодів відключення самої електромережі.

Резервна система електропостачання поєднує в собі всі переваги фотоелектричних автономних систем та систем з'єднаних з мережею:

- повне використання електроенергії, яку генерують сонячні панелі;
- незалежність від тимчасових відключень електромережі;
- економія коштів за рахунок продажу «чистої» енергії в мережу;
- надійне електропостачання, із-за наявності двох джерел енергії.

Отже, враховуючи всю вище заначену інформацію стосовно типів побудови фотоелектричних систем, зупинемо свій вибір саме на резервній фотоелектричній системі електропостачання, так як вона поєднує в своїй роботі автономну систему та систему з'єднану з мережею та є найкращим із представлених варіантів для реалізації поставленої задачі перед даним дипломним проектом.

2.3 Вибір способу з'єднання сонячних панелей та типу інвертора

2.3.1 Основні типи інверторів

Сонячна електростанція, незалежно від розміру та складності реалізації, може виробляти лише постійний струм. Незважаючи на те, що є багато споживачів, що використовують саме постійний струм (зарядка акумуляторів, освітлення, радіоапаратура тощо), споживачів змінної напруги 220 В набагато більше, і вони є найпоширенішими серед всіх типів споживачів, які можуть бути використані у приватному будинку. Отже, для перетворення постійного струму в змінний потрібен інвертор.

Інвертор – це напівпровідниковий прилад, який служить для трансформації постійного струму сонячних панелей в змінний і необхідний для споживачів, які працюють від напруги мережі 220 В та 380 В відповідно [20].

Основним блоком інвертора є комутатор, який із заданою частотою змінює полярність підключення навантаження до джерела постійного струму, що, в свою чергу, і створює в навантаженні змінний струм. Крім комутатора, інвертор обов'язково містить електричну схему керування комутатором, а також може містити трансформатор для підвищення або зниження вихідного напруги, фільтри, які наближають форму вихідної напруги до синусоїдальної, а також різні елементи захисного обладнання, стабілізації і т.д.

Інвертори можуть бути поділені на два види у відповідності до типу фотоелектричної системи:

- інвертори для автономних фотоелектричних систем;
- інвертори для мережевого використання.

Вихідний каскад у обох видів інверторів багато в чому схожий, а основна відмінність полягає в схемі їх керування. Перший тип має генератор частоти, а другий повинен працювати синхронно з промисловою мережею, а в якості генератора частоти, такий інвертор використовує саму мережу.

Абсолютно для всіх типів інверторів ключовим параметром є їх коефіцієнт корисної дії, який повинен бути більше ніж 90 %.

Вихідна напруга автономних інверторів, як правило, становить 220 В частотою 50/60 Гц, а в інверторах потужністю 10-100 кВт – можна отримати трифазну напругу 380 В.

Автономний інвертор трансформує постійний струм акумуляторних батарей. Внаслідок цього вхідна напруга вибирається з ряду 12, 24, 48 і 120 В та вище. Чим більше вхідна напруга – тим простіше будова інвертора і тим вище його коефіцієнт корисної дії, однак при цьому ускладнюється конструкція сонячної електростанції та її експлуатація при небезпечній напрузі.

До форми вихідного сигналу автономних інверторів ставлять менш жорсткі вимоги. Важливий параметр автономних інверторів – це залежність коефіцієнта корисної дії від потужності підключеного навантаження. Він не повинен значно понижуватись при підключенні навантаження в десять разів

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
						37
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

меншого ніж номінальна потужність інвертора. Разом з тим, автономний інвертор повинен витримувати перевантаження в вихідних колах, тобто при підключенні електродвигунів та інших динамічних навантажень.

До вихідного сигналу мережевого інвертора ставляться найжорсткіші вимоги. Для зниження втрат при перетворенні постійного струму в змінний, такий інвертор має працювати при високих входних напругах. Оскільки, його входні кола отримують живлення, безпосередньо, від сонячної панелі, то такий інвертор оснащений регулятором відбору максимальної потужності. Мережевий інвертор також має блок контролю потужності сонячної панелі та включаються автоматично, як тільки потужність сонячної панелі стає достатньою для формування змінного сигналу.

За способом перетворення струму інвертори поділяють на:

- модифікована синусоїда – перетворює постійний струм в змінний струм напругою 220 В та модифікованою синусоїдою; такий тип інвертора може бути використаний для живлення споживачі, які не чутливі до якості напруги: освітлення, обігрівачі, зарядні пристрої і т.д.;
- чиста синусоїда – перетворює постійний струм в змінний струм напругою 220 В з чистою синусоїдою; використовується такий інвертор для будь-якого типу електричного навантаження;
- трифазний – перетворює постійний струм в трифазний змінний струм напругою 380 В; може бути використаний для живлення трифазного навантаження.

Іноземні фірми пропонують широкий асортимент інверторів, спеціально розроблених для сонячних панелей. Такі інвертори вже мають у своїй будові блок регулятора відбору максимальної потужності та блок регулятора заряду.

Таким чином, можна виділити основні характеристики інвертора, на які варто звертати увагу при його виборі для реалізації поставленого завдання даного дипломного проекту:

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

- номінальна потужність, Вт – вказує на максимальну можливу потужність навантаження, яке можна підключити до інвертора;
- максимальна (пікова) потужність, Вт – вказує на максимальну потужність, яку може витримати інвертор під час роботи від акумуляторних батарей;
- форма вихідного сигналу – характеристика, яка визначає якість перетворення інвертором постійної керованої струму в змінну складову;
- сила струму вбудованого зарядного пристрою (при його наявності) – вказує на максимальну ємність акумуляторних батарей, які може зарядити вбудований зарядний пристрій;
- наявність «режиму очікування» – здатність інвертора переходити в економний режим, коли навантаження відсутнє та переходити в нормальний режим роботи, коли навантаження підключене;
- наявність вбудованого реле перемикачання, яке дає можливість автоматично підстрахувати живлення споживачі при відключенні зовнішньої електромережі.

2.3.2 Вибір інверторів та схеми їх підключення

У відповідності до підрозділу 2.2 даного дипломного проекту, свій вибір системи електропостачання за допомогою сонячних панелей ми зупинили на варіанті резервної фотоелектричної системи. Загальна потужність обраних сонячних панелей була розрахована за виразом 2.6, та становить 34560 Вт, а тому інвертор, який нам необхідно підібрати, повинен мати потужність рівну або трохи більшу за розраховану потужність всіх сонячних панелей. Отже, враховуючи вище сказане, оберемо інвертор компанії-виробника SOLIS моделі SOLIS 35K5G на 35 кВт (див. рис. 2.10).



Рисунок 2.10 – Інвертор Solis35K5G на 35 кВт

Перевіримо, чи відповідає обраний тип інвертора нашим вимогам у відповідності до виразу 2.8:

$$P_{\text{заг. панелей типу}} \leq P_{\text{інв.}}, \quad (2.8)$$

де:

$P_{\text{заг. панелей типу}}$ – загальна потужність сонячних панелей конкретного типу, Вт;

$P_{\text{інв.}}$ – номінальна потужність обраного інвертора, Вт.

Матиме, що:

$$34560 \text{ Вт} \leq 35000 \text{ Вт}.$$

Бачимо, що обраний тип інвертора повністю задовольняє нашим вимогами.

Технічні характеристики обраного інвертора Solis35K5G наведені у таблиці 2.6.

--	--	--	--	--

Таблиця 2.6 – Технічні характеристики інвертора Solis35K5G

Номінальна потужність	35000 Вт
Пікова потужність	37000 Вт
Максимальний вихідний струм	150 А
Робоча вихідна напруга	220 - 380 В
Максимальний струм на вході	450 А
Вхідна напруга	230 - 450 В
Виробництво	КНР

Тепер розробимо схему підключення сонячних панелей до обраного типу інвертора, враховуючи його технічні характеристики наведені в таблиці 2.6. Тобто нам потрібно розділити загальну кількість сонячних панелей по групам таким чином, щоб в кожній групі була однакова кількість панелей, але їхня напруга не перевищувала допустимі значення вхідної напруги інвертора – 310-450 В та його вхідного струму – 450 А.

Тому, логічним буде виконати розподіл загальної кількості панелей 128 шт. на 4 або 8 груп та перевірити, який із варіантів нам краще буде підходити враховуючи обраний тип інвертора.

Визначимо кількість сонячних панелей в одній групі при розподілі їх загальної кількості на 4 або 8 груп відповідно:

$$n_{\text{пан.}} = \frac{n_{\text{панелей типу}}}{n_{\text{груп}}}, \quad (2.9)$$

де:

$n_{\text{пан.}}$ – загальна кількість сонячних панелей в одній групі, шт.;

$n_{\text{панелей типу}}$ – кількість сонячних панелей конкретного типу, шт;

$n_{\text{груп}}$ – кількість груп розподілу сонячних панелей, шт.

Отже, отримаємо, що:

$$n_{\text{пан. 4 груп.розп.}} = \frac{128}{4} = 32 \text{ шт.};$$

$$n_{\text{пан. 8 груп.розп.}} = \frac{128}{8} = 16 \text{ шт.}$$

Бачимо, що при 4-х груповому розподілі в кожній групі буде по 32 сонячних панелі, а при 8-ми груповому – 16 панелей.

Тепер визначимось із способом підключення сонячних панелей в кожній із груп при різному груповому розподілі, але будемо враховувати наступні особливості, а саме: при послідовному з'єднанні струм в групі з'єднання сонячних панелей буде однаковим, а напруга – різна, тому вона буде дорівнювати сумі напруг всіх сонячних панелей, які знаходяться в групі; при паралельному з'єднанні все буде навпаки – загальний струм буде дорівнювати сумі струмів всіх панелей в групі, а загальна напруга групи буде дорівнювати напрузі однієї панелі.

Перевіримо спосіб послідовного підключення сонячних панелей в групах за допустимим вхідним струмом та напругою інвертора:

$$I_{\text{заг.пан.груп.послід.}} = I_{K \text{ пан.груп.}} ;$$

(2.10)

$$U_{\text{заг.пан.груп.послід.}} = \sum_{K=1}^p U_{K \text{ пан.груп.}} \cdot$$

де:

$I_{\text{заг.пан.груп.послід.}}$ – загальний струм всіх сонячних панелей в групі при їх послідовному з'єднанні, А;

$I_{K \text{ пан.груп.}}$ – струм однієї сонячної панелі в групі, А;

$U_{\text{заг.пан.груп.послід.}}$ – загальна напруга всіх сонячних панелей в групі при їх послідовному з'єднанні, В;

$U_{K \text{ пан.груп.}}$ – напруга однієї сонячної панелі в групі, В;

p – кількість сонячних панелей в групі, шт.

Отже, враховуючи дані таблиці 2.5 отримаємо, що:

$$I_{\text{заг.пан. 4 груп.послід.}} = 8,33 \text{ A} ;$$

$$I_{\text{заг.пан. 8 груп.послід.}} = 8,33 \text{ A} ;$$

$$U_{\text{заг.пан. 4 груп.послід.}} = \sum_{K=1}^{32} 24 = 768 \text{ В} ;$$

$$U_{\text{заг.пан. 8 груп.послід.}} = \sum_{K=1}^{16} 24 = 384 \text{ В} .$$

З отриманого розрахунку бачимо, що в кожній групі при послідовному з'єднанні сонячних панелей по допустимому вхідному струму інвертора питань не виникає при обох варіантах групового розподілу, а от по напрузі – варіант 4-ьох групового розподілу нам не підходить, бо в такому випадку напруга сонячних панелей в групі значно перевищує вхідну напругу інвертора. Тому, якщо будемо використовувати послідовне підключення сонячних панелей в групах, то слід використовувати лише 8-ми груповий розподіл.

Тепер перевіримо спосіб паралельного підключення сонячних панелей в групах за допустимим вхідним струмом та напругою інвертора:

$$U_{\text{заг.пан.груп.паралел.}} = U_{K \text{ пан.груп.}} ; \quad (2.11)$$

$$I_{\text{заг.пан.груп.паралел.}} = \sum_{K=1}^p I_{K \text{ пан.груп.}} .$$

де:

$I_{\text{заг.пан.груп.паралел.}}$ – загальний струм всіх сонячних панелей в групі при їх паралельному з’єднанні, А;

$I_{K \text{ пан.груп.}}$ – струм однієї сонячної панелі в групі, А;

$U_{\text{заг.пан.груп.паралел.}}$ – загальна напруга всіх сонячних панелей в групі при їх паралельному з’єднанні, В;

$U_{K \text{ пан.груп.}}$ – напруга однієї сонячної панелі в групі, В;

p – кількість сонячних панелей в групі, шт.

Отримаємо:

$$U_{\text{заг.пан. 4 груп.паралел.}} = 24 \text{ В} ;$$

$$U_{\text{заг.пан. 8 груп.паралел.}} = 24 \text{ В} ;$$

$$I_{\text{заг.пан. 4 груп.паралел.}} = \sum_{K=1}^{32} 8,33 = 266,7 \text{ А} ;$$

$$I_{\text{заг.пан. 8 груп.паралел.}} = \sum_{K=1}^{16} 8,33 = 133,3 \text{ А} .$$

Як бачимо, при паралельному з’єднанні сонячних панелей в групах, струм відповідає допустимим вхідним значенням струму інвертора (450 А) при обох варіантах групового з’єднання, а от значення напруги – ні, бо у відповідності до обраного типу інвертора, його вхідна напруга має знаходитись в межах 310-450 В. Отже, паралельне з’єднання сонячних панелей в самих групах ми використовувати не будемо.

Інша справа, що при з’єднанні груп між собою в одне коло ми маємо їх з’єднати паралельно, бо при послідовному з’єднанні напруга кожної групи

буде додаватись, а це означає, що загальна напруга всіх груп сонячних панелей значно перевищить допустиму вхідну напругу інвертора.

Отже враховуючи вище проведені розрахунки приймаємо наступний варіант підключення сонячних панелей до інвертора – це будуть 8 груп сонячних панелей (по 16 сонячних панелей в кожній групі), які будуть з'єднані між собою в групах послідовно, а самі групи між собою будуть з'єднані вже паралельно. Для зручності зведемо всі дані стосовно підключення сонячних панелей до інвертора в таблицю 2.7.

Таблиця 2.7 – Підключення сонячних панелей до інвертора Solis35K5G

Назва групи підключення панелей	Загальна кількість всіх панелей, шт	Спосіб з'єднання	Струм однієї панелі I, А	Напруга однієї панелі U, В	Потужність однієї панелі Р, Вт	Кількість панелей в групі, шт	Загальний струм всіх панелей в групі I _{заг} , А	Загальна напруга всіх панелей в групі U _{заг} , В	Загальна потужність всіх панелей в групі Р _{заг} , Вт
Jarret Solar Група 1	128	пос.	8,33	24	270	16	8,33	384	4320
Jarret Solar Група 2		пос.	8,33	24	270	16	8,33	384	4320
Jarret Solar Група 3		пос.	8,33	24	270	16	8,33	384	4320
Jarret Solar Група 4		пос.	8,33	24	270	16	8,33	384	4320
Jarret Solar Група 5		пос.	8,33	24	270	16	8,33	384	4320
Jarret Solar Група 6		пос.	8,33	24	270	16	8,33	384	4320
Jarret Solar Група 7		пос.	8,33	24	270	16	8,33	384	4320
Jarret Solar Група 8		пос.	8,33	24	270	16	8,33	384	4320
Всі групи разом		пар.	8,33	24	270	121	66,64	384	34560

2.4 Акумуляторні батареї

2.4.1 Типи акумуляторних батарей

В резервних фотоелектричних системах електропостачання побудованих на базі сонячних панелей, для зберігання електричної енергії, яка генерується, використовуються свинцево-кислотні акумуляторні батареї різних типів, а саме:

- стартерні (автомобільні);
- AGM (герметичні);
- Gel (герметичні гелеві);
- OPzS (заливні з намащеними пластинами).

Лужні ж акумулятори у фотоелектричних системах не використовуються.

Основними критеріями при виборі акумуляторних батарей для фотоелектричної системи електропостачання є їхня вартість, умови експлуатації, а також термін безвідмовної та надійної роботи.

Використання стартерних акумуляторних батарей в системах альтернативного електропостачання, може бути виправдано тільки в тих випадках, коли вони будуть постійно знаходитись під постійним контролем обслуговуючого персоналу, так як необхідним буде постійно стежити за рівнем електроліту, його щільністю, зарядом акумуляторної батареї, і т.д. До того ж, при експлуатації таких типів батарей необхідно окреме та добре вентильоване приміщення. Ще одним із недоліків акумуляторних стартерних батарей є втрата певної частини електроенергії внаслідок їхнього саморозрядження.

Термін експлуатації стартерних акумуляторів становить близько 3-х років, а сонячних панелей – близько 15-20 років. Отже, при експлуатації сонячної фотоелектричної системи електропостачання, такий тип акумуляторних батаре потрібно буде замінювати 3-4 рази.

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
						46
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Перевагою стартерних акумуляторних батарей є їх відносно мала вартість у порівнянні із іншими типами акумуляторів.

Для фотоелектричних систем розроблені спеціальні "сонячні" акумулятори – AGM (Absorbent Glass Mat) або Gel (Gel Electrolite). Термін їхньої експлуатації становить майже 20 років. Такі акумуляторні батареї працюють за тим самим принципом, що й стартерні акумулятори, однак вони спроектовані спеціально для експлуатації в системах автономного або резервного електропостачання. Такі акумулятори мають дуже низьке виділення газу та не вимагають постійного контролю при своїй експлуатації.

Головною технічною особливістю акумуляторних батарей типу AGM є можливість роботи в режимі глибокого розряду, тобто такий тип акумуляторів може віддавати електричну енергію протягом тривалого часу своєї роботи (години або цілу добу) до стану, коли запас електричної енергії впаде до 20-30 % від початкового значення. Після заряджання такого типу акумуляторної батареї, вона майже повністю відновлює свою робочу ємність. Сучасні акумулятори типу AGM витримують від 600 та вище циклів глибокої розрядки. Також, у таких акумуляторних батареях малий струм саморозряджання, тобто така батарея може зберігати свій заряд дуже довгий період часу, знаходячись при цьому, у відключеному стані.

Однак, не зважаючи на всі свої переваги, акумуляторні батареї типу AGM за своїми характеристиками значно поступаються акумуляторам, які виготовлені за технологією GEL.

Акумуляторні батареї побудовані за технологією GEL відрізняються від попередніх двох типів батарей тим, що у рідкий електроліт додають речовину на основі двоокису кремнію (SiO_2), в результаті чого утворюється густа маса, яка за своєю консистенцією нагадує гель або желе. Цією масою заповнений простір між електродами всередині акумуляторної батареї. В процесі хімічної реакції в товщі електроліту виникають численні газові бульбашки, у яких і відбувається взаємодія між молекулами водню та кисню, тобто газова рекомбінація.

На відміну від акумуляторних батарей типу AGM, гелеві акумулятори ще краще відновлюються після стану глибокого розрядження. Вони здатні перенести більше ніж 1000 циклів глибокого розрядження без суттєвої втрати своєї номінальної ємності та мають ще більший термін експлуатації ніж акумулятори AGM. Проте, такі акумулятори є значно дорожчими стосовно своєї ціни в грн., ніж стартерні акумулятори та акумулятори типу AGM.

Одною із основних переваг гелевих акумуляторів порівняно із AGM є значно менша втрата ємності при пониженні температури навколишнього середовища в якому працює акумулятор. До недоліків акумуляторних батарей на базі технології GEL можна віднести необхідність суворого дотримання режиму заряджання.

Отже, виходячи з вище сказаного бачимо, що гелеві акумуляторні батареї можна використовувати там, де потрібно забезпечити довший термін придатності при глибоких режимах розрядження, а також, якщо температура акумуляторів опускається нижче ніж 5 C⁰.

Акумуляторні батареї типу AGM ідеальним чином підходять для роботи в, так званому, «буферному режимі», у якості резервного варіанту при не дуже частих перебоях в постачанні електроенергії від основної електромережі. В разі занадто частого їх підключення в роботу – зменшується їх термін придатності.

Також, на ринку продажу України можна зустріти спеціальні акумуляторні батареї виготовлені за технологією OPzS, які, в свою чергу, спеціально розроблені для "важких" циклічних режимів. Даний тип акумуляторних батарей створений спеціально для застосування в автономних системах електропостачання. Вони характеризуються пониженим виділення газу, а також допускають багато циклів заряду/розряду – до 70 % від номінальної ємності, без пошкоджень та значного скорочення терміну придатності. Але такий тип акумуляторів є досить дороговартісним у порівнянні з акумуляторами виготовленими за технологією AGM та GEL відповідно.

2.4.2 Розрахунок кількості та вибір типу акумуляторних батарей

Акумуляторна батарея може бути використана багаторазово як джерело струму. Її особливість полягає в тому, що після заряджання її можна використовувати протягом певної кількості годин, яка встановлена виробником. Якщо батарея розряджена, її можна легко зарядити за допомогою спеціального зарядного пристрою. Час заряду залежить від параметрів джерела, а кількість циклів "заряд-розряд" залежить від типу і особливостей самої батареї.

Ємність акумуляторної батареї визначає, як довго вона зможе жити пристрій і забезпечувати його автономну роботу при певному навантаженні. Це максимальна кількість електричної енергії, яку батарея може накопичувати за один повний цикл заряду. Ємність впливає на вартість пристрою, його область застосування і термін служби. Одиниця виміру ємності акумуляторної батареї - ампер-година (А•год) або міліампер-година (мА•год) для акумуляторів великої ємності.

Для визначення необхідної ємності акумуляторних батарей для виконання поставленого завдання у нашій дипломній роботі, ми використовуємо стандартну формулу:

$$C_{\text{АБ_заг.}} = \frac{P_{\text{заг.}} \cdot t}{U \cdot k}, \quad (2.18)$$

де:

$C_{\text{АБ_заг.}}$ – загальна ємність акумуляторних батарей, А•год;

$P_{\text{заг.}}$ – загальна потужність споживання всіх споживачів офісного приміщення, Вт;

t – час роботи акумуляторних батарей, год.;

k – коефіцієнт, який відображає, яка частина ємності акумуляторних батарей використовується;

U – напруга акумуляторних батарей, В.

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Значення коефіцієнта k , який компенсує ситуацію неповного заряду батареї, часто приймають рівним 0,95 або 95%.

Як бачимо із виразу 2.18, щоб визначити загальну ємність акумуляторних батарей, а в подальшому і їх кількість на потрібно знати загальну потужність всіх споживачів приватного будинку, яку вони споживають за добу. В таблиці 2.8 наведено дані по споживанню потужності за добу основними побутовими приладами, які є в приватному будинку.

Таблиця 2.8 – Навантаження споживачів приватного будинку

Споживач	Напруга живлення U , В	Потужність P , Вт	Струм I , А	Тривалість роботи за добу, год.	Спожита потужність за добу, Вт·год
Праска	220	1000	4,5	0,3	300
Комп'ютер	220	400	1,8	4	1600
Пральна машина	220	800	3,6	1	800
Бойлер	220	1500	6,8	3	4500
Пилосос	220	2000	9	0,4	800
Мікрохвильова піч	220	800	3,6	0,4	320
Принтер	220	45	0,2	1	45
Телевізор	220	550	2,5	4	2200
Холодильник	220	300	1,4	3	900
Wi-Fi роутер	220	10	0,05	24	240
Система освітлення	220	500	2,3	3	1500
Кондиціонер	220	1000	4,5	3	3000
Електрочайник	220	1200	5,5	0,3	360
Разом:					16565

Отже, враховуючи дані таблиці 2.8, де загальна добова потужність споживання споживачами електроенергії становить 16565 Вт, а також, що час роботи акумуляторних батарей резервного живлення $t = 3$ години, коефіцієнт корисної дії $k = 0,95$, а напруга акумуляторних батарей має бути $U = 24$ В (у відповідності до розрахунків проведених у підрозділі 2.3.2 та таблиці 2.7), отримаємо:

$$C_{AB \text{ заг.}} = \frac{16565 \cdot 3}{24 \cdot 0,95} = 2180 \text{ А} \cdot \text{год.}$$

На ринку України сьогодні доступний широкий вибір акумуляторних батарей з різною ціною, залежною від їх ємності. На мою думку, оптимальним варіантом буде обрати акумуляторні батареї з великою ємністю, наприклад, 200 А·год. Це дозволить зменшити кількість необхідних акумуляторів і компактніше розмістити їх при монтажі системи резервного живлення. Крім того, у попередньому розділі ми визначили, що для домашньої сонячної електростанції найкращим варіантом є гелеві акумуляторні батареї. Тому для реалізації завдання, поставленого в даному дипломному проекті, оберемо гелієву акумуляторну батарею моделі LPM-GL від компанії-виробника LogicPower з напругою 24В та ємністю 200 А·год (див. рис. 2.11).



Рисунок 2.11 – Акумуляторна батарея LPM-GL_24В-200 А·год

Для визначення необхідної кількості акумуляторних батарей обраної моделі скористаємося наступною формулою:

$$n_{AB} = \frac{C_{AB \text{ заг.}}}{C_{AB}}, \quad (2.19)$$

де:

n_{AB} – кількість акумуляторних батарей, шт.;

$C_{AB \text{ заг.}}$ – загальна ємність акумуляторних батарей, А·год;

C_{AB} – ємність обраної акумуляторної батареї, А·год.

Отже будемо мати:

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
						51
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$n_{AB} = \frac{2180}{200} = 10,9 \text{ шт.} \approx 11 \text{ шт.}$$

2.5 Контролер заряду / розряду

2.5.1 Існуючі типи контролерів заряду / розряду

У автономних сонячних енергосистемах контролер заряду є одним з найважливіших компонентів. Він використовується для захисту акумуляторних батарей від глибокого розряду або перезаряду. Крім того, контролери заряду часто можуть бути вбудовані в інвертори або блоки безперебійного живлення.

Основними функціями контролерів заряду є:

- регулювання і відображення процесів заряду і розряду сонячного модуля;
- запобігання перезарядження акумуляторів;
- запобігання глибокого розряду батарей;
- відключення / включення навантаження, якщо навантаження підключено через контролер.

Перед вибором контролера заряду/розряду слід проаналізувати варіанти обладнання та можливості кожного. Існують наступні види контролерів:

з найпростішим алгоритмом ON/OFF;

- ШІМ – з широтно-імпульсною модуляцією;
- MPPT – пристрій, який стежить за точками максимальної потужності;
- гібридний.

Найпростіший пристрій – ON/OFF, вимикає заряд, коли струм максимальний, щоб уникнути перегріву. Недоліком контролера такого типу є те, що акумулятор ніколи не заряджатиметься на 100%, через що термін експлуатації може суттєво зменшитися.

Контролер заряду сонячної батареї ШІМ знижує струм, коли показник досягає максимуму.

MPPT контролер заряду є найпоширенішим з точки зору використання. Його принцип дії полягає в перетворенні максимальної напруги в оптимальну. Завдяки цьому заряд можливий до ста відсотків. MPPT контролер аналізує показники системи і на їхній основі визначає, завдяки яким параметрам обладнання досягне найбільшої потужності. Ефективність роботи, порівняно з ШІМ, зростає до 30%.

Гібридні контролери використовуються для сонячних систем, до складу яких входять вітрогенератори та фотоелементи. Основна функція такого контролера – уникнення енергії в надлишку.

Отже, враховуючи вище сказане, оберемо тип MPPT контролера заряду/розряду, бо саме він рекомендується до встановлення у нашому випадку. Однак, тепер постає питання стосовно моделі компанії-виробника та технічних характеристик самого контролера.

2.5.2 Вибір типу контролера заряду / розряду акумуляторних батарей

У нашій системі альтернативного електропостачання приватного будинку буде використовуватися блок акумуляторних батарей, який складатиметься із 11 штук. Кожна батарея матиме напругу 24 В та ємність 200 А•год. Батареї в блоці будуть підключені паралельно, тому загальна напруга блоку також буде 24 В. Для вибору MPPT контролера ми будемо керуватися саме цим показниками.

З точки зору якості та ціни, оптимальним серед MPPT контролерів заряду/розряду, представлених на ринку України, є контролер компанії-

виробника Victron Energy, модель SmartSolar MPPT 100/50TR. Цей контролер призначений для напруги акумуляторних батарей 12/24В, а потужність сонячних панелей не повинна перевищувати 35 кВт. Це повністю відповідає нашим потребам, оскільки загальна потужність наших сонячних перетворювачів становить 34,6 кВт. (див. рис. 2.12).



Рисунок 2.12 – Контролер заряду / розряду SmartSolar MPPT 100/50TR

В таблиці 2.9 наведено основні параметри обраного типу контролера заряду / розряду.

Таблиця 2.9 – Основні параметри контролера заряду / розряду SmartSolar MPPT 100/50TR

Максимальна можлива кількість підключення АБ	$U_{\text{бат max, В}}$	$U_{\text{бат min, В}}$	$U_{\text{ак max, В}}$	$U_{\text{ак min, В}}$	$I_{\text{шунта, А}}$	$T_{\text{відкл., сек}}$	$T_{\text{вкл., сек}}$
25	0-499	0-449	0-19,9	0-19,9	$\pm(0-99,9)$	1-999	1-999

Контролер відповідає за наступне: контроль сумарної напруги акумуляторного блоку; контроль напруги кожної акумуляторної батареї; контроль протікання струму; контроль загального заряду акумуляторних батарей; видачу сигналів управління в залежності від напруги акумуляторного блоку і напруги кожної акумуляторної батареї; можливість програмування порогів спрацьовування і тимчасових затримок; вимірювання та індикацію поточного значення сумарної напруги, а також напруги кожної

батареї; вимірювання та індикацію поточного значення струму і заряду акумуляторних батарей; світлодіодну індикацію стану батарей.

Контролер SmartSolar MPPT 100/50TR виготовлений в корпусі, який може бути закріплений на DIN рейці. Підключення проводів здійснюється за допомогою клемників.

2.6 Вибір пристрою автоматичного введення резерву

Пристрої автоматичного перемикання живлення на резерв (ABP) – це пристрій, який автоматично переключає живлення навантаження з двох або трьох джерел електроживлення, коли вхідна напруга виходить за допустимі межі. Блок керування ABP аналізує стан поточної мережі живлення і в разі несправностей надає команди на комутуючі елементи для перерозподілу живлення.

Автоматична схема введення резерву використовує реле різного призначення, контролери ABP, перемикачі, панелі індикації та управління. Порушення в роботі мережі може призвести не лише до незручностей для звичайного споживача, але й викликати більш серйозні проблеми. Пристрої ABP можуть бути поєднані зі світловою індикацією та звуковою сигналізацією, приладами обліку та розподілу електроенергії, а також приладами контролю навантаження та параметрів електроживлення.

У сучасних ABP можуть бути реалізовані один або кілька режимів роботи: «ручний режим» використовується для пусконаладжувальних робіт, де переключення між джерелами здійснюється за допомогою кнопок "Пуск" і "Стоп" на панелі ABP; «автоматичний режим» передбачає автоматичне перемикання між джерелами при втраті та відновленні живлення за допомогою керуючого контролера; у «напівавтоматичному режимі» перехід на резервну лінію електропостачання виконується за допомогою логічної схеми ABP, а повернення до основної лінії здійснює оператор.

На сьогоднішній день існує багато виробників пристроїв автоматичного включення резерву. Тому наша задача полягає лише у виборі такого пристрою, що ґрунтується на проведених розрахунках та обраному обладнанні для реалізації нашої системи альтернативного енергозабезпечення приватного будинку.

Єдиний критерій, який нас цікавить при виборі АВР – це номінальна загальна потужність сонячних панелей нашої розроблюваної системи, а вона становить 34560 Вт або 34,6 кВт (див. табл. 2.7). Тобто вибір АВР має відповідати рівності:

$$P_{\text{ABP_ном.}} \geq P_{\text{СП_ном.}} , \quad (2.20)$$

де:

$P_{\text{ABP_ном.}}$ – максимальна допустима потужність резервної фотоелектричної системи на яку розраховано пристрій АВР, Вт;

$P_{\text{СП_ном.}}$ – загальна потужність всіх сонячних панелей в розробленій фотоелектричній системі, Вт.

Отже враховуючи дані таблиці 2.7 та рівність 2.20 оберемо для реалізації поставленої задачі в даному дипломному проекті пристрій АВР компанії-виробника CHINT, модель NXZB-63H/4C на 70 А, який зображено на рисунку 2.13 та буде змонтований у спеціальному щиті АВР, а його технічні характеристики наведено в таблиці 2.10.



Рисунок 2.13 – Пристрій АВР компанії-виробника CHINT, модель NXZB-63H/4C

Таблиця 2.10 – Технічні характеристики пристрою АВР компанії-виробника CHINT, модель NXZB-63H/4C

Фазність мережі	Трьохфазний / однофазний
Максимальна потужність системи резервного живлення (генератора, ВЕУ, ФЕУ), кВт	35 кВт
Максимальний струм системи резервного живлення (генератора, ВЕУ, ФЕУ), А	70 А
Номинальна частота мережі	50 Гц
Напруга мережі	220 /380 В
Ступінь захисту	IP 54
Режими запуску	Авто / ручний
Виробник	Україна

2.7 Вибір лічильників обліку електричної енергії

Для обліку спожитої та генерованої електроенергії у системі альтернативного енергозабезпечення приватного будинку, яка розробляється в даному дипломному проєкті електропостачання необхідно встановити лічильник обліку електричної енергії.

Для вибору типу лічильника необхідно проаналізувати дані, наведені в таблиці 2.11, де порівнюються між собою існуючі на сьогоднішній день типи лічильників, зокрема: індукційні та електронні.

Таблиця 2.11 – Порівняння індукційних та електронних лічильників

ЕЛЕКТРОННІ ЛІЧІЛЬНИКИ	ІНДУКЦІЙНІ ЛІЧІЛЬНИКИ
Переваги:	Переваги:
1	2
1. високий клас точності (0,2-0,5%); 2. збереження точності в умовах низьких і швидкозмінних навантажень; 3. багатотарифність; 4. можливість тривалого зберігання даних обліку; 5. можливість фіксації несанкціонованого доступу і випадків розкрадання електроенергії; 6. можливість дистанційного знімання показників; 7. можливість використання АСКОЕ; 8. можливість обліку різних видів енергії одним приладом.	1. низька вартість; 2. надійність та довговічність; 3. безвідмовна робота із заданою точністю протягом кількох десятиків років.

Продовження таблиці 2.11

1	2
Недоліки:	Недоліки:
1. висока вартість; 2. незахищеність від комутаційних і грозових перепадів напруги.	1. низький клас точності (не більше 2,0%); 2. зростання похибки виміру при зниженні навантаження; 3. порушення метрологічних характеристик при швидкозмінному навантаженні; 4. порушення метрологічних характеристик при несинусоїдному струмі; 5. слабкий захист від традиційних методів розкрадання електроенергії; 6. обмежені можливості дистанційного знімання даних; 7. підвищене власне енергоспоживання.

Отже, згідно з даними таблиці 2.11, враховуючи всі переваги та недоліки електронних та індукційних лічильників, а також особливості нашої системи альтернативного енергозабезпечення, зупинимо свій вибір на електронному лічильнику. Серед існуючих на ринку продажу України електронних лічильників, у відповідності до критерію «ціна / якість», оберемо лічильник моделі ACE6000 із класом точності 1.05/100 А, який є трифазним, багатотарифним та відповідає попиту на енергетичному ринку України. Модель обраного лічильника зображена на рисунку 2.14.



Рисунок 2.14 – Лічильник електронного типу, модель ACE6000

2.8 Вибір кабелів з'єднання

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

Для забезпечення надійної роботи системи електропостачання з використанням сонячних панелей, важливо правильно підібрати кабельну продукцію для з'єднання панелей між собою, а також груп панелей з інверторами, контролерами, акумуляторними батареями та іншими пристроями.

Одним з основних критеріїв є вибір матеріалу провідника. Мідь є кращим варіантом порівняно з алюмінієм. Вона має високу провідність і менш схильна до корозії. Крім того, у порівнянні з міддю, алюміній є менш міцним і може ламатися при декількох вигинах. Негативною властивістю алюмінію є його швидке окислення при контакті з повітрям, що призводить до утворення тугоплавкої окисної плівки на поверхні. Ця плівка погано проводить електричний струм і перешкоджає створенню надійного контакту. Таким чином, вибираємо мідь як матеріал для провідника.

Для послідовного з'єднання всіх сонячних панелей в групах між собою буде використаний кабель RO-PVC400, який є досить поширеним на українському ринку. Його зображено на рисунку 2.15. Цей тип кабелю спеціально розроблений для використання в сонячних системах і відповідає всім європейським стандартам. Він пройшов випробування в лабораторії TUV, яка знаходиться в Німеччині. Основні технічні характеристики кабелю RO-PVC400 [25] такі:

- тип: ізольований;
- застосування: сонячні системи;
- матеріал провідника: мідь;
- переріз: 4 мм²;
- вид ізоляції: зшитий поліетилен;
- захист від ультрафіолетових променів;
- термін служби: понад 25 років;
- висока термічна стійкість;
- можливість використання при температурі від -40°C до +125°C;

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		59

- високий рівень захисту від забруднень;
- покращена електропровідність;
- висока механічна міцність;
- еластичність та простота використання.



Рисунок 2.15 – Кабель RO-PVC400

З урахуванням даних таблиць 2.6 та 2.7, для паралельного з'єднання груп панелей між собою та для зв'язку цих груп з інвертором будемо використовувати силовий кабель ВВГнг 2х2,5. Для підключення акумуляторних батарей до інвертора оберемо кабель ВВГнг 2х1,5. Такий тип кабелю відрізняється від стандартного ВВГ тим, що його оболонка містить негорючі матеріали, що дозволяє підвищити рівень електричної безпеки об'єкта. ВВГнг (див. рис. 2.16) – це силовий кабель, призначений для передачі та розподілу електричної енергії в стаціонарних установках напругою до 1 кВ при температурі навколишнього середовища від -500 C^0 до $+500\text{ C}^0$ при відносній вологості до 98%. Жила кабелю ВВГнг – кругла з м'якого мідного дроту. При перерізі від 15 мм^2 – жила є багатодротяною. Кабель ВВГнг використовується для прокладання в сухих та вологих приміщеннях, на спеціальних кабельних естакадах, в блоках, а також для

прокладання на відкритому повітрі. Кабелі такого типу не рекомендується прокладати в землю (траншеї).



Рисунок 2.16 – Силовий кабель марки ВВГнг

За технічними параметрами кабель, який з'єднує інвертор та лічильник обліку електричної енергії, повинен пропускати струм $\approx 200\text{А}$. Даним вимогам відповідає кабель марки ВВГнг 1х35.

					<i>ДП.141.042.018.ПЗ</i>		
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата			
Розробив		Журавський В.		3	ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА		
Перевір		Антипчук Б.О.					
					З ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА		
Н. Контр.		Антипчук Б.О.					
Затв.		Лавріщев О.О.			ЖАТФК, гр. Е-42		
					Літ.	Арк.	Аркушів
					У	62	82

3.1 Динаміка вартості технологій відновлюваної енергетики

За прогнозами Міжнародного енергетичного агентства, вартість різних технологій відновлюваної енергетики має тенденцію до зниження, що пояснюється розвитком науково-технічних розробок. На графіку (див. рис. 3.1) зображена динаміка вартості різних технологій відновлювальних джерел енергії з 2000 по 2050 рік.

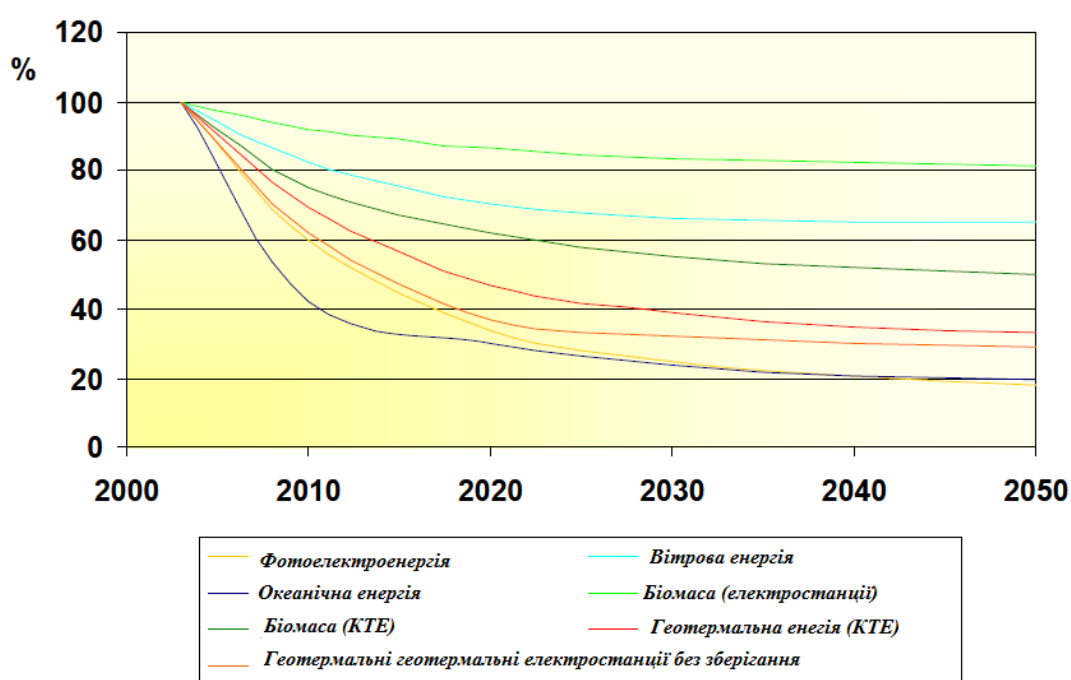


Рисунок 3.1 – Динаміка вартості різних технологій відновлюваної енергетики

Важливо зауважити, що зниження витрат залежить не від часу, а від кумулятивного ефекту масового виробництва, який потребує розвитку ринку цих технологій. Більшість технологій можуть зменшити інвестиційні витрати на 30-60% до 2020 року і на 20-50% після 2040 року, досягнувши повного розвитку. Зниження інвестиційних витрат призводить до зниження собівартості виробництва теплової та електричної енергії, як показано на рисунку 3.2.

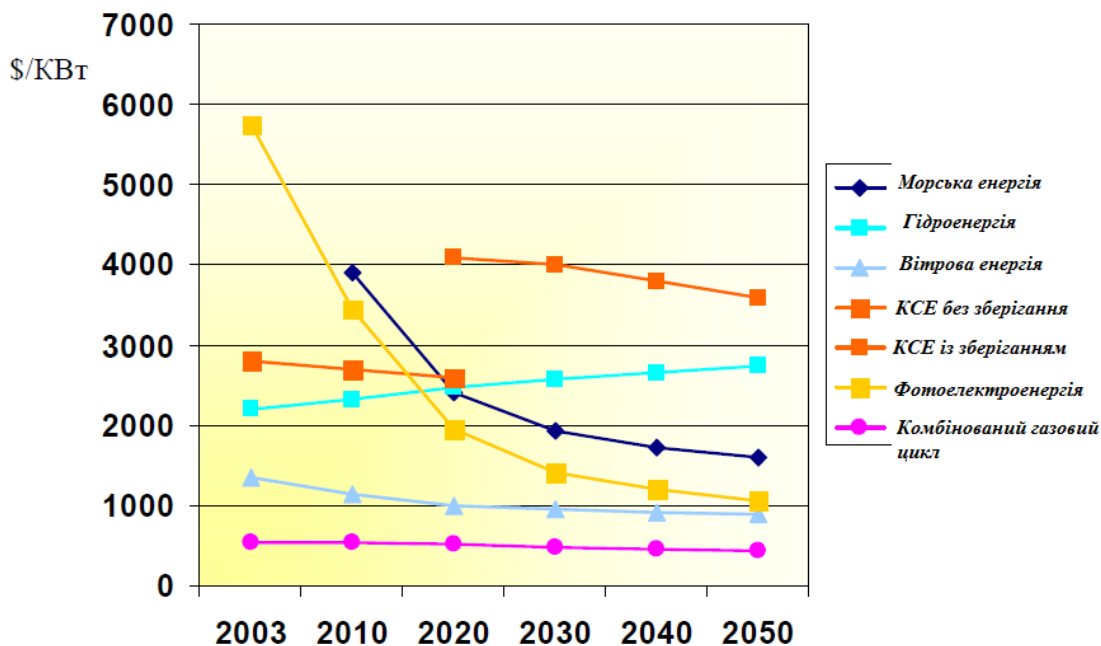


Рисунок 3.2 – Інвестиційні витрати для різних технологій відновлюваної енергетики з урахуванням кривих освоєння

Отже, можна зробити висновок, що з кожним роком використання поновлюваних джерел енергії стає все більш вигідним, що підкреслює актуальність даної роботи.

3.2 Розрахунок капітальних затрат

У даному дипломному проєкті була розроблена система альтернативного енергозабезпечення приватного будинку на базі сонячної електростанції з даховим розміщенням фото-модулів (сонячних панелей). Далі нам необхідно визначити капітальні та експлуатаційні витрати на впровадження такої системи та розрахувати її термін окупності, а також оцінити економічну вигідність даної системи.

Оцінка вартості обладнання, яке буде використовуватися в системі, є важливою. У дослідженні даного питання були враховані витрати на обслуговування елементів системи протягом усього терміну її експлуатації

(20 років), а також витрати на заміну елементів (заміна АБ через 10 років роботи системи). Витрати на обслуговування елементів системи становили 1% від ціни устаткування.

Під час аналізу кошторису, в першу чергу, необхідно обчислити загальну річну вартість – TAC (Total Annualized Cost) за наступним співвідношенням:

$$TAC = \frac{TLCC}{CPWF} , \quad (3.1)$$

де:

TLCC (Total Life Cycle Cost) – загальна вартість системи протягом періоду експлуатації, грн.;

CPWF (Cumulative Present Worth Factor) – сукупний фактор реальної вартості, грн.

Капітальні витрати – це кошти, які використовуються для створення та придбання основних фондів та нематеріальних активів, які підлягають амортизації. Такі витрати є одним з ключових показників, який використовуються для економічної оцінки ефективності розробленої системи. У таблиці 3.1 наведені всі капітальні витрати, необхідні для реалізації розробленої системи в цьому дипломному проекті.

Проектні капіталовкладення в обладнання та будівельно-монтажні роботи визначаються на основі договірних цін і розцінок компаній промислової групи "Рентехно". Дане підприємство надає повний спектр послуг, включаючи продаж, доставку, монтаж і налагодження сонячних та вітрових електростанцій.

Таблиця 3.1 – Капітальні витрати на розроблену систему

№	Назва технічних матеріалів	кількість	Ціна за одиницю, грн	Сума, грн
Система опалення				
1	Сонячна панель Jarret Solar 270 Вт	128	3955	506240
ДП.141.042.018.ПЗ				
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

2	Інвертор SOLIS 35K5G	1	40000	40000
4	Акумуляторна батарея LogicPover LPM-GL_24В- 200 А·год	11	5000	55000
5	Контролер заряду / розряду SmartSolar MPPT 100/50TR	1	6500	6500
6	Пристрій АВР CHINT NXZB-63H/4C	1	15700	15700
7	Електронний лічильник ACE 6000	1	8145	8145
8	Кабельна продукція	1	5000	5000
Разом:				636585

Вартість монтажно-налагоджувальних робіт буде визначена за допомогою формули:

$$K_{MH} = \sum (C_i \cdot a \cdot t_i) \cdot K_d \cdot K_{CM} \cdot K_{PP} , \quad (3.2)$$

де:

C_i – чисельність працівників і-го розряду, необхідних для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних) робіт, чол.;

a – годинна тарифна ставка і-го розряду, грн.;

t_i – час, необхідний для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних) робіт, годин;

$K_d = 1,1 \dots 1,5$ – коефіцієнт, який враховує розмір доплат;

$K_{CM} = 1,22$ – коефіцієнт, який враховує відрахування на соціальні заходи;

$K_{PP} = 1,1 \dots 1,5$ – коефіцієнт, який враховує інші витрати на здійснення монтажних (налагоджувальних) робіт.

Отже отримаємо, що:

$$K_{MH} = 2 \cdot 210 \cdot 24 \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,1 = 14880 \text{ грн.}$$

Вартість транспортних витрат визначається згідно з тарифами перевізника ТОВ "Делівері", масою вантажу та відстанню до складів постачальника. Доставка вантажів буде здійснюватися зі складу компанії

"Рентехно". За розрахунками перевізника, доставка 6 вантажних місць загальною масою 1,5 тонни орієнтовано складатиме 10000 грн.

Отже, загальні капітальні витрати становлять:

$$K = K_{OB} + K_{TP} + K_{MH} , \quad (3.3)$$

де:

K_{OB} – вартість устаткування по зведенню витрат (без ПДВ), грн.;

K_{TP} – транспортно-заготівельні й складські витрати, грн.;

K_{MH} – витрати на монтаж і налагодження встаткування, грн.

Отримаємо, що:

$$K = 636585 + 10000 + 14880 = 661465 \text{ грн.}$$

3.3 Розрахунок експлуатаційних витрат

Витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проектування протягом певного періоду, виражені у грошовій формі, називаються експлуатаційними витратами. Основні складові експлуатаційних витрат для електротехнічного устаткування та енергомереж включають:

- амортизаційні відрахування (C_a);
- вартість спожитої електроенергії (C_e);
- заробітна плата обслуговуючого персоналу та відрахування на соціальні заходи (C_z);
- витрати на технічне обслуговування та поточний ремонт устаткування (C_t);
- інші витрати (C_{in}).

У такий спосіб річні експлуатаційні витрати по об'єкті проектування становлять:

$$C = C_a + C_e + C_3 + C_T + C_{in} . \quad (3.4)$$

Пропонована розроблена система альтернативного енергозабезпечення для приватного будинку, яка ґрунтується на використанні сонячних панелей, є повністю автономною і не потребує постійної присутності оператора або обслуговуючого персоналу. Всі планові обслуговування будуть проводитися господарем будинку, тому витрати на обслуговування (C_3) та інвестиційні витрати (C_{in}) дорівнюють нулю.

Амортизація об'єкта розраховується на основі тривалості його використання, враховуючи очікувані економічні вигоди, технічні характеристики основної системи, фізичний знос та інші фактори, що можуть вплинути на можливість використання. Термін якісного використання встановленого обладнання становить 20 років.

При прямолінійному методі норма амортизації є постійною протягом всього амортизаційного періоду і дорівнює:

$$H_a = \frac{\Phi_n}{\Phi_n \cdot T_n} \cdot 100\% , \quad (3.5)$$

де:

T_n – час якісного використання (амортизаційний період);

Φ_n – початкова ціна системи, грн.

Будемо мати, що: 66146500 13229300

$$H_a = \frac{661465}{661465 \cdot 20} \cdot 100\% = 5\% .$$

Тоді, річні відрахування на амортизацію для розробленої системи дорівнюють:

$$C_a = \frac{\Phi_n \cdot H_a}{100} = \frac{661465 \cdot 5}{100} = 33073,25 \text{ грн.} \quad (3.6)$$

Для визначення щорічних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт обладнання необхідно враховувати витрати на матеріали, запасні частини та заробітну плату ремонтників. Ці витрати можуть становити 1% від загальних капітальних витрат:

$$C_T = 0,01 \cdot K. \quad (3.7)$$

Отримаємо:

$$C_T = 0,01 \cdot 661465 = 6614,7 \text{ грн.}$$

Річні експлуатаційні витрати по об'єкту проектування розраховуються за формулою (3.4) і становлять:

$$C = 33073,25 + 0 + 0 + 6614,7 = 39685,95 \text{ грн.}$$

3.4 Розрахунок терміну окупності розробленої систем

На сьогоднішній день встановлення систем електропостачання з фотоперетворювачами є дорогим, але їх обслуговування виявляється менш енергоємним. Основна вартість, яку треба буде окупити – це вартість основних капітальних витрат.

Система електропостачання, яка була спроектована, за своєю структурою є резервною (поєднує в собі роботу автономної системи

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
						69
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

електропостачання та системи з'єднаної з мережею), тому енергія, яка виробляється, може продаватися в міську електромережу, а частина енергії буде використовуватися для зарядки акумуляторних батарей, які служать резервом для потреб побутових пристроїв споживання електроенергії приватного будинку під час перерв у електропостачанні.

Згідно з законом України №514-VIII від 04.06.2015 і постановою НКРЕКП №725 від 25.03.2020, встановлені наступні ставки "зеленого" тарифу: з 1 січня 2023 року до 31 грудня 2024 року ставка становить 0,163 євро або 6,81 гривень.

Визначимо річне виробництво електроенергії нашою системою альтернативного енергозабезпечення приватного будинку за формулою:

$$W = \gamma \cdot S \cdot \text{ККД}_{\text{СП}} \cdot n_{\text{днів}} \cdot N_{\text{СП}} \quad (3.8)$$

де:

W – річне виробництво електроенергії розробленої системи альтернативного енергозабезпечення приватного будинку, кВт·год;

γ – рівень сонячної інсоляції, кВт·год/м²/день;

S – площа обраної моделі сонячної панелі Jarret Solar, м²;

$\text{ККД}_{\text{СП}}$ – коефіцієнт корисної дії сонячної панелі Jarret Solar, який рівний значенню 33%;

$n_{\text{днів}}$ – кількість днів в році;

$N_{\text{СП}}$ – кількість сонячних панелей Jarret Solar в розробленій системі, шт.

За даними NASA, середньорічний показник інсоляції у місті Житомир складає 3,12 кВт·год/м²/день. Щодо площі обраної сонячної панелі, то вона становить 1,94 м² (див. розділ, вираз 2.3).

Отже, будемо мати, що:

$$W_{\text{резервне живлення}} = 3,12 \cdot 1,94 \cdot 0,33 \cdot 365 \cdot 128 = 93319,7 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Отже, щорічний прибуток від розробленої системи альтернативного енергозабезпечення приватного будинку на базі сонячної електростанції з даховим розміщенням фото-модулів, становитиме:

$$Y_{\text{розробленої системи}} = 6,81 \text{ грн} \cdot W, \quad (3.9)$$

де:

$Y_{\text{розробленої системи}}$ – щорічний прибуток від використання розробленої системи альтернативного енергозабезпечення приватного будинку на базі сонячної електростанції з даховим розміщенням фото-модулів, грн.

Отримаємо:

$$Y_{\text{розробленої системи}} = 6,81 \text{ грн} \cdot 93319,7 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 635507,2 \text{ грн}.$$

Для визначення терміну окупності системи альтернативного енергозабезпечення приватного будинку на базі сонячної електростанції з даховим розміщенням фото-модулів скористаємось формулою:

$$T_{\text{резервне живлення}} = \frac{K}{Y_{\text{розробленої системи}}}, \quad (3.10)$$

Отже, отримаємо, що:

$$T_{\text{резервне живлення}} = \frac{661465}{635507,2} = 1,04 \text{ роки}.$$

Як бачимо із проведеного розрахунку вище, розроблена системи альтернативного енергозабезпечення приватного будинку на базі сонячної електростанції з даховим розміщенням фото-модулів є вкрай ефективною, при умові дії «зеленого тарифу», однак, навіть і без нього вона здатна

забезпечити постійний економічний ефект власнику, враховуючи сучасну тенденцію підвищення цін на електроенергію в Україні, яка буде спостерігатися ще не один рік враховуючи сучасну енергетичну кризу нашої країни.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ

4.1 Вплив системи електропостачання за допомогою фото-модулів на навколишнє середовище

					ДП.141.042.018.ПЗ			
					Сонячні станції є недостатньо вивченими об'єктами, тому віднесення їх			
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	електростанцій не можна назвати повністю 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ	Діт.	Арк.	Архивів
Розробив	до	Журавський В.	членів			У	72	82
Перевір	до	Антипчук Б.О.						
Н. Контр.		Антипчук Б.О.			ЖАТФК, гр. Е-42			
Затв.		Лавріщев О.О.						

обґрунтованим. У кращому випадку до екологічно чистої можна віднести кінцеву стадію – стадію експлуатації сонячних електростанцій, і то відносно.

Сонячні станції є досить об'ємними. Питома розмірність таких станцій варіює від 0,001 до 0,006 га / кВт з найбільш ймовірними значеннями 0,003-0,004 га/кВт. Це менше, ніж для гідроелектростанцій, але більше, ніж для теплових і атомних електростанцій. При цьому треба врахувати, що сонячні станції дуже матеріалоємні (метал, скло, бетон), до того ж в наведених значеннях їхнього об'єму не враховується вилучення землі на стадіях видобутку та обробки сировини. Сонячні концентратори викликають великі за площею затінення земель, що призводить до сильних змін ґрунтових умов, рослинності. Небажану екологічну дію в районі розташування станції викликає нагрівання повітря при проходженні через нього сонячного випромінювання, сконцентованого дзеркальними відбивачами. Це призводить до зміни теплового балансу, вологості, напрямку вітрів; в деяких випадках можливий перегрів і загоряння систем, що використовують концентратори, з усіма наслідками, що випливають звідси. Застосування низькокиплячих рідин і неминучий їх витік в сонячних енергетичних системах під час тривалої експлуатації можуть привести до значного забруднення питної води. Особливу небезпеку становлять рідини, що містять хромати і нітрити, які є високотоксичними.

4.2 Охорона праці при монтажі обладнання

Монтажні роботи є найбільш небезпечними серед усіх видів будівельно-монтажних робіт, оскільки вони включають у себе переміщення та установку важких елементів конструкцій, зазвичай на великій висоті.

На будівельному майданчику повинна бути позначена технологічна зона монтажу, яка включає в себе робочу зону, зони складування,

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
						73
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

попереднього складання і транспортування елементів сонячної електростанції від землі до місця установки. Особливу увагу слід звертати на зону підвищеної небезпеки, де працюють кілька монтажних механізмів на сусідніх монтажних ділянках, на одному або різних рівнях по вертикалі.

Для здійснення монтажу та допоміжних робіт з розвантаження, складання і стропування збірних елементів сонячної системи, робітникам необхідно пройти вступний інструктаж. Монтажників, які беруть участь у проведенні верхолазних робіт, повинні мати не нижче 4-го розряду, бути старше 18 років і мати стаж роботи не менше двох років. Для отримання допуску необхідно успішно пройти курс навчання з техніки безпеки та пройти відповідні випробування. Знання перевіряються не рідше одного разу на рік, а медичний огляд проводиться не рідше двох разів на рік.

Вантажно-захоплюючі пристрої, стропи й інший інвентар повинні бути забезпечені бирками із зазначенням вантажопідйомності. Їх відчувають на подвійне навантаження не менше двох разів на рік, за результатами огляду видають спеціальні паспорти.

Під час роботи на висоті монтажники повинні надягати монтажні пояси і за допомогою ланцюга з кріпильним пристроєм зачіплятися до петель змонтованих конструкцій або до натягнутих і закріплених тросів. Робочий інструмент слід тримати в ящиках або сумках, щоб уникнути падінь. Під час підйому елементів для запобігання їх розгойдування або крутіння обов'язково використовувати розтяжки. Підняті елементи не можна залишати у висячому положенні під час перерв у роботі. Підйом будь-яких вантажів дозволяється тільки при вертикальному положенні поліспасти монтажного крана, без підтяжки елемента, що піднімається. Вантаж, який піднімається, повинен бути меншим або відповідати вантажопідйомності монтажного крана на даному вильоті стріли; відповідна таблиця залежності вильоту і вантажопідйомності повинна бути розміщена біля робочого місця машиніста.

Вантажно-захоплюючі пристрої після кожного ремонту повинні підлягати випробуванню на навантаження, яке в 1,25 рази перевищує їх

					ДП.141.042.018.ПЗ	Аркуш
						74
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

нормальну вантажопідйомність з тривалістю витримки 10 хвилин. Результати оглядів вантажно-захоплюючих пристроїв заносять в журнал обліку.

Велика увага при монтажі повинна бути приділена безпечним прийомам зварювальних робіт, що виключає ураження струмом і виникнення пожежної небезпеки. Забороняється вести зварювальні роботи під дощем, під час грози, сильного снігопаду і швидкості вітру більше 5 м/с.

Найбільше пошкодження при монтажу нових кабельних ліній відбувається під час переміщення барабанів з силовим кабелем та механізованого прокладання. Ці роботи мають виконувати досвідчені електромонтери під керівництвом бригадира.

При наявності гальмівного пристосування, кабель з барабанів розмотують і прокладають в брезентових рукавицях. Кількість робочих для прокладки кабелю визначається залежно від маси вантажу, який припадає на людину. Для одного чоловіка допускається маса вантажу – не більше 35 кг, а для однієї жінки – не більше 20 кг.

Під час протягування кабелю через отвір стіни або трубу, робітники повинні стояти на безпечній відстані від отвору або отворів труби, щоб уникнути того, що їх руки можуть бути затягнуті разом з кабелем. Крім того, всі працюючі повинні отримати одночасну команду перед початком протягування кабелю.

На поворотах забороняється відтягувати або поправляти руками кабель, а також перебувати всередині утвореного кабелем кута. В процесі механізованої прокладки кабелю необхідно стежити за допустимим зусиллям тяжіння, так як при його перевищенні можливі обрив троса або кабелю і травмування робітників.

Дотримані умови установки інверторів дозволять уникнути травматизації робочого персоналу:

- необхідно встановити інвертор тільки на такій поверхні, яка здатна витримати вагу пристрою;

- необхідно встановлювати інвертор на вертикальній стіні, яка не схильна до вібрації;
- не можна встановлювати і використовувати пошкоджений інвертор або інвертор з відсутніми деталями.

4.3 Протипожежна безпека

Пожежі становлять особливу небезпеку через великі матеріальні збитки, які вони приносять. Відомо, що пожежа може виникнути внаслідок взаємодії горючих речовин, окислення та джерел запалювання. До горючих компонентів належать будівельні матеріали, використовувані для акустичної та естетичної обробки приміщень, перегородок, дверей, підлог, ізоляції кабелів та інших матеріалів.

Небезпека виникає від розташованих поруч з'єднувальних дротів і кабелів, які можуть привести до великого виділення тепла при проходженні через них електричного струму, що може призвести до оплавлення ізоляції.

Для запобігання пожежі необхідно правильно встановлювати та експлуатувати обладнання. Тому, щоб уникнути загоряння під час монтажу інверторів, необхідно дотримуватися таких умов:

- пристрій повинен бути встановлено на вогнетривкій поверхні, такій як металева підставка;
- не можна розташовувати легкозаймисті матеріали в безпосередній близькості від інвертора;
- необхідно захистити від попадання всередину корпусу інвертора сторонніх предметів, таких як дужок кріплення проводки, іскор під час зварювання, металевої тирси, пилу;
- необхідно встановлювати інвертор в добре провітрюваній кімнаті, в якій пристрій не буде підпадати під пряме сонячне світло, підвищенню навколишньої температури, підвищеній вологості або

випаданню роси, а також сильному запиленню, дії агресивних, вибухонебезпечних і легкозаймистих газів.

Під час роботи з акумуляторною батареєю необхідно дотримуватися правил протипожежної безпеки, оскільки під час зарядки акумулятори виділяють водень, який є вибухонебезпечним газом:

- поруч з акумулятором забороняється палити цигарки;
- слід захистити акумуляторну батарею від джерел загоряння;
- при приєднанні або від'єднанні клем акумулятора, струм повинен бути вимкнений;
- приміщення, в якому заряджається акумуляторна батарея, має добре провітрюватися.

ВИСНОВКИ

В даному дипломному проєкті було розроблено систему

		альтернативного енергозабезпечення приватного будинку на базі сонячної							
		електростанції з даховим розміщенням фото-модулів.							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		Літ.	Арк.	Аркушів	
Розробив		Журавський В.				У	77	82	
Перевір		Антипчук Б.О.							
									Аркуш
Н. Контроль		Антипчук Б.О.							
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					
		Павлюк В.О.							

ВИСНОВКИ
ДП.141.042.018.ПЗ ЖАТФК, гр. Е-42 76

В ході виконання даного проекту було проведено порівняльний аналіз різних типів сонячних панелей, та варіантів реалізації їх підключення. У відповідності до площі даху приватного будинку було пораховано та обрано оптимальну можливу кількість та тип сонячних панелей. Вибрано тип та модель інвертора сонячної установки із врахуванням особливостей реалізації системи. Розроблено схему підключення сонячних панелей до інвертора. Обчислено та вибрано кількість акумуляторних батарей та їх контролер заряду/розряду, пристрій автоматичного введення резерву та лічильник, який дасть можливість враховувати «зелений тариф».

Капітальні витрати на реалізацію розробленої системи становлять: 661465 грн., а її термін окупності – 1,04 роки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

	1.	Про альтернативні джерела енергії: закон України. Відомості Верховної Ради України. 2003. № 24. С. 155.	ДП.141.042.018.ПЗ						
Зм.	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата					
Розробив	2.	Про встановлення «зелених» тарифів на електричну енергію	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ			Ліп.	Арк.	Аркушів	
Перевір		Антипчук Б.О.				У		78	82
						ЖАТФК, гр. Е-42			
Н. Контр.		Антипчук Б.О.							
Затв.		Лавріщев О.О.							

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ
ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

приватних домогосподарств : постанова НКРЕКП від 29.09.2017 р. № 1186.

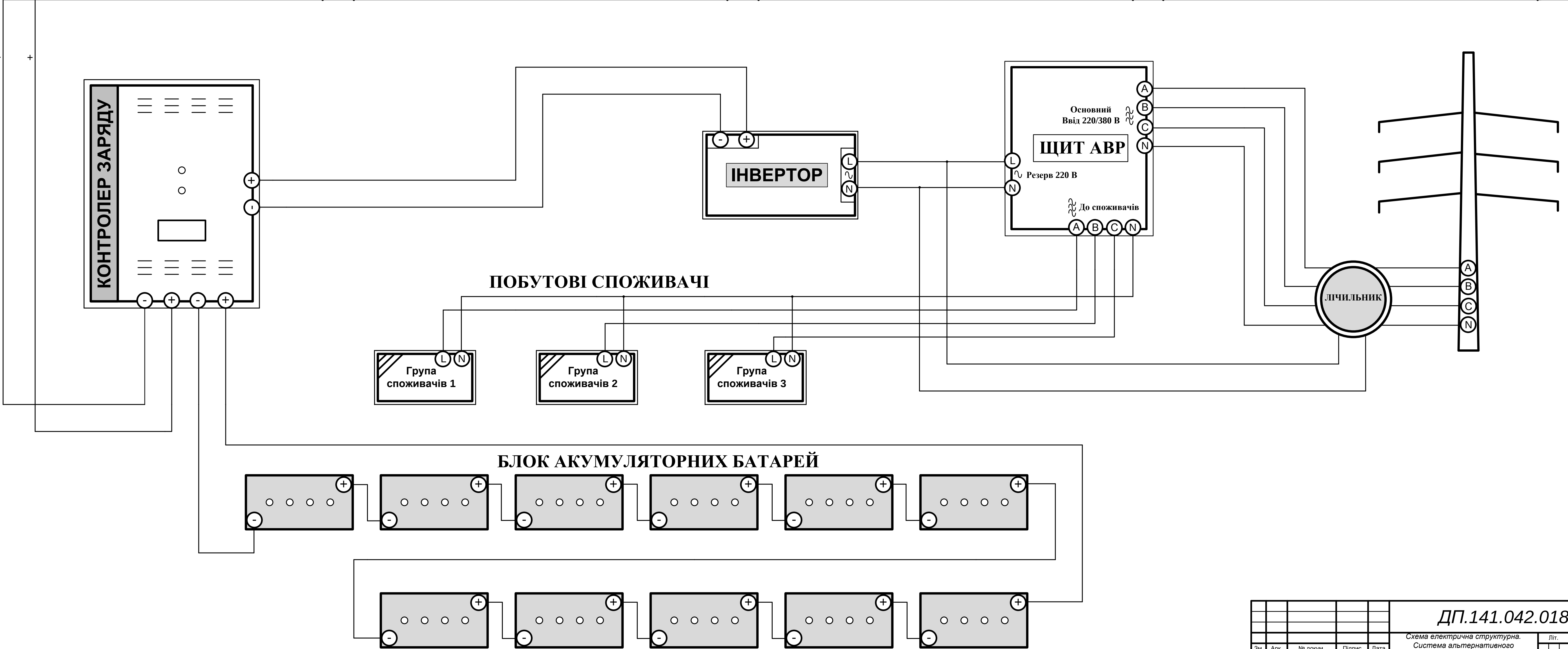
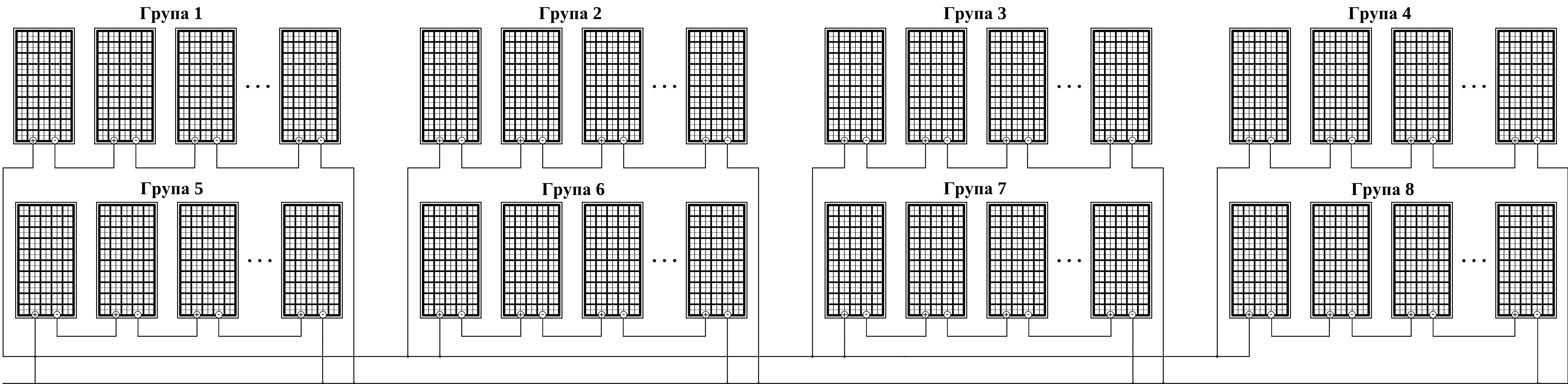
3. Дем'янчук І. Погріти руки на сонці. Україна молода. 2013.16 січ. С. 6.
4. Дослідження ринку електроенергії в Україні: реалії та перспективи // <http://publicaudit.com.ua/reports-on-audit/>
5. Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей / Укренерго. Київ, 2017. 117 с.
6. Мачулін В., Литовченко В., Стріха М. Сонячна енергетика: порядок денний для світу й України. Вісник НАН України. 2011. № 5, С. 30-39.
7. Оксапич А. П., Тербан В. А., Волохов С. О., Ключ М. І., Скришевський В. А. та ін. Сучасні технології виробництва кремнію та кремнієвих фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії. Кривий Ріг, 2010. 266 с.
8. Савченко А. В., Костильов В. П., Литовченко В. Г. та ін. Рекомбінаційні характеристики пластин монокристалічного кремнію з приповерхневим порушенням шаром. УФЖ. 2013. Т. 58. № 2. С. 142-150.
9. Стріха В. І. Сонячна енергетика і проблеми її розвитку. Київ, 1983. 16 с.
10. Струк Х. М. Визначення економічної ефективності сонячної енергії в різних регіонах України. Тернопіль, 2017. 108 с.
11. Типи сонячних батарей та їх ККД // <https://alternative-energy.com.ua>
12. Типи сонячних панелей // <https://www.atmosfera.ua/uk/sonyachni-elektrostantsii/tipi-sonyachnix-panelej/>
13. <https://ecoenerhiia.ua/sonjachni-batarei/>
14. <https://www.atmosfera.ua/uk/sonyachni-elektrostantsii/sxemi-organizacii-sonyachnix-elektrostantsij/>

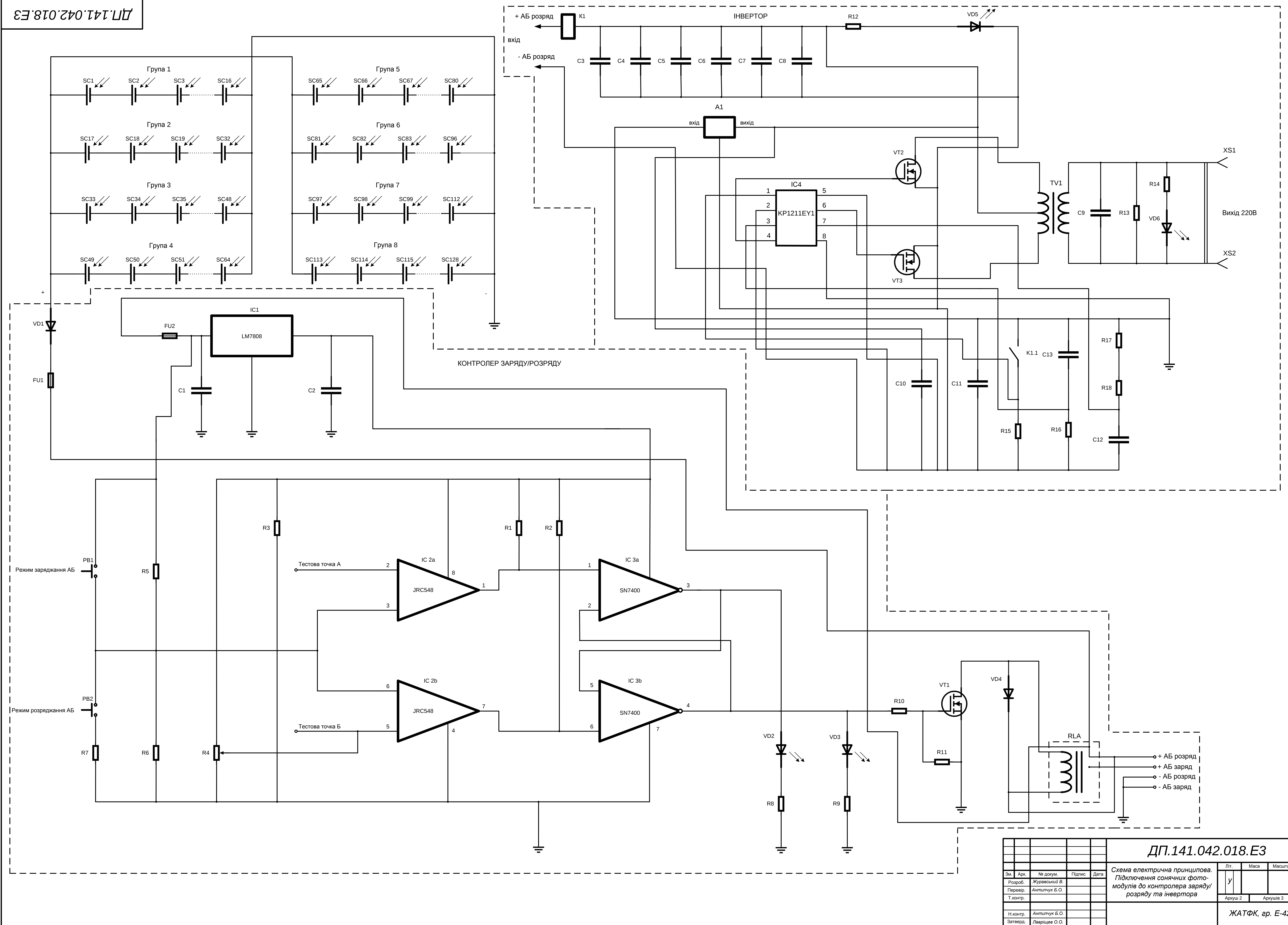
15. <https://studfiles.net/preview/5685496/page:31/>
16. <http://dovidkam.com/remont/invertor-dlya-sonyachnix-batarej-navishhovin-potriben-i-chim-korisnij.html>
17. <http://www.ecosvit.net/ua/akumulyatorni-batarei-akumulyatori-lipo>
18. <http://realsolar.ru/2901.htm>
19. <http://www.wel.net.ua/>

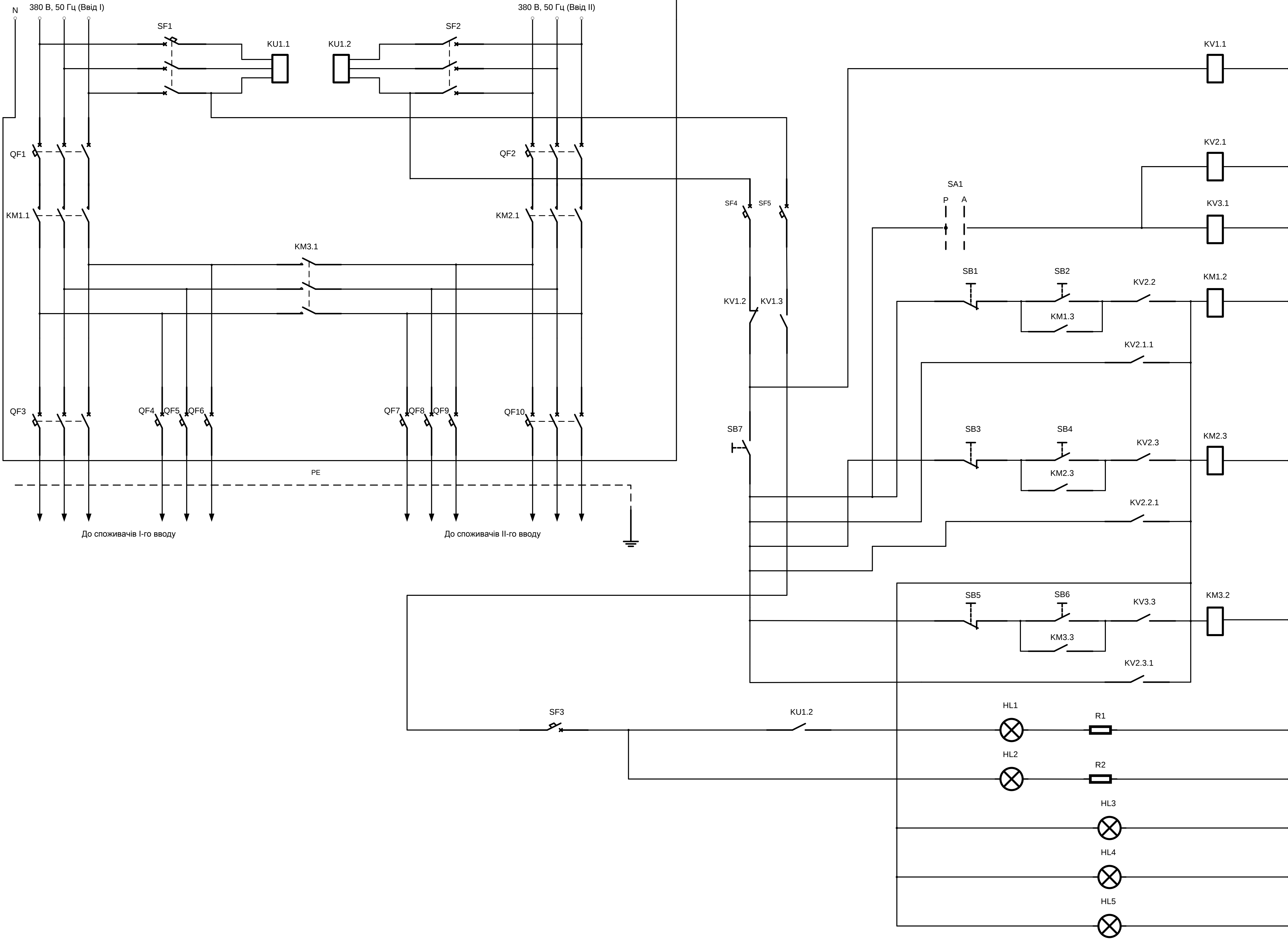
Познач.	Найменування	Кіл.	Примітка
	<i>НАПІВПРОВІДНИКОВІ ДІОДИ</i>		
VD1, VD4	LN4234	2	
VD2, VD3	Світлодіод, Led 5 мм	2	(зелений)
VD5, VD6	Світлодіод, Led 5 мм	2	(червоний)
	<i>ТРАНЗИСТОРИ</i>		
VT1	IRP540	2	
VT2, VT3	IRL2505	3	
	<i>РЕЗИСТОРИ</i>		
R1, R2	3,3 кОм	2	
R3, R4	10 кОм	2	
R5, R6	3,3 кОм	2	
R7, R12	1 кОм	2	
R8, R9	560 Ом	2	
R10	11 кОм	1	
R11	100 кОм	1	
R13, R14	47 кОм	2	
R15...R18	1 МОм	4	
	<i>КОНДЕНСАТОРИ</i>		
C1, C2	10 мкФ (полярний)	2	
C3 ... C6	4700 мкФ	4	
C7, C8	100 мкФ	2	
C9	0,47 мкФ	1	
C10...C11	100 мкФ	2	
C12...C13	22 мкФ	2	
	<i>ЗАПОБІЖНИКИ</i>		
FU1		1	
	<i>ІНТЕГРАЛЬНІ МІКРОСХЕМИ</i>		
AI	Випрямний блок ІМС 78L09	1	

					ДП.141.042.018.ПЗ							
Зм..	Арк.	№ Докум.	Підпис	Дата	Перелік елементів. Схема електрична принципова. Підключення сонячних фото-модулів до контролера заряду/ розряду та інвертора . (ДОДАТОК А)					Лім.	Арк.	Аркушів
Розробив	Журавський В.									У	80	82
Перевір	Антипчук Б.О.									ЖАТФК, Гр. Е-42		
Н. Контр.	Антипчук Б.О.											
Зав.	Лавріщев О.О.											

СОНЯЧНІ ФОТО-МОДУЛІ (ПАНЕЛІ)







АВР кіл живлення
Вибір режиму роботи
Ручне керування I-ї секції
Ручне керування II-ї секції
Ручне керування секційним апаратом
Напруга вводи I в нормі
Напруга вводи II в нормі
Пускач I-ї секції
Пускач II-ї секції
Секційний пускач

						ДП.141.042.018.E3		
						Схема електрична принципова. Щит АВР на базі пристрою автоматичного введення резерву CHINT, модель NXZB-63H/4C		
Зм.	Арх.	№ док.	Підпис	Дата		Літ.	Маса	Масштаб
Розроб.	Журавський В.					у		
Перевір.	Антончук Б.О.					Аркуш 3		Аркушів 3
Т.контр.								
Н.контр.	Антончук Б.О.							
Затверд.	Лавришине О.О.					ЖАТФК, ар. Е-42		