

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет міського господарства
імені О. М. Бекетова
Навчально-науковий інститут енергетичної, інформаційної та транспортної
інфраструктури
Кафедра Нафтогазової інженерії і технологій

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр»

на тему: *«Альтернативні джерела енергії та установки для її зберігання для надійної роботи системи транспорту газу»*

Виконав: студент 4 курсу групи НІТ2022-1 спеціальності 185 – Нафтогазова інженерія та технології, освітньої програми «Нафтогазова інженерія та технології»

Козар Богдан Олександрович

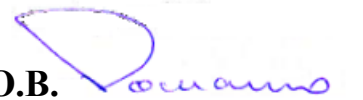


(підпис)

Керівник: доц. Ткаченко Р.Б.



Рецензент доц. Ромашко О.В.



(прізвище та ініціали)

м. Харків – 2026 р.

Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова
Навчально-науковий інститут енергетичної, інформаційної та транспортної інфраструктури

Кафедра: *Нафтогазової інженерії і технологій*

Освітньо-кваліфікаційний рівень: перший (*бакалаврський*)

Спеціальність *185 – Нафтогазова інженерія та технології*

Освітня програма: «*Нафтогазова інженерія та технології*»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

В.о. зав. кафедрою Нафтогазової
інженерії і технологій

Ткаченко Р. Б



« 25 » травня 2026 р.

З А В Д А Н Н Я

на кваліфікаційну роботу бакалавра Козара Богдана Олександровича

ема роботи: «Альтернативні джерела енергії та установки для її зберігання для надійної роботи системи транспорту газу».

керівник роботи: доц. Ткаченко Р.Б ,

затверджені наказом по університету від « 22 » травня 2026 р. № 440-03.

трок подання студентом закінченої роботи 15 червня 2026 р.

іхідні дані до роботи: відомості про систему енергопостачання газосховища, енергоспоживання, нормативні документи, значення вхідних і вихідних параметрів, технологічні схеми, характеристика режиму роботи, перелік і характеристика технологічного обладнання, характеристики обладнання

міст розрахунково-пояснювальної записки (перелік підлягаючих розробці питань):

Аналіз сучасного стану енергоспоживання газосховища

Аналіз проблем надійності енергопостачання

Впровадження альтернативних джерел енергії

Вплив на екологічний стан регіону

Розробка моделі енергопостачання для сховища газу.



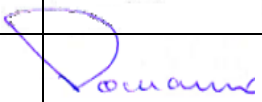
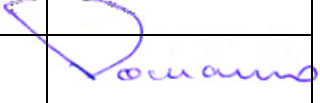
Термін окупності та ефективність інвестицій

Охорона праці та техніка безпеки

ерелік графічного матеріалу (з точним визначенням обов'язкових креслень):

Модель енергопостачання газосховища з використанням ВДЕ

Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці і безпека в надзвичайних ситуаціях	проф. Абракітов В.Е.		
Нормоконтроль	доц. Ромашко О.В.		

ата видачі завдання 28 травня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Найменування етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
	Одержання завдання на проектування		
	Аналіз проектних матеріалів і вихідних даних		
	Пошук та збір інформації за темою		
	Написання розділу Аналіз сучасного стану енергоспоживання газосховища		
	Написання розділу Аналіз проблем надійності енергопостачання		
	Впровадження альтернативних джерел енергії		
	Вплив на екологічний стан регіону		
	Розробка моделі енергопостачання для сховища газу		
	Визначення терміну окупності та ефективності інвестицій		
	Оформлення пояснювальної записки		
	Перевірка та редагування роботи		
	Визначення шкідливих факторів на об'єкті		
	Розробка заходів по охороні праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях		
	Виконання графічної частини роботи		
	Попередній захист кваліфікаційної роботи		
	Рецензування кваліфікаційної роботи	15.06 – 16.06.2026	
	Здача закінченої кваліфікаційної роботи в ДЕК		

Здобувач освіти



(ст. Козар Б.О.)

(підпис)

Керівник роботи



(Ткаченко Р.Б.)

(підпис)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка складається з 61 сторінки, містить 11 ілюстрацій та 3 таблиці.

Ключові слова: ЕНЕРГЕТИЧНА НЕЗАЛЕЖНІСТЬ, ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ СИСТЕМИ, ГЕНЕРУЮЧА ПОТУЖНІСТЬ, НАКОПИЧУВАЧІ ЕНЕРГІЇ, ЕКОЛОГІЧНИЙ ЕФЕКТ, ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ, ПІДЗЕМНЕ СХОВИЩЕ ГАЗУ.

Об'єкт дослідження – технологічний комплекс підземного сховища газу та супутня система його енергозабезпечення.

Предмет дослідження – процеси впровадження альтернативних джерел живлення та засобів акумулювання енергії в інфраструктуру транспортування газу.

Мета роботи – підвищення рівня експлуатаційної надійності та безперебійності функціонування газосховища шляхом інтеграції об'єктів відновлюваної енергетики та промислових систем збереження електричної енергії.

Завдання дослідження:

проведення комплексного аналізу поточної ситуації у сфері енергозабезпечення підприємств нафтогазового комплексу;

проектування моделі енергосистеми на основі використання альтернативних джерел та установок накопичення енергії;

техніко-економічне обґрунтування запропонованих рішень та оцінка їхньої окупності.

Основні результати:

У кваліфікаційній роботі проаналізовано сучасне обладнання для генерації «зеленої» енергії та характеристики передових систем зберігання електрики. Розроблено принципову схему інтегрованої моделі енергопостачання ПСГ. Здійснено детальний розрахунок параметрів будівництва сонячної електростанції, доповненої акумуляторними модулями, із визначенням термінів повернення інвестицій.

В окремому розділі опрацьовано питання охорони праці, зокрема розроблено алгоритми протипожежного захисту, заходи безпеки при монтажних роботах на висоті та вимоги до безпечної експлуатації електроінструменту.

Вступ.....	7
1 Стан енергопостачання газосховища	9
Склад технологічного обладнання ПСГ як основних споживачів енергії	9
Інфраструктура підземних сховищ газу ПСГ	15
1.3 Аналіз сучасного стану та структури енергоспоживання на об'єктах ПСГ.....	18
2 Дослідження чинників надійності функціонування систем електрозабезпечення ПСГ.....	24
Ризики, зумовлені військовими діями та загрозами цілісності енергетичної інфраструктури.....	24
Аналіз ефективності існуючих схем резервування та аварійного живлення	25
Обґрунтування та впровадження альтернативних джерел енергії в системах електрозабезпечення ПСГ	28
Технічне обґрунтування встановлення фотоелектричної станції (ФЕС) для власних потреб ПСГ	29
Вибір типу сонячних панелей та інверторного обладнання	30
Розрахунок очікуваної генерації та заміщення мережевої електроенергії	30
Обґрунтування вибору та функціональні особливості інверторного обладнання	36
Вибір та обґрунтування системи накопичення енергії (ESS).....	38
Розрахунок параметрів наземної фотоелектричної станції потужністю 1 МВт	39
Висновки розділу.....	47
6 Охорона праці	48
6.1 Охорона праці.....	48
Розрахунок захисного заземлення наземної СЕС	58
6.3 Організаційні заходи безпеки при роботі з персоналом.....	59

6.4 Розрахунок допустимої тривалості робіт в умовах впливу електричного поля промислової частоти.....	60
Висновки роботи	63
Список використаних джерел.....	64

ВСТУП

Використання альтернативних джерел енергії (АДЕ) на бурових установках — це інноваційний підхід, спрямований на зменшення шкідливого впливу на довкілля, екологізацію виробництва та зниження витрат на традиційне дизельне паливо. [1]

До основних видів альтернативних джерел, які можуть застосовуватися в нафтогазовій галузі, належать:

Сонячна енергія (фотовольтаїка): Сонячні панелі можуть забезпечувати живленням допоміжне обладнання, системи освітлення та побутові потреби персоналу на буровій.

Вітроенергетика: Встановлення вітрогенераторів є ефективним у регіонах з високою швидкістю вітру, що дозволяє генерувати додаткову електроенергію.

Геотермальна енергія: Використання тепла недр землі для теплопостачання та, в деяких випадках, генерації електрики.

Біопаливо та біогаз: Використання відходів або спеціально виробленої біомаси для роботи генераторів.

Воднева енергетика: Використання водню як палива для двигунів або паливних елементів. [1, 2, 3]

Переваги застосування АДЕ на бурових:

екологічна чистота: Зменшення викидів вуглекислого газу та інших шкідливих речовин в атмосферу.

автономність: Можливість працювати в умовах відсутності зовнішніх мереж електроживлення.

економічна ефективність: Довгострокова економія на паливі та технічному обслуговуванні дизельних установок.

зменшення шумів: АДЕ працюють набагато тихіше за дизельні генератори, що покращує умови праці. [1, 2, 3]

В даній роботі більш детально буде розглянуто застосування саме використання сонячних панелей, точніше сонячних електростанцій разом із

аккумуляторами та можливістю повної автономії. На початку концептуально ідея може здаватися надто революційною і складною з технічної точки зору та з фінансової складової, але порівнюючи витрати на використання дизельних генераторів для забезпечення потреб в електроенергії та логістичні проблеми та виклики сьогодення стає вочевидь, що до сонячних електростанцій не так далеко, як здавалося на початку формування теми кваліфікаційної роботи.

Високий ступінь актуальності обраного напрямку дослідження зумовлений критичними викликами для енергетичного сектору України в умовах воєнного стану. Систематичні цілеспрямовані атаки на об'єкти магістральної генерації та вузли розподілу спричиняють дестабілізацію об'єднаної енергосистеми, що призводить до тривалих перерв у живленні промислових споживачів. Оскільки підземні сховища газу класифікуються як об'єкти критичної інфраструктури, будь-яка зупинка їхніх технологічних циклів (особливо систем автоматизації, КВПіА та охолодження) загрожує не лише значними економічними втратами, а й виникненням техногенних аварій.

Для забезпечення енергетичної стійкості ПСГ у сучасних реаліях необхідно відійти від моделі безальтернативного живлення з центральної мережі. Стратегія підвищення надійності має базуватися на принципах децентралізації та резервування через впровадження мультимодальних систем розподілу.

У даній роботі запропоновано модель автономного енергозабезпечення, що базується на інтеграції відновлюваних джерел енергії (ВЕ) у поєднанні з промисловими системами накопичення енергії (ESS). На основі проведеного аналізу параметрів об'єкта встановлено, що найбільш раціональним технічним рішенням є впровадження фотоелектричної станції (ФЕС) зі стеком аккумуляторних батарей. Така архітектура дозволяє не лише замінювати частину споживання в денні години, а й формувати енергетичний резерв для підтримки життєдіяльності сховища під час нічних піків або в періоди аварійних відключень зовнішнього енергопостачання.

СТАН ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ ГАЗОСХОВИЩА

1.1 Склад технологічного обладнання ПСГ як основних споживачів енергії

Ефективність функціонування підземного сховища безпосередньо залежить від надійності роботи його технічного комплексу. З точки зору енергоспоживання, обладнання ПСГ можна розділити на основне (силове) та допоміжне.

Газоперекачувальні агрегати (ГПА)

Це найбільш енергоємний вузол будь-якого сховища. ГПА забезпечують стиснення газу для його закачування в пласт.

Типи приводів: На ПСГ України використовуються переважно газотурбінні приводи (споживають частину технологічного газу) та електроприводи (споживають електроенергію з мережі).

Енергетична особливість: Використання електроприводних ГПА дозволяє точніше регулювати режими роботи, але створює значне навантаження на локальні електричні мережі, що потребує встановлення потужних трансформаторних підстанцій.

Системи підготовки та очищення газу

Перед закачуванням та після відбору газ проходить через блоки сепарації та фільтрації.

Енергоспоживання: Енергія витрачається на роботу насосів для перекачування абсорбенту (у системах осушки), а також на підігрів газу перед редукуванням, щоб запобігти утворенню гідратів.

Апарати повітряного охолодження (АПО)

Після стиснення компресором газ нагрівається, що вимагає його примусового охолодження перед подачею у свердловину.

Енергетична особливість: Це потужні вентиляційні установки. Основним способом економії тут є впровадження перетворювачів частоти, які змінюють швидкість обертання вентиляторів залежно від температури навколишнього середовища.

Система допоміжних потреб та автоматизації

Сюди відносяться системи КВПіА, освітлення промислових майданчиків, системи катодного захисту трубопроводів та вентиляція приміщень.

Функціональне призначення підземних сховищ у межах вітчизняної газотранспортної системи охоплює низку стратегічних завдань:

Нівелювання нерівномірності споживання: ПСГ виступають ключовим інструментом для компенсації сезонних та добових амплітуд попиту на енергоносії.

Підтримка стабільності в пікові періоди: забезпечення безперебійної подачі палива споживачам під час екстремального похолодання та критичного зростання навантаження на мережу.

Формування стратегічного енергорезерву: створення запасів газу для гарантування енергетичної безпеки держави у разі виникнення непередбачуваних ситуацій, включаючи воєнні дії чи припинення зовнішніх поставок.

Локалізація наслідків технічних збоїв: наявність оперативного ресурсу для оперативного реагування на аварії в окремих вузлах ГТС та підтримки працездатності системи на місцевому рівні [2].

Увесь масив газу, що зберігається в підземному резервуарі, прийнято розділяти на два функціональні блоки: активний (робочий) та буферний (залишковий).

Активна складова являє собою рухомий об'єм газу, призначений для оперативного регулювання постачання та компенсації дефіциту енергоресурсу. Саме цей об'єм охоплює запаси державного значення та оперативні резерви, що залучаються в періоди пікових навантажень.

Буферний газ є постійним компонентом, який не вилучається протягом усього терміну функціонування сховища. Його головна задача — підтримка необхідного рівня пластової енергії (тиску) на завершальних етапах видобутку активного об'єму. Це критично важливо для збереження продуктивності свердловин, забезпечення стабільної роботи технологічного обладнання (як

наземного, так і підземного), а також для запобігання передчасному зносу пласта та виконання екологічних норм щодо охорони надр.

Ефективність функціонування об'єкта зберігання багато в чому визначається пропорцією між активним та буферним об'ємами. Оптимальне значення цього показника встановлюється шляхом глибокого техніко-економічного обґрунтування. У практиці експлуатації сучасних ПСГ зазначений коефіцієнт зазвичай варіюється в діапазоні 0,3–0,7.

Технологічний цикл роботи сховища безпосередньо корелює з граничними показниками пластового тиску:

Верхня межа (максимум) спостерігається при граничному рівні закачування газу в пласт.

Нижня межа (мінімум) фіксується в момент, коли в системі залишається лише буферна частина енергоресурсу.

Окрему увагу приділяють максимально допустимому тиску, величина якого може перевищувати номінальний максимум. Цей параметр не є універсальним і залежить від комплексу геолого-технічних чинників:

геометричних параметрів структури (глибина, висота пастки);
тектонічних та літологічних властивостей порід;
фізико-механічних характеристик покритишки (її потужності, пластичності та герметичності).

Встановлення безпечного порогу тиску для конкретного сховища потребує проведення індивідуальних лабораторних тестів та детального вивчення стану пласта, щоб виключити ризики деформації чи прориву газу.

Аналіз світової практики формування підземних резервуарів вказує на те, що граничний рівень тиску може перевищувати нормальні гідростатичні показники у 1,3–1,5 рази. Для об'єктів, що розгортаються на базі виснажених родовищ (газових або нафтових), за верхню межу пластового тиску найчастіше беруть його первинне значення, зафіксоване до початку промислового видобутку.

Особливого підходу потребують структури з вираженим водонапірним режимом. У таких випадках, для недопущення обводнення експлуатаційного

горизонту, піковий пластовий тиск встановлюють на дещо вищому рівні. Рекомендується, щоб середній показник тиску протягом циклу експлуатації був наближеним до природного тиску водонапірної системи. При цьому критично важливо гарантувати відсутність міграції газу за межі пастки та забезпечити надійну ізоляцію пластом-покришкою.

У разі створення ПСГ у водонапірних пластах-колекторах для стабілізації об'ємів сформованого техногенного покладу, максимальний тиск зазвичай витримується в діапазоні 1,1–1,4 відносно гідростатичної норми.

Проектування та експлуатація підземних газосховищ мають базуватися на дотриманні таких технологічних та економічних критеріїв:

Логістична доцільність: Об'єкт повинен розташовуватися в безпосередній близькості до великих промислових чи комунальних центрів споживання. Оптимальним вважається віддалення ПСГ від кінцевого споживача в межах 10% від загальної протяжності магістральної мережі.

Місткість резервуара: Параметри пласта мають дозволяти акумулювання необхідного об'єму робочого газу, враховуючи стратегічні та оперативні резерви.

Технологічна потужність обладнання: Для ПСГ сезонного регулювання комплекс наземних і підземних споруд (компресорні станції, фонд свердловин, вузли підготовки) має гарантувати стабільну видачу газу протягом 90–100 діб при загальній тривалості періоду відбору до 150 діб. Об'єкти пікового типу повинні забезпечувати добову продуктивність на рівні не менше 2% від активної ємності сховища.

Глибина залягання пласта: Найбільш раціональним з економічної точки зору є діапазон глибин від 600 до 1500 м. Це дозволяє уніфікувати роботу газоперекачувальних агрегатів для обох циклів (нагнітання та відбору). Мала глибина дозволяє закачувати газ без використання компресорів, але потребує значного об'єму буферного газу. Велика глибина сприяє безкомпресорному відбору, проте суттєво здорожує будівництво свердловин та підвищує енерговитрати на стиснення газу під час закачування.

Герметичність та технічний стан: Структура має бути надійно ізольованою. При конвертації виснажених родовищ у ПСГ особлива увага приділяється ревізії та стану кріплення старих свердловин для запобігання витокам.

Параметри конструкції свердловин, зокрема діаметри експлуатаційної та проміжної колон, розраховуються на основі типорозміру насосно-компресорних труб (НКТ). Вибір діаметра НКТ має гарантувати проектну дебітність свердловин при мінімізації енергетичних втрат на підйом пластової рідини та винесення механічних домішок із вибою.

Геометрія розташування свердловин на структурі. Згідно з техніко-економічними розрахунками, найчастіше застосовується кущове (групове) розміщення свердловин у склепінній частині структури з кроком 70–100 м. Проте практика функціонування ПСГ вказує на певні недоліки такого підходу:

Через інтенсивні цикли нагнітання та відбору газу в районі склепіння формуються зони значних депресій та репресій (так звані "воронки").

Водночас у периферійних (приконтурних) частинах пласта утворюються малорухомі "застійні" зони.

Це явище, за умови суворого дотримання граничних показників пластового тиску, спричиняє небажаний перерозподіл об'ємів газу: робоча (активна) ємність сховища може скоротитися на 10–30%, тоді як частка буферного газу відповідно зростає.

У практичній діяльності свердловини найчастіше розподіляють по площі структури у формі рівномірної сітки, передбачаючи її ущільнення в місцях із найкращими фільтраційно-ємнісними властивостями пласта. Такий підхід до розташування дозволяє суттєво оптимізувати фонд свердловин, зменшивши їх загальну кількість без втрати проектної потужності об'єкта.

Акумуляторна система (BESS): «Згладжує» пікові навантаження. Наприклад, під час підйому бурильної колони (операція "tripping") виникає різкий стрибок споживання енергії. Замість того, щоб запускати додатковий генератор, система бере необхідну потужність з акумуляторів.

Відновлювані джерела (Solar/Wind): Сонячні контейнери (наприклад, потужністю 300 кВт) інтегруються в загальну мережу бурової. Вдень вони живлять допоміжні системи (освітлення, житлове містечко, насоси), дозволяючи вимкнути один або кілька генераторів.

Система управління енергією (EMS): Це «мозок» системи, який автоматично вирішує, звідки брати енергію в конкретний момент, щоб мінімізувати викиди CO₂ та витрати палива.

Практичний кейс:

Компанія Nabors Industries або Maersk Drilling використовують подібні системи, де літій-іонні батареї працюють паралельно з двигунами. Це дозволяє скоротити споживання дизельного палива на 15–30% та суттєво зменшити час напрацювання двигунів, подовжуючи їхній міжремонтний ресурс.

Чи цікавить вас технічна специфікація обладнання для таких систем або економічний розрахунок окупності для конкретного об'єкта?

Гібридна система на буровій зазвичай базується на інтеграції **дизель-генераторних установок (ДГУ)** та **систем накопичення енергії (BESS)**. Це дозволяє генераторам працювати в стабільному оптимальному режимі, а акумуляторам — брати на себе пікові навантаження та рекуперувати енергію. [1,

Нижче наведено орієнтовні технічні параметри та економічні показники такої системи.

Технічна специфікація (Приклад для середньої бурової)

Сучасні BESS для бурових часто монтуються у 20- або 40-футові контейнери для зручності транспортування. [1, 2]

Тип акумуляторів: Літій-залізо-фосфатні (LFP) — вони найбільш безпечні та довговічні для промислового використання.

Потужність інвертора: 500 -1500 кВт (залежно від глибини буріння та потужності основних приводів).

Ємність системи: 200 -1000 кВт·год.

Час реакції: <100 мс (необхідно для миттєвої компенсації стрибків напруги при роботі лебідки чи насосів).

Робочий діапазон температур: від -30С до +50С (забезпечується вбудованою системою клімат-контролю HVAC).

Клас захисту: IP54/IP65 (для роботи у важких польових умовах).

Окупність системи залежить від вартості палива, логістики та інтенсивності буріння. Усереднені дані на основі галузевих кейсів.

Інфраструктура підземних сховищ газу (ПСГ)

Структура облаштування ПСГ являє собою комплекс технічних об'єктів, що взаємодіють між собою для реалізації встановлених технологічних процесів формування та функціонування газосховища. [3]

Інфраструктура підземних сховищ газу (ПСГ) — це складний технологічний комплекс, який забезпечує повний цикл зберігання енергоносія: від приймання з магістральних газопроводів до повернення споживачам. В академічному стилі її прийнято поділяти на два основні блоки: наземний та підземний.

Наземна інфраструктура (Технологічний комплекс)

Це сукупність споруд, що забезпечують підготовку та переміщення газу. До неї належать:

Компресорна станція (КС): «Серце» ПСГ, обладнане газоперекачувальними агрегатами (ГПА) для створення тиску, необхідного для закачування газу в пласт.

Установка підготовки газу (УПГ): Система сепараторів, фільтрів та адсорберів. Під час відбору вона очищує газ від пластової води, механічних домішок та осушує його перед подачею в транспортну мережу.

Газорозподільні пункти (ГРП): Вузли, де регулюється тиск та здійснюється облік газу (вимірювання обсягів закачування/відбору).

Шлейфи та колектори: Мережа трубопроводів, що з'єднує технологічні установки зі свердловинами.

Підземна інфраструктура (Геологічний об'єкт)

Включає безпосередньо місце зберігання та засоби доступу до нього:

Фонд свердловин:

Експлуатаційні: через них здійснюється безпосереднє закачування та відбирання.

Спостережні та п'єзометричні: для постійного моніторингу тиску, положення газоводяного контакту та герметичності об'єкта.

Контрольні та спеціальні: для перевірки стану верхніх горизонтів.

Пласт-колектор: Пориста порода (пісковик, вапняк) або штучна порожнина (соляна каверна), де фізично накопичується газ.

Покрівля: Непроникний шар породи (глина, сіль), що забезпечує герметичність і унеможливорює витік газу вгору.

Структура активного та буферного газу

Важливою частиною «невидимої» інфраструктури є сам газ:

Активний (робочий) газ: Об'єм, який можна закачувати та відбирати протягом циклу.

Буферний газ: Мінімально необхідний об'єм, що постійно залишається в пласті для підтримання необхідного тиску та запобігання обводненню свердловин.

Енергозабезпечення та електроспоживання об'єктів ПСГ

Електропостачання підземного сховища газу організовано як систему живлення споживачів різних категорій надійності, що забезпечують безперебійність технологічного циклу.

Основні групи електроспоживачів:

Силове електрообладнання: сюди належать електродвигуни газоперекачувальних агрегатів (якщо використовуються електропривідні ГПА), а

також приводи допоміжних насосів (системи охолодження, перекачування пластової води та конденсату).

Системи підготовки газу: живлення апаратів повітряного охолодження (АПО), електропідігрівачів газу та приводів запірної арматури на установках очищення й осушення.

Інженерна інфраструктура: електропостачання допоміжних цехів, систем водопостачання, каналізації, вентиляції та кондиціонування виробничих приміщень.

Автоматизація та зв'язок: живлення контрольно-вимірювальних приладів (КВП), систем телемеханіки, диспетчерського управління та охоронної сигналізації (належать до споживачів I категорії надійності).

Електрохімічний захист (ЕХЗ): робота установок катодного та дренажного захисту, що запобігають корозії обсадних колон свердловин та з'єднувальних трубопроводів.

Рівень енергоспоживання суттєво варіюється залежно від сезону:

Пікові навантаження припадають на періоди інтенсивного закачування (робота компресорів) та відбору (робота систем осушення та підготовки).

Базові навантаження забезпечують функціонування систем моніторингу та освітлення в періоди операційної паузи.

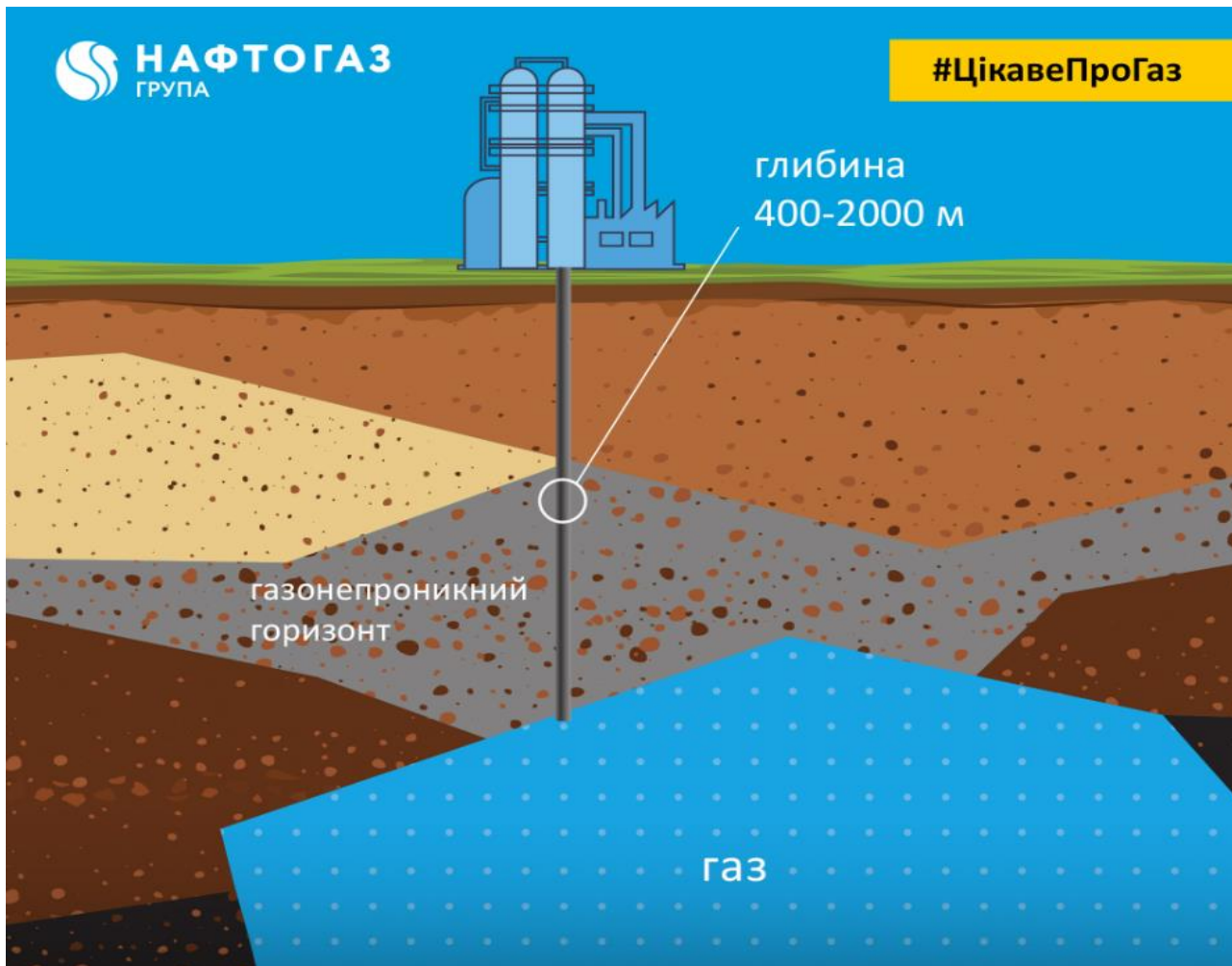


Рис. 1.1 - Підземне сховище природного газу (газ; компресорна станція; ГРП; різні пласти; піщана лінза; свердловина)

Аналіз сучасного стану та структури енергоспоживання на об'єктах ПСГ

Класифікація основних споживачів електроенергії в технологічному циклі ПСГ.

Функціонування підземних сховищ газу базується на роботі складного комплексу електротехнічного обладнання, що забезпечує виконання технологічних операцій із закачування, зберігання та відбору природного газу. Відповідно до функціонального призначення, основних споживачів електроенергії на ПСГ можна класифікувати за наступними групами:

Основне технологічне обладнання: силові електроприводи компресорних агрегатів (у разі використання електропривідних ГПА), які є найбільш енергоємними вузлами об'єкта.

Допоміжне обладнання компресорних станцій: системи охолодження газу та мастила (вентилятори апаратів повітряного охолодження), насоси подачі технічної води, системи мастилозабезпечення.

Системи підготовки та очищення газу: електроприводи арматури, насоси для перекачування промислового конденсату та метанолу, блоки осушення.

Інженерно-захисні системи: установки електрохімічного захисту (ЕХЗ) магістральних трубопроводів та фонду свердловин від корозії, що працюють у безперервному режимі.

Інфраструктурні та контрольні системи: системи автоматизації (АСУ ТП), контрольно-вимірювальні прилади, зв'язок, освітлення промислових майданчиків та забезпечення власних потреб адміністративних споруд.

Характеристика режимів енергоспоживання залежно від сезонності експлуатації. Режимми функціонування ПСГ мають яскраво виражений циклічний характер, що безпосередньо визначає динаміку та обсяги споживання електричної енергії протягом року. Робочий цикл сховища поділяється на три основні фази, кожна з яких характеризується специфічним складом задіяного обладнання та рівнем енергетичного навантаження:

Період закачування (весняно-літній сезон). У цей період фіксуються пікові значення енергоспоживання. Основне навантаження припадає на роботу компресорного цеху для подолання пластового тиску та закачування газу в об'єкт зберігання. Додатково зростають витрати енергії на роботу апаратів повітряного охолодження (АПО), оскільки стиснення газу супроводжується значним виділенням теплової енергії, яку необхідно відводити для дотримання температурного режиму пласта.

Період відбору (осінньо-зимовий сезон): енергоспоживання в цей період визначається роботою систем підготовки газу до транспортування. Основна частка електроенергії витрачається на забезпечення технологічних процесів

сепарації, осушення та очищення газу від пластової води й домішок. Хоча компресори можуть бути задіяні меншою мірою (за умови достатнього пластового тиску), значна енергія витрачається на підігрів газу та роботу насосного обладнання.

Періоди операційних пауз (нейтральні періоди): між циклами закачування та відбору об'єкт переходить у режим мінімального енергоспоживання. У цей час електроенергія витрачається переважно на підтримання життєдіяльності об'єкта: роботу систем електрохімічного захисту (ЕХЗ), засобів автоматизації, КВПіА, систем безпеки та внутрішнього освітлення.

Аналіз сезонності показує, що нерівномірність енергоспоживання вимагає від системи електропостачання ПСГ високої гнучкості та здатності витримувати значні пускові навантаження при переході до активних фаз експлуатації.

Аналіз графічної залежності (рис. 1.3) дозволяє встановити характер розподілу енергоспоживання протягом річного циклу експлуатації ПСГ. Зокрема, спостерігається суттєве зниження обсягів споживання електричної енергії в зимовий період під час фази відбору газу. Натомість фаза закачування характеризується значно вищими енерговитратами, що обумовлено необхідністю тривалої роботи компресорних установок для подолання пластового тиску.

Додатково слід зазначити, що добовий графік навантаження ПСГ вирізняється високим ступенем рівномірності. Відсутність яскраво виражених пікових годин пояснюється безперервним характером основних технологічних процесів та стабільністю роботи силового обладнання протягом всієї зміни.

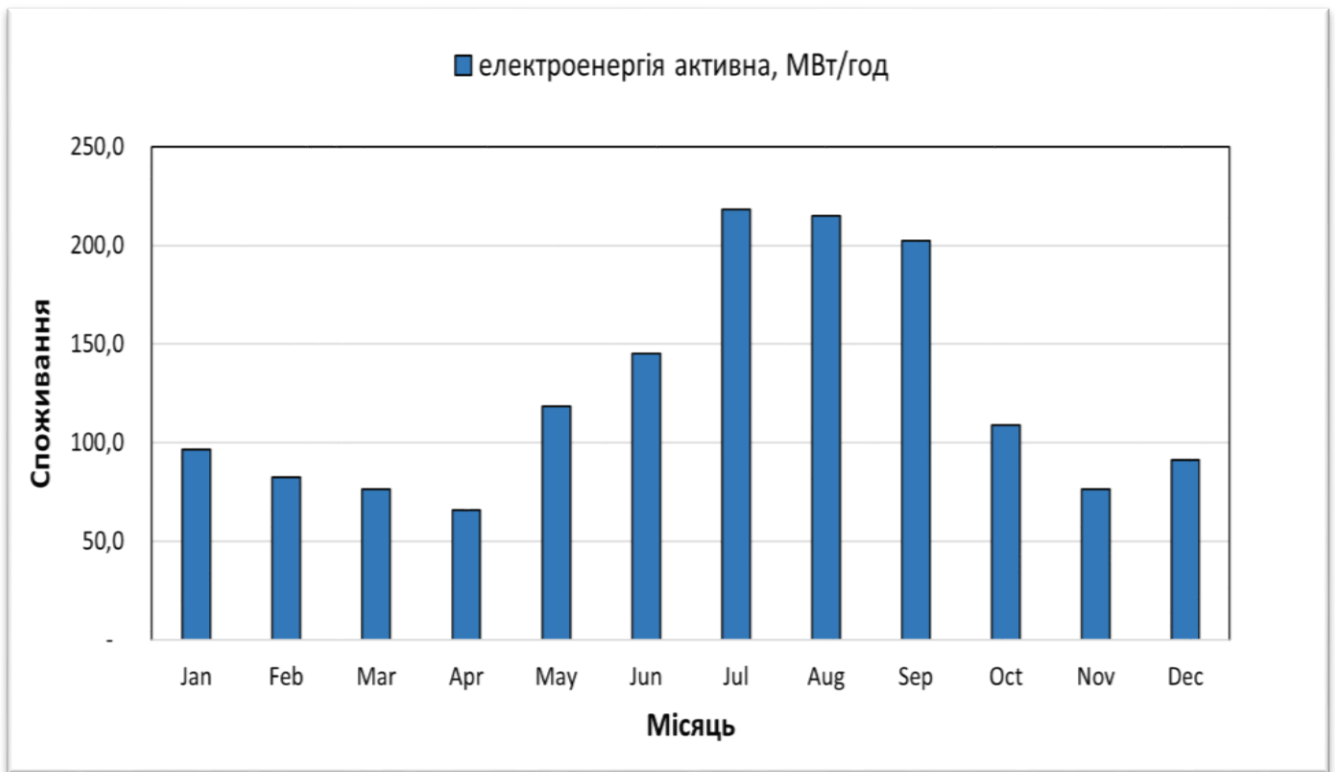


Рис. 1.3 - Графік розподілу споживання електроенергії за рік

Оцінка енергоємності основних технологічних процесів. Енергоємність технологічних процесів ПСГ є ключовим показником, що визначає ефективність використання енергоресурсів при зберіганні та транспортуванні газу. Під енергоємністю розуміють питомі витрати електроенергії на одиницю обсягу газу ($\text{кВт}\cdot\text{год} / 1000 \text{ м}^3$), що проходить крізь технологічні вузли сховища.

Основними чинниками, що формують рівень енергоємності, є:

Питомі витрати на компримування: Це найбільш енерговитратний процес. Рівень споживання енергії безпосередньо залежить від ступеня стиснення газу, який визначається різницею між тиском у магістральному газопроводі та поточним пластовим тиском у сховищі. У міру заповнення ПСГ енергоємність закачування зростає через необхідність долати опір пласта.

Ефективність систем підготовки: Енерговитрати на очищення та осушення газу залежать від фізико-хімічних властивостей пластового флюїду та технічного стану сепараційного обладнання. Використання сучасних адсорбційних або абсорбційних методів дозволяє оптимізувати ці витрати.

Вплив технічного стану обладнання: Зношеність електроприводів, запірної арматури та забруднення теплообмінних поверхонь призводять до збільшення механічних та гідравлічних втрат, що автоматично підвищує загальну енергоємність об'єкта.

Втрати в системі розподілу: Сюди відносяться втрати в трансформаторах та внутрішніх лініях електропередачі ПСГ. Оптимізація рівнів напруги та компенсація реактивної потужності є важливими факторами зниження енергоємності.

Аналіз цих показників дозволяє виявити найбільш критичні вузли, де споживання енергії перевищує нормативні значення, що є підґрунтям для розробки заходів з модернізації.

Аналіз існуючої системи електрозабезпечення та категорійності електроприймачів. Електрозабезпечення підземних сховищ газу здійснюється від зовнішніх енергосистем через систему головних понижувальних підстанцій (ГПП). Організація схеми живлення базується на вимогах надійності, оскільки ПСГ є стратегічно важливими об'єктами паливно-енергетичного комплексу.

Ключові аспекти побудови системи:

Категорійність електроприймачів. I категорія (особлива група): до неї належать системи автоматизації, зв'язку, КВПіА, аварійна вентиляція та системи пожежної безпеки. Вони потребують безперебійного живлення від двох незалежних джерел із застосуванням джерел безперебійного живлення (ДБЖ) або дизель-генераторних установок.

I та II категорія: технологічне обладнання (насоси, вентилятори АПО, приводи запірної арматури), переривання живлення яких може призвести до порушення технологічного циклу або недоотримання газу споживачами.

III категорія: допоміжні споруди, майстерні та господарські об'єкти.

Трансформаторні підстанції та мережі. Розподіл енергії на території ПСГ зазвичай здійснюється на напрузі 6 (10) кВ з подальшим зниженням до 0,4 кВ на цехових підстанціях. Така дворівнева система дозволяє мінімізувати втрати при

передачі потужності до віддалених об'єктів (наприклад, до установок електрохімічного захисту на дальніх свердловинах).

Компенсація реактивної потужності. Через наявність великої кількості електродвигунів у системі виникають значні реактивні навантаження. Для підвищення коефіцієнта потужності ($\cos \varphi$) та розвантаження мереж на ПСГ застосовуються конденсаторні установки.

Електрохімічний захист (ЕХЗ). Особливістю інфраструктури ПСГ є розгалужена мережа споживачів ЕХЗ. Вони мають невелику одиничну потужність, але розташовані на значній відстані один від одного, що вимагає специфічного підходу до проектування ліній живлення вздовж трубопроводів.

На основі проведеного аналізу встановлено, що сучасний стан енергоспоживання на ПСГ має ряд проблемних зон, усунення яких дозволить суттєво підвищити енергоефективність об'єкта. До основних факторів, що негативно впливають на енергетичні показники, належать:

Моральне та фізичне зношування обладнання. Експлуатація силових агрегатів і насосних установок застарілих типів призводить до підвищених енерговитрат порівняно із сучасними аналогами.

Неоптимальне регулювання навантаження. Відсутність або недостатнє використання частотно-регульованих приводів (ЧРП) на вентиляторах АПО та насосних станціях зумовлює зайві витрати енергії при роботі обладнання на неповну потужність.

Високі втрати в системах розподілу. Застарілі трансформатори та недостатній рівень автоматизованого контролю за споживанням реактивної потужності знижують якість електроенергії в мережі.

Низький рівень цифровізації. Відсутність інтелектуальних систем енергетичного менеджменту (Smart Grid) унеможливує оперативне коригування режимів роботи обладнання в реальному часі залежно від цінових сигналів або пікових навантажень.

Потенціал енергозбереження на об'єкті дослідження полягає у впровадженні комплексних заходів, таких як:

Встановлення перетворювачів частоти для плавного регулювання швидкості двигунів.

Модернізація установок електрохімічного захисту з переходом на імпульсні джерела живлення.

Впровадження автоматизованих систем обліку та контролю енергії (АСКОЕ), що дозволить виявити несанкціоновані втрати та оптимізувати графік навантаження.

Таким чином, виявлені недоліки формують технічне завдання для подальшої розробки енергоефективних рішень у наступних розділах роботи.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ЧИННИКІВ НАДІЙНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПСГ

2.1 Ризики, зумовлені військовими діями та загрозами цілісності енергетичної інфраструктури.

Специфіка експлуатації ПСГ в умовах воєнного стану вимагає перегляду традиційних підходів до оцінки надійності. Основними ризиками у цьому контексті є:

Дестабілізація зовнішніх енергомереж: Масовані удари по об'єктах енергетичної генерації та магістральних підстанціях призводять до дефіциту потужності в системі та частих аварійних відключень. Для ПСГ це створює загрозу раптової зупинки компресорних агрегатів, що може спричинити гідравлічні удари в газових комунікаціях.

Фізичне пошкодження локальної інфраструктури: Прямі влучання або дія уламків можуть вивести з ладу відкриті розподільні пристрої (ВРП), трансформатори та лінії живлення віддалених свердловин.

Кіберзагрози. Військові дії в сучасному світі супроводжуються спробами втручання в роботу автоматизованих систем управління (АСУ ТП). Порушення

роботи програмного забезпечення може призвести до хибних спрацювань захисту та безпідставного знеструмлення об'єктів.

Ускладнення логістики та ремонтів: Обмеження доступу до певних ділянок через мінну небезпеку або бойові дії унеможлиблює оперативне відновлення пошкоджених ліній електропередачі

2.2 Аналіз ефективності існуючих схем резервування та аварійного живлення

Забезпечення безперебійного функціонування об'єктів ПСГ в умовах нестабільного енергопостачання покладається на багаторівневу систему резервування. Ефективність такої системи визначається швидкістю перемикання на альтернативні джерела та тривалістю автономної роботи критично важливого обладнання.

Ключові компоненти системи резервування. Пристрої автоматичного введення резерву (АВР). Забезпечують автоматичне перемикання між незалежними вводами від зовнішньої енергосистеми. Ефективність АВР безпосередньо залежить від технічного стану комутаційних апаратів та селективності релейного захисту, що дозволяє локалізувати пошкодження без знеструмлення всього об'єкта.

Джерела безперебійного живлення (ДБЖ). Застосовуються для споживачів особливої групи I категорії (мікропроцесорні системи управління, сервери, вузли зв'язку). Використання сучасних ДБЖ з подвійним перетворенням дозволяє нівелювати стрибки напруги та гармонійні спотворення, що виникають у пошкоджених мережах.

Автономні дизель-генераторні установки (ДГУ). Є основним засобом забезпечення живучості ПСГ при повній втраті зовнішнього живлення (режим "blackout"). Потужність ДГУ повинна бути достатньою для підтримки систем життєзабезпечення, пожежогасіння та безаварійної зупинки або підтримки мінімального технологічного циклу підготовки газу.

Технологічне резервування (Газотурбінні приводи). На сховищах, де встановлені ГПА з газотурбінним приводом, енергетична незалежність є вищою, оскільки основна робота з компримування газу не залежить від зовнішніх електромереж. У таких випадках електроенергія потрібна лише для допоміжних потреб.

Аналіз показує, що основними викликами для систем резервного живлення є обмежений запас палива для ДГУ при тривалих відключеннях та необхідність модернізації акумуляторних батарей у системах ДБЖ, які мають обмежений ресурс циклів заряду-розряду в умовах частих переходів на автономне живлення.

Критичним викликом для сучасної енергетики є масштабні пошкодження та деструкція ключових об'єктів генерації — теплоелектроцентралей (ТЕЦ), гідроелектростанцій (ГЕС), а також вузлових розподільних підстанцій, що забезпечують передачу виробленої електроенергії споживачам.



a



б

Рис. 2.1 - Пошкодження енергетичного сектору російськими обстрілами [5]



Рис. 2.2 – Пошкодження російськими ударами [6]

3 ОБҐРУНТУВАННЯ ТА ВПРОВАДЖЕННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ЕЛЕКТРОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПСГ

Альтернативні джерела енергії (АДЕ) являють собою відновлювані ресурси, експлуатація яких дозволяє мінімізувати використання викопного палива та нівелювати антропогенний вплив на довкілля. Завдяки впровадженню інноваційних рішень у сфері фотоелектричних, вітроенергетичних та геотермальних систем, стає можливим генерування екологічно безпечної електричної та теплової енергії. Стрімка дифузія відновлюваних технологій в енергетичний сектор обумовлена необхідністю протидії кліматичним змінам, нестабільністю цін на традиційні вуглеводні та обмеженістю світових запасів невідновлюваних ресурсів. Крім того, державне стимулювання, міжнародні екологічні стандарти (зокрема щодо декарбонізації) та запит суспільства на сталий розвиток формують фундамент для подальшої модернізації галузі. [8]

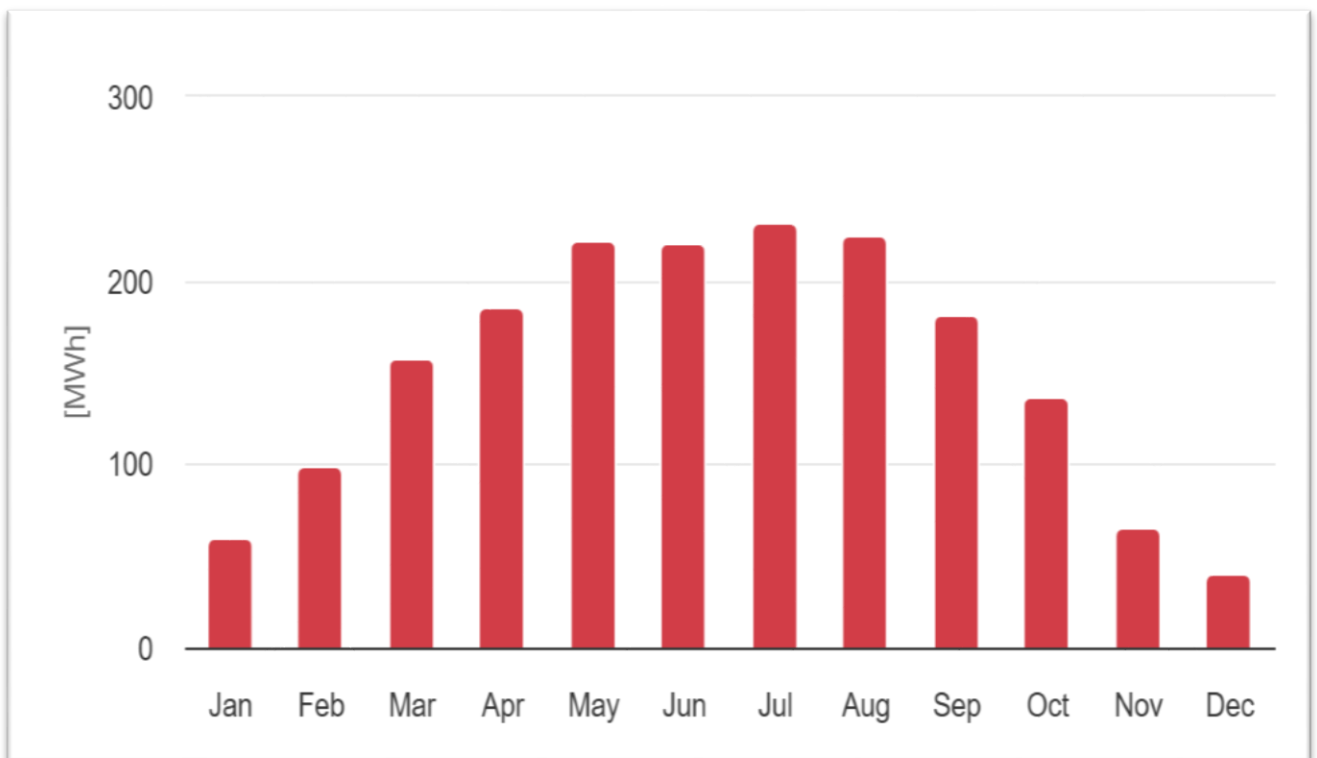


Рис. 3.1 – Генерація електричної енергії протягом року

Сонячна енергетика виступає ключовим сегментом відновлюваної енергетики, що базується на трансформації енергії сонячного випромінювання у

зручні для споживання види енергоресурсів. Даний напрям характеризується високим рівнем екологічної безпеки та відсутністю негативного впливу на біосферу. Використання сонячної інсоляції для генерування теплової та електричної потужності є технічно доцільним і може бути реалізоване в будь-якому регіоні України, що підтверджується відповідними показниками середньорічної інсоляції. [14]

3.1. Технічне обґрунтування встановлення фотоелектричної станції (ФЕС) для власних потреб ПСГ

Впровадження сонячної генерації на об'єктах підземного зберігання газу обумовлено необхідністю створення додаткового незалежного джерела живлення. Враховуючи значну територію промислових майданчиків та наявність технологічних будівель із великою площею дахів, встановлення ФЕС дозволяє ефективно використовувати наявний просторовий ресурс.

Основними технічними перевагами впровадження сонячних панелей є:

ниження навантаження на трансформаторні підстанції у денні години, що збігається з періодами активної роботи допоміжного обладнання.

ідвищення надійності живлення систем автоматизації та КВПіА, які працюють безперервно.

- модульність системи, що дозволяє нарощувати потужність станції поетапно, залежно від потреб об'єкта.



Рис. 2.4 - Розподіл сонячної радіації в Україні протягом року (кВт·год /м²)

3.2. Вибір типу сонячних панелей та інверторного обладнання

Для забезпечення максимальної ефективності в умовах промислового майданчика доцільно розглядати використання монокристалічних кремнієвих панелей (зокрема технології PERC або Bifacial), які мають вищий ККД та кращу стійкість до перегріву.

Особлива увага приділяється вибору інверторів:

Використання мережевих інверторів для прямої заміщення споживання з мережі.

Застосування гібридних інверторів у поєднанні з системами накопичення енергії (ESS) для забезпечення критичних споживачів у темну пору доби або під час аварійних відключень.

Пряма конверсія енергії сонячного випромінювання в електричну здійснюється за допомогою фотоелектричних перетворювачів. На сучасному етапі розвитку ринку ключові позиції займають технології на основі кристалічного кремнію (c-Si) та тонкоплівкові рішення.

Кристалічні кремнієві технології. Базуються на використанні високочистого кремнію. Окремі фотоелементи об'єднуються у модулі з послідовним або паралельним електричним з'єднанням. Дана технологія є найбільш апробованою та домінуючою, охоплюючи близько 85–90 % світового ринку фотоелектрики завдяки високій стабільності та ККД.

Тонкоплівкові технології. Передбачають нанесення тонкого шару напівпровідникових матеріалів на різні типи підкладок (скло, металева фольга або гнучкі полімери). Це дозволяє зменшити матеріаломісткість виробництва, хоча частка таких рішень на ринку залишається значно меншою порівняно з кремнієвими аналогами.

Висока частка кремнієвих панелей у структурі світової генерації підтверджує їхню надійність та експлуатаційну придатність для довгострокових проектів.

3.3. Розрахунок очікуваної генерації та заміщення мережевої електроенергії

Для оцінки доцільності проекту проводиться розрахунок потенційної річної генерації на основі даних сонячної інсоляції в регіоні розташування ПСГ. Ключовим завданням є синхронізація графіка генерації ФЕС із графіком споживання допоміжних систем сховища. Це дозволяє максимізувати відсоток самоспоживання (self-consumption) та мінімізувати термін окупності обладнання без необхідності продажу надлишків у мережу.

Для проектованої сонячної електростанції обрано фотоелектричні модулі монокристалічного типу. Даний вибір зумовлений їхніми вищими показниками коефіцієнта корисної дії (ККД) порівняно з аналогами, а також подовженим терміном експлуатації зі збереженням номінальних характеристик потужності протягом тривалого часу.

ККД зазвичай становить 19–22% (проти 15–17% у полікристалічних).

Температурний коефіцієнт: краща робота при високих температурах у літній період закачування газу.

Площа: потребують меншої площі монтажу для досягнення тієї ж потужності.

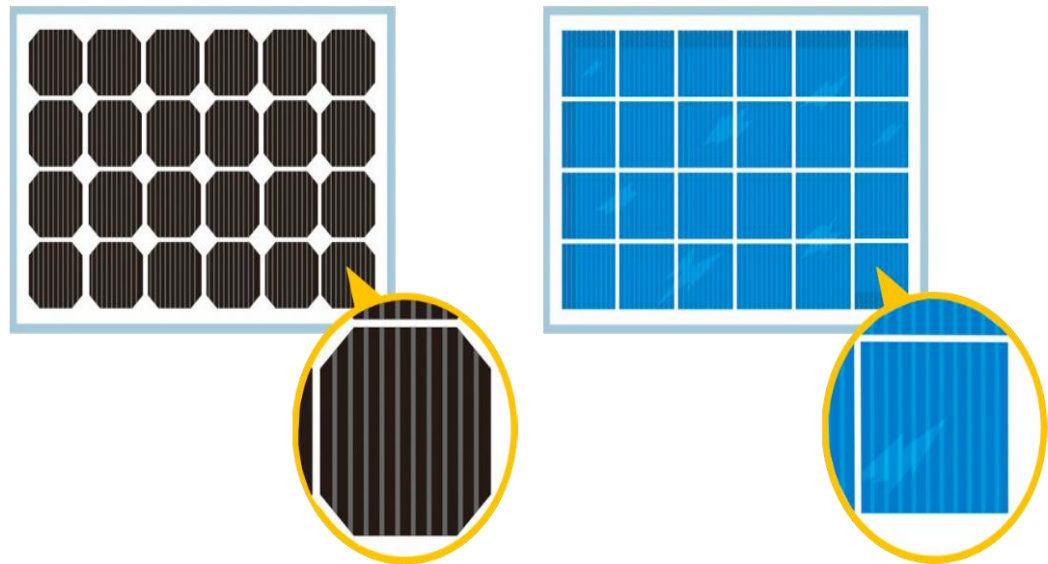


Рис. 2.5 – Порівняння монокристалічних та полікристалічних модулів

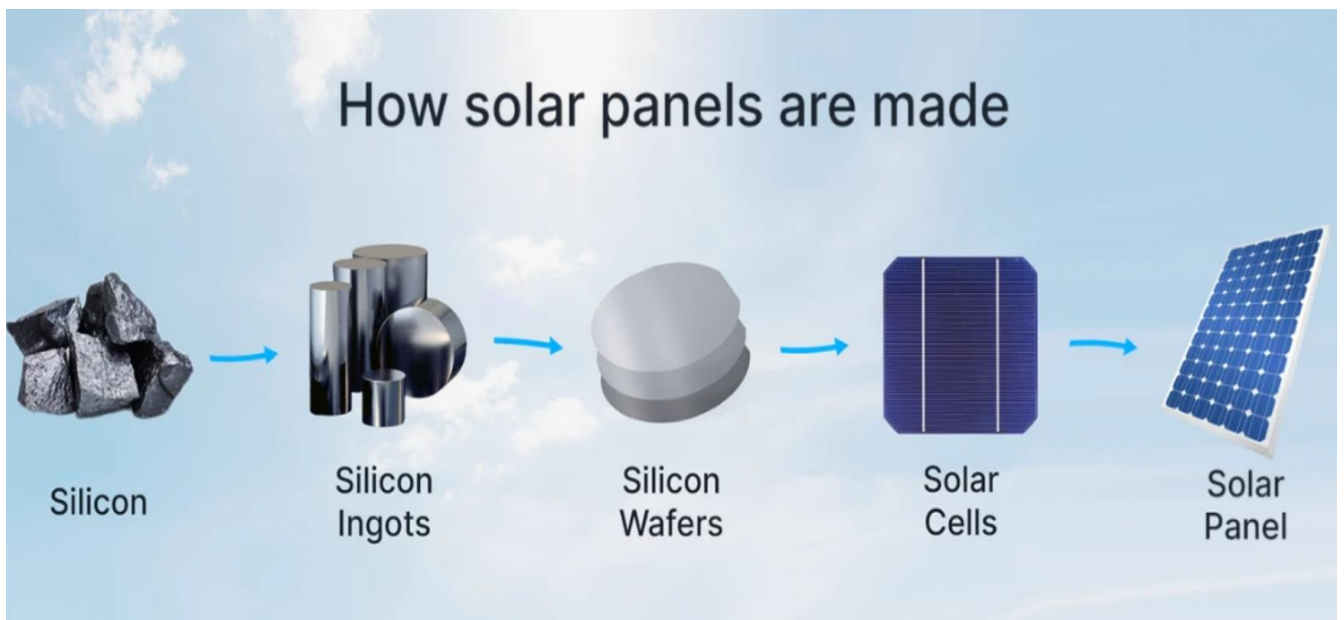


Рис. 2.6 – Створення сонячних панелей

Обґрунтування вибору монокристалічної технології фотомодулів

Вибір монокристалічних кремнієвих панелей для системи енергозабезпечення ПСГ базується на їхніх високих експлуатаційних та фізико-технічних характеристиках, які роблять їх найбільш ефективним рішенням для промислових об'єктів тривалого циклу експлуатації.

Ключові технічні переваги обраного типу панелей:

Максимальна енергоефективність (ККД). Завдяки виготовленню з цільних кристалів кремнію високої чистоти (метод Чохральського), монокристалічні елементи забезпечують найвищий коефіцієнт корисної дії (у межах 20–23%). Це дозволяє отримувати більшу кількість електроенергії з одиниці площі, що є критично важливим при обмеженому просторі для монтажу на покрівлях будівель або спеціальних майданчиках.

Показники температурної стабільності. Монокристалічні панелі мають нижчий температурний коефіцієнт потужності. Це означає, що при нагріванні панелей у літній період (під час пікового сезону закачування газу) втрати генерації будуть значно меншими, ніж у полікристалічних модулів.

Довговічність та стійкість до деградації. Даний тип модулів демонструє найнижчий показник річної деградації (LID — Light Induced Degradation). Виробники зазвичай гарантують збереження понад 80–85% номінальної потужності після 25 років експлуатації, що відповідає довгостроковим планам модернізації інфраструктури сховища.

Ефективність при дифузному освітленні: Сучасні монокристалічні модулі краще генерують енергію в умовах хмарності та слабкої інсоляції, що важливо для стабільної роботи систем моніторингу та електрохімічного захисту в осінньо-зимовий період.

Естетичність та компактність. Рівномірна структура та темний колір кристалів забезпечують не лише краще поглинання світла, але й дозволяють інтегрувати систему в інженерний комплекс ПСГ з мінімальними змінами в архітектурі споруд.

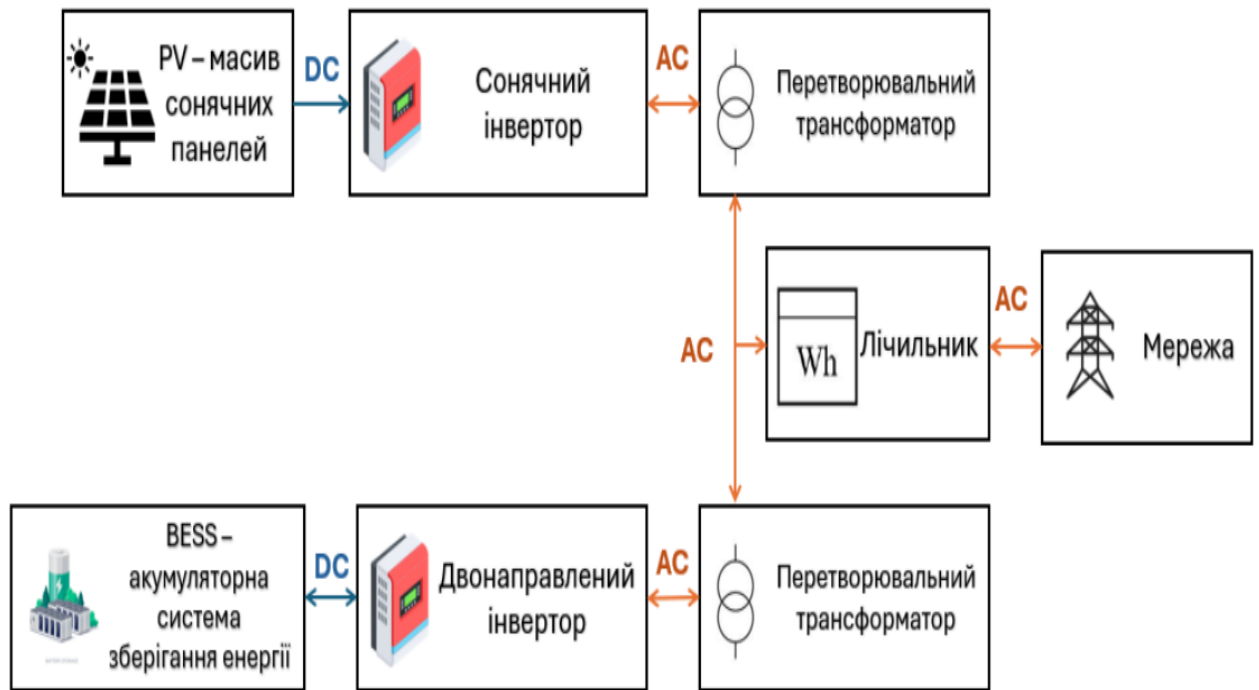


Рис. 2.7 - Схема приєднання BESS до СЕС з боку змінного струму (АС)

Технологічні особливості обраних фотомодулів (Half-Cut та PERC)

Для досягнення максимальних показників генерації на об'єктах ПСГ доцільно використовувати монокристалічні панелі, що базуються на поєднанні інноваційних технологій Half-Cut Cell та PERC (Passivated Emitter and Rear Cell).

Технологія Half-Cut (половинні комірки). Конструкція панелі передбачає поділ стандартних фотоелементів навпіл, що вдвічі знижує робочий струм у кожній ланці. Це дозволяє суттєво зменшити внутрішні резистивні втрати потужності (нагрівання модулів), підвищуючи загальну ефективність системи. Крім того, модулі Half-Cut демонструють кращу стійкість до затінення: при попаданні тіні на одну частину панелі, інша продовжує функціонувати в повному обсязі, що важливо при щільному розміщенні обладнання на території сховища.

Технологія PERC (Пасивація задньої стінки емітера). Суть технології полягає у нанесенні спеціального діелектричного шару на задню поверхню кремнієвої пластини. Цей шар відбиває сонячне світло, яке пройшло крізь

кристал, назад усередину елемента, даючи йому "другий шанс" на поглинання та генерацію електронів. Це значно підвищує ефективність роботи панелей при низькому рівні освітленості та в умовах довгохвильового (червоного) випромінювання на світанку або під час заходу сонця.

Використання Multi-Busbar (МВВ). Збільшення кількості шин (busbars), що збирають струм, дозволяє скоротити шлях проходження електронів та знизити навантаження на металізацію елементів. Це зменшує ризик появи мікротріщин у процесі експлуатації та підвищує механічну надійність модулів в умовах вітрових навантажень.

Висновок: Застосування панелей із такими характеристиками забезпечує стабільну роботу системи навіть за несприятливих погодних умов, що є критичним для безперебійного живлення систем контролю та автоматизації підземних сховищ.

Рис. 3.6 - Централізована система електростанцій для зберігання енергії



Рис. 3.7 – Інтегрована система зберігання та зарядки фотоелектричних модулів [23]

Обґрунтування вибору та функціональні особливості інверторного обладнання.

Для трансформації постійного струму, генерованого фотоелектричними модулями, у змінний струм промислової частоти в системі ПСГ передбачено використання сучасних інтелектуальних інверторів. Враховуючи специфіку об'єкта та необхідність високої надійності, оптимальним рішенням є застосування гібридних багатофункціональних інверторів.

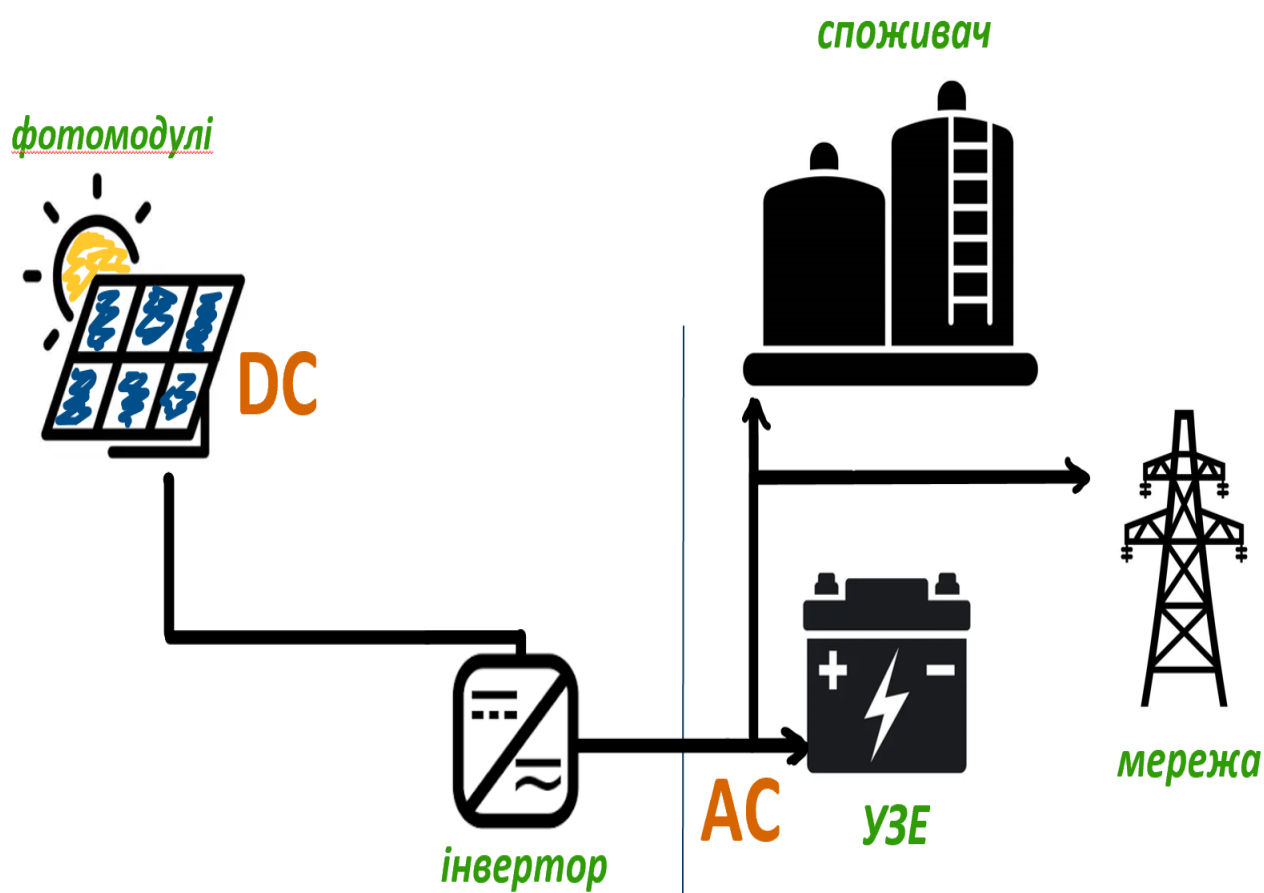


Рис. 5.1 - Модель енергопостачання газосховища з використанням відновлювальних джерел енергії та установок зберігання енергії

Ключові технічні характеристики та переваги обраного обладнання:

Технологія MPPT (Maximum Power Point Tracking). Інвертори оснащені декількома незалежними трекерами точки максимальної потужності. Це дозволяє оптимізувати виробітку енергії від різних груп сонячних панелей навіть при їх

нерівномірному освітленні або різному куті нахилу, що забезпечує максимальний вихід енергії за будь-яких погодних умов.

Гібридний режим роботи. Обраний тип інверторів здатний працювати паралельно з основною мережею електропостачання ПСГ, пріоритетно спрямовуючи сонячну енергію на потреби споживачів. У разі виникнення дефіциту потужності інвертор автоматично додає відсутню енергію з мережі, а при повному знеструмленні об'єкта — переходить у режим автономної генерації (у поєднанні з системами накопичення).

Система моніторингу та диспетчеризації. Сучасні інвертори інтегруються в загальну систему автоматизованого управління (АСУ ТП) сховища. Це дозволяє в режимі реального часу відстежувати параметри генерації, контролювати якість напруги та оперативно виявляти несправності в окремих ланцюгах фотопанелей.

Захисні функції та електромагнітна сумісність. Обладнання має вбудований захист від перевантажень, коротких замикань, імпульсних перенапруг та відповідає жорстким стандартам електромагнітної сумісності, що є критичним для запобігання перешкодам у роботі високочутливих приладів КВПіА та систем зв'язку ПСГ.

Ефективність перетворення. Високий коефіцієнт корисної дії (до 98% і вище) мінімізує теплові втрати всередині пристрою, що підвищує загальну енергоефективність впроваджуваного рішення та подовжує термін служби силових електроніки».

. Вибір та обґрунтування системи накопичення енергії (ESS)

Для забезпечення стабільної роботи критичних споживачів ПСГ у періоди відсутності сонячної генерації або при перебоях у зовнішній мережі, до складу СЕС інтегрується система накопичення енергії на основі сучасних акумуляторних технологій.

Технічне обґрунтування вибору типу накопичувачів:

Перевага літій-залізо-фосфатних технологій (LiFePO₄). Для потреб сховища обрано акумулятори типу LiFePO₄, які мають суттєві переваги над традиційними свинцево-кислотними аналогами. Вони характеризуються високою щільністю енергії, здатністю до глибокого розряду (до 90% без втрати ємності) та значно більшим ресурсом — понад 6000 циклів заряду-розряду, що відповідає терміну експлуатації понад 10-15 років.

Забезпечення безперебійності (UPS-функція). Система накопичення дозволяє миттєво перехоплювати навантаження при аварійних відключеннях у зовнішній мережі. Це критично важливо для живлення систем телемеханіки, датчиків тиску та загазованості, а також вузлів зв'язку, де навіть короткочасна відсутність напруги може призвести до збою в алгоритмах керування ПСГ.

Масштабованість та безпека. Обрані накопичувачі мають модульну конструкцію, що дозволяє нарощувати ємність системи залежно від зростання потреб об'єкта. Крім того, технологія LiFePO₄ є найбільш термічно стабільною та пожегобезпечною серед літій-іонних рішень, що є пріоритетною вимогою для вибухопожегобезпечних об'єктів газової промисловості.

Інтелектуальне керування зарядом (BMS). Кожен модуль оснащено системою керування батареями (Battery Management System), яка контролює параметри кожної комірки, запобігає перезаряду, перегріву та балансує напругу, забезпечуючи максимальну надійність та тривалий термін служби всієї енергосистеми.

Розрахунок параметрів наземної фотоелектричної станції потужністю 1 МВт

Проектування СЕС потужністю 1000 кВт передбачає наземне розміщення фотоелектричних модулів на спеціально підготовлених металоконструкціях. Такий підхід дозволяє оптимізувати кут нахилу та орієнтацію панелей відносно сторін світу для досягнення максимальної генерації.

Основні розрахункові показники системи, визначення кількості фотомодулів. При використанні обраних монокристалічних панелей потужністю 550 Вт, загальна кількість модулів для забезпечення встановленої потужності 1000 кВт становитиме приблизно 1820 одиниць. Такий масив панелей забезпечить необхідну продуктивність навіть з урахуванням системних втрат.

Просторові показники та площа розміщення. Враховуючи геометричні розміри панелей та необхідність дотримання міжрядних інтервалів для запобігання взаємному затіненню (коефіцієнт використання площі для наземних станцій становить близько 2.0–2.5), загальна площа земельної ділянки для розміщення станції складе приблизно 1.0–1.2 гектара.

Конструктивні рішення (Наземний монтаж). Монтаж панелей планується здійснювати на стаціонарних сталевих конструкціях із антикорозійним покриттям (гаряче цинкування). Фундаментна частина виконується методом забивних палів або гвинтових опор, що забезпечує високу стійкість до вітрових та снігових навантажень, характерних для відкритої місцевості.

Оптимізація кута нахилу. Для центральних регіонів України оптимальний стаціонарний кут нахилу становить приблизно 30–35° у південному напрямку. Це дозволяє максимізувати річну виробітку енергії, забезпечуючи стабільне живлення технологічного обладнання ПСГ протягом усього світлового дня.

Конфігурація інверторного обладнання. Для станції потужністю 1 МВт доцільно використовувати мережеві інвертори потужністю по 100-125 кВт кожен. Це підвищує живучість системи: у разі виходу з ладу одного інвертора, решта масиву продовжуватиме генерувати енергію.

Розрахунок необхідної кількості фотоелектричних модулів. Загальна кількість панелей (N) визначається співвідношенням встановленої потужності станції до номінальної потужності одного модуля:

$$N = \frac{P_{st}}{P_{mod}}$$

де:

- $P_{st} = 1000$ кВт — загальна потужність СЕС;
- $P_{mod} = 0,55$ кВт — потужність однієї монокристалічної панелі.

$$N = \frac{1000}{0,55} \approx 1818 \text{ шт.}$$

На перший погляд кількість значна, але згадавши на початку роботи у вступі порівняння витрат на роботу дизельного генератора, проблем з обслуговування та екологічний аспект погляд дещо змінюється. Тож продовжуємо розрахунок далі.

Розрахунок площі земельної ділянки для розміщення. Необхідна площа (S) враховує геометричні розміри модулів та коефіцієнт міжрядних інтервалів (k) для запобігання затіненню:

$$S = N \cdot f \cdot k$$

де:

- $f \approx 2,58$ м² — площа одного модуля (габарити ~2,28 × 1,13 м);
- $k \approx 2,5$ — експлуатаційний коефіцієнт (враховує проходи, кут нахилу та відстань між рядами).

$$S = 1818 \cdot 2,58 \cdot 2,5 \approx 11726 \text{ м}^2 \approx 1,17 \text{ га}$$

Прогнозування річної генерації електроенергії. Обсяг виробленої електричної енергії (E) за рік розраховується за формулою:

$$E = P_{st} \cdot \frac{H_{it}}{G_{STC}} \cdot PR$$

де:

- $H_{it} \approx 1250$ кВт·год/м² — середньорічний рівень сонячної інсоляції для обраного регіону України (на похилу поверхню);
- $G_{STC} = 1$ кВт/м² — сонячне випромінювання за стандартних умов (STC);
- $PR \approx 0,8$ — Performance Ratio (коефіцієнт якості, що враховує втрати в інверторах, кабелях та через нагрів).

$$E = 1000 \cdot 1250 \cdot 0,8 = 1000000 \text{ кВт·год/рік (або 1 ГВт·год/рік)}$$

Розрахунок ємності системи накопичення енергії (ESS). Для забезпечення повної автономності протягом (t) годин при середньому навантаженні споживачів (P_{avg}):

$$C = \frac{P_{avg} \cdot t}{V \cdot DOD \cdot \eta}$$

де:

- V — напруга системи (В);
- $DOD = 0,9$ — глибина розряду (для LiFePO4);
- $\eta = 0,95$ — ККД інвертора/контролера.

Розрахунок втрат потужності в кабельних лініях постійного струму. Сумарні втрати енергії в кабельних мережах (E_{loss}) суттєво впливають на загальний ККД станції. При потребі даної станції значення можуть бути достатньо значними. Для соняної електростанції потужністю 1 МВт орієнтовні річні втрати розраховуються як:

$$\Delta E_{loss} = E \cdot k_{loss}$$

де:

- $E = 1000000$ кВт·год — прогнозована річна генерація;
- $k_{loss} \approx 0,015$ (1,5%) — коефіцієнт втрат у кабелях при правильно підбраному перерізі провідників.

$$\Delta E_{loss} = 1000000 \cdot 0,015 = 15000 \text{ кВт·год/рік}$$

Визначення екологічного ефекту (скорочення викидів (CO₂))

Впровадження сонячних електростанцій дозволяє замінити електроенергію з загальної мережі, яка частково генерується тепловими електростанціями, найпоширеніше застосування дизельних станцій значної потужності, відповідно із значними викидами шкідливих речовин, особливо це стосується обладнання з великим наробітком мотор годин, або просто застарілого типу, яке на сьогодні досі задіяно в робочому процесі завдяки надійній роботі, що також є ваговою складовою. Таким чином, значення обсягу запобігання викидам вуглекислого газу (M_{CO_2}) розраховується за формулою:

$$M_{CO_2} = E \cdot C_{fact}$$

де:

- $C_{fact} \approx 0,426$ кг/кВт·год — середній коефіцієнт викидів CO_2 для об'єднаної енергосистеми України (згідно з даними моніторингу).

$$M_{CO_2} = 1000000 \cdot 0,426 = 426000 \text{ кг/рік} \approx 426 \text{ тонн } CO_2 \text{ на рік.}$$

Розрахунок терміну окупності енергії (Energy Payback Time - EPBT)

Цей показник вказує, за який час СЕС згенерує стільки енергії, скільки було витрачено на її виробництво та монтаж:

$$EPBT = \frac{E_{prod}}{E_{annual}}$$

де:

- E_{prod} — сумарні енерговитрати на виготовлення панелей, інверторів та конструкцій (~1200 кВт·год на 1 кВт встановленої потужності);
- E_{annual} — річна виробітка.

$$EPBT = \frac{1000 \cdot 1200}{1000000} \approx 1,2 \text{ року.}$$

Висновок: За розрахунковий період експлуатації (близько 25 років) станція не лише повністю покриє енерговитрати на власне створення, а й забезпечить скорочення викидів CO₂ в обсязі понад 10 650 тонн. До того ж в подальшому обладнання може бути задіяно на менш відповідальних ділянках

Розрахунок температурних втрат потужності модулів.

Монокристалічні панелі втрачають ефективність при нагріванні. Розрахуємо реальну потужність (P_{real}) при робочій температурі 70°C (характерно для літа в полі):

$$P_{real} = P_{st} \cdot (1 - \gamma \cdot (T_{cell} - T_{STC}))$$

де:

- $P_{st} = 1000$ кВт;
- $\gamma = 0,0035$ (0,35% на кожен градус — температурний коефіцієнт потужності);
- $T_{cell} = 70^{\circ}C$ — температура фотоелемента;
- $T_{STC} = 25^{\circ}C$ — стандартна температура випробувань.

$$P_{real} = 1000 \cdot (1 - 0,0035 \cdot (70 - 25)) = 1000 \cdot 0,8425 = 842,5 \text{ кВт.}$$

Отже, у пікові літні години через нагрів потужність станції може знижуватися на 15,75%. На великих ділянках нагрів стає великою проблемою, через яку втрачаємо потужність та загальний коефіцієнт корисної дії від обладнання в цілому, тож обов'язково треба враховувати цей аспект в роботі.

Розрахунок перетину кабелю для його коректного вибору за допустимим падінням напруги. Щоб мінімізувати втрати, розрахуємо необхідний перетин кабелю (s) для однієї лінії змінного струму (наприклад, 100 кВт від інвертора):

$$s = \frac{\sqrt{3} \cdot P \cdot L \cdot 100}{\sigma \cdot U^2 \cdot \Delta U}$$

де:

- $P = 100000$ Вт — потужність лінії;
- $L = 100$ м — довжина кабельної лінії;
- $\sigma = 34$ м/(Ом·мм²) — питома провідність алюмінію;
- $U = 400$ В — лінійна напруга;
- $\Delta U = 1\%$ — допустиме падіння напруги.

$$s = \frac{1,73 \cdot 100000 \cdot 100 \cdot 100}{34 \cdot 160000 \cdot 1} \approx 318 \text{ мм}^2.$$

Для практичної реалізації обираємо стандартний перетин, наприклад, 2 лінії по 185 мм²).

Економічний ефект та термін окупності (прогноз). Виходячи з середнього промислового тарифу (7,0) грн/кВт·год) та вартості будівництва станції «під ключ» (~28 млн грн):

Річна економія: 1 000 000 кВт·год × 7,0 грн = 7 000 000 грн/рік.

Термін окупності (T_{pay}):

$$T_{pay} = \frac{K_{inv}}{E_{save}} = \frac{28000000}{7000000} = 4 \text{ роки.}$$

Висновок: Впровадження наземної СЕС потужністю 1 МВт дозволяє не лише забезпечити енергетичну незалежність об'єкта ПСГ, а й окупити капітальні вкладення протягом 4 років, забезпечуючи подальшу безаварійну експлуатацію з нульовою собівартістю енергії.

Нижче наведено перелік ключового обладнання, обраного на основі критеріїв надійності, високого ККД та придатності для промислової експлуатації на об'єктах ПСГ.

Для завершення технічної частини третього розділу наведемо специфікацію основного обладнання.

Специфікація основного електротехнічного обладнання СЕС 1 МВт

Найменування обладнання	Технічні характеристики	Кількість
Фотоелектричний модуль (напр., Jinko Solar Tiger Pro)	Тип: Монокристал (PERC, Half-cut); Номінальна потужність: 550 Вт; ККД: 21.3%; Габарити: 2278×1134×35 мм	1818 шт.
Мережевий інвертор (напр., Huawei SUN2000-100KTL)	Номінальна АС потужність: 100 кВт; Макс. ККД: 98.7%; Кількість MPPT трекерів: 10; Ступінь захисту: IP66	10 шт.
Система накопичення енергії (BESS)	Тип комірок: LiFePO4; Сумарна ємність: 500 кВт-год; Напруга системи: 400/800 В; Вбудована система BMS	1 комплекс
Металоконструкції	Матеріал: Сталь із гарячим цинкуванням; Тип: Наземна стаціонарна (дворядна); Кут нахилу: 30-35°	1 компл.
Кабельна продукція (DC)	Спеціалізований сонячний кабель (Solar Cable) перетином 4-6 мм ² ; УФ-стійкий, подвійна ізоляція	~4500 м
Система моніторингу та КВП	Smart Logger з інтеграцією в АСУ ТП ПСГ; Метеостанція (датчики інсоляції та температури)	1 компл.

Обрана комплектація базується на принципі відмовостійкості: використання десяти незалежних інверторів по 100 кВт дозволяє зберігати 90% генерації при виході з ладу одного з них. Монокристалічні модулі з технологією Half-cut забезпечують стабільну роботу системи навіть при частковому затіненні або забрудненні поверхні панелей. Інтегрована система накопичення енергії ємністю

500 кВт·год дозволяє повністю покривати власні потреби автоматизації ПСГ у нічний час або під час короткочасних аварійних ситуацій у зовнішній мережі.

ВИСНОВКИ РОЗДІЛУ

У дипломній роботі проведено комплексне дослідження та розробку заходів щодо підвищення надійності та ефективності системи електрозабезпечення об'єктів підземного зберігання газу (ПСГ) шляхом впровадження альтернативних джерел енергії. За результатами роботи зроблено наступні висновки:

Аналіз сучасного стану ПСГ підтвердив високу енергоємність технологічних процесів, особливо в періоди активного закачування газу. Встановлено, що існуюча інфраструктура є вразливою до зовнішніх чинників, зокрема до дефіциту потужності в об'єднаній енергосистемі та ризиків, зумовлених військовими діями.

Дослідження чинників надійності показало, що критично важливі системи (автоматизація, зв'язок, електрохімічний захист) потребують диверсифікації джерел живлення. Визначено, що сезонність та нерівномірність навантаження вимагають гнучких рішень у системі енергопостачання.

Обґрунтовано доцільність впровадження сонячної енергетики як найбільш ефективного способу забезпечення часткової автономності об'єкта. Використання монокристалічних модулів із технологіями Half-cut та PERC дозволяє максимізувати виробітку енергії на відкритих майданчиках («у полі») навіть за умов дифузного освітлення.

Виконано технічні розрахунки СЕС потужністю 1000 кВт, які підтвердили можливість генерування близько 1 млн кВт·год електроенергії на рік. Для стабілізації живлення та забезпечення безперебійності в нічний час запропоновано інтеграцію системи накопичення енергії (BESS) ємністю 500 кВт·год на основі LiFePO₄ акумуляторів.

Економічна та екологічна оцінка проекту продемонструвала високу ефективність запропонованих рішень: очікуваний термін окупності становить

близько 4 років, а щорічне скорочення викидів (CO_2) досягає 426 тонн, що відповідає сучасним вимогам декарбонізації енергетичного сектору.

Впровадження запропонованої сонячної електростанції дозволить суттєво підвищити живучість інфраструктури ПСГ, знизити експлуатаційні витрати та забезпечити стабільну роботу стратегічного об'єкта в умовах сучасних енергетичних викликів.

ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Охорона праці

Нормативно-правовий фундамент безпеки життєдіяльності на підприємствах нафтогазової галузі базується на багаторівневій системі законодавства. Вона охоплює як конституційні засади захисту прав працівників, так і положення Кодексу законів про працю України разом із профільним Законом «Про охорону праці». Окрім базових законів, функціонування системи безпеки регулюється комплексом галузевих та міжгалузевих нормативних документів, що мають статус загальнообов'язкових правових норм.

Фундаментальне значення для сфери охорони праці має стаття 3 Основного Закону України (прийнятого 28.06.1996 р.), яка визначає людське життя, здоров'я та особисту безпеку як пріоритетні соціальні цінності держави. Це положення є основою для розробки всіх подальших інструкцій та регламентів безпечного ведення робіт на таких об'єктах, як підземні сховища газу.

Центральне місце в ієрархії правових актів посідає Закон України «Про охорону праці». Він виступає головним регулятором взаємодії між суб'єктом господарювання та персоналом у питаннях створення безпечних умов життєдіяльності на виробництві. Цей закон не лише визначає стандарти виробничої гігієни та безпеки середовища, а й запроваджує уніфікований для всієї країни механізм управління охороною праці, обов'язковий для дотримання на об'єктах нафтогазової інженерії.

Державна стратегія у сфері безпеки праці, згідно із законодавством, базується на низці фундаментальних принципів, серед яких ключовими для енергетичного підприємства є:

Абсолютний пріоритет безпеки: визнання збереження життя та здоров'я персоналу важливішим за будь-які виробничі показники чи результати діяльності.

Персональна відповідальність керівництва: покладання на суб'єкта господарювання повного обов'язку щодо формування безпечного та нешкідливого виробничого середовища.

Гарантії соціальної підтримки: забезпечення дієвих механізмів захисту та компенсацій для осіб, що зазнали професійних травм або захворювань під час виконання посадових обов'язків.

Уніфікація вимог. Застосування єдиних нормативних регламентів з охорони праці незалежно від форми власності об'єкта чи його специфіки.

Безперервність навчання: систематична підготовка та актуалізація знань працівників з техніки безпеки як обов'язкова умова допуску до робіт.

Економічна стимуляція: впровадження фінансових методів управління для заохочення створення безпечних робочих місць.

Міжвідомча взаємодія. координація зусиль державних інституцій та громадських об'єднань для комплексного розв'язання питань гігієни та безпеки праці.

Нормативно-правове регулювання, згідно із Законом, встановлює чітку систему правового захисту персоналу, що включає:

Дотримання трудових прав та преференцій: забезпечення конституційного права на безпеку праці на всіх етапах — від моменту підписання контракту до завершення трудової діяльності. Зокрема, передбачено механізми надання пільг та додаткових компенсацій для тих, хто задіяний у технологічних процесах із важкими або шкідливими умовами (що актуально для персоналу ПСГ).

Механізм відшкодування збитків: регламентацію процедур виплати компенсацій у випадках професійних захворювань або травматизму, що виникли під час реалізації службових завдань.

Захист окремих категорій персоналу: встановлення спеціальних нормативів та обмежень щодо залучення до робіт жінок, осіб з інвалідністю та неповнолітніх, з метою недопущення негативного впливу виробничих чинників на їхнє здоров'я.

Законодавство встановлює жорсткий пріоритет норм безпеки над умовами індивідуальних трудових угод: будь-які пункти контракту, що погіршують стан захищеності працівника порівняно з державними стандартами, визнаються недійсними.

Процес працевлаштування обов'язково супроводжується офіційним ознайомленням майбутнього фахівця (під особистий підпис) із характеристиками виробничого середовища. Роботодавець зобов'язаний надати вичерпну інформацію про:

аявні ризики та шкідливі чинники на конкретному робочому місці;

мовірний вплив технологічних процесів на стан здоров'я;

истему соціальних пільг та компенсаційних виплат, передбачених законом або колективною угодою.

Важливою гарантією є право персоналу на самозахист: працівник може законно зупинити виконання завдань, якщо виникла загроза для життя людей або екологічної безпеки навколишнього середовища. У випадку систематичного ігнорування адміністрацією вимог охорони праці, підлеглий має право на розірвання договору з виплатою вихідної допомоги, обсяг якої, згідно із законом, повинен становити як мінімум три середньомісячні заробітні плати.

Крім того, профільний Закон регламентує механізми державного контролю, функціонування наглядових органів та встановлює міру відповідальності за недотримання правил техніки безпеки на виробництві.

Гарантування надійності енергозабезпечення є критичним завданням, оскільки будь-які перерви у живленні об'єктів ПСГ тягнуть за собою низку

негативних наслідків: від прямої загрози безпеці персоналу та розладу складних технологічних ланцюжків до значних економічних збитків через пошкодження високовартісного обладнання та порушення роботи систем комунальної інфраструктури.

Впровадження та подальша експлуатація фотоелектричної станції (ФЕС) в інтеграції з системами накопичення енергії (ESS) супроводжується специфічними виробничими ризиками. Основними чинниками небезпеки, що потребують особливої уваги, є:

електробезпека та робота з обладнанням: ризики ураження струмом при обслуговуванні інверторів, контролерів та АКБ, а також імовірність виникнення дугових розрядів.

ротипожежний захист: небезпека займання через перегрів компонентів або хімічні реакції в акумуляторних модулях (термічний розгін).

линкавкозахист: необхідність надійної ізоляції та заземлення відкритих конструкцій ФЕС від атмосферних розрядів.

роботи на висоті: ризики травматизму під час монтажу, очищення та технічного огляду фотомодулів, розміщених на дахах споруд або спеціальних опорах.

Забезпечення безпечних умов праці при обслуговуванні систем енергопостачання базується на двосторонній відповідальності: адміністрація об'єкта зобов'язана в повному обсязі забезпечити персонал сертифікованими засобами індивідуального захисту (ЗІЗ), тоді як працівники мають неухильно дотримуватися регламенту їх застосування протягом усього робочого циклу.

З метою підтримання стабільності технологічних процесів ПСГ, проектування електричних мереж має передбачати заходи з контролю якості напруги. На шинах розподільних вузлів та підстанцій (діапазоном 6–20 кВ) пристрої регулювання повинні підтримувати такі режими:

години пікового енергоспоживання — на рівні не нижче 105% від номінального значення;

періоди мінімального навантаження мережі — не більше 100% від номіналу.

Крім того, для оптимізації роботи системи та зниження втрат, розрахунок та інсталяція установок компенсації реактивної потужності мають здійснюватися у суворій відповідності до чинних нормативно-технічних вимог енергосистеми.

Експлуатація систем енергозабезпечення ПСГ потребує суворого контролю параметрів, що здійснюється за допомогою засобів вимірювальної техніки (ЗВТ). Відповідно до чинних норм, усі прилади для вимірювання електричних показників підлягають обов'язковій метрологічній атестації, калібруванню або повірці. До використання допускається лише те обладнання, що включене до Державного реєстру ЗВТ України.

До вимірювальних пристроїв висуваються такі технічні вимоги:

очність вимірювань: Для щитових приладів, що працюють у режимі постійного моніторингу, встановлено клас точності не нижче 1,5. Використання пристроїв класу 2,5 дозволяється лише для вузлів, де не проводиться безперервний контроль технологічних циклів. Для спеціалізованих вимірювальних приладів цей показник має бути не гірше 0,5.

іапазон вимірювань: Шкали приладів мають обиратися таким чином, щоб забезпечити коректне відображення параметрів навіть при їхніх максимальних амплітудних відхиленнях від номіналу.

онтроль живлення: Якщо прилад функціонує виключно від зовнішньої мережі (без власної АКБ), він повинен бути оснащений системою оповіщення (сигналізацією), яка спрацьовує у разі зникнення електропостачання.

Конструктивне виконання електроустановок має повністю виключати можливість випадкового контакту з елементами, що перебувають під напругою. При цьому як за стандартних режимів експлуатації, так і у випадку виникнення одиничного дефекту в системі, відкриті провідні компоненти не повинні становити загрози для персоналу.

Для гарантування безпеки у штатних режимах роботи (без ознак несправності обладнання) впроваджується комплекс технічних рішень, що включає:

Діелектричний бар'єр: забезпечення надійної основної ізоляції всіх струмовідних елементів.

Механічний захист: використання захисних оболонок, кожухів та стаціонарних огорожень.

Просторове обмеження: встановлення бар'єрів або розміщення потенційно небезпечних вузлів у місцях, що знаходяться поза межами досяжності людини.

Параметричне обмеження: штучне зниження потужності електричного заряду та сили струму до рівня, що є безпечним для організму в усталеному режимі функціонування мережі.

З метою недопущення електротравматизму у випадку деструкції (пошкодження) ізоляційного шару, необхідно передбачити впровадження одного або комбінації наступних технічних заходів:

Системи автоматичного захисту: встановлення пристроїв для моментального розриву ланцюга живлення при виникненні витoku струму.

Заземлювальні та вирівнювальні контури: облаштування захисного заземлення в поєднанні з технологіями зрівнювання та вирівнювання електричних потенціалів для мінімізації напруги кроку та дотику.

Конструктивна ізоляція: використання електрообладнання, що відповідає класу захисту II (або має аналогічну посилену ізоляцію), а також створення діелектричних зон, площадок чи приміщень із непровідними властивостями.

Електрична децентралізація: застосування захисного відокремлення мереж для локалізації можливих пошкоджень.

Нормативні вимоги передбачають обов'язкову реалізацію захисних заходів при непрямому контакті в мережах із номінальною напругою понад 120 В (DC) та 50 В (AC). Однак для об'єктів із високим ступенем небезпеки, до яких належать зовнішні технологічні майданчики ПСГ, поріг спрацювання захисту може бути знижений згідно з вимогами галузевих стандартів:

до рівнів 25 В змінного та 60 В постійного струму;

в окремих випадках — до 12 В (AC) та 30 В (DC).

Комплексна безпека персоналу має закладатися ще на стадії виробництва електрообладнання та остаточно забезпечуватися в ході монтажних робіт. Важливою умовою є принцип взаємодоповнюваності: впровадження декількох засобів захисту одночасно не повинно нівелювати або знижувати результативність жодного з них.

Одним із критичних ризиків під час інсталяції та обслуговування фотомодулів є ймовірність падіння персоналу з висоти. Для запобігання травматизму персонал повинен бути забезпечений спеціалізованими комплексами індивідуального захисту.

Системи захисту від падіння з висоти базуються на поєднанні страхувальної спорядження (система ременів та анкерних точок) та надійних вузлів кріплення до несучих конструкцій. Функціональне завдання цих засобів полягає в обмеженні траєкторії вільного падіння для виключення зіткнення працівника з конструктивними елементами споруди. При цьому конструкція системи повинна забезпечувати амортизацію: гальмівний імпульс має бути безпечним для людини та не призводити до механічного руйнування самого спорядження.

Регламент підготовки та обслуговування:

Передпусковий контроль: Обов'язковою є перевірка статичної міцності опорних точок та цілісності стропів запобіжних поясів. Усі компоненти мають гарантовано витримувати динамічне навантаження, що виникає в момент можливого падіння.

Догляд та зберігання: Після завершення робочої зміни спорядження підлягає ретельному очищенню та просушуванню. Металеві елементи (карабіни, затискачі) необхідно протерти, а шкіряні вставки обробити спеціальним мастилом для збереження еластичності, після чого розмістити в належних місцях зберігання.

Організація зберігання та обліку засобів захисту:

Транспортування та зберігання ЗІЗ має здійснюватися у суворій відповідності до інструкцій заводів-виготовлювачів. Необхідно забезпечити

надійний захист спорядження від механічних деформацій, надмірної вологи, агресивних хімічних сполук (нафтопродуктів, кислот, розчинників), а також інтенсивного теплового та ультрафіолетового випромінювання. На підприємстві запроваджується обов'язкова система моніторингу: ведеться спеціалізований «Журнал обліку та зберігання». У разі фіксації дефектів або втрати захисних властивостей, такі засоби підлягають негайному вилученню з експлуатаційного фонду.

Вимоги до ергономіки та безпечного розміщення обладнання:

При проектуванні технологічних приміщень (зокрема зон встановлення інверторів та акумуляторних систем) геометричні параметри проходів визначаються чинними нормативними актами. Розташування вузлів має гарантувати безперешкодний та безпечний доступ для проведення сервісних маніпуляцій. Зокрема:

мінімально допустима відстань від корпусу обладнання до огорожувальних конструкцій (стін) становить 1,0 м;

вільний робочий прохід для персоналу повинен мати ширину не менше 0,75 м.

Вимоги до організації робочого простору та систем освітлення

Підтримка належного санітарного стану та порядку на робочих місцях є обов'язковою умовою безпеки; усі виробничі відходи та потенційно небезпечні субстанції підлягають своєчасній утилізації.

Важливим аспектом протипожежного захисту є забезпечення видимості в темний час доби. Належний рівень ілюмінації повинен бути передбачений для:

сновних робочих зон та об'єктів обслуговування;

жерел протипожежного водозабору та пунктів розміщення засобів пожежогасіння;

ляхів пересування персоналу, транспортних проїздів та переходів.

На технологічних майданчиках свердловин (включно з територією факельних амбарів) допускається використання мобільних або переносних освітлювальних установок замість стаціонарних систем.

У закритих виробничих цехах, окрім основного (робочого) освітлення, обов'язковою є наявність аварійної системи. При цьому живлення робочих та резервних світильників має здійснюватися від автономних джерел. У певних випадках стаціонарне аварійне світло дозволяється замінювати переносними акумуляторними ліхтарями. Контрольні вимірювання рівня освітленості виконуються на етапі пусконаладжувальних робіт, а також після будь-якої модернізації систем енергозабезпечення чи реконструкції будівель.

Для безпечного переміщення персоналу між рівнями об'єкти, що потребують обслуговування на висоті від 0,75 м, обладнуються спеціальними сходами. Якщо ж висота підйому перевищує цю позначку, встановлюються стаціонарні сходи, оснащені захисними поручнями.

Системи моніторингу, сигналізації та блискавкозахисту

Надійність функціонування засобів зв'язку, систем аварійного сповіщення та приладів контролю складу повітря є обов'язковою умовою безпечної експлуатації об'єкта. Усі вказані вузли мають перебувати в постійній готовності, а їхня технічна справність повинна підтверджуватися щомісячними перевітками. Архітектура системи аварійної сигналізації має гарантувати чітку чутність тривожного сигналу в будь-якій зоні перебування персоналу.

Захист технологічних споруд ПСГ від атмосферних розрядів реалізується згідно з положеннями ДСТУ EN 62305:2012. Оскільки запропонована сонячна електростанція класифікується як електроустановка постійного струму, до неї висуваються особливі вимоги з електробезпеки. Усі відкриті металоконструкції системи мають бути інтегровані в єдиний контур захисного заземлення.

Параметри заземлювального контуру для ФЕС:

Вертикальні електроди повинні заглиблюватися в ґрунт не менше ніж на 3 метри.

Гранично допустимий опір розтіканню струму не має перевищувати 4 Ом.

Для вирівнювання електричних потенціалів обов'язковим є створення надійного металевого зв'язку між новим контуром СЕС та існуючим заземленням споруди.

Для захисту обладнання від перенапруг, спричинених блискавкою або комутаційними процесами, передбачається встановлення пристроїв захисту від імпульсних перенапруг (ПЗІП) у таких точках:

- а вхідних вузлах підключення до зовнішньої електромережі;
- езпосередньо на лініях до та після кожного інверторного модуля;
- вузлах підключення високочутливого мікропроцесорного обладнання та електроніки.

Вимоги до вибухозахисту електрообладнання на об'єктах ПСГ

Електричне устаткування (силові агрегати, комутаційні апарати, засоби освітлення, а також системи зв'язку та сигналізації, а в нашому випадку сонячна електростанція що виробляє достатньо велику кількість електроенергії), що інтегрується у вибухонебезпечні зони класів 0, 1 та 2, повинно мати належне сертифіковане виконання. Рівень та специфікація вибухозахисту таких пристроїв мають чітко відповідати групі та категорії вибухонебезпечних газоповітряних сумішей, характерних для конкретної ділянки сховища.

Категорично не допускається монтаж та експлуатація у вибухонебезпечних зонах будь-якого обладнання, що:

- не має офіційного маркування вибухозахисту;
- виготовлене на неспеціалізованих виробництвах;
- пройшло ремонт із заміною критичних вузлів, що відповідають за герметичність чи іскробезпеку, без відповідної повторної сертифікації.

Крім того, технічний регламент ПСГ забороняє використання електроустаткування за умови виявлення несправностей у роботі захисних оболонок, систем автоматичного блокування або при порушенні цілісності схем дистанційного керування та релейного захисту.

Розрахунок захисного заземлення наземної

СЕС потужністю 1МВт.

Мета розрахунку – проектування пристрою заземлення для захисту персоналу від ураження електричним струмом шляхом зниження напруги дотику до безпечних значень (згідно з ПУЕ та ДСТУ Б В.2.5-82:2016).

Вихідні дані:

Тип об'єкта: Наземна фотоелектрична станція (ФЕС) 1 МВт.

Тип ґрунту: суглинок (питомий опір $\rho = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$).

Кліматична зона: II (Україна, коефіцієнт сезонності $k=1.3$)

Допустимий опір заземлення: $R_{\text{доп}} \leq 4 \text{ Ом}$ (для установок до 1000 В).

Заземлювачі: сталеві вертикальні стержні довжиною $L = 3 \text{ м}$, діаметром $d = 16 \text{ мм}$; горизонтальна шина — сталь $40 \times 4 \text{ мм}$.

Розрахунок:

Визначення розрахункового питомого опору ґрунту:

$$\rho_{\text{розр}} = \rho_{\text{табл}} \cdot k = 100 \cdot 1.3 = 130 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Опір одного вертикального заземлювача (стержня). Розраховується за формулою для стержня, верхній кінець якого заглиблений на $h=0.7 \text{ м}$:

$$R_{\text{в}} = \frac{\rho_{\text{розр}}}{2\pi l} \cdot \left(\ln \frac{2l}{d} + 0.5 \ln \frac{4h + 3l}{4h + l} \right)$$

Підставляємо значення:

$$R_{\text{в}} \approx \frac{130}{6.28 \cdot 3} \cdot \left(\ln \frac{6}{0.016} + 0.5 \ln \frac{2.8 + 9}{2.8 + 3} \right) \approx 6.9 \cdot (5.92 + 0.35) \approx 43.2 \text{ Ом}$$

Необхідна кількість вертикальних заземлювачів. Для попереднього розрахунку приймаємо коефіцієнт використання $\eta_{\text{в}}=0.8$:

$$n = \frac{R_{\text{в}}}{R_{\text{доп}} \cdot \eta_{\text{в}}} = \frac{43.2}{4 \cdot 0.8} \approx 13.5 \text{ шт.}$$

Приймаємо до встановлення 14 стержнів, розміщених по периметру інверторної підстанції або вздовж рядів металоконструкцій.

Опір горизонтальної з'єднувальної шини. При довжині шини $L \approx 70\text{м}$ (периметр контуру):

$$R_{\Gamma} = 2 \cdot \frac{\rho_{\text{розр}}}{2\pi L} \ln \frac{L^2}{d \cdot h} \approx 5.1 \text{ Ом}$$

Загальний опір розтіканню струму. З урахуванням взаємодії всіх елементів контуру (коефіцієнт $\eta_{\Gamma} \approx 0.4$):

$$R_{\text{заг}} = \frac{R_{\text{В}} \cdot R_{\Gamma}}{n \cdot R_{\Gamma} \cdot \eta_{\text{В}} + R_{\text{В}} \cdot \eta_{\Gamma}} \approx 3.4 \text{ Ом}$$

Отримане значення $R_{\text{заг}}=3.4\text{Ом}$ менше за максимально допустиме $R_{\text{доп}}=4\text{Ом}$. Отже, запроектований контур заземлення (14 стержнів довжиною 3 м, об'єднаних сталевую смугою) забезпечує належний рівень електробезпеки на об'єкті.

Організаційні заходи безпеки при роботі з персоналом.

Співробітники, які залучаються до сервісного обслуговування, монтажу, очищення або демонтажу технічних засобів на об'єктах нафтогазового комплексу, зобов'язані пройти цільовий інструктаж з техніки безпеки. Проведення робіт допускається виключно під безпосереднім наглядом відповідального виконавця або офіційно призначеної особи, що здійснює керівництво технологічним процесом.

У ході виконання функціональних обов'язків персонал має неухильно дотримуватися затверджених регламентів безпеки та посадових інструкцій. При виявленні будь-яких відхилень у режимах роботи устаткування, дефектів захисних пристроїв, а також при загрозі пожежній чи радіаційній безпеці, працівник зобов'язаний негайно припинити роботи та поінформувати про інцидент керівництво об'єкта.

Розрахунок допустимої тривалості робіт в умовах впливу електричного поля промислової частоти.

Умова задачі з безпеки відповідно розділу охорони праці до кваліфікаційної роботи бакалавра. На відкритому розподільчому пристрої (ВРП) із робочою напругою 500 кВт необхідно виконати планові заходи на трьох ділянках із різною інтенсивністю електричного поля без застосування засобів індивідуального захисту персоналу.

Відомо, що на ділянці А ($E_A = 12$ кВ/м) персонал перебуває протягом близько 60 хв.

На ділянці В ($E_B = 7$ кВ/м) — 90 хв.

Необхідно визначити максимально допустимий час перебування персоналу на ділянці С ($E_C = 5$ кВ/м) та сумарний час робіт за зміну відповідно до вимог діючого законодавства.

Методика розрахунку. Відповідно до норм, допустимий час перебування персоналу в електричному полі ($T_{гр}$) (год) розраховується за наступною формулою:

$$T_{гр} = \left(\frac{50}{E} \right) - 2, \text{ де } E \text{ — напруга поля у кВ/м.}$$

Для змішаних зон (робота на різних ділянках впливу електричного поля) виконується наступна умова:

$$\sum \left(\frac{t_i}{T_{гpi}} \right) \leq 1$$

Розрахунок: Граничний час для кожної ділянки:

$$T_{гpA} = (50/12) - 2 = 2.17 \text{ год (130 хв)}$$

$$T_{гpB} = (50/7) - 2 = 5.14 \text{ год (308.5 хв)}$$

$T_{гpC}$ — при напруженості 5 кВ/м і менше перебування дозволяється протягом усього робочого дня (8 год / 480 хв).

Таким чином визначення допустимого часу перебування персоналу для роботи на ділянці С (t_{EC}). Виходячи з умови сумарного впливу:

$$\frac{60}{130} + \frac{90}{308} + \frac{t_C}{480} = 1$$

$$0,46 + 0,29 + \frac{t_C}{480} = 1 \Rightarrow \frac{t_C}{480} = 0,25$$

$$t_C = 0,25 \times 480 = 120 \text{ хвилин.}$$

Загальний час виконання робіт

$$t_{\text{заг}} = 60 + 90 + 120 = 270 \text{ хв (4,5 години).}$$

Фактичний час виконання робіт на третій ділянці С не повинен перевищувати 120 хвилин. Загальна тривалість перебування персоналу в зоні впливу електричного поля за зміну складе 4.5 години, що відповідає вимогам безпеки при роботі на ВРП 500 кВ.

З метою з'ясування причин, обставин та наслідків аварії, а також ідентифікації осіб, чії дії або бездіяльність призвели до інциденту, оператор ініціює проведення внутрішнього розслідування. Будь-які заходи щодо відновлення параметрів безпеки джерела небезпеки до завершення процесу розслідування суворо заборонені. Повернення об'єкта до експлуатації допускається лише після повного відновлення безпекових показників оператором та офіційного повідомлення про це відповідного контролюючого органу.

Після реєстрації аварійної ситуації на об'єкті підвищеної небезпеки уповноважений орган діє згідно з чинними регламентами:

разі ризику транскордонного поширення наслідків негайно сповіщає профільні відомства потенційно вразливих держав;

аступної доби після інциденту ініціює проведення позапланового контрольного заходу (перевірки) на відповідному об'єкті;

30-денний термін після завершення дії припису, виданого за результатами перевірки, здійснює повторний моніторинг з метою підтвердження усунення виявлених невідповідностей [36]

огляду на викладене, процес зведення та подальшого обслуговування СЕС у поєднанні з системами акумулювання енергії вимагає суворого доотримання комплексних норм безпеки. Це включає регламенти роботи з електроустановками, заходи пожежної профілактики, а також правила безпечного виконання висотних робіт.

ВИСНОВКИ РОБОТИ

Результати проведеного дослідження вказують на доцільність диверсифікації енергозабезпечення шляхом розвитку розподіленої генерації. Наближення виробничих потужностей до центрів споживання дозволяє мінімізувати втрати при транспортуванні та розвантажити магістральні мережі. Пріоритетним механізмом підвищення енергоефективності при цьому виступає впровадження об'єктів відновлюваної енергетики в загальну систему.

В Україні найбільший потенціал має сонячна енергія, яку ефективно перетворюють на електричну за допомогою фотоелектричних систем. Для реалізації сонячної енергії використовуються спеціалізовані інженерні системи перетворення, проектування яких базується на даних про рівень сонячної інсоляції в конкретному регіоні та параметрах електроспоживання об'єктів. У межах роботи було здійснено розрахунково-технічне проектування СЕС для індивідуального користувача.

Впровадження СЕС у поєднанні з установками зберігання енергії (УЗЕ) належної потужності гарантує безперебійне живлення об'єктів газосховища при відключеннях основної електромережі. Таке рішення сприяє підвищенню енергетичної ефективності технологічного циклу та відповідає стратегії декарбонізації виробничої діяльності. Водночас спорудження та подальше обслуговування системи потребує суворого дотримання галузевих норм з охорони праці, зокрема правил електробезпеки, пожежної профілактики та регламентів виконання висотних робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

іліх В.І. М75 Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Міліх, Т.П. Павленко. – Харків : ФОП Панов А. М., 2016. – 272 с.

а

Бугай Ю.М., Глоба В.М., Нагорний В.П., Венгерцев Ю.О. Спорудження нафтобаз і газонафтоосховищ: Підручник для студентів вищих навчальних закладів. – К.: «ВПОЛ», 2000, 606 с.:іл.234, табл.93, бібл. 23.

Пошкодження об'єктів генерації та розподілу електроенергії. [Електронний

Р

Р

П. Рожков, С.Е. Рожкова. Конспект лекцій з дисципліни “Надійність електричних мереж”. - Харків: ХНАМГ, 2008. – 89 с.

Р

в

Альтернативні джерела енергії та технології їх використання: підруч. / [Клименко В. В., Солдатенко В. П., Плешков С. П., Скрипник О. В., Саченко А.І.]; за редакцією доктора технічних наук, професора Клименка В. В. – М-во освіти і Науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ПП Ексклюзив-Систем, 2023. – 268с.

В

Впровадження систем на альтернативних джерелах енергії, «Вітрогенератори, вітрові електростанції,» Тернопіль, 2019.

Михайлів М.І., Бацала Я.В., Яремак І.І. М83 Нетрадиційні джерела електроенергії та основи енергоощадності: конспект лекцій. – Івано-Франківськ:ІФНТУНГ, 2013. – 117 с.

Напрями розвитку альтернативних джерел енергії: акцент на твердому біопаливі та гнучких технологіях його виготовлення : монографія / О. С. Полянський, О. В. Д'яконов, О. С. Скрипник та ін. [за заг. ред. В. І. Д'яконова] ; Харків. нац. ун-т

Р

к

й

У

міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. – 136 с.

о

к

в

КАТАЛОГ КРИТИЧНО ВАЖЛИВИХ ТЕХНОЛОГІЙ для енергетичного сектору України, ред. травень 2025

в

у

д

берігання та зарядка фотоелектричних модулів. [Електронний ресурс]. Режим

д

в

Електропостачання промислових підприємств : Підручник для студентів електромеханічних спеціальностей / В.І. Мілих, Т.П. Павленко. – Харків : ФОП Манов А. М., 2016. – 272 с.

Штучний інтелект в енергетиці : аналіт. доповідь / Суходоля О. М.– К. : НІСД,

у

■

Greenhouse gas protocol Scope 2 Guidance World Resources Institute

р

Вплив сонячних електростанцій на навколишнє середовище [Електронний ресурс].

р

Основи охорони праці: підручник / В.І. Голінько; М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.

Правила улаштування електроустановок / Міненерговугілля України, 2017

Про затвердження Правил охорони праці під час виконання робіт на висоті URL:

Про затвердження Правил охорони п... | від 27.03.2007 № 62

Рискавкозахист фотоелектричних панелей. [Електронний ресурс]. Режим

доступу: <https://www.sig.energy/zazemlennya-sonyachnyh-panelej-navishho-cze->

в

в

р

ро затвердження Правил безпеки в нафтогазодобувній промисловості Наказ;
Міністерство економіки від 27.04.2023 № 2610 Редакція від 05.07.2023. URL:
<https://zakon.rada.gov.ua/go/z0928-23>

АКОН УКРАЇНИ Про об'єкти підвищеної небезпеки