

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ,
ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТА ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНОГО ТРАНСПОРТУ

ОРГАНІЗАЦІЯ АВТОНОМНОГО ЖИВЛЕННЯ БУРОВИХ УСТАНОВОК

Бакалаврська кваліфікаційна робота

Здобувач:

Арсеній РОЩУПКІН

гр. АЕК 2022 -1

Керівник:

Надія КУЛЬБАШНА

доцент, канд. техн. наук

Харків – 2026

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА
імені О. М. БЕКЕТОВА

**Навчально-науковий інститут енергетичної, інформаційної та транспортної
інфраструктури Кафедра** електричного транспорту

Освітній рівень «бакалавр»

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітня програма «Автоматизовані електротехнічні комплекси нафтогазової галузі»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕТ

 Микола ХВОРОСТ

_____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я
до бакалаврської кваліфікаційної роботи

Рощупкін Арсеній Геннадійович

(прізвище ім'я по батькові)

1. Тема роботи: Організація автономного живлення бурових установок
керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи Кульбашна Надія Іванівна к.т.н., доцент
затверджені наказом університету від №440-03 від 22.05.2026 р.

2. Строк подання студентом бакалаврської кваліфікаційної роботи 15.06.2026 р.

3. Вихідні дані до бакалаврської роботи: Паспортні дані бурової установки ZJ40/2250LDB, технічні характеристики фотоелектричних модулів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які необхідно розробити):
1 Загальні питання енергозабезпечення бурових установок. 1.1 Способи розташування бурових установок і відповідні системи живлення. 1.2 Особливості сонячної інсоляції для використання в фотоелектричній галузі. 1.3 Співставлення карт сонячної інсоляції і розміщення бурових установок в Україні. 1.4 Альтернативні варіанти застосування фотоелектричних панелей

2. Встановлення параметрів для живлення бурової установки. 2.1 Встановлення потужності бурової установки. 2.2 Визначення параметрів фотоелектричної панелі. 2.3 Встановлення основних параметрів ємнісного накопичувача.

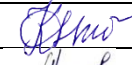
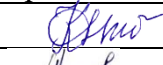





3. Розробка фотоелектричної системи для живлення бурової установки. 3.1 Головні аспекти роботи. 3.2 Способи підвищення ефективності роботи сонячних панелей. 3.3 Розробка структурної схеми для системи живлення бурової установки. 3.4 Розрахунок енергоефективності використання сонячної панелі для виробництва.

4. Охорона праці.

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

1. Титульний лист. 2. Перелік графічного матеріалу. 3. Актуальність, мета та завдання роботи. 4. Класифікаційна схема можливих способів живлення бурових установок. 5. Способи розташування сонячних панелей для живлення бурових установок. 6. Співставлення карт сонячної інсоляції і розміщення бурових установок в Україні. 7. Характеристики бурової установки ZJ40/2250LDB з потужністю елементів. 8. Характеристики обраних фотоелектричних панелей і ємнісних накопичувачів. 9. Блок-схема запропонованої конструкції живлення, способи підвищення ефективності сонячних панелей. 10. Розрахунок енергоефективності використання сонячної панелі для виробництва. 11. Висновки.

6. Консультанти розділів бакалаврської кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Головна частина	Надія КУЛЬБАШНА, доц.		
Охорона праці БНС	Микола МОРОЗ, доц.		
Антиплагіат	Вікторія ЛЕВЧЕНКЮ, інж.		
Нормоконтроль	Вячеслав ШАВКУН, доц.		

7. Дата видачі завдання 27.02.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Загальні питання енергозабезпечення бурових установок	15.03.2026 р.	
2	Встановлення потужності бурової установки	05.04.2026 р.	
3	Розробка фотоелектричної системи для живлення бурової установки	19.04.2026 р.	
4	Розрахунки параметрів сонячної панелі та бурової установки	03.05.2026 р.	
5	Охорона праці	24.05.2026 р.	
6	Оформлення паперового та електронного варіантів роботи	31.05.2026 р.	
7	Підготовка доповіді та презентації	07.06.2026 р.	

Здобувач



(підпис)

Арсеній РОЩУПКІН

Керівник бакалаврської

Кваліфікаційної роботи



(підпис)

Надія КУЛЬБАШНА

АНОТАЦІЯ

У першому розділі проінтерпретовані способи розташування бурових установок та їхньої системи живлення, методи розташування сонячних панелей на наземних і морських об'єктах, запропоновані рішення встановлення сонячної енергетики біля бурової установки, як перспективу використання альтернативних джерел енергії в 2026 році на нетипових місцях розташування.

У другому розділі встановлено потужність бурової установки, визначено параметри сонячної панелі та розраховано параметри обраного суперконденсатора.

У третьому розділі проаналізовано способи підвищення ефективності сонячних панелей за допомогою механічних пристроїв, представлено схему живлення для обраного виробництва та виконано розрахунок параметрів енергоефективності використання сонячної панелі як доведення актуальності використання альтернативних джерел енергії біля бурової установки.

У четвертому розділі опрацьовано головні положення щодо роботи працівника, який виконує монтаж і обслуговування фотоелектричних панелей поблизу бурової установки.

Склад пояснювальної записки: 63 сторінки, 17 рисунків, 19 формул, 40 використаних джерел, 11 слайдів презентації.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУРОВИХ УСТАНОВОК.....	8
1.1 Способи розташування бурових установок і відповідні системи живлення.....	8
1.2 Особливості сонячної інсоляції для використання в фотоелектричній галузі.....	15
1.3 Співставлення карт сонячної інсоляції і розміщення бурових установок в Україні.....	17
1.4 Альтернативні варіанти застосування фотоелектричних панелей.....	20
2. ВСТАНОВЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ БУРОВОЇ УСТАНОВКИ.....	26
2.1 Встановлення і потужності бурової установки.....	26
2.2 Визначення параметрів фотоелектричної панелі.....	31
2.3 Встановлення основних параметрів ємнісного накопичувача.....	34
3. РОЗРОБКА ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ БУРОВОЇ УСТАНОВКИ.....	38
3.1 Головні аспекти роботи.....	38
3.2 Способи підвищення ефективності роботи сонячних панелей.....	39
3.3 Розробка структурної схеми для системи живлення бурової установки.....	42
3.4 Розрахунок енергоефективності використання сонячної панелі для виробництва.....	44
4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	50
4.1 Вступ.....	50
4.2 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів під час виконання робіт.....	52
4.3 Організаційно-технічні заходи по забезпеченню безпеки.....	54
4.4 Висновки до розділу 4.....	56
ВИСНОВОК.....	58
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	59

ВСТУП

Сонячна енергетика в 2026 році є найуспішнішим джерелом альтернативної енергетики в Україні. Мешканці нашої країни не раз стикаються з раптовими відключеннями електроенергії, стрибками напруги в мережі, які виводять з ладу коштовні електроприлади. Альтернативні джерела енергії дають змогу забути про всі неприємності, які пов'язані з перебоями в електропостачанні і, якщо ще кілька років тому, через високу вартість, такі енергосистеми були практично недоступними для широкого використання. Стрибкоподібний розвиток на початку цього століття в технологіях альтернативних відновлювальних джерел енергії значно спростило впровадження систем екологічної енергії в різні галузі виробництва і засобів життєдіяльності.

Також сонячна енергетика є життєздатним джерелом енергії, яке є відновлюваним і нескінченним джерелом енергетики, дає змогу суттєво скоротити необхідність імпорту газу, вугілля та нафтопродуктів. Ці джерела збільшують енергетичну безпеку держави, а також суттєво зменшують залежність від країн-експортерів викопного палива, бо це форма зеленої енергії. Україна бере курс на споживання зеленої енергетики через необхідність зменшення викопного палива, парникових викидів, приєднання до європейського енергетичного ринку. Концепція України передбачає поступове збільшення частки відновлювальної енергетики та посиленню енергетичної незалежності від країн експортерів до 2050 року.

Нафтогазова галузь є енергоємним виробництвом, яка споживає до 6 % енергії від загального споживання енергії в Україні, яке використовується підприємствами. На момент 2021 промисловість споживала 41,7 %; паливна галузь займає 2,4 відсотки від всього споживання промисловості, отже якщо брати за 100%, то паливна галузь займає 5,74 % [1 - 2]. Тому впровадження зеленої енергетики в систему живлення бурових установок є важливим питанням. Бурові

установки представляють комплекс систем, що призначені для буріння свердловин. Як на наземних ландшафтах, так і морських акваторіях, які іноді перебувають в досить віддалених від населених районів. Саме бурові установки наземного комплексу є найенергоємними для використання альтернативних джерел енергії в світі.

Тому метою роботи є організація автономного живлення бурових установок, що підвищить надійність їхнього енергозабезпечення і покращить екологічні умови.

Для реалізації роботи пропонується виконати такі завдання:

1) встановити загальну потужність бурової установки і розглянути можливі варіанти її живлення;

2) розрахувати головні параметри комплексу фотоелектричних панелей, джерел накопичувачів, запропонувати варіанти розподілу потужності між джерелами живлення;

3) розробити заходи безпеки працівника, що обслуговує сонячні панелі поблизу бурової установки.

В цій роботі розглядаються питання з можливістю використання альтернативних джерел енергії на бурових установках. Запропоновано використання сонячних панелей з метою зменшення енергоспоживання на наземній буровій установці.

1 ЗАГАЛЬНІ ПИТАННЯ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БУРОВИХ УСТАНОВОК

1.1 Способи розташування бурових установок і відповідні системи живлення

Бурові установки складають комплекс бурового та енергетичного обладнання, за допомогою якого виконують роботи на свердловині. Головні способи розташування бурових установок, поділяють на: Розташування на суходолі і розташування на воді.

Розташування на суходолі може бути *кущовим і індивідуальним*. Кущові – кущом свердловин називається розташування, коли устя перебувають поблизу один одного на одному технологічному майданчику, а вибої свердловин – у вузлах сітки розробки залягань. Особливістю кущового буріння є розміщення від 2 до 30 установок разом, це дає змогу зменшити використану площу для буріння, а також площу для електропередач, трубопроводів і доріг [3].

Індивідуальне буріння – протилежно від кущового буріння є індивідуальне буріння, яке характеризується використанням лише однієї буровою установки, яку розташують окремо від інших. Використовують для розвідувального буріння, рідше для буріння свердловини, оскільки перевага надається кущовому методу.

Морські бурові установки – бурові установки, які розташовують в океанах, морях і на віддалених від землі територіях. Морські бурові установки поділяють на:

- самопідймальні, які використовують на глибині моря 30-110 метрів, особливостями є вантажність механізму до 10000 тон, і швидкість опускання і піднімання установки складає 0,005 – 0,08 м/с [4].
- напівзанурені, які використовують на глибині 100 – 300 м [4];

- занурені, які використовують для розвідувальних і експлуатаційних свердловин на нафту і газ на глибині моря до 30 м [4];
- стаціонарні, які використовують для буріння та експлуатації свердловин до 320 метрів, платформа-конструкція, яка має форму чотиригранної піраміди або призми і висить в межах моря від 16 - 25 м [4];
- бурові судна, які забезпечують провідність буріння в найбільш глибоководних місцях.



Рисунок 1.1 – Бурова платформа Хайбернія біля острова Ньюфаундленд в Атлантичному океані

Класифікація систем живлення бурових установок у відповідності розташування бурових установок представлена на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 – Класифікація систем живлення бурових установок

Живлення бурової установки від централізованої електромережі можна охарактеризувати на підставі рисунка 1.3, крім того застосування такої схеми можливо так і для бурових, так і для газових установок.

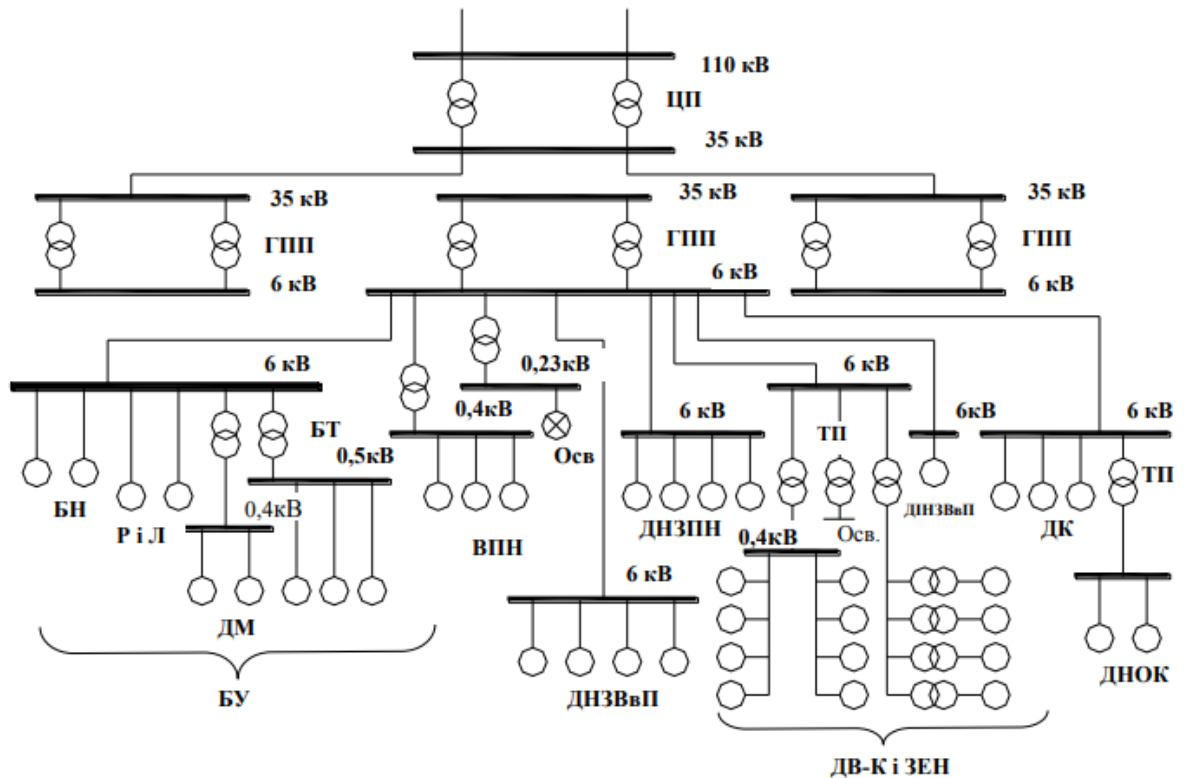


Рисунок 1.3 - Схема електропостачання споживачів нафто-газової промисловості у разі живленні від енергосистеми [5]

На рисунку 1.3 введені такі позначення: ЦП – центральна підстанція; РП – районна підстанція; Осв. – освітлення; ТП – підстанція трансформаторна; ДНЗПН – двигуни насосів зовнішнього перекачування нафти; ДК – двигуни компресорів; ДНЗВвП – двигун індивідуального насоса закачування води до пласту; БТ – трансформатор буровий; ДВ-К і ЗЕН – двигуни верстатів- качалок; ДНЗВвП – двигуни насосів закачування води до пласту; ГПП – головна знижувальна підстанція; ВПП – внутрішнє перекачування нафти; Р і Л – ротор і лебідка; БН – насоси бурові; ДМ – механізми допоміжні; БУ – установка бурова; ДНОК – насоси двигунів охолодження компресорів.

Не зважаючи на тип бурової установки, живлення від централізованої мережі відбувається у такому порядку. Від електричної мережі енергосистеми за допомогою ліній напругою 110 кВ живиться центральна підстанція. З неї енергія

у разі 35 кВ розподіляється на знижувальні підстанції 35/6 кВ. За умови напруги 6 кВ енергія розподіляється між компресорними станціями, насосами перекачування нафти, насосними системами підтримки пластового тиску, трансформаторними підстанціями 6 / 0,4 кВ, під час живлення електрообладнання свердловин насосної експлуатації [5]. Така система застосовується для живлення наземної нерухомої установки, яка розташована близько до централізованої мережі.

Для пересувних установок живлення від централізованої мережі застосовують лише у випадку можливості підключення бурової установки до мережі, яка перебуває на доцільній, з погляду втрат, під час передачі енергії, відстані.

Для морських установок цей тип живлення практично не використовують через не оптимальність методу і значну ціну побудування морських естакад.

Живлення від дизель генераторних установок. За останній період зростає обсяг використання дизель-приводів на бурових установках через забезпечення автономного енергопостачання, яке зі свого боку вирішує проблему живлення віддалених бурових установок від централізованих мереж. Живлення від дизель-генератора застосовують на таких установках:

- а) на бурових установках розвідувального буріння глибоких і надглибоких свердловин;
- б) на наземних пересувних наземних установках глибиною буріння 2000 – 3500 м;
- в) для будь-яких видів буріння в зовнішніх і внутрішніх водоймах на морських і озерних баржах, плавучих платформах, тощо;
- г) для складного буріння в густонаселених районах і пересіченій місцевості.

Відмінною рисою, є використання морських естакад, напівзаглибних платформ і бурових суден. Кабельні лінії напругою 6 і 35 кВ прокладають через

естакаду, забезпечивши енергопостачання дизель-генераторами. Дизельний двигун приводить у дію генератор, який виробляє електроенергію. Електроенергія подається через розподільчі пристрої та трансформатори до бурових установок [5].

Не завжди доцільно застосовувати дизель-генератор, біля більшості бурових установок розташовані підстанції, які уможливають забезпечення живлення бурових установок без ускладнень. З огляду на це, слід робити аналіз доцільності використання живлення від централізованої мережі або використання дизель-генератора [5].

Живлення від гібридних системи передбачає використання систем живлення для бурових установок, що базуються на використанні альтернативних джерел енергії в поєднанні з одним із вище описаних методів підключення електропостачання. На бурових вежах, щоб запобігти перериванню у роботі через припинення централізованого живлення, використовують дизель-генератори.

Відмінною рисою керування гібридною сонячною електростанцією є забезпечення частоти електричної мережі в умовах змінювання рівня сонячного випромінювання, температури та швидкості вітру. Потужність генерування має відповідати навантаженню. За відсутності необхідної потужності навантаження, частота мережі починає знижуватись і навпаки у разі занадто великої потужності, частота мережі збільшується. У зв'язку з цим, для досягнення стабільної роботи сонячної електростанції, необхідно використовувати дизель-генератор, який дає змогу автоматично підтримувати баланс між потужністю навантаження та потужністю генерування системи.

На рисунку 1.4 зображена будова гібридної сонячної електростанції, яка складається з таких блоків: 1 – вітрогенератор; 2 – сонячна панель; 3 - двофазова електрична машина-генератор; 4 - блок акумуляторної батареї; 5 - контролер

заряду; 6 - дизель-генератор; 7 - система керування дизель-генератором; 8 – інвертор [6].

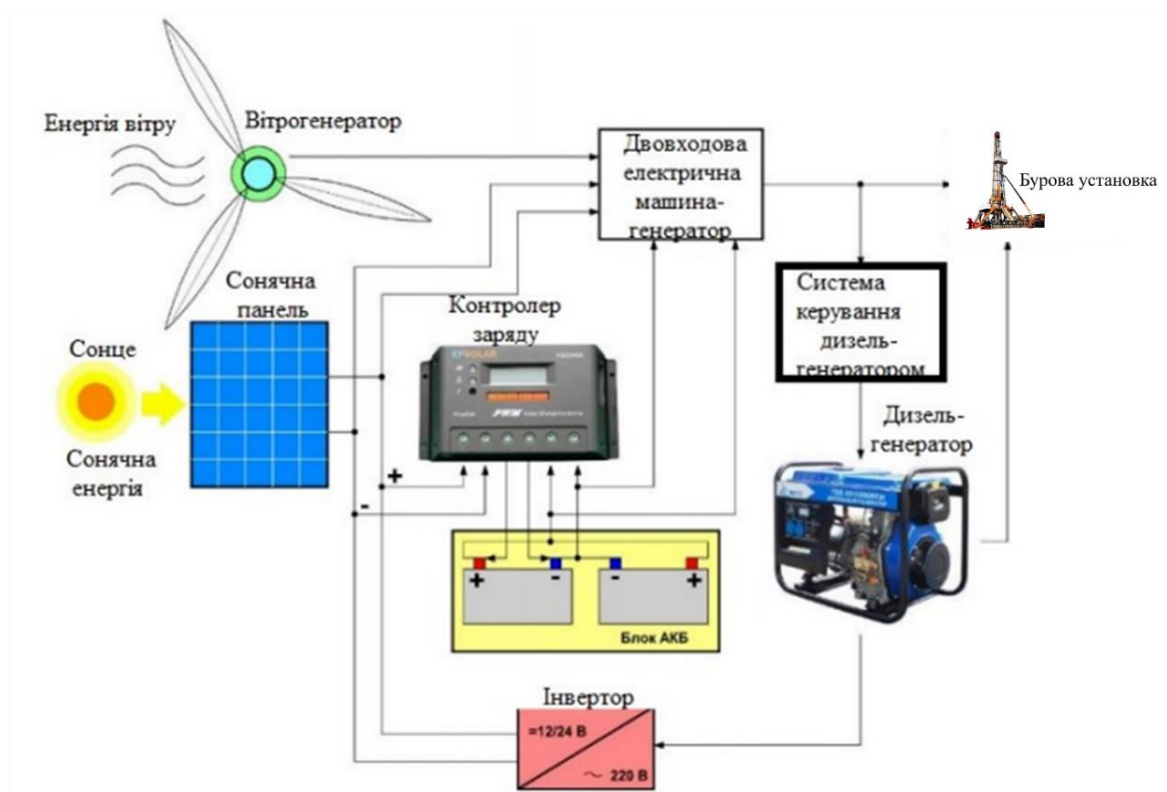


Рисунок 1.4 - Будова гібридної сонячної електростанції [6]

Отже, відновлювані джерела електричної енергії є нестабільними джерелами потужності електричної енергії. Керування відновлюваними джерелами електричної енергії складне та неможливе, у випадку нестачі потужності. Компенсувати нестачу потужності, яку необхідно віддати у навантаження, можна двома способами: збільшити кількість подачі палива до дизельного генератора або взяти додаткову кількість електричної енергії від системи накопичення [6].

1.2 Особливості сонячної інсоляції для використання в фотоелектричній галузі

Під сонячною інсоляцією розуміють сумарну кількість надходження сонячної енергії за певний проміжок часу.

В Україні, як в інших країнах, кількість сонячної інсоляції залежить від місцевості. Наприклад, на рисунку 1.7б зображено атлас енергетичного потенціалу сонячної енергії України за 2024, на ньому показано, що для Харківської області сонячна інсоляція коливається від 1175 до 1200 кВт·год/м², для Закарпатської області від 1125-1150 кВт·год/м², тощо. Найбільша сонячна інсоляція випадає на південну частину країни [7].

Незважаючи на цю карту, не можна сказати, що сонячна енергія припадає постійно однаково протягом цілого дня і в один і той же самий час, бо є багато факторів, які розглядаються в цьому підрозділі.

- найнепередбачуваніший параметр – *метеорологічні фактори* – залежність від погодних умов:

- у разі хмарної погоди, коли небо вкрите хмарами, але не повністю, тоді ефективність сонячних панелей падає до 70 % номінальної потужності [8].

- у разі похмурої погоди, коли небо вкрите хмарами, повністю або йде дощ, тоді ефективність сонячних панелей падає до 10-40 % номінальної потужності [12].

- у разі туманної погоди, коли в повітрі є туман з краплями води, то ефективність СЕС падає до 5-15% [8].

Хоча більшість експертів стверджує, що сонячним панелям потрібне пряме сонячне світло, це не так, бо на сонячну панель припадає розсіяні промені, в будь-якій різниці від погоди [8].

Також, у разі збільшенні температури сонячної панелі вище 50°C, починає падати ефективність. Дослідження вказують, що під час температури 42 – 47 °C сонячна панель набуває своєї найбільшої ефективності. Суттєво знижується ефективність під час 60 °C і, за умови вищої температури, починається температурна деградація [9].

На інсоляцію впливають добові параметри змінювання сонячної радіації – це змінювання інсоляції протягом доби.

На рисунку 1.5 в таблиці вказано як змінюється рівень сонячної радіації протягом року в кожній області України за денний час.

Регіони	Місяць	Середній денний рівень сонячної радіації за місяцями, кВт·год/м ² /день												
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	середній
Сімферополь		1,27	2,06	3,05	4,30	5,44	5,84	6,20	5,34	4,07	2,67	1,55	1,07	3,58
Вінниця		1,07	1,89	2,94	3,92	5,19	5,3	5,16	4,68	3,21	1,97	1,10	0,9	3,11
Луцьк		1,02	1,77	2,83	3,91	5,05	5,08	4,94	4,55	3,01	1,83	1,05	0,79	2,99
Дніпропетровськ		1,21	1,99	2,98	4,05	5,55	5,57	5,70	5,08	3,66	2,27	1,20	0,96	3,36
Донецьк		1,21	1,99	2,94	4,04	5,48	5,55	5,66	5,09	3,67	2,24	1,23	0,96	3,34
Житомир		1,01	1,82	2,87	3,88	5,16	5,19	5,04	4,66	3,06	1,87	1,04	0,83	3,04
Ужгород		1,13	1,91	3,01	4,03	5,01	5,31	5,25	4,82	3,33	2,02	1,19	0,88	3,16
Запоріжжя		1,21	2,00	2,91	4,20	5,62	5,72	5,88	5,18	3,87	2,44	1,25	0,95	3,44
Івано-Франківськ		1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	2,00	1,20	0,94	2,94
Київ		1,07	1,87	2,95	3,96	5,25	5,22	5,25	4,67	3,12	1,94	1,02	0,86	3,10
Кіровоград		1,20	1,95	2,96	4,07	5,47	5,49	5,57	4,92	3,57	2,24	1,14	0,96	3,30
Луганськ		1,23	2,06	3,05	4,05	5,46	5,57	5,65	4,99	3,62	2,23	1,26	0,93	3,34
Львів		1,08	1,83	2,82	3,78	4,67	4,83	4,83	4,45	3,00	1,85	1,06	0,83	2,92
Миколаїв		1,25	2,10	3,07	4,38	5,65	5,85	6,03	5,34	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55
Одеса		1,25	2,11	3,08	4,38	5,65	5,85	6,04	5,33	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55
Полтава		1,18	1,96	3,05	4,00	5,40	5,44	5,51	4,87	3,42	2,11	1,15	0,91	3,25
Рівне		1,01	1,81	2,83	3,87	5,08	5,17	4,98	4,58	3,02	1,87	1,04	0,81	3,01
Суми		1,13	1,93	3,05	3,98	5,27	5,32	5,38	4,67	3,19	1,98	1,10	0,86	3,16
Тернопіль		1,09	1,86	2,85	3,85	4,84	5,00	4,93	4,51	3,08	1,91	1,09	0,85	2,99
Харків		1,19	2,02	3,05	3,92	5,38	5,46	5,56	4,88	3,49	2,10	1,19	0,9	3,26
Херсон		1,30	2,13	3,08	4,36	5,68	5,76	6,00	5,29	4,00	2,57	1,36	1,04	3,55
Хмельницький		1,09	1,86	2,87	3,85	5,08	5,21	5,04	4,58	3,14	1,98	1,10	0,87	3,06
Черкаси		1,15	1,91	2,94	3,99	5,44	5,46	5,54	4,87	3,40	2,13	1,09	0,91	3,24
Чернігів		0,99	1,80	2,92	3,96	5,17	5,19	5,12	4,54	3,00	1,86	0,98	0,75	3,03
Чернівці		1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	2,00	1,20	0,94	2,94

Рисунок 1.5 – Середній денний рівень сонячної радіації за місяцями у різних містах України [10]

Ефективність сонячної інсоляції залежить від пори року і знижується відповідно у такому порядку: найвищий – літній, другий – весняний, третій – осінній і останній – зимній [11].

В більшості випадків, сонячні панелі не використовують в одиночному екземплярі, зазвичай зводять спеціальні ділянки, на яких розташовують великі групи сонячних панелей з урахуванням проводки, інверторів, підстанції, систем автоматизованого моніторингу, тощо. Такі системи називають геліополями (рис. 1.6) – розташуваннями сонячних панелей у великій кількості з дотриманням всіх вимог експлуатації і безпеки [12].



Рисунок 1.6 – Найбільший сонячний масив України, Нікопольська СЕС

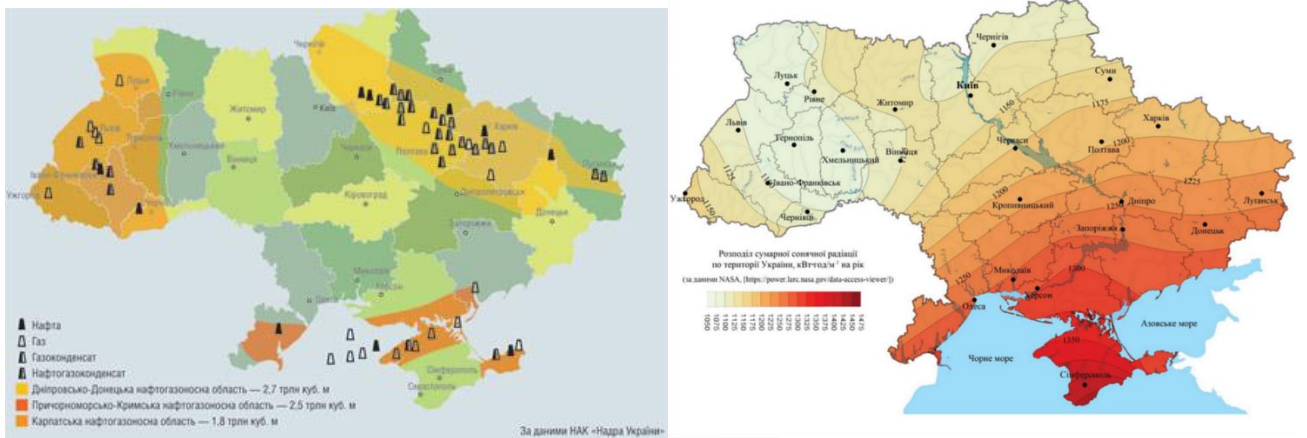
1.3 Співставлення карт сонячної інсоляції і розміщення бурових установок в Україні

Найпопулярніша альтернативна енергетика в Україні – це сонячна, бо потужність сонячних електростанцій в Україні на початок 2022 року становила 7,6 ГВт, а вітрових 1,67 ГВт [13].

Необхідно звернути увагу на те, що площа встановлення фотоелектричних панелей обмежена через високу вартість землеволодіння, а застосування вітрогенераторних установок має обмеження через значний шум і вимагає значної

відстані від бурової установки, оскільки на буровій установці перебувають працівники. З цього погляду доцільніше використовувати саме сонячні панелі, однак необхідно враховувати безпечну відстань, оскільки сонячні панелі є джерелом вибуху і пожежі, що є загрозовим для бурової установки. На обраному виробництві немає місця розташувати вітроустановку. Іншими словами, для найкращого використання простору використовуємо саме сонячні панелі, бо їхнє розміщення займає набагато менше місця, чим вітрові установки.

Також для доведення вибору місця бурової установки, яку розглядаємо в роботі, використаємо карту розміщень бурових установок в Україні. На рисунку 1.8 зображено карту розміщення газових і нафтових родовищ і карту сонячної інсоляції України.



а)

б)

Рисунок 1.7 – Порівняння карт: а) розміщення газових і нафтових родовищ в Україні і б) енергетичного сонячного потенціалу України

Якщо співставити карту родовищ і карту енергетичного потенціалу, то можна зрозуміти, що більшість установок припадає на східну частину України, де було обрано виробництво для розгляду і проектування ВДЕ. На східній частині України розташовано найбільша кількість енергетичних об'єктів України, тому бурова установка забезпечується живленням без ускладнень.

Як об'єкт для розробки обрана бурова установка, яка розміщується в Харківській області, тому для уточнення деяких даних, розглядаються такі аспекти: сонячна інсоляція, оптимальні параметри розташування сонячної панелі, розташування бурових установок в Україні.

Оскільки розміщення бурової установки і сонячних панелей буде відбуватися в Харківській області, тому розглянемо параметри інсоляції.

Загальні параметри інсоляції дорівнює в межах 1150 - 1225 кВт·год/м² для Харківської області [7].

Кут нахилу сонячної панелі залежить від широти: Харківська область знаходиться на межі півночі на центру, тому оптимальним кут нахилу буде 33 - 35°

Таблиця 1.4 – Оптимальні параметри розташування сонячної панелі [14]

Регіон України	Оптимальний кут нахилу, °	Втрати ефективності під час відхилення на 15°
Північ	34 - 36°	~ 5 %
Центр	32 - 34°	~ 4 %
Південь	30 - 32°	~ 3 %



Рисунок 1.8 – Приклад розміщення сонячних панелей, Харківська область [15]

На рисунку 1.8 показано приклад розміщення сонячних панелей в Харківській області, який може бути застосований для живлення бурових установок на суходолі. Для більшого виробництва електроенергії радять зменшувати кут нахилу влітку на 10° , а для зимнього періоду навпаки, збільшувати на 15° [14].

1.4 Альтернативні варіанти застосування фотоелектричних панелей для живлення бурових установок

Є два способу розміщення сонячних панелей: на суходолі та на воді. Для роботи, у зв'язку з тим, що розглядається наземна бурова установка, на якій досліджується саме альтернативна енергетика, яка є доречним використанням для бурової установки суходолу. Тому, для початку опишемо розміщення і використання сонячних панелей на суходолі.

В розділі пропонується розглянути головні фактори розміщення сонячних панелей на даху та на землі. Розташування сонячних панелей на даху залежить від таких факторів як: вік даху – пропонується не розташовувати сонячні панелі на старих дахах; діюча вентиляція – для кращого забезпечення охолодження панелей; матеріал даху – особливості кріплення на нетиповому матеріалі; максимально допустиме навантаження на дах [14]. Для обраного виробництва сонячні панелі на даху не використовуватимуться через особливості покрівлі даху і відсутності оптимального місця розташування сонячних панелей.

Розташування сонячних панелей на землі залежить від таких факторів:

- якість ґрунту: стабільність основи для монтажної конструкції;
- дренаж: можливість усунення атмосферних опадів;
- доступність: можливість підходу для обслуговування та чищення;

- захист від пошкоджень: віддаленість від місць активності дітей, тварин.

Для детального аналізу розташування сонячних панелей пропонується розглянути кожен параметр окремо. Змінювання кута нахилу сонячної панелі на межі 30 - 35° підвищить ефективність сонячної панелі до 15 %. Використання надійної конструкції і доступності обслуговування сонячних панелей сприяє підвищенню безпеки, надійності і збільшенню продуктивності роботи. У разі затінення сонячної панелі в пікові години, продуктивність знижується до 40 %. Неправильно обрана орієнтація сонячної панелі зменшує продуктивність сонячної панелі до 25 %. Впровадження в роботі вентиляцію забезпечить охолодження сонячних панелей і збільшення їх ефективності до 10 % [14].

Розміщення сонячних панелей на воді може відбутися у два різні методи.

Метод розміщення на плавучій поверхні біля суходолу являє собою розміщення сонячних панелей на плавучій платформі, яка розташована на поверхні озера, водойм, водосховищ, штучних басейнів, або моря. Використання такого розташування зумовлено нестачею місця на суші.

Головні компоненти системи це:

- фотоелектричні модулі – сонячні панелі, які генерують електроенергію, перетворюючи сонячне світло на електрику;
- плавучі платформи – конструкції, що підтримують панелі на поверхні води;
- закріплювальна система – система кріплень, яка фіксує панелі у певному положенні на водоймі, запобігаючи їхньому переміщенню через вітер чи хвилі;
- кабельна система – кабелі, які з'єднують панелі з електричною мережею або акумуляторами на суші.



Рисунок 1.9 – Приклад розташування сонячних панелей поблизу суходолу [16]

На рисунку 1.10 зображено фотоелектричну установку SolarSea розмірами 14 на 14 метрів Система складається з плавучої платформи, що полягає з понтонів та верхньої фермової конструкції, надпотужних сонячних панелей, розроблених спеціально для тропічних морських умов (довговічних та ефективних, удвічі міцніших за стандартні панелі), та відповідних електричних систем [17].



Рисунок 1.10 – Плавуча фотоелектрична установка SolarSea [17]

Особливістю розташування для таких панелей є вибір певного місця з найменшим показником негативних факторів. Першим пріоритетом розташування йде розміщення такої системи на захищених водоймах з мінімальною хвильовою активністю. Другим та третім пріоритетом є розташування на більш складних об'єктах та водоймах з наявною хвильовою активністю [16].

Перевагами цієї системи є:

- економія землі – дає можливість використанню додаткової поверхні землі для розміщення сонячних панелей;
- підвищена ефективність – через розміщення поблизу води дає додаткове охолодження, як наслідок зменшується температура сонячних панелей і збільшується отримання енергії на 5-15 %;
- зменшення випаровування води – зменшує випаровування води, особливо в посушливому кліматі;
- захист екосистеми – мінімальний негативний вплив відносно наземного розташування сонячних панелей (якщо розташувати багато сонячних панелей на одній площині, то це впливає на біорізноманіття) [18].

Недоліки цієї системи:

- корозія та довговічність – висока волога і солоня вода можуть спричинити корозію, тому необхідно правильно підбирати елементи [18];
- кріплення та безпека – складність підключення панелей до платформи та, як наслідок, збільшення вартості системи та зменшення безпеки [18];
- екологічний вплив – у разі щільного розташування зменшується випаровування і, як наслідок, відбувається змінення екосистеми водойми: важливо перевіряти водойму, щоб не нашкодити природі [18].

Незважаючи на значні переваги таких систем, в цілому є головна проблема, яка не дає цим системам широкого поширення, а саме відсутність точних даних щодо надійності та витрат на обслуговування, складність розташування через відсутність безпечного місця та складності обслуговування панелей [19].

Застосування фотоелектричних панелей на морській буровій установці.

Розміщення на самій буровій установці зазвичай неможливе через дефіциту місця на буровій платформі, але якщо місце знаходиться, то розташування відбувається таким методом:

Останнім часом на бурових установках почали застосовувати відновлювані джерела енергії, такі як сонячна та вітрова, щоб замінити традиційне паливо та зменшити вплив спалювання палива на довкілля. На рисунку 1.11 показано нову нафтогазову платформу в південній частині Північного моря з фотоелектричною та вітровою генерацією. Вітрова та сонячна енергія можуть достатньо забезпечити електроенергією для електрифікації морської платформи [17].



Рисунок 1.11 – Вітрогенератори та сонячні панелі на морській платформі [17]

Як і в попередній раз відмічають такі переваги та недоліки використання альтернативних джерел енергії.

Переваги: зменшення споживання дизеля або газу на платформі, за умови його використання; менші викиди та екологічні переваги – це зумовлено тим, що використовується менше палива; можливість розміщення без зайняття суші, як і в попередньому типі розміщень;

Недоліки: дуже висока початкова ціна проєкту; складність проведення естакади; корозія і руйнування, як і в попереднього типу розміщень; залежність від погодних умов [20].

Отже, використання сонячних панелей і інших способів зеленої енергетики знижує енергонавантаження на центральні мережі і витрати палива на роботу дизель-генераторів, з огляду на це, і також на питання бурових установок і співставлення карт сонячної інсоляції, все це свідчить про те, що для розгляду

можна обирати бурове виробництво Харківської області, для додаткового живлення використовувати панелі, що розташовують на суходолі для їх простішого обслуговування. У разі досконалого дотримання всіх вимог щодо розташування сонячних панелей, впровадження такого рішення в подальшій перспективі зменшить витрати на електроживлення і зменшить тривалість відключень світла в Україні.

2 ВСТАНОВЛЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ БУРОВОЇ УСТАНОВКИ

2.1 Встановлення потужності бурової установки

Обираємо установку, яка буде розглядатись в цій роботі. Найкращим варіантом виявилася бурильна установка ZJ40/2250LDB (рис. 2.1). Першочергово розглянемо паспортні дані кожного елемента бурової установки, які будуть використані в подальших розрахунках (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Загальні паспортні дані установки ZJ40/2250LDB [21]

Назва паспортних даних	Паспортні дані
Модель установки	ZJ40/2250LDB
Тип установки	Наземна бурова установка
Призначення	Буріння нафтових і газових свердловин
Тип установки	1000 HP
Номінальна глибина буріння (114 мм труби)	2500–4000 м
Номінальна глибина буріння (127 мм труби)	2000–3200 м
Навантаження на гак максимальне	2250 кН (≈ 225 тс)
Діаметр талевого каната	32 мм
Висота бурової щогли	≈ 43 м

На рисунку 2.1 зображено бурильну установку ZJ40/2250LDB, яка складається з таких елементів: підйомник, бурова лебідка, роторна система, бурові насоси, силова установка, підйомник та допоміжні системи. Для

встановлення загальної потужності, цією буровою установкою розглянемо паспортні дані кожного елемента.

1) Паспортні дані силової установки [21 - 23]:

- кількість силових установок: 3;
- потужність однієї силової установки: 1200 кВт;
- частота струму: 50 Гц;
- напруга електричної системи: 380-480 В.

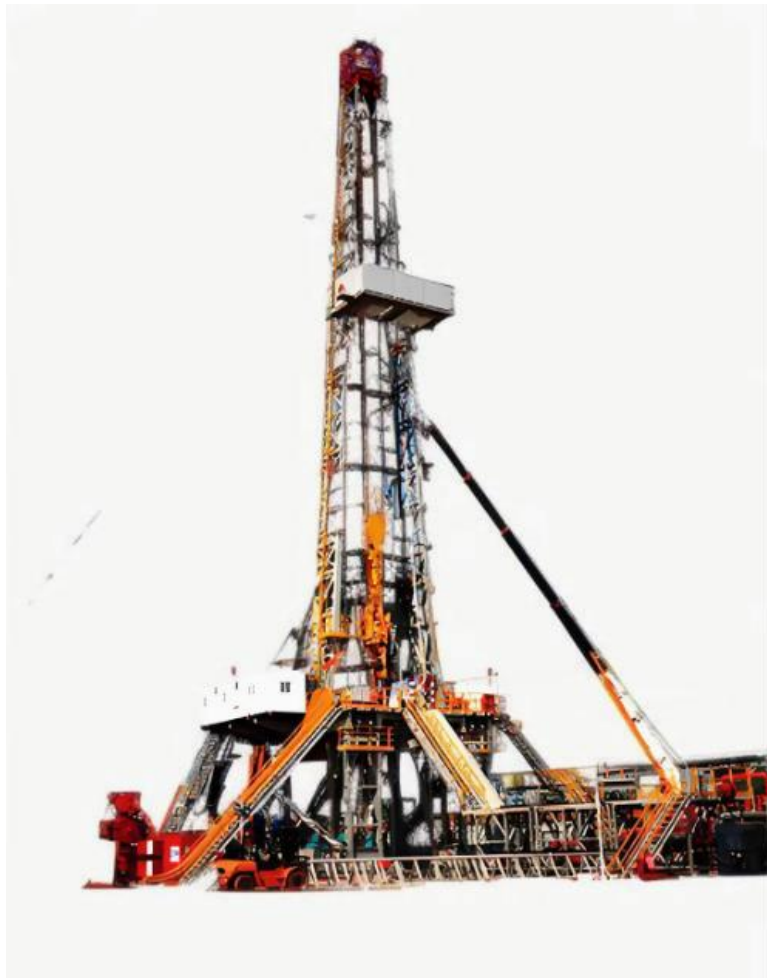


Рисунок 2.1 – Бурильна установка ZJ40/2250LDB

Загальна потужність кожної силової установки 1200 кВт, а таких силових установок 3, отже загальна потужність обраної бурової установки ZJ40/2250LDB дорівнює 3600 кВт.

2) Паспортні дані підйомника [21 - 23]:

- максимальне навантаження гака 2250 кН;
- тип гака: буровий гак;
- номінальна потужність 3×25 кВт.

3) Паспортні дані бурової лебідки [21 - 23]:

- номінальна потужність: 735 кВт;
- діаметр бурового каната: 32 мм;
- швидкість підйому: 0,11 – 1,15 м/с;
- максимальне тягове зусилля каната: 280 кН.

4) Паспортні дані роторної системи [21- 23]:

- максимальна швидкість обертання: не більше 300 об/хв;
- передаточне число: 3,5;
- діаметр отвору ротора: 698,5 мм;
- номінальна потужність: 300 кВт.

5) Паспортні дані бурових насосів [21 - 23]:

- номінальна потужність: 970 кВт;
- максимальна частота ходів: 120 ход/хв;
- маса насоса: 9770 кг;
- загальний об'єм промивальної рідини: 250 м³;
- максимальний тиск: 34-35 МПа.

В таблиці 2.2 наведено детальні характеристики потужності бурової установки і кожного її елемента. Під допоміжними системами можуть бути додаткові генератори, елементи автоматики і компресори тощо.

Таблиця 2.2 – Загальна потужність бурової установки на виробництві що розглядається

Склад силової установки	Споживана потужність, кВт	Споживана потужність, %
Підйомник	3 × 25	2,08
Лебідка	735	20,42
Ротор	400	11,11
2 бурові насоси	2 × 970	53,89
Допоміжні системи	450	12,5
$\Sigma = 3\ 600$ кВт		$\Sigma = 100$ %

На виробництві, що розглядається, розміщують інші системи обладнання, на прикладі будинку-модулі житлових приміщень бурової установки, таблиця 2.3.

Житлові приміщення на цьому виробництві дають змогу групам з 70 осіб працювати щодня 12-годинними змінами, тому необхідність в житлі становить 140 осіб. Хоча передбачається, що всі процеси на робочій платформі функціонують постійно, житлові приміщення характеризуються піками енергоспоживання, які збігаються з регулярними подіями, такими як: подача вечери або потреба в гарячій воді для душу після зміни. Споживання потужності житлових приміщень наведено в таблиці 2.3 [24].

Таблиця 2.3 – Середня погодинна потреба в енергії зразкового видобувного, переробного та зберігального комплексу [24]

Підрозділ	Частка від загального споживання енергії, %	Споживання потужності, кВт·год
Камбуз (кухня)	5	20
Пральня	3	12
Опалення, вентиляція та кондиціонування повітря (HVAC)	50	200
Освітлення	13	52
Ліфти	5	20
Системи безпеки	8	32
охолоджувачі	6	24
Каналізаційна система	4	16
Система водопостачання	5	20
Радіозв'язок	1	4
Разом	$\Sigma = 100$	$\Sigma = 400$

Після встановлення всіх головних характеристик загальна потужність обраного виробництва складає 4000 кВт, з яких 90 % займає бурова установка та 10 % займає переробний комплекс.

Потужність, що одночасно споживається буровою установкою під час буріння буде визначатися за потужністю, яка використовується у разі певних технологічних операцій. Тобто, під час буріння працює роторна система (400 кВт) і два бурових (970 кВт × 2) насоси з роботою допоміжних систем (450 кВт). Або друга операція - це технологічна операція після завершення рейсу: операція витягання колони бурильних труб. В системі працює лебідка (735 кВт),

підйомники ($25 \text{ кВт} \times 3$), допоміжні системи (450 кВт). За першою операцією буріння виходить 2790 кВт, а під час виконання витягання колони 1260 кВт. Найбільш потужною є операція буріння, тому система автономного живлення має підтримувати головну функції системи і систему переробного комплексу (3190 кВт).

2.2 Визначення параметрів фотоелектричної панелі

Так як в роботі використовуються сонячні панелі, тому перейдемо до оцінки можливостей. Вибираємо доволі дешевий варіант сонячної панелі – монокристалічна сонячна панель JA Solar JAM66D45-620/LB Bifacial

Розглянемо її технічні характеристики, звертаємо увагу на площу розміщення [25]:

- тип фотомодуля: монокристал;
- потужність 620 Вт;
- напруга під час потужності максимальній: 40,21 В;
- струм під час потужності максимальній: 15,42 А;
- коефіцієнт корисної дії: 23 %;
- робоча температура: від -40 до +85 градусів;
- розміри 2382 x 1134 x 30 мм;
- вага 33,1 кг;
- ступінь захисту IP68.

В роботі запропоновано обрати невелику кількість панелей, яка буде використовуватись для живлення загальної системи живлення. Розрахунок кількості сонячних панелей, які будуть застосовувати на виробництві відбувається з урахуванням потужності бурової вежі і житлових приміщень, тому запропоновано брати їх загальну потужність.

Кількість фотоелектричних (PV) модулів виражають за формулою

$$K_{fp} = \frac{P_{sp} \times f_0 \times h_{pik}}{Q_{sun} \times P_{pv} \times K_l \times \eta_{puss}}, \quad (2.1)$$

де K_{fp} – кількість фотоелектричних (PV) модулів, шт;

P_{sp} – споживана потужність, яку має виробити фотоелектричний комплекс, для живлення об'єкту, кВт·год (за добу);

f_0 – коефіцієнт надлишку = 1,3 (стандартний коефіцієнт);

h_{pik} – кількість годин пікового сонячного випромінювання (за добу), год;

Q_{sun} – сонячне опромінення для обраного місця (місцевість Харкова, Харківська область, Україна);

$Q_{sun} = 3,26$ кВт·год/м²/день середня за рік [7];

P_{pv} – потужність PV-модуля під час його використання, кВт·год;

$P_{pv} =$ потужність PV-модуля × години накопичення сонячною панеллю енергії(з 8.00 до 16.00) × витрати в інверторі, тощо:

$$P_{pv} = 0,62 \cdot 8 \cdot 0,75 = 3,72 \text{ кВт·год.}$$

K_l – коефіцієнт зниження потужності;

η_{puss} – ефективність фотоелектричної системи (інвертор, контролер заряду тощо) = 80 %.

В формулі (2.1) враховано: середній час відсутності світла в Україні (в середньому 3 год), години накопичення сонячної енергії фотоелектричними панелями, що визначається середньою інтенсивністю сонячного світла для більшості місяців в Україні з 8:00 до 16:00 (8 год). У розрахунках використовують сонячну фотоелектричну батарею потужністю 620 Вт.

Отже, для бурової вежі і житлових приміщень з максимальним енергоспоживанням 4000 кВт·год кількість мінімально необхідних фотоелектричних панелей становитиме:

$$K_{fp} = \frac{3190 \cdot 1,3 \cdot 3}{3,26 \cdot 3,72 \cdot 0,95 \cdot 0,8} = 1\,350 \text{ шт.}$$

Після розрахунку мінімально необхідної кількості панелей, спробуємо розрахувати площу їх розміщення. Для цього необхідно розрахувати розмір сонячної панелі. Розміри сонячних панелей варіюються, але більшість з них мають розміри 2,382 м на 1,134 м, що дає площу 2,7 м². Отже, для панелей площа буде дорівнювати:

$$S_{pan} = a \times b, \quad (2.2)$$

де S_{pan} – площа сонячної панелі, м²;

a – ширина сонячної панелі згідно з паспортними даними;

b – довжина сонячної панелі згідно з паспортними даними.

$$S_{pan} = 2,382 \cdot 1,134 = 2,7 \text{ м}^2.$$

Після розрахунку площі панелі, скористаємося формулою мінімально необхідної площі розміщення сонячних панелей

$$S_{neob} = K_{фп} \times S_{пан}, \quad (2.3)$$

де S_{neob} – необхідна мінімальна площа для розташування загальної кількості панелей.

$$S_{neob} = 1350 \cdot 2,7 = 3\,643 \text{ м}^2.$$

З розрахунку видно, що площа панелей без проміжків дорівнює найбільшому в Україні сонячному масиву України, Нікопольській СЕС (див. рис. 1.8), яка генерує 200 МВт, але використовує занадто коштовні фотоелектричні модулі. Оскільки землекористування в обраній місцевості буде теж коштовним, тому для вирішення проблеми, в роботі пропонується зменшити кількість панелей шляхом прийняття рішення живлення від сонячних панелей протягом 1 години, інші 2 години – живлення від дизель-генератора.

Під час розрахунку необхідно врахувати середній параметр накопичення енергії сонячною панеллю, з огляду на це, пропонується формула вираження середнього значення енергії, накопленою сонячними панелями:

$$\Delta E = P_{pv} \times n_{day}, \quad (2.4)$$

де ΔE – середнє значення кількості енергії за місяць, що накопичує сонячна система за рахунок сонячного випромінювання, кВт·год;

n_{day} – кількість днів у відповідному місяці або року; приймається за 30 днів для обраного розрахунку.

$$\Delta E = 3,72 \times 30 = 112 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Після наведених роз'яснень, кількість фотоелектричних панелей буде дорівнювати:

$$K_{fp} = \frac{3\,190 \cdot 1,3 \cdot 1}{3,26 \cdot 3,72 \cdot 0,95 \cdot 0,8} = 450 \text{ шт.}$$

Також їх мінімальна площа розміщення буде становити:

$$S_{neob} = 450 \cdot 2,7 = 1\,215 \text{ м}^2.$$

Отже, враховуючі вільні місця без посівів біля села Степове (м. Берестин, Харківська область), для виробництва енергії, необхідної для бурової вежі та житлових приміщень, без урахування втрат, буде потрібно щонайменше 564 сонячних панелей і 1 215 м² площини без урахувань трекерів, інверторів та систем керування.

2.3 Встановлення основних параметрів ємнісного накопичувача

В роботі пропонується розрахувати ємність суперконденсатора для подальшого підключення потрібного акумулятора його роботи. Ємність іншими словами місткість джерела накопичення – це здатність накопичувача утримувати енергію.

$$C_{low} = \frac{2E_{rozr}}{u_{max}^2 - u_{min}^2}, \quad (2.5)$$

де C_{low} – ємність, яка мінімально необхідна для акумулятора, А·год;

E_{rozr} – енергія розрахункова, виражається за такою формулою, В·А·год, яка розраховується за формулою:

$$E_{rozr} = P_{pv} \cdot T_{1год} \cdot \eta_{инв}, \quad (2.6)$$

де P_{pv} – розрахункове навантаження;

$T_{1год}$ – час автономної роботи, год;

$\eta_{инв}$ – коефіцієнт втрат в інвенторі.

$$E_{rozr} = 0,62 \cdot 8 \cdot 0,75 = 3,72 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3\,720 \text{ Вт} \cdot \text{год};$$

U_{max}^2 – напруга максимальна, яка споживається двигуном;

U_{min}^2 – напруга мінімальна, яка споживається двигуном.

$$C_{low} = \frac{2 \cdot 3720}{600,2^2 - 599,8^2} = 15,5 \text{ Ф.}$$

Після розрахунку параметра, обираємо акумуляторну батарею або суперконденсатор 3 В для випадку живлення протягом декількох годин.

В роботі обирають суперконденсатор 3.0V 3000f Durable Supercapacitor with 2000 Hours of Power Consumption ємністю 3000 Ф та такими характеристиками [26]:

- напруга: 3 В;
- ємність: 3000 Ф;
- вага: 0,5 кг;
- діаметр: 60,4 мм;
- висота 140,5 мм;
- струм 100 А.

Послідовне з'єднання – це з'єднання, яке дає змогу збільшити напруги системи. В свою чергу, паралельне з'єднання акумуляторів дає змогу збільшити ємність акумуляторної батареї [15]. З метою підвищення ємності акумуляторної

батареї, його необхідно підключити паралельно і послідовно певну кількість разів [15].

Першочергово в роботі пропонується з'ясувати кількість послідовних гілок суперконденсатора. Для цього напруга батареї повинна співпадати з напругою інших систем. Для обраної системи напруга повинна складати 600 В, отже, кількість послідовних гілок розраховується за такою формулою:

$$n_{posl} = \frac{U_n}{U_{con}}, \quad (2.6)$$

де n_{posl} – кількість послідовних гілок;

U_n – напруга акумулятора номінальна $E_{rozr} = 3$ В постійного струму;

U_{con} – напруга одного суперконденсатора, В.

$$n_{posl} = \frac{600}{3} = 200 \text{ елементів.}$$

Обрана система буде мати 200 елементів в послідовній гілці. Кількість елементів пов'язана з потужністю двигуна-генератора, для обраного виробництва, запропоновано використовувати двигун-генератор потужністю 600 В, тому для зрівняння потужності, оптимально обирати батарею з потужністю 600 В також. Після розрахунку маємо змогу розрахувати кількість паралельних гілок:

$$n_{par} = \frac{C_{lowx} \times n_{posl}}{C_{con}}, \quad (2.7)$$

де n_{par} – необхідна кількість паралельних гілок;

C_{con} – ємність обраного суперконденсатора, Ф.

$$n_{par} = \frac{15,5 \times 200}{3000} = 2 \text{ гілки.}$$

Маємо змогу розрахувати кількість конденсаторів, яка необхідна в роботі, як:

$$n_{con} = n_{posl} \times n_{par}, \quad (2.9)$$

де n_{con} – необхідна в роботі кількість суперконденсаторів.

$$n_{con} = 200 \times 2 = 400 \text{ шт.}$$

Маса акумуляторної батареї буде становити:

$$m_{ak} = n_{con} \times m_{con}, \quad (2.10)$$

де m_{ak} – загальна маса батареї, кг;

m_{con} – маса одного суперконденсатора, кг.

$$m_{ak} = 400 \times 0,5 = 200 \text{ кг.}$$

Наприкінці розрахунку варто зазначити об'єм, який займає обраний в роботі накопичувач енергії:

$$V_{ak} = \frac{\pi \times d_{con}^2 \times h_{con} \times n_{con}}{4}, \quad (2.11)$$

де V_{ak} – загальний об'єм батареї, мм³;

d_{con} – діаметр одного суперконденсатора, мм;

h_{con} – висота одного суперконденсатора, мм.

$$V_{ak} = \frac{3,14 \times 60,4^2 \times 140,5 \times 400}{4} = 160\,945\,874 \text{ мм}^3 = 161 \text{ дм}^3.$$

Отже, обрана суперконденсаторна батарея складається з 200 послідовних та 2 паралельних гілок суперконденсаторів, які в сумі дають 400 суперконденсаторів, які займають 161 дм³ об'єму. Сама батарея має масу 200 кілограм. Така батарея задовольняє вимогам системи і є оптимальним рішенням для роботи з сонячними панелями, інверторами і дизель-генератором на обраному виробництві.

3 РОЗРОБКА ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ БУРОВОЇ УСТАНОВКИ

3.1 Головні аспекти роботи

В роботі пропонується розглядати виробництво, яке розташовується поблизу міста Берестин, на півдні Харківської області, ближче до Полтавської області. Для розміщення сонячних панелей обирається село Степове, яке знаходиться недалеко від виробництва. Село Степове являє собою невелику місцевість площею 430000 м². Місцевість переважно використовують для вирощування сільськогосподарських культур. В селі проживає не більше 50 людей [27].

В світі зазвичай на сільську місцевість припадає не більше 1 % на розміщення сонячних панелей [28], тому в роботі запропоновано як ідею брати лише 1 % від загальної площі села для розміщення сонячних панелей – в обраному випадку максимально допустима площа розміщування сонячних панелей не може перевищувати 4300 м².

Із географічних особливостей розташування є параметр інсоляції, який дорівнює 1175 -1200 кВт·год/м² для обраної ділянки [7]. Місцевість являє собою лісо-степовий регіон з чорноземними ґрунтами, має 563 мм опадів [29]. Такі характеристики дають змогу розташовувати панелі без ускладнень.

Живлення бурової установки може відбуватися перерахованими нижче методами:

- живлення через централізовану мережу 110/35/10 кВ з додатковим використанням трансформатора 10/6 кВ для обраного підприємства. Особливості вибору саме цього виробництва є зручне розташування з електричною підстанцією (рис 3.1) в м. Берестин, 110/35/10 кВ [30];

- живлення через дизель-генератор, як універсальний метод підключення бурової установки де-не-де на півдні Харківської області.

Розглядається використовувати саме дизель-генератор, оскільки електростанція не має потрібного перетворювача і окремо встановлювати трансформатори на підприємстві не допускається.



Рисунок 3.1 – Підстанція 110/35/10 кВ, що розташована в місті Берестин

3.2 Способи підвищення ефективності роботи сонячних панелей

Більшість людей знає про найпростіші способи підвищення ефективності роботи сонячних панелей: змінювання кута нахилу, розташування в зонах з найбільшою сонячною інсоляцією, дотримання умов безпечного розташування на суходолі або воді. Але більшість забуває про механіку, тому в цьому розділі пропонується розглядати питання покращення роботи сонячних панелей за допомогою механічних пристроїв. Розглянемо способи підвищення ефективності роботи сонячних панелей за допомогою механічних пристроїв.

- *використання трекерів*

Трекерами називають пристрої, які змінюють кут нахилу панелей для забезпечення падіння сонячного радіації під прямим кутом. Трекери поділяють на одноосьові та двохосьові [31].

Одноосьові трекери являють собою механізм, який змінює кут сонячної панелі лише в одній площині – з однієї сторони на іншу. Наприклад, зі сходу на захід. Використання одноосьових трекерів забезпечує покращення продуктивності до 25 % [31].

Двохосьові трекери – це трекери, які здатні змінювати кут нахилу одразу і в горизонтальній, і в вертикальній площині. Така система дає змогу не тільки стежити за рухом сонця, а й автоматично регулювати кут нахилу в залежності від відстані сонця і пори року. Використання двохосьових трекерів уможливує підвищення ефективності сонячних панелей на 35 – 45 % [31].

За даними дослідження ефективності використання трекерів на прикладі м. Львів, дає змогу покращити ефективність від 10 до 40 % в залежності від пори року: взимку + 40 %, навесні + 11,6 %, влітку + 16,5 %, восени +10,5 % [31].



Рисунок 3.2 – Приклад використання трекеру для сонячної панелі [32]

- *застосування контролерів підвищення напруги і підвищуючих транзисторів*

В роботі звертається увага на застосування MPPT (Maximum Power Point Tracking) контролера – пристрій регулювання вихідної потужності. Принцип роботи MPPT контролера полягає в відстежуванні вихідної напруги, струму сонячних панелей і регулюванні напруги заряду акумулятора. Під детальнішим розглядом можна зрозуміти, що в залежності від кількості енергії, яка генерується, сонячною панеллю MPPT контролер у режимі реального часу змінює напругу, гарантуючи максимальну ефективність сонячних панелей [33].

Головною перевагою таких контролерів є забезпечення ефективної роботи сонячних панелей навіть у похмуру погоду [33].



Рисунок 3.3 – Приклад MPPT контролера [33]

Підвищувальні транзистори являють собою елемент, який знаходиться у контролерах підвищення напруги.

Незважаючи на значущу перевагу використання контролерів підвищення напруги, в дослідженнях вказують, що використання підвищувальних транзисторів має сукупність недоліків, такі як: втрати, які залежать від значення струму, чим більше струм – тим більше втрати. Комутаційні втрати, які виникають у разі вмикання та вимикання контролерів. Залежать від часу перемикавання, напруги та струму. З урахуванням втрат, зменшується і коефіцієнт корисної дії системи, а також нагрівається вся система, і, як наслідок, зменшується ефективність сонячної панелі [34].

- *інтелектуальні системи керування*

Із головних систем інтелектуального керування відмічають використання програм штучного інтелекту, які в 2026 збирають великий обсяг інформації в напрямку сонячних панелей.

Штучний інтелект відіграє трансформаційну роль в оптимізації роботи, продуктивності та ефективності сонячних фотоелектричних електростанцій. Його застосування охоплює кілька ключових областей, покращуючи як роботу в режимі реального часу, так і довгострокове управління системами сонячної енергії. Основні функції штучного інтелекту в сонячних фотоелектричних електростанціях включають: прогнозоване обслуговування, прогнозування вироблення енергії, моніторинг та оптимізація продуктивності, інтеграція з інтелектуальною мережею, прогнозування погоди та оцінка ресурсів, виявлення відмов та діагностика системи, управління енергією та оптимізація [35].

Також відмічають використання Smart – інверторів як перетворювачів постійного струму у змінний та які автоматично регулюють потужність, перемикають напругу та частоту, контролюють швидкість з якою параметри змінюються, здатні виконувати команди та інші функції від електромережі [36].

Отже, використання механічних пристроїв дає змогу покращити ефективність сонячних панелей до 50 - 80 %, тому в роботі буде запропоновано використання трекерів, smart – інверторів, і систем на основі штучного інтелекту.

3.3 Розробка структурної схеми для системи живлення бурової установки

На рисунку 3.4 зображена запропонована схема живлення бурової установки з використанням двигуна-генератора та сонячних панелей. Головний принцип роботи проявляється в можливості вибору: накопичення енергії і її подальше використання або використання системи під час накопичування енергії.

Розглядають обидва варіанти використання на виробництві.

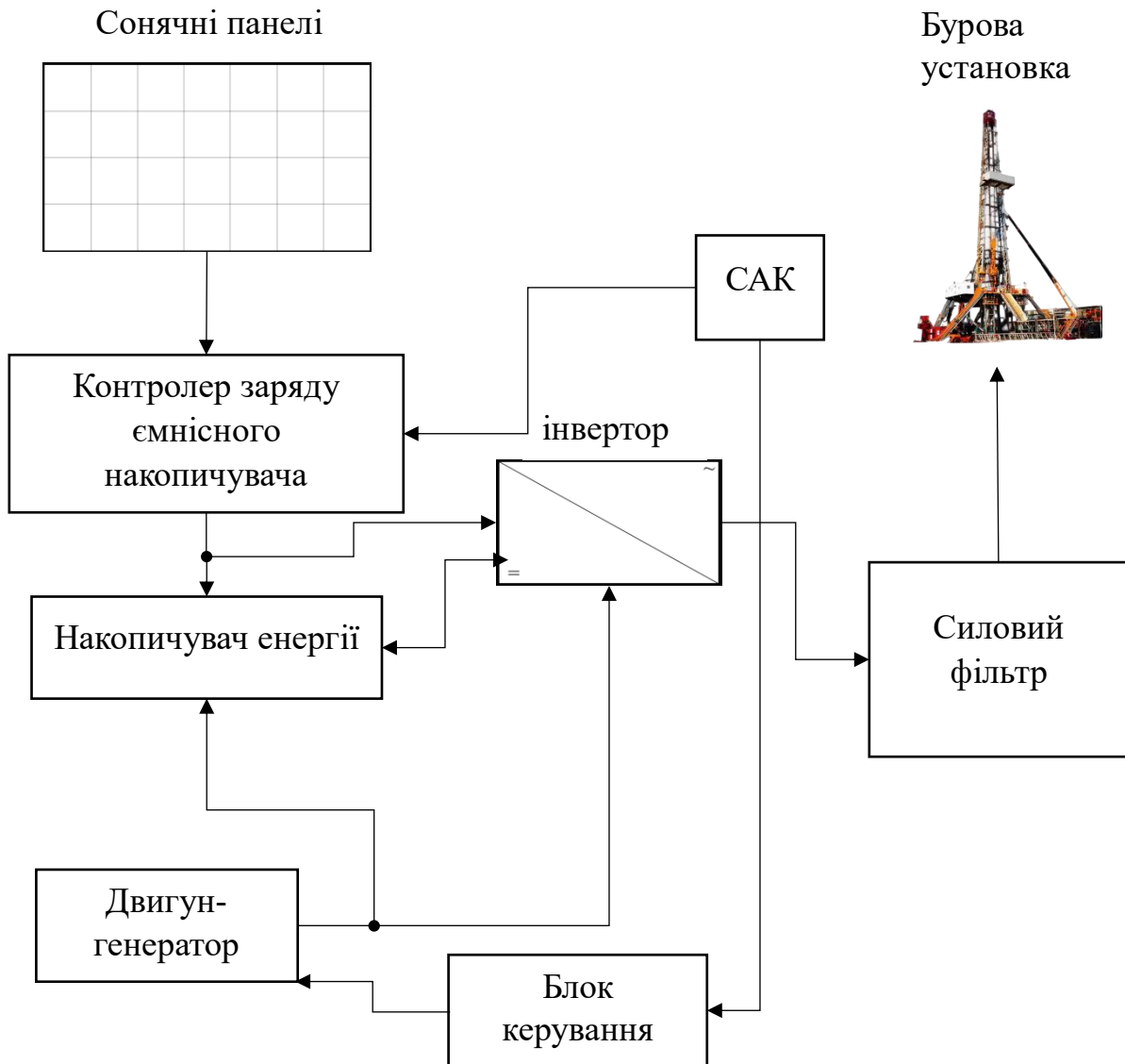


Рисунок 3.4– Технологічна блок-схема наведеної конструкції живлення [37]

У разі накопичення енергії, двигун-генератор і сонячні панелі накопичують енергію на акумуляторі, під час роботи виробництва, коли енергія досягає максимуму на накопичувачах енергії, вимикається двигун-генератор і система автоматично починає отримувати живлення від накопичувача енергії. У випадку, якщо енергія на накопичувачі енергії закінчується і напруга або струм починає

падати в системі, система автоматичного керування автоматично вмикає в роботу дизель-генератор. Робота сонячних панелей в такій системі дає змогу зменшити навантаження на двигун-генератор під час пікових навантажень системи [37].

Така система забезпечує постійну стабільність, швидко реагуючи на стрибки генерації та навантаження, тому саме ця система буде використовуватись в обраній підстанції.

3.4 Розрахунок енергоефективності використання сонячної панелі для виробництва

Для доведення ефективності роботи запропонованої системи, в роботі надається розрахунок енергоефективності використання сонячної батареї для виробництва, а саме обсяг її економії у відсотках.

Для початку розрахунку в роботі пропонується з'ясувати скільки всього пікових годин в кожному місяці.

Проведемо розрахунок кількості пікових годин на місяць та на рік, год

$$n = \frac{Q_{sun} \times N_{day} \times 1000}{\omega_{max}}, \quad (3.1)$$

де n – кількість пікових годин на місяць, год;

Q_{sun} – середній денний рівень сонячної радіації в умовах кліматичної зони м. Харкова, кВт·год/м²/день.; для м. Харкова і області обирають 5,38 кВт·год/м²/день;

N_{day} – кількість днів у відповідному місяці або року; приймається за 30 днів;

w_{max} – максимальна інтенсивність сонячного випромінювання на земну поверхню, Вт/м².

Під час проведення розрахунку приймають, що максимальна інтенсивність сонячного випромінювання на земну поверхню складає 1000 Вт/м². Тобто, на площу 1 м² за 1 год випромінюється сонячна енергія 1000 Вт·год. Для розрахунку

доцільності використання фотоелектричних перетворювачів на підприємстві, що розглядають у Харківській області.

Приклад розрахунку пікових годин за січень. Всі подальші розрахунки пікових годин за місяцями занесені в таблицю 3.1.

$$n = \frac{1,19 \cdot 30 \cdot 1000}{1000} = 35,7 \text{ год.}$$

Отримаємо, що у м. Харків і Харківській області в січні кількість пікових годин дорівнює 36,89 год, за рік цей показник досягає 1187,7 год. Проведемо розрахунок енергії, яку можна використовувати завдяки застосуванню сонячних фотоелектричних елементів, наприклад таких як, монокристалічна сонячна панель JA Solar JAM66D45-620/LB Vifacial потужністю 620 Вт, що опціонально використовувати на обраному виробництві.

Фотоелектричні елементи можуть накопичувати електричну енергію, кВт·год:

$$E_{nak} = k_q \times n \times P_{pv}, \quad (3.2)$$

де E_{nak} – кількість енергії, що накопичує сонячна система за рахунок сонячного випромінювання, кВт·год;

k_q – поправочний коефіцієнт, що враховує зниження рівня опромінювання фотоелементів в залежності від кута падіння сонячного випромінювання та падіння потужності фотоелементів в результаті нагрівання фотоелементів (квітень, травень, червень, липень, серпень, вересень приймається як $k_q = 0,7$; Січень, лютий, березень, жовтень, листопад, грудень приймається як $k_q = 0,5$);

P_{pv} – потужність фотоелектричних елементів, відомо, що сонячна система SunRoof має потужність 0,62 кВт.

Приклад розрахунку кількості енергії, що накопичує сонячна система за рахунок сонячного випромінювання за січень. Всі подальші розрахунки за місяцями занесені в таблицю 3.1.

$$E_{nak} = 0,5 \cdot 36,89 \cdot 0,62 = 11,44 \text{ кВт} \cdot \text{год.}$$

Після виконаного розрахунку отримаємо значення максимально можливого накопичення енергії для однієї сонячної панелі за рік 470,7 кВт·год.

В роботі пропонується розрахувати кількість максимально можливого накопичення енергії для всіх сонячних панелей в кожному місяці:

$$K_{m.p} = K_{fp} \times E_{nak} , \quad (3.3)$$

де $K_{m.p}$ – кількість максимальної потужності, яку можна накопичити усіма сонячними панелями за місяць, кВт.

Приклад кількості максимальної потужності, яку можна накопичити усіма сонячними панелями за січень. Всі подальші розрахунки за місяцями занесені в таблицю 2.1

$$K_{m.p} = 450 \times 11,07 = 4\,980 \text{ кВт.}$$

Бурова установка не завжди споживає 3600 кВт, переважно на пікові навантаження бурової установки приходить лише декілька годин на день, дослідження вказують, що під час пікового буріння бурова установка може споживати 80-90 % від максимальної потужності, під час звичайного буріння споживання складає 50-60 %, і у разі мінімальної активності (простою) від 5 до 15 % [38]. В роботі пропонується прийняти що споживана потужність переробного комплексу, що розташований на виробництві буде складати 400 кВт·год і 9600 кВт·год за добу відповідно. Пікові години навантаження бурової установки складуть 2 години зі споживання 3000 кВт·год, звичайної роботи – 6 годин навантаження зі споживанням 2000 кВт·год і 16 годин мінімальної активності (простою) зі споживанням 300 кВт·год.

Після обраного часу роботи, маємо змогу розрахувати потужності і побудувати графіки, які покажуть скільки можна зекономити електричної енергії використавши сонячний масив панелей біля бурової установки.

Розрахуємо кількість потужності, яка буде споживатись за день:

$$P_{bday} = P_{maxx} \times 2 + P_{sr} \times 6 + P_{minn} \times 16 + P_{home} \times 24 , \quad (3.4)$$

де P_{bday} – загальна споживана потужність обраного виробництва за день, кВт·год;

P_{maxx} – споживана потужність в часи пікової роботи виробництва, кВт·год ;

P_{sr} – споживана потужність в часи середньої роботи виробництва, кВт·год;

P_{minn} – споживана потужність в часи мінімальної роботи виробництва, кВт·год;

P_{home} – споживана потужність переробного комплексу, кВт·год.

$$P_{bday} = 3\,000 \cdot 2 + 2\,000 \cdot 6 + 300 \cdot 16 + 400 \cdot 24 = 32\,400 \text{ кВт.}$$

Тепер зробимо розрахунок на кожен місяць:

$$P_{bmonth} = P_{bday} \times N_{day}, \quad (3.5)$$

де P_{bmonth} – загальна споживана потужність обраного виробництва за один місяць;

Приклад розрахунку пікових годин за січень. Всі подальші розрахунки пікових годин за місяцями занесені в таблицю 3.1.

$$P_{bmonth} = 32\,400 \cdot 30 = 972\,000 \text{ кВт.}$$

Після розрахунку кожного параметру маємо змогу представити щомісячні графіки економії за допомогою сонячних панелей. Для цього виражаємо щомісячний відсоток згенерованої потужності сонячними панелями відносно загальної потужності системи:

$$P_{sys\%} = \frac{K_{m.p}}{P_{bmonth}} \times 100 \%, \quad (3.6)$$

де $P_{sys\%}$, – згенерована потужність сонячними панелями відносно загальної потужності системи, %.

Приклад розрахунку відсотка згенерованої потужності сонячними панелями відносно загальної потужності системи за січень. Всі подальші розрахунки за місяцями занесені в таблицю 3.1.

$$P_{sys\%} = \frac{4\,980}{972\,000} \times 100 = 0,51 \%$$

Після зроблених розрахунків в роботі на рис. 3.5 пропонується графік вироблення сонячної енергії за місяцями відносно загально виробленої потужності на обраному виробництві.

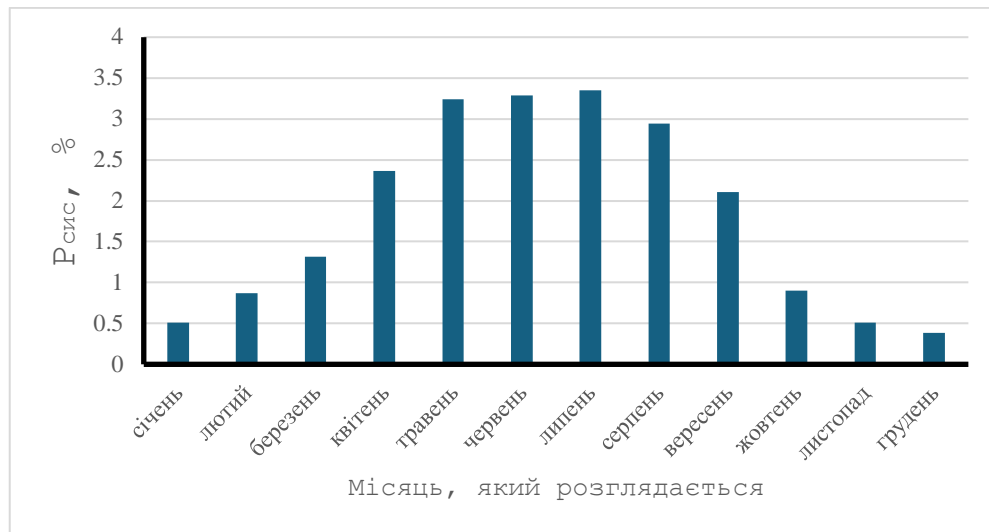


Рисунок 3.5 – Вироблення сонячної енергії за місяцями відносно загально виробленої потужності на обраному виробництві, %

Таблиця 3.1 – Розрахунок параметрів енергоефективності сонячної панелі

-/-	n, год	$E_{nak}, \text{кВт} \cdot \text{год}$	$K_{m.p}, \text{кВт}$	$P_{bmonth}, \text{кВт}$	$P_{sys}, \%$
Січень	35,7	11,07	4980	972000	0,51
Лютий	60,6	18,78	8453	972000	0,86
Березень	91,5	28,36	12764	972000	1,31
Квітень	117,6	51,04	22967	972000	2,36
Травень	161,4	70,04	31521	972000	3,24
Червень	163,8	71,09	31990	972000	3,29
Липень	166,8	72,39	32576	972000	3,35
Серпень	146,4	63,53	28591	972000	2,94
Вересень	104,7	45,44	20447	972000	2,10
Жовтень	63	19,53	8788	972000	0,90
Листопа д	35,7	11,07	4980	972000	0,51
Грудень	27	8,37	3766	972000	0,39
Сума за рік	$\sum_{i=1}^{n=12} = 1174,2$	$\sum_{i=1}^{n=12} = 470,7$	$\sum_{i=1}^{n=12} = 211828$	$\sum_{i=1}^{n=12} = 11664000$	$\sum_{i=1}^{n=12} = 1,82$

Отже, використання сонячних панелей уможливило зменшення обсягу спожитої енергії на невелику кількість відсотків. Використання сонячних панелей протягом всього року для обраного підприємства дає змогу зменшити використання електричної енергії і дизель-генератора в середньому на 1,82 %. Для покращення роботи системи, доцільніше використовувати більшу кількість панелей і підвищувати їх ефективність доступними методами, але незважаючи на це, в деяких місяцях ефективність сонячних панелей буде виробляти занадто низьку кількість сонячної енергії, тому найкращим варіантом буде використання сонячних панелей лише в місяцях з найбільшою кількістю сонячної інсоляції.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Вступ

Охорона праці одна з найнеобхідніших видів діяльності, яка стосується збереження життя і здоров'я працівників. Створення безпечних умов праці дає змогу зменшити ризики виробничого травматизму і професійних захворювань. Дотримання охорони праці сприяє підвищенню ефективності роботи персоналу та створенню безпечного робочого середовища. В цьому розділі будуть розглянуті питання що пов'язані з небезпеками та шкідливими факторами, заходи на їх зменшення або усунення.

Сонячні панелі – одні із найпопулярніших «безкоштовних» джерел енергії, які останнім часом захоплюють виробництва. Більшість людей вважає, що робота сонячних панелей є автономною, але це не так. Сонячні панелі є таким самим об'єктом обслуговування, як і будь-який електричний пристрій. Ремонткування сонячних панелей може здаватися легкою задачею, але без необхідної підготовки працівників втручання в роботу сонячних панелей є порушенням правил безпеки. Безпосереднє розташування сонячних панелей поблизу бурових установок у разі пожежі на сонячних панелях може створити небезпечні ситуації. Головна небезпека йде від сонячних панелей, які у разі неправильній експлуатації можуть вдарити струмом або навіть вибухнути і нанести шкоду не лише іншим сонячним панелям, а і виробництву, що знаходиться поряд.

Тому метою даного розділу є аналіз питань, що пов'язані з безпекою експлуатації сонячних панелей, з виявленням небезпечними факторами, з якими може зіштовхнутися працівник, що обслуговує панелі біля бурової установки, нещасних випадків, що пов'язані з їх обслуговуванням, рекомендації до виконання обслуговування.

Виробництва, на яких розташовані бурові установки є об'єктами підвищеної небезпеки і потребують особливих умов обслуговування сонячних панелей. Виконання робіт працівниками відбувається на відкритій території, під впливом природних факторів такі як сонце, дощ, сніг, вітер, тощо. Температура повітря в обраній місцевості варіюється від -25 взимку, і до $+40$ градусів влітку. Виконання робіт відбувається на сонячному масиві, де сонячні панелі розташовані близько одна до одної. Незважаючи на трекери, робітникам необхідно звертати увагу на переміщення під час обслуговування, щоб не пошкодити обладнання самостійно. Працівники у разі початку виконання робіт, одягають спеціальну одягу.

Обслуговування проходить лише за умови часткового відключення сонячних панелей від мережі живлення. Цей процес зазвичай відбувається у такій послідовності: відключення від інвертора та інших систем, накривання сонячних панелей для унеможливлення їх роботи, перевірка відсутності напруги, демонтування та виконання роботи, а в кінці повернення її на робоче місце. Це зменшить ризик нещасних випадків від ураження струмом, що під час максимальної роботи сягає $15,42$ А. Смертельно-небезпечний струм для людини становить від 1 А.

Кваліфіковані працівники потребують знання роботи у разі непрацездатної роботи інвертора, граничного стану дизель-генератора і здатності до налаштування системи. Для зменшення нещасних випадків, робота працівників відбувається лише у денний час, коли освітлення перевищує 100 люкс (лк). У випадку снігу, дощу або сильного вітру, сильної спеки або заморозків працівнику необхідно прийняти рішення щодо обслуговування панелей. Несприятливі погодні умови можуть створити небезпеку для працівників, бо під час сильного вітру може трапитися відрив мережі і виникне необхідність виконання повторних робіт. Спека і заморозки негативно впливають на працівника, два наведенні

фактори зменшують ефективність працівника і можуть призвести до обмороження кінцівок, або сонячного удару, в залежності від погодних умов.

Виконання робіт проходить поблизу бурової установки, тому відповідно до закону України про Державні санітарні норми та правила, виконання робіт поблизу відноситься до 3 класу шкідливості робіт (3.1 або 3.2). Це пов'язано з роботою на відкритому повітрі з постійним шумом і вібраціями від бурової установки, пилу, елементами горіння, тощо [39].

Отже, виконання робіт можливе лише у разі сприятливих погодних умов. Коли є сильний вітер, дощ, сніг, то працівникам не рекомендується виконувати обслуговування сонячних панелей, бо це може спричинити пошкодження панелей, ураження струмом через вплив води (сніг, дощ), погіршення якості виконання робіт працівника.

4.2 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів під час виконання робіт

В цьому розділі пропонується розглянути питання, що пов'язані з небезпечними факторами під час роботи працівників, що обслуговують сонячні панелі. Аналіз було зроблено відповідно до закону України про Державні санітарні норми та правила; небезпечні фактори поділяють на: фізичні, хімічні, біологічні і фактори трудового процесу [39].

Головними факторами безпеки є *фізичні фактори*, які стосуються питань обслуговування сонячних панелей. Переважно головна безпека йде саме від сонячної панелі, яка з одної сторони, під час необережного обслуговування може вдарити струмом, з іншої сторони, в роботі використовуються трекери, що викликають певну складність обслуговування, оскільки один трекер займає до 5 м² площини місцевості, і для встановлення панелі є необхідність встановлювати її знизу і потім розташувати на трекері, або працювати на висоті 1-2 метрів над

землею, що не забезпечує безпечні умови праці, адже велика кількість кабелів може заплутати працівника, існує ризик падіння конструкції або працівника на землю. Також необхідно пам'ятати про більш часте обслуговування сонячних панелей після дощу або снігу. Краплі води зменшують ефективність сонячних панелей, а сніг взагалі перешкоджає роботі сонячних панелей. Для виконання такого очищення необхідно використовувати спеціальні щітки або телескопічні швабри. Такі методи зменшують вірогідність травмуватися від електричного струму і пошкодити сонячні панелі.

В даній роботі звертається особлива увага на *хімічні фактори*. Бурова установка і дизель-генератори першочергово впливають на людину. Дихання працівників, в залежності від напрямку вітра, відбувається зазвичай забрудненим повітрям. Під час обслуговування суперконденсаторної батареї, існує вірогідність витоку хімічних речовин, електроліт, що містить сірчану кислоту, яка може спричинити суттєвий вплив на здоров'я людини.

Одним із малоймовірних небезпек є *біологічні фактори*, які залежать лише від природи. Оскільки бурова установка знаходиться в сільській місцевості і сонячні панелі знаходяться недалеко від лісу, існує вірогідність впливу спорів отруйних грибів або пилок рослин, дерев що цвітуть. Все це може викликати алергічні реакції або за наявності у працівника високого низького порогу алергічної реакції навіть здатні унеможливити його роботу.

Останній найбільш непередбачуваний параметр це *фактори трудового процесу*. Фактори трудового процесу, або фізично-психологічні фактори залежать лише від конкретної людини. Кожна людина по-різному реагує на ситуацію, наприклад виконання робіт в умовах постійного шуму, миттєве прийняття рішення в екстремній ситуації. Все це може негативно вплинути на людину шляхом накопичення стресу і в подальшому суттєвих проблем зі здоров'ям. Працівники, які менш фізично активні, вони більш здатні до впливу такого фактору через

відсутність фізичної підготовки організму до виконання робіт. Регулярна праця в такому режимі суттєво впливає не лише на швидкість виконання робіт працівниками, а і на змінювання одних працівників на інших.

4.3 Організаційно-технічні заходи по забезпеченню безпеки

Для мінімізації небезпек і нещасних випадків, пропонується розглянути способи покращення заходів безпеки і ефективності роботи працівників. Впроваджені заходи були розроблені на підставі закону України про Державні санітарні норми та правила [39].

Першочергово в роботі використовується зразково-видобувний, переробний та зберігального комплексу, який являю собою будинок, в якому можуть проживати 70 людей і працювати не тільки на буровій установці, а й бути обслуговуючим персоналом для сонячних панелей [24]. Впровадження такого будинку є одним із ключовим етапів зменшення фізично-психологічних факторів на працівників, що самі обирають свій робочий графік, переважно це з 8:00 до 20:00, кожен окремий працівник є у відрядженні, він знаходиться по два тижні на обслуговуванні і один тиждень відпочинку. Сам комплекс має всі сучасні інструменти для обслуговування, самозахисту і аварійних ситуацій. Такий комплекс не лише забезпечує якісне виконання роботи, а й також позитивно впливає на емоційний стан працівників.

Для зменшення негативних фізичних факторів згідно з постановою про санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку шум не повинен перевищувати 80-90 дБ [40]. Робота двигуна-генератора на буровій установці відбувається в середньому з шумом 80 – 110 дБ. Такий показник є порушенням санітарних норм, і тому сонячні панелі необхідно розташовувати або далеко від виробництва, або запровадити використання спеціальних навушників, що

зменшують шум. В документі про Санітарні норми виробничого шуму вказано, що на роботі, яка вимагає зосередження максимальний показник шуму не повинен перевищувати 75 дБ [40]. Застосування спеціальних навушників дає змогу зменшити вплив на 20-30 дБ, що уможливорює зменшення навантаження на здоров'я працівників.

Для мінімізації ризику ураженню електричним струмом в роботі застосовуються технічні заходи захисту: заземлення, занулення та ізоляція струмопровідних частин. Доречне виконання зазначених заходів дає змогу знизити ризик виникнення аварійних ситуацій та створити безпечні умови праці під час обслуговування сонячних панелей.

Також, для забезпечення надійної роботи сонячної панелі і всієї системи в цілому, пропонується розрахувати кількість тепловиділення в кабелях, які належать до сонячних панелей і інвертора:

$$P_{kon} = I_{pv}^2 \times R_{kon}, \quad (4.1)$$

де P_{kon} – теплова потужність, Вт;

I_{pv} – струм сонячної панелі, $I_{pv} = 15,42$ А;

R_{kon} – опір контакту, Ом. $R_{kon} = 0,01 \dots 0,1$. 0,01 – приймається у разі коректної роботи кабелю. 0,1 – у разі пошкодження кабелю.

$$P_{kb} = 15,42^2 \cdot 0,01 \dots 0,1 = 2,38 \dots 23,8 \text{ Вт.}$$

Після розрахунку маємо змогу розрахувати перегрів кабелю:

$$\Delta T = P_{kb} \times R_{kb}, \quad (4.2)$$

де ΔT – максимальна температура кабелю, °С;

R_{kb} - тепловий опір кабелю, °С/Вт, $R_{kb} = 10$ °С/Вт.

$$\Delta T = 2,38 \dots 23,8 \cdot 10 = 23,8 \dots 238 \text{ °С.}$$

Максимально допустима температура допустима робоча температура кабелю становить 70 °С. Задля забезпечення роботи системи, монтажникам необхідно контролювати стан сонячних панелей і проводку до них, бо у разі будь-

якого виходу з ладу кабелів, може відбутися пожежа, що є небезпекою, тому такий розрахунок надасть змогу зменшити ризики.

Згідно з проведеним вище аналізом, працівники зобов'язані використовувати в роботі такі заходи індивідуального захисту: респіратори, бажано з газовими фільтрами, захисні окуляри, за можливістю білі халати, захисну каску, діелектричні рукавиці, взуття, навушники. Це пов'язано з універсальністю захисту від негативних факторів. Респіратори з газовими фільтрами зменшують вплив від елементів горіння, а також від пилу, спорів, тощо. Використання захисних окуляр і білого халату важливе через ймовірність падіння елементів горіння в очі або на одягу. Змінювання захисних елементів відбувається після закінчення зміни або у разі їх руйнування.

Всі працівники проходять підготовку з обслуговування і нештатними ситуаціями використання сонячних панелей. Впровадження постійних практик щодо роботи сонячних панелей сприятиме зниженню кількості нещасних випадків.

4.4 Висновки до розділу 4

В розділі «Охорона праці» було зроблено оцінювання робочих умови працівника, що обслуговує сонячні панелі поблизу бурової установки, розглянуто фактори небезпек і запропоновано їх вирішення.

Першочергово в роботі було розглянуті узагальнюючі поняті згідно нормативно-правового документу. Аналіз показав велику кількість недоліків в роботі обслуговуючого персоналу сонячних панелей, що стосуються санітарно-гігієнічних норм, забезпечення доступного освітлення, тощо.

З'ясувати найбільш вразливі місця роботи допомогло використання нормативно-правових актів, на яких базується виконання роботи. Аналіз чотирьох головних факторів небезпек показав, що із фізичних факторів виділяють

моменти що пов'язані під час обслуговування панелей, а саме: ураження струмом, падіння з конструкції. Серед хімічних факторів найнебезпечнішим виявилось дихання забрудненим повітрям, яке спричинене буровою установкою і двигуном-генератором. Необережне використання суперконденсаторів забезпечує умови для витоку хімічних речовин, електроліту, що містить сірчану кислоту. Розташування сонячних панелей поблизу лісо-степу може мати вплив на працівників через вірогідність впливу спорів, отруйних грибів або пилок рослин, дерев що цвітуть. Всі ці перераховані небезпеки відносяться до біологічних факторів. Найбільш специфічним параметром було визначено фактори трудового процесу, до яких відноситься стан людини, шум бурової установки і дизель-генераторів під час їх роботи, відсутність фізичної підготовки до виконання робіт.

Для поліпшення ситуації на виробництві згідно до закону України про державні санітарні норми та правила було розроблено низку правил і способів покращення роботи працівників. Також для покращення умов праці було запроваджено в роботу зразково-видобувний, переробний та зберігального комплексу, який надав робітникам вільний графік роботи, надійні засоби обслуговування і забезпечив гарний настрій працівникам.

З метою зменшення небезпечних факторів впроваджено такі превентивні заходи: всі робітники зобов'язані використовувати під час роботи респіратори, бажано з газовими фільтрами, захисні окуляри, за можливістю білі халати, захисну каску, діелектричні рукавиці, взуття, спеціальні навушники. Також розроблено практичні заходи для працівників, що виконують обслуговування сонячних панелей поблизу бурової установки.

Отже, розроблені рішення щодо обслуговування сонячних панелей поблизу бурової установки не лише покращують можливість обслуговування сонячних панелей, а й впроваджують безпечні умови для працівників, що є найголовнішим фактором під час виконання будь-якої роботи.

ВИСНОВКИ

1. В роботі було розглянуто загальні питання енергозабезпечення бурових установок, зроблено класифікаційну схему живлення бурових установок. Досліджено способи розміщення сонячних панелей на суходолі та на воді, підвищення їхньої ефективності простішими методами і за допомогою технологій, що впроваджуються останнім часом.

2. Встановлено потужність обраної бурової установки, що розташована в Харківській області. Вибір було зроблено шляхом співставлення карти сонячної інсоляції і карти розміщення бурових установок. За величину розрахункової потужності обрано саме процес буріння протягом 1 години (враховувалася потужність роторної системи, двох насосів і допоміжного обладнання).

3. Виконано розрахунки загальної площі, що займають сонячні панелі, їхню кількість, площу розташування без урахування трекерів, інверторів та систем керування. За накопичувач енергії обрано суперконденсатор, встановлено його ємність, маса, об'єм, кількість об'єднаних в систему елементів.

4. Розроблено технологічну схему живлення бурових установок, яка поєднує живлення від суперконденсатора протягом 1 години і дизель-генератора протягом 2 годин. Такий підхід забезпечує постійну стабільність у разі відключення електроенергії, швидке реагування на стрибки генерації та навантаження. Розроблена схема живлення задовольняє потреби обраного виробництва, так як забезпечує живлення протягом 3 годин – середнього часу відсутності електроенергії в Україні.

5. Розроблені заходи безпеки працівника, що виконує обслуговування і монтаж сонячної панелі поблизу бурової установки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Виробництво електроенергії в Україні за рік зросло на 5%. URL : <https://epravda.com.ua/news/2022/01/11/681292/> (дата звернення 15.04.2026). Назва з екрана.
2. Хто в Україні споживає найбільше електроенергії. URL : <https://thepage.ua/ua/economy/spozhivannya-elektroenergiyi-v-ukrayini-ta-yak-formuyutsya-grafiki-vidklyuchen> (дата звернення 15.04.2026). Назва з екрана.
3. Пожежна безпека об'єктів підвищеної небезпеки: навч. посіб. / О.П. Михайлюк та ін. Харків : УЦЗУ, 2010. 343 с.
4. Велика українська енциклопедія – бурова платформа. URL : https://vue.gov.ua/%D0%91%D1%83%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0_%D0%BF%D0%BB%D0%B0%D1%82%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0 (дата звернення 13.03.2026). Назва з екрана.
5. Єрмілова Н. В., Тамахін Г. В. Навчальний посібник з дисципліни "Електротехніка та електропостачання" для студентів спеціальності 185 «Нафтогазова інженерія та технології». Полтава: ПолтНТУ, 2019. 177 с.
6. Мартинюк В. Метод керування гібридною сонячною електростанцією. *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, 2022. № 4. С. 58-61.
7. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України // Т. В. Суржик та ін. / Київ : Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2024. 63 с.
8. Сонячні панелі у похмуру погоду, взимку та в дощ – як працюють і скільки енергії дають URL : <https://w2studio.com.ua/uk/sonyachni-paneli-u-pohmuru-pogodu-vzymku-ta-v-doshh-yak-praczuuyut-i-skilky-energiyi-dayut> (дата звернення 28.03.2026). Назва з екрана.

9. Цих В. С., Кульчак А. М., Яворський А. В. Аналіз досліджень впливу температури на деградацію та ефективність роботи сонячних панелей. *Енергетика: економіка, технології, екологія*. 2024. № 2. С. 85–92.

10. Смирнов О. П. Енергозберігаючі технології на транспорті на базі фотоелектричних перетворювачів. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2012. № 56. С. 94–97.

11. В. М. Желих та ін., Енергетичний потенціал сонячної радіації на території України. *Національний університет “Львівська політехніка”*. 2015, С.117 – 121.

12. Найбільша сонячна електростанція в Україні. URL : <https://www.ecotech.ua/najbilsha-sonyachna-elektrostantsiya-v-ukrayini/> (дата звернення 15.04.2026). Назва з екрана.

13. Про затвердження Національного плану дій з відновлюваної енергетики на період до 2030 року та плану заходів з його виконання : Закон України від 13 серпня 2024 р. № 761-р : станом на березень 2026 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/761-2024-%D1%80#Text> (дата звернення 22.03.2026). Назва з екрана.

14. Як вибрати місце для встановлення сонячних панелей на даху чи ділянці. URL : <https://pipl.ua/article/yak-vibrati-misce-dlya-vstanovlennya-sonyachnih-panelei-na-dahu-chi-dilyanci?srsltid=AfmBOop3oQ5BYMsploMZ2SOFpEnarvkFSjim2JcxjAIuT7xXJBgaOByA> (дата звернення 28.03.2026). Назва з екрана.

15. Схема підключення сонячних панелей: повний гід з оптимального з'єднання. URL : <https://www.sig.energy/shema-pidklyuchennya-sonyachnyh-panelej-povnyj-gid-z-optymalnogo-zyednannya/> (дата звернення 02.04.2026)

16. Ocean Sun - Product Overview URL : <https://oceansun.no/product-overview/> (date of access 31.03.2026). Screen Name.

17. Wang J., Lund P. D. Review of Recent Offshore Photovoltaics Development. *Energies*. 2022. Т. 15, № 20. Р. 1–14.
18. Сонячні Панелі на Водній Поверхні. URL : <https://asteka.com.ua/soniachni-paneli-na-vodnii-poverkhni/> (дата звернення 04.04.2026). Назва з екрана.
19. Selj J., Wieland S., Tsanakas I. et al. Floating Photovoltaic Power Plants: A Review of Energy Yield, Reliability, and Maintenance. Paris : IEA PVPS, 2025. 66 p.
20. Біла книга // К.З. Книш та ін./ Львів – Харків – Інститут відновлювальної енергетики НАН України «Українська вітроенергетична асоціація». Київ, 2020. 18 с.
21. Бурове і технологічне обладнання // В. М. Орловський та ін./ Львів – Харків – Полтава: ХНУМГ ім. Бекетова, НТУ «ХП», ОБ НТП «Бурова техніка», видавництво «Новий Світ», 2021. 358 с.
22. ZJ40 / 2250L Skid Mounted Drilling Rig. URL : <https://www.amasenergy.com/3988-equipment-materials-zj40-2250l-skid-mounted-drilling-rig> (date of access 09.03.2026). Screen Name.
23. Anton Publicity Materials Drilling Rig URL : <https://mall.antonoil.com/uploads/20221013/c94829b15fd77bea077ad67269c13633.pdf> (date of access 10.03.2026). Screen Name.
24. Tawiah S.A., Marfo S.A., Benah D. Solar Power for Sustainable Offshore Petroleum Exploration and Production in Africa. Conference: SPE/AAPG Africa Energy and Technology Conference At: Nairobi City , Kenya, 2016. 336 p.
25. Сонячна панель JA Solar JAM66D45-620/LB Bifacial. URL : <https://sun-energy.com.ua/solar-power/solar-panels/jam66d45-620-lb?srsltid=AfmBOoowBHQPivKinR8gaf-K0Sgyehzl6SF7Dw0Ay1g6cx6bYx5OlvID> (дата звернення 25.03.2026). Назва з екрана.

26. 3.0V 3000f Durable Supercapacitor with 2000 Hours of Power Consumption. URL : <https://surl.li/ldbgvs> (date of access 10.03.2026). Screen Name.
27. Степове (Берестинський район) Матеріал з Вікіпедії — вільної енциклопедії. URL : https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D1%82%D0%B5%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D0%B5_%28%D0%91%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%81%D1%82%D0%B8%D0%BD%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B8%D0%B9_%D1%80%D0%B0%D0%B9%D0%BE%D0%BD%29 (дата звернення 18.04.2026). Назва з екрана.
28. Agricultural Land Near Solar and Wind Projects Usually Remained in Agriculture After Development. URL : <https://www.ers.usda.gov/amber-waves/2024/september/agricultural-land-near-solar-and-wind-projects-usually-remained-in-agriculture-after-development> (date of access 19.04.2026). Screen Name.
29. Географічна довідка - Берестинський район. URL : <https://berestynrda.gov.ua/geografichna-dovidka-11-39-08-26-06-2025/> (дата звернення 19.04.2026). Назва з екрана.
30. Електрична підстанція ПС 110/35/10 «Красноград» (Берестин). URL : <https://surl.li/cc/qemcac> (дата звернення 19.04.2026). Назва з екрана.
31. Сонячні трекери: ефективність та застосування в Україні. URL : <https://electro100.ua/blog/sonyachni-trekeri-efektivnist-ta-zastosuvannya-v-ukraini?srsltid=AfmBOoogm4q93o4oTedzleZCKZCvmSfzfOXWwNeozemMZl1YuKQUyqm3> (дата звернення 21.04.2026). Назва з екрана.
32. Трекер для сонячних панелей. URL : <https://solarssk.com/uk/tracker/> (дата звернення 22.04.2026). Назва з екрана.
33. Посібник з найкращих сонячних MPPT контролерів заряду для ефективних систем. URL : <https://www.aforeenergy.com/uk/best-solar-mppt-charge-controller-guide-for-efficient-systems/> (дата звернення 23.04.2026). Назва з екрана.

34. Lakkas G. MOSFET power losses and how they affect power-supply efficiency. Texas Instruments. *Product Marketing Manager, Power Management*. 2015. P. 22-26 URL: https://kolegite.com/EE_library/application_notes/power_devices/MOSFET%20power%20losses%20and%20how%20they.pdf (date of access: 24.04.2026). Screen Name.

35. , Ahmed G. et al Advancing solar PV power plants: The role of artificial intelligence in optimization,. Egypt. *Measurement: Digitalization 2025*. P 1-19.

36. Денисюк С. П., та ін. Аналіз особливостей ефективного впровадження сонячних електростанцій у локальні системи енергопостачання. *Національний технічний університет України «КПІ імені Ігоря Сікорського»*. *Energy: Economics, Technology, Ecology*. 2023. № 2. С. 7–25.

37. Кульбашна Н. І., Колотіло В.І., Рощупкін А.Г. Гібридна установка для автономного живлення процесу буріння нафтогазових свердловин. *Інноваційні технології в світлотехніці та електроенергетиці*. 2026. С.144 – 145.

38. Al Aulaqi T. Basis for Decarbonization of Drilling Operations // SPE Annual Technical Conference and Exhibition. 2025. P 88 - 91 URL : <https://onepetro.org/SPEATCE/proceedings-abstract/25ATCE/25ATCE/792082>

39. Про затвердження Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу» : наказ Міністерства охорони здоров'я України від 08 квітня 2014 р. № 248 : станом на травень 2026 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0472-14> (дата звернення 19.05.2026). Назва з екрана.

40. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку ДСН 3.3.6.037-99 : постанова Головного державного санітарного лікаря України від 01 грудня 1999 р. № 37 : станом на травень 2026 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va037282-99#Text> (дата звернення 22.05.2026).