

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра електропостачання

«На правах рукопису»
УДК 621.548

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

_____ Денис ДЕРЕВ'ЯНКО

«___» _____ 2021 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
освітньо-професійна програма «Енергетичний менеджмент та енергоефективні
технології»

на тему: «Підвищення ефективності енергозабезпечення промислового
підприємства шляхом використання джерел відновлювальної енергетики»

Виконав (-ла):

студент (-ка) II курсу, групи ОН-01мп
Запорожченко Максим Анатолійович

Керівник:

к.т.н., доц. Бориченко О.В.

Консультант з нормоконтролю:

ас. Прокопенко І.Д.

Рецензент:

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.
Студент (-ка) _____

Київ – 2021 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра електропостачання
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Спеціалізація «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології»

В.о. завідувача кафедри

Денис ДЕРЕВ'ЯНКО

«__» _____ 20__ р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Запорожченка Максима Анатолійовича
(прізвище, ім'я, по батькові)**

1. Тема дисертації «Підвищення ефективності енергозабезпечення промислового підприємства шляхом використання джерел відновлювальної енергетики»
науковий керівник дисертації к.т.н., доц. Бориченко Олена Володимирівна,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом по університету від «29» жовтня 2021 р. №3602-с
2. Термін подання студентом дисертації 15 грудня 2021 року
3. Об'єкт дослідження підприємство машинобудівної промисловості
4. Предмет дослідження показники енергоефективності підприємства задля визначення потенціалу енергозбереження та доцільності впровадження ВДЕ
5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1) проаналізувати відновлювальні джерела енергії та їх енергетичний потенціал для України ; 2) провести енергетичне обстеження одного із підприємств машинобудівної промисловості України; 3) визначити баланс споживання енергоресурсів, базові лінії споживання енергії та потенціал енергозбереження для підприємства з виробництва і обслуговування броньованих автомобілів; 4) запропонувати заходи з енергоефективності підприємства, зокрема, впровадження сонячної електростанції; 5) створення стартап-проєкту у сфері енергоефективності та енергозбереження.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація – наочні матеріали за результатами дослідження (алгоритми розрахунків та діаграми), графіки енергоспоживання, блок-схеми, результати статистичних розрахунків.

7. Орієнтовний перелік публікацій результати магістерської дисертації були оприлюдненні на IV Науково-технічній конференції магістрантів ІЕЕ, Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". Дата проведення – 17-18 листопада 2021 року.

8. Консультанти розділів дисертації

Нормоконтроль

ас. Прокопенко І.Д.

9. Дата видачі завдання 1 вересня 2021 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів МД	Примітка
1.	Отримання завдання	01.09.21	Виконано
2.	Аналіз літературних джерел	05.09.21-10.09.21	Виконано
3.	Складання плану роботи	11.10.21-17.10.21	Виконано
4.	Робота над першим та другим розділом	18.10.21-22.10.21	Виконано
5.	Робота над третім розділом	23.10.21-30.10.21	Виконано
6.	Розробка стартап проєкту	01.11.21-05.11.21	Виконано
7.	Оформлення дисертації	07.11.21-12.11.21	Виконано
8.	Оформлення реферату та презентації, проходження перевірки на плагіат та рецензування	13.11.21-16.11.21	Виконано
9.	Передзахист МД	10.12.21-14.12.21	Виконано
10.	Захист дисертації	20.12.21-22.12.21	Виконано

Студент

_____ (підпис)

Запорожченко М.А.

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

_____ (підпис)

Бориченко О.В.

(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Структура і обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів основної частини, висновків, переліку використаних літературних джерел. Повний обсяг дисертації складає 135 сторінок, 37 рисунків, 24 таблиці, 38 бібліографічних найменувань за переліком посилань.

Актуальність теми. Необхідність у широкому використанні відновлюваної енергетики визначається швидким розвитком потреби в електричній енергії, яка за прогнозами має збільшитися вдвічі до 2030 р. і в 4 рази до 2050 р. порівняно з 2000 р. В умовах суттєвої зміни клімату та критичної концентрації викидів постає проблема уникнення негативних наслідків у вигляді глобального потепління та різноманітних природних катаклізмів. Основною причиною зміни клімату є величезне споживання палива, що призводить до викидів шкідливих речовин в атмосферу. Тому важливо сприймати тему ВДЕ не лише з економічної точки зору, але і як альтернативний напрям життєдіяльності, який вбереже планету для молодших поколінь.

Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії в останній час стали одним із важливих критеріїв розвитку у світі. Здійснюється пошук нових і вдосконалення існуючих технологій, підведення їх до економічно ефективного рівня та розширення сфер їхнього використання.

Ключовими причинами такої уваги є передбачуване вичерпання запасів органічних видів палива, різке зростання їх ціни, недосконалість та низька ефективність технологій їхнього використання, шкідливий вплив на довкілля, наслідки якого дедалі більше турбують суспільство.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Усі дослідження в роботі відносяться до напрямку «Енергетика та енергоефективність» Закону України № 2519-VI від 09.09.2010 р. «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки», стратегічним напрямом інноваційної діяльності в Україні на 2003-2013 роки «Новітні

ресурсозберігаючі технології» Закону України № 433-IV від 16.01.2003 р. «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні», Комплексній програмі НТУУ «КПІ» «Енергетика сталого розвитку» і направленості тематики кафедри електропостачання НТУУ «КПІ», Закону України від 13.04.2017 № 2019 «Про Ринок електричної енергії».

Метою роботи є підвищення рівня ефективності енергозабезпечення промислового підприємства шляхом використання відновлювальних джерел енергії.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися **наступні завдання**:

- проаналізовано відновлювальні джерела енергії та їх енергетичний потенціал для України;
- проведено енергетичне обстеження одного із підприємств машинобудівної промисловості України;
- визначено баланс споживання енергоресурсів, базові лінії споживання енергії та потенціал енергозбереження для підприємства з виробництва і обслуговування броньованих автомобілів;
- запропоновано заходи з енергоефективності підприємства, зокрема, впровадження сонячної електростанції.

Об'єкт дослідження: підприємство машинобудівної промисловості України.

Предметом дослідження є показники енергоефективності підприємства задля визначення потенціалу енергозбереження та доцільності впровадження ВДЕ.

Методи дослідження.

Для вирішення поставлених завдань використані наступні методи: аналітичне узагальнення відомих наукових і технічних результатів; розрахунково-аналітичний метод; моделювання досліджуваних систем теплопостачання із застосуванням комп'ютерних програм; методів визначення основних економічних параметрів енергетичних об'єктів.

Наукова новизна магістерської дисертації полягає в обґрунтуванні доцільності використання систем електрогенерації за рахунок сонячної енергії на промисловому підприємстві.

Програмне забезпечення. Для виконання моделювання магістерської дисертації використовувалось програмне забезпечення: PV-SOL.

Апробація результатів роботи. Результати магістерської дисертації були оприлюдненні:

Запорожченко М.А. «ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДЖЕРЕЛ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ» IV Науково-технічна конференція магістрантів ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів), Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". Дата проведення – 17-18 листопада 2021 року.

Публікації. Запорожченко М.А., Бориченко О.В., Особливості використання джерел відновлюваної енергії на промислових підприємствах. IV Науково-технічна конференція магістрантів ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів), Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". Дата проведення – 17-18 листопада 2021 року.

Ключові слова: ВІДНОВЛЮВАНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, ВТРАТИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ, ЕЛЕКТРИЧНИЙ БАЛАНС, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, ПОТЕНЦІАЛ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ.

ABSTRACT

Structure and volume of dissertation work. The dissertation consists of an introduction, four chapters of the main part, conclusions, a list of used literature sources. The full volume of the dissertation is 135 pages, 37 figures, 24 tables, 38 bibliographic titles according to the list of references.

Actuality of theme. The need for widespread use of renewable energy is determined by the rapid development of electricity demand, which is projected to double by 2030 and 4 times by 2050 compared to 2000. In conditions of significant climate change and critical concentrations of emissions there is a problem of avoiding negative consequences in the form of global warming and various natural disasters. The main cause of climate change is the huge consumption of fuel, which leads to emissions of harmful substances into the atmosphere. Therefore, it is important to perceive the topic of RES not only from an economic point of view, but also as an alternative direction of life that will save the planet for younger generations.

Unconventional and renewable energy sources have recently become one of the important criteria for development in the world. The search for new and improvement of existing technologies, bringing them to a cost-effective level and expanding the scope of their use.

The key reasons for such attention are the expected depletion of stocks of organic fuels, a sharp rise in their price, imperfection and low efficiency of technologies for their use, harmful effects on the environment, the consequences of which are increasingly worrying society.

Connection of work with scientific programs, plans, topics.

All researches in the work belong to the direction "Energy and energy efficiency" of the Law of Ukraine № 2519-VI of 09.09.2010 "On priority directions of development of science and technology", to strategic directions of innovative activity in Ukraine in the year 2003-2013. Law of Ukraine № 433-IV of 16.01.2003 "On Priority Areas of Innovation Activity in Ukraine", Comprehensive Program of NTUU "KPI" "Energy of Sustainable Development"

and directions of the Department of Power Supply of NTUU "KPI" "KPI 13.04.2017 of Ukraine" 2019 "On the Electricity Market".

The aim of the work is to increase the level of energy efficiency of industrial enterprises through the use of renewable energy sources.

To achieve this goal the following **tasks were solved**:

- renewable energy sources and their energy potential for Ukraine are analyzed;
- an energy survey of one of the enterprises of the machine-building industry of Ukraine was conducted;
- the balance of energy consumption, base lines of energy consumption and energy saving potential for the enterprise for the production and maintenance of armored vehicles were determined;
- measures to improve the energy efficiency of the enterprise are proposed, in particular, the introduction of a solar power plant.

Object of research: machine-building enterprise of Ukraine.

The subject of the study is the energy efficiency of the enterprise to determine the potential for energy saving and the feasibility of implementing RES.

Research methods.

The following methods were used to solve the set tasks: analytical generalization of known scientific and technical results; calculation and analytical method; modeling of researched heat supply systems with the use of computer programs; methods for determining the main economic parameters of energy facilities.

The scientific novelty of the master's dissertation is to substantiate the feasibility of using power generation systems due to solar energy at an industrial enterprise.

Software. To perform the modeling of the master's dissertation the software was used: PV-SOL.

Approbation of work results. The results of the master's dissertation were published:

Zaporozhchenko M.A. "PECULIARITIES OF USING RENEWABLE ENERGY SOURCES IN INDUSTRIAL ENTERPRISES" IV Date of the event - November 17-18, 2021.

Publications. Zaporozhchenko M.A., Borychenko O.V., Features of the use of renewable energy sources in industrial enterprises. IV Scientific and Technical Conference of IEE undergraduates (based on the results of dissertation research of undergraduates), Institute of Energy Conservation and Energy Management, National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute named after Igor Sikorsky". Date of the event - November 17-18, 2021.

Key words: RENEWABLE ENERGY SOURCES, LOSSES OF ELECTRICITY, ELECTRIC BALANCE, ENERGY EFFICIENCY, SOLAR POWER PLANT, POWER PLANT.

СПИСОК СПОЛУЧЕНЬ

АВН – автоматичний вимикач навантаження

АДЕ – альтернативні джерела енергії

АЕС – атомна електростанція

АПК – агропромисловий комплекс

АСЕМ – автоматизовані системи енергетичного менеджменту

АСКОЕ – автоматизована система комерційного обліку електроенергії

ВВП – валовий внутрішній продукт

ВДЕ – відновлювальні джерела енергії

ВЕР – вторинні енергоресурси

ВЕС – вітрова електростанція

ГЕС – гідроелектростанція

ЄС – Європейський Союз

ЗЕЕ – заходи з енергоефективності

КМУ – Кабінет Міністрів України

ЛЕП – лінія електропередачі

НВДЕ – нетрадиційні відновлювальні джерела енергії

НДЕ – нетрадиційні джерела енергії

НКРЕКП – Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сфері енергетики та комунальних послуг

СЕМ – системи енергетичного менеджменту

СЕС – сонячна електростанція

ТП – трансформаторна підстанція

ТЕС – теплова електростанція

ТЕЦ – теплова електроцентраль

ФЕМ – фотоелектричні модулі

РЩ – розподільчий щит

ЗМІСТ

ВСТУП.....	15
1 ЗАГАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ.....	19
1.1 Відновлювані джерела енергії.....	19
1.1.1 Загальні положення.....	20
1.1.2 Енергетичні ресурси, напрями та рівні освоєння енергії відновлюваних джерел в Україні.....	22
1.1.3 Законодавчо-правове забезпечення відновлюваної енергетики України.....	26
1.2 Вітрова енергія.....	31
1.2.1 Вітрова енергетика Європи.....	32
1.2.2 Вітроенергетика України.....	33
1.3 Сонячна енергія.....	34
1.3.1 Ресурси сонячної енергії.....	34
1.3.2 Основні напрями використання сонячної енергії.....	35
1.3.3 Потенціал сонячної енергії в Україні.....	37
1.3.4 Сонячна електроенергетика.....	41
1.3.5 Сонячна теплоенергетика.....	42
1.4 Енергія малих річок.....	43
1.4.1 Класифікація малих гідроелектростанцій.....	44
1.4.2 Охоронні аспекти та засади сталого використання природних ресурсів у нормативно-правовій базі України.....	45
Висновки до розділу 1.....	46
2 ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ ПІДПРИЄМСТВА.....	47
2.1 Загальні відомості про підприємство.....	47
2.2 Аудит системи електропостачання.....	48

2.2.1 Характеристика джерела живлення.....	48
2.2.2 Споживачі паливно-енергетичних ресурсів.....	48
2.2.3 Трансформаторні підстанції, їх кількість, потужність...	50
2.2.4 Розрахунок електричних навантажень силових електроприймачів трансформатора 1 на ТП 965.....	50
2.2.5 Розрахунок електричних навантажень ТП.....	53
2.2.5.1 Вибір кількості та потужності трансформаторів з врахуванням компенсації реактивної потужності	53
2.2.5.2 Розрахунок перерізу кабелю.....	57
2.2.6 Електричне внутрішнє і зовнішнє освітлення.....	59
2.3 Аналіз споживання енергії та обсягів виробництва на підприємстві.....	61
2.4 Рівномірність споживання електроенергії.....	63
2.5 Аудит системи теплопостачання.....	64
2.5.1 Система теплопостачання і гарячого водопостачання.....	64
2.5.2 Розрахунок теплового навантаження та склад балансів теплоспоживання	65
2.5.3 Заходи з енергоефективності.....	83
2.5.3.1 Проведення тепловізійної діагностики огорожувальних конструкцій та системи опалення.....	83
2.5.3.2 Усунення всіх джерел втрат води, встановлення нових душових ліжок і аераційних насадок на змішувачі.....	85
2.5.3.3 Облаштування власної котельні на базі теплового насосу.....	85
2.6 Шляхи підвищення ефективності використання системи електропостачання для забезпечення електричною енергією..	86

Висновки до розділу 2.....	89
3 ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ	
ПІДПРИЄМСТВА.....	90
3.1 Запровадження інтегрованої системи моніторингу	
енергоспоживання та технологічних параметрів.....	90
3.2 Впровадження сонячної електростанції на	
підприємстві.....	92
3.2.1 Вихідні дані для проєктування сонячної	
електростанції.....	93
3.2.2 Сонячна активність.....	100
3.2.3 Підключення сонячної електростанції до системи	
енергозабезпечення підприємства.....	101
3.2.4 Розрахунок значення робочого струму при	
проєктних ЛЕП-0,4 кВ.....	106
3.2.5 Вибір уставок автоматичних вимикачів.....	108
3.2.6 Рішення по обліку електроенергії.....	109
3.2.7 Рішення щодо пристроїв компенсації реактивної	
потужності.....	112
3.2.8 Техніко-економічне обґрунтування впровадження	
сонячної електростанції.....	112
3.3 Екологічність сонячної енергетики.....	117
Висновки до розділу 3.....	118
4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ ПО ВПРОВАДЖЕННЮ	
СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ НА ПРОМИСЛОВОМУ	
ПІДПРИЄМСТВІ З ВИКОРИСТАННЯМ СОНЯЧНИХ	
ПАНЕЛЕЙ.....	119
4.1 Цілі та етапи реалізації стартап-проєкту.....	119
4.2 Опис ідеї проєкту.....	120

4.3 Аналіз конкурентного середовища.....	122
4.4 Обґрунтування ресурсного забезпечення проєкту.....	123
4.5 Фінансове обґрунтування стартап-проєкту.....	124
4.6 Рівень рентабельності ідеї.....	125
4.7 Вартість виробництва інноваційної технології.....	125
4.8 Цільова група потенційних споживачів.....	127
4.9 Канал збуту.....	127
4.10 Бізнес-модель проєкту.....	127
Висновки до розділу 4.....	128
ВИСНОВКИ.....	129
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	132

ВСТУП

Сучасна вітчизняна енергетика має суттєві проблеми, які полягають як у незадовільному стані технічного оснащення – використовується в основному старе, зношене і малоефективне обладнання, так і у негативних тенденціях щодо зростання дефіцитності вітчизняних первинних енергоресурсів. Підвищення вартості енергоносіїв на світовому ринку та проблеми зовнішнього постачання, недостатня ефективність використання наявних паливно-енергетичних ресурсів та практично відсутня диверсифікація джерел постачання палива створює загрозу національній безпеці України.

Стан традиційної енергетики України обумовлює необхідність виходу на сучасний технологічний рівень із застосуванням інноваційних відновлюваних технологій отримання енергії. Підвищення таким чином рівня вітчизняної енергетичної ефективності сприятиме диверсифікації забезпечення енергоносіями центральних і розподілених енергогенеруючих систем, що забезпечить створення низьковуглецевої національної економіки та підвищить роль вітчизняної енергетики в системі міжнародного співробітництва, у тому числі виходу на міжнародні ринки енергетичних товарів та послуг.

З огляду на довгострокову перспективу розвитку енергетичної галузі України роль відновлюваних джерел є пріоритетною завдяки наявності значного енергетичного потенціалу практично невичерпного та екологічно чистого ресурсу відновлюваних джерел енергії.

Розвиток науково-технічної бази відновлюваної енергетики (ВЕ) з метою поступової заміни в Україні традиційних методів отримання енергії на відновлювані джерела енергії в межах доцільної реалізації їх потенціалу є важливим завданням для нашої країни.

Актуальність теми. Необхідність у широкому використанні відновлюваної енергетики визначається швидким розвитком потреби в електричній енергії, яка за прогнозами має збільшитися вдвічі до 2030 р. і в

4 рази до 2050 р. порівняно з 2000 р. В умовах суттєвої зміни клімату та критичної концентрації викидів постає проблема уникнення негативних наслідків у вигляді глобального потепління та різноманітних природних катаклізмів. Основною причиною зміни клімату є величезне споживання палива, що призводить до викидів шкідливих речовин в атмосферу. Тому важливо сприймати тему ВДЕ не лише з економічної точки зору, але і як альтернативний напрям життєдіяльності, який вбереже планету для молодших поколінь.

Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії в останній час стали одним із важливих критеріїв розвитку у світі. Здійснюється пошук нових і вдосконалення існуючих технологій, підведення їх до економічно ефективного рівня та розширення сфер їхнього використання.

Ключовими причинами такої уваги є передбачуване вичерпання запасів органічних видів палива, різке зростання їх ціни, недосконалість та низька ефективність технологій їхнього використання, шкідливий вплив на довкілля, наслідки якого дедалі більше турбують суспільство.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Усі дослідження в роботі відносяться до напрямку «Енергетика та енергоефективність» Закону України № 2519-VI від 09.09.2010 р. «Про пріоритетні напрямки розвитку науки і техніки», стратегічним напрямом інноваційної діяльності в Україні на 2003-2013 роки «Новітні ресурсозберігаючі технології» Закону України № 433-IV від 16.01.2003 р. «Про пріоритетні напрями інноваційної діяльності в Україні», Комплексній програмі НТУУ «КПІ» «Енергетика сталого розвитку» і направленості тематики кафедри електропостачання НТУУ «КПІ», Закону України від 13.04.2017 № 2019 «Про Ринок електричної енергії».

Метою роботи є підвищення рівня ефективності енергозабезпечення промислового підприємства шляхом використання відновлювальних джерел енергії.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися **наступні завдання**:

- проаналізовано відновлювальні джерела енергії та їх енергетичний потенціал для України;
- проведено енергетичне обстеження одного із підприємств машинобудівної промисловості України;
- визначено баланс споживання енергоресурсів, базові лінії споживання енергії та потенціал енергозбереження для підприємства з виробництва і обслуговування броньованих автомобілів;
- запропоновано заходи з енергоефективності підприємства, зокрема, впровадження сонячної електростанції.

Об'єкт дослідження: підприємство машинобудівної промисловості України.

Предметом дослідження є показники енергоефективності підприємства задля визначення потенціалу енергозбереження та доцільності впровадження ВДЕ.

Методи дослідження.

Для вирішення поставлених завдань використані наступні методи: аналітичне узагальнення відомих наукових і технічних результатів; розрахунково-аналітичний метод; моделювання досліджуваних систем теплопостачання із застосуванням комп'ютерних програм; методів визначення основних економічних параметрів енергетичних об'єктів.

Наукова новизна магістерської дисертації полягає в обґрунтуванні доцільності використання систем електрогенерації за рахунок сонячної енергії на промисловому підприємстві.

Програмне забезпечення. Для виконання моделювання магістерської дисертації використовувалось програмне забезпечення: PV-SOL.

Апробація результатів роботи. Результати магістерської дисертації були оприлюднені:

Запорожченко М.А. «ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ДЖЕРЕЛ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГІЇ НА ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВАХ» IV Науково-технічна конференція магістрантів ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів), Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". Дата проведення – 17-18 листопада 2021 року.

Публікації. Запорожченко М.А., Бориченко О.В., Особливості використання джерел відновлюваної енергії на промислових підприємствах. IV Науково-технічна конференція магістрантів ІЕЕ (за результатами дисертаційних досліджень магістрантів), Інститут енергозбереження та енергоменеджменту, Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського". Дата проведення – 17-18 листопада 2021 року.

Структура і обсяг дисертаційної роботи. Дисертація складається із вступу, трьох розділів основної частини, висновків, списку використаних літературних джерел. Повний обсяг дисертації складає 135 сторінок, 37 рисунків, 24 таблиці, 38 бібліографічних найменувань за переліком посилань.

РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

1.1 Відновлювані джерела енергії

Використання екологічно чистих відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) для задоволення енергетичних потреб населення та промисловості є надзвичайно важливим для України, що в першу чергу пов'язано із енергодефіцитністю у галузі існуючої енергетичної системи та незадовільним станом оточуючого середовища. Рішенням Ради національної безпеки і оборони України від 9 грудня 2005 року «Про стан енергетичної безпеки України та основні засади державної політики у сфері її забезпечення», введеним в дію Указом Президента України №1863, одним із пріоритетних завдань державної політики у сфері забезпечення енергетичної безпеки України визначено використання нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії.

Сьогодні у більшості розвинених країн світу використання відновлюваних джерел енергії є одним із основних пріоритетів розвитку енергетики, що обумовлено необхідністю усунення енергетичної нестабільності країн, пов'язаної з енергетичними кризами, та зменшення обсягів шкідливих викидів, що утворюються в процесі використання традиційних енергоносіїв. Важливим аспектом є також можливість створення запасів органічної сировини для неенергетичних потреб та збереження запасів енергоресурсів для майбутніх поколінь.

Цілі України, як одного із учасників цієї угоди – це скорочення викидів вуглекислого газу на 25 % до 2020 року, на 40 % до 2030 року, також запропоновано амбітну ціль до 2050 року – 70 %.

Стратегією розвитку світової енергетики визначено, що у 2020 р. 20 % електроенергії буде вироблятись за рахунок використання ВДЕ та альтернативних видів палива (АВП), у 2040 р. – 50 %, а наприкінці ХХІ століття частка електроенергії, виробленої з ВДЕ та АВП може перевищити 85 %. До 2050 року планується довести частку ВДЕ та АВП в

загальному паливно-енергетичному балансі Євросоюзу до 50 %.

1.1.1 Загальні положення

Відновлювана енергетика - область господарювання, науки і техніки, що охоплює виробництво, передачу, перетворення, накопичення і споживання електричної, теплової і механічної енергії за рахунок використання в якості первинних енергоресурсів відновлюваних джерел енергії.

Відновлювані джерела енергії - це потоки енергії, що постійно або періодично діють у навколишньому середовищі. В цілому всі енергетичні потоки відновлюваних джерел енергії розділяються на дві основні групи:

- пряма енергія сонячного випромінювання;
- вторинні прояви енергії сонячного випромінювання у вигляді енергії вітру, гідроенергії, теплової енергії навколишнього середовища, енергії біомаси та ін.

Загалом ВДЕ класифікують наступним чином:

- промениста енергія Сонця;
- енергія вітру;
- гідроенергія течій води, хвиль, припливів;
- тепла енергія оточуючого середовища (Землі, повітря, морів та океанів);
- енергія біомаси;
- геотермальна енергія.

Виникнення енергії відновлюваних джерел пов'язане із наступним:

- термоядерними процесами на Сонці (теплова та промениста енергія Сонця, енергія вітру, енергія біомаси, гідроенергія рік та хвиль, тепла енергія оточуючого середовища, у тому числі Землі, повітря, морів та океанів);
- гравітаційною взаємодією Сонця, Землі та Місяця (гідроенергія припливів).

Сонце – специфічний гідродинамічний об'єкт, температура надр якого настільки висока, що забезпечує синтез водню та гелію. Цей синтез

вивільняє енергію у вигляді високочастотного електромагнітного випромінювання, яке, перевипромінюючись, поступово доходить від надр Сонця до його поверхні. Випромінювання, яке досягає Землі, виходить із тонкого поверхневого шару Сонця, що називається фотосферою. Потужність випромінювання Сонця надзвичайно велика – $3,8 \cdot 10^{20}$ МВт.

Традиційні енергоресурси – енергоресурси, що застосовуються в якості первинного джерела енергії в сучасній традиційній енергетиці, до них відносяться всі невідновлювані джерела енергії і два види відновлюваних – дрова і гідроенергія великих водотоків.

Невідновлювані або вичерпні енергоресурси – енергоджерела з фактично і потенційно обмеженим енергоресурсом – в основному корисні копалини, газ, вугілля, нафта, ядерне паливо.

Органічне паливо – органічні речовини, як правило, природного походження, що використовуються в якості енергоджерел – вугілля, нафта, газ, дрова.

Розвідані запаси енергоресурсів – включають розвідані запаси енергоносіїв, наявність яких визначено досить вірогідно, а їх кількість визначена досить точно. Розвідані енергоресурси можуть бути добуті вже найближчим часом із застосуванням сучасних технологій.

Потенційні запаси енергоресурсів – включають розвідані запаси та прогнозні запаси енергоресурсів. Прогнозні запаси – це запаси енергоресурсів, наявність яких вірогідно доведено, але видобуток їх вимагає застосування нових, ще не розроблених у даний час технологій.

Відновлювані або невичерпні енергоресурси – це потоки енергії, що постійно або періодично діють в природі. До них відносяться всі види відновлюваних джерел енергії: біомаса (за винятком дров), сонячна, вітрова, геотермальна енергія, енергія припливів, хвиль, малих водотоків, теплоенергія океану.

1.1.2 Енергетичні ресурси, напрями та рівні освоєння енергії відновлюваних джерел в Україні

Сучасна енергетика України перебуває в кризовому стані, основними причинами якого є:

- загроза незалежності України через прив'язку критичного імпорту в енергетиці (обладнання і енергоносіїв) до країн, здатних на порушення договірних графіків та передбачених інших умов постачання;
- вичерпаність технічного ресурсу і необхідність невідкладної реновації енергетичного обладнання ТЕС і АЕС за рахунок недержавних іноземних інвестицій через відсутність відповідних коштів в держбюджеті України.

Основними чинниками, що визначають необхідність розвитку відновлюваної енергетики в Україні, є:

- зростання дефіцитності традиційних енергоресурсів, підвищення їх вартості на світовому ринку та проблеми із зовнішнім постачанням;
- негативний стан і тенденції у паливно-енергетичному комплексі, зокрема недостатня ефективність використання традиційних паливно-енергетичних ресурсів;
- екологічні проблеми, зокрема необхідність виконання міжнародних зобов'язань щодо дотримання норм Кіотського протоколу та Паризької угоди.

Україна має зобов'язання перед світовою спільнотою щодо зменшення глобальних викидів парникових газів з метою протидії глобальному потеплінню на планеті. Виконання цього зобов'язання, як свідчить європейський досвід, потребує трансформації всього економічного укладу країни в напрямку низьковуглецевого розвитку.

Розглянемо розподіл сумарного річного технічно-досяжного потенціалу встановленої потужності ВДЕ та потенціалу виробітку електроенергії за рахунок ВДЕ по території України, див. рис. 1.1 та рис.1.2.

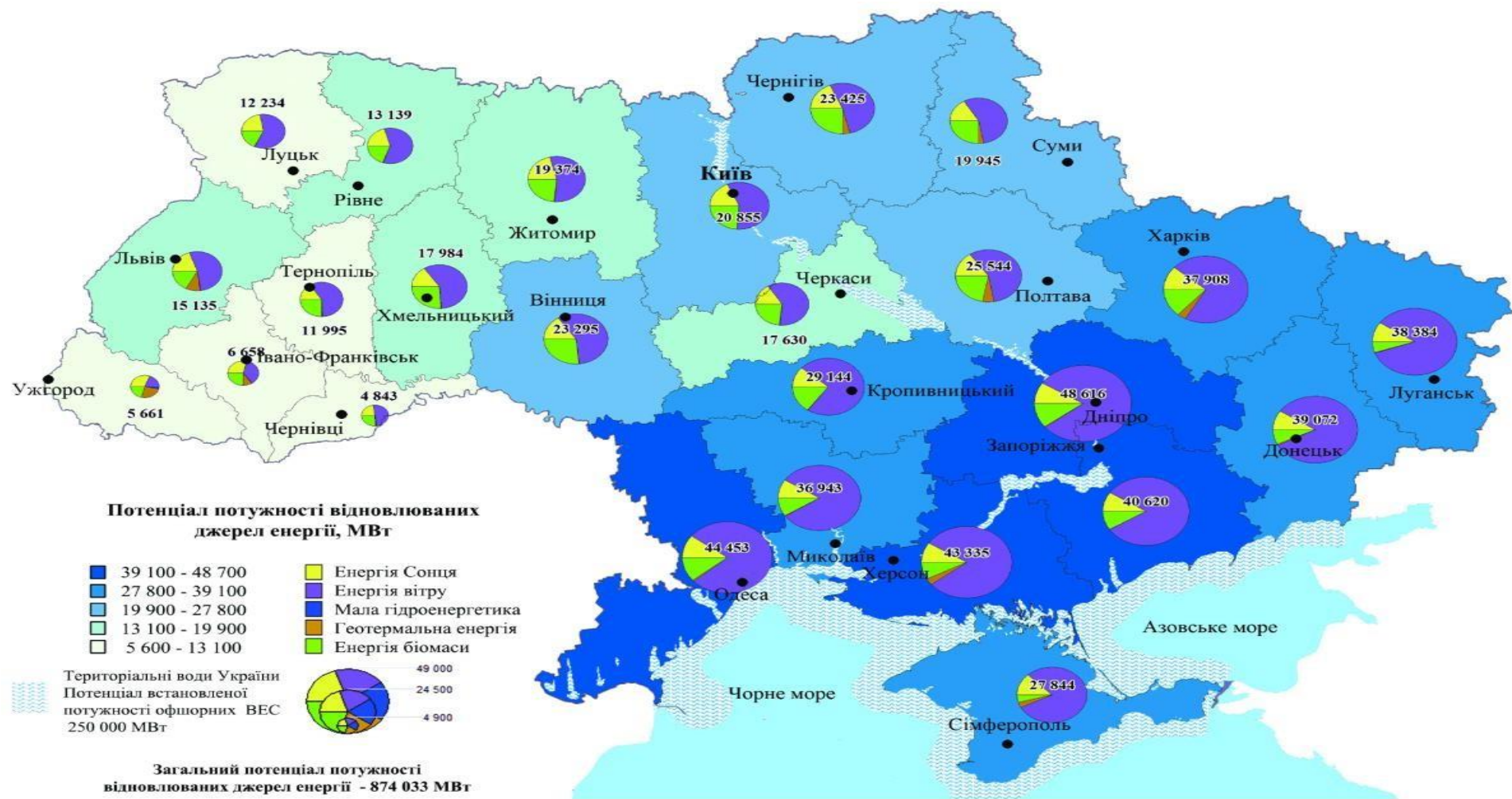


Рисунок 1.1 - Розподіл сумарного річного технічно-досяжного потенціалу встановленої потужності ВДЕ по території України, МВт

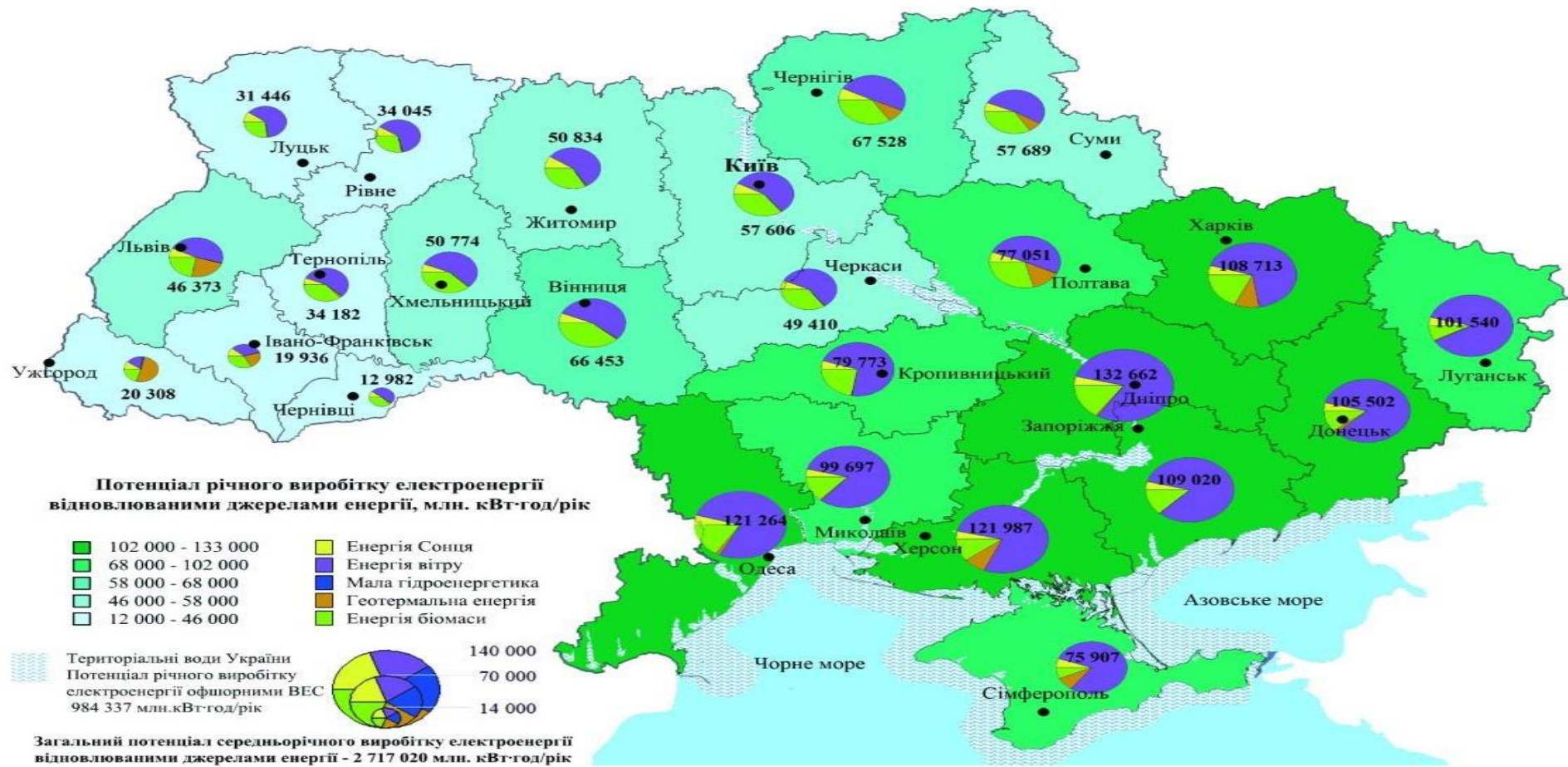


Рисунок 1.2 - Розподіл сумарного річного технічно-досяжного потенціалу виробітку електроенергії за рахунок ВДЕ по території України, млн кВт·год/рік

За даними Держенергоефективності, станом на 01.01.2020 року в Україні працює 23110 (1142 промислових та 21968 СЕС домогосподарств) об'єктів відновлюваної електроенергетики, яким встановлено «зелений» тариф, загальною потужністю 6932 МВт, з них [14]:

- 852 СЕС загальною потужністю 4 925 МВт;
- 69 ВЕС загальною потужністю 1 170 МВт;
- 21968 СЕС приватних домогосподарств 553 МВт;
- 157 МГЕС загальною потужністю 114 МВт;
- 49 електростанції на біогазі загальною потужністю 86 МВт;
- 15 електростанцій на біомасі загальною потужністю 84 МВт.

Останнім часом в Україні спостерігається помітне зростання обсягів генерування енергії за рахунок відновлюваних джерел енергії – так у перші два місяці 2020 року сонячні, вітрові та біомасові електростанції збільшили обсяг виробництва до 1,184 млрд кВт·год – це у 2,68 рази більше в порівнянні з аналогічним періодом минулого року. Необхідно відмітити, що збільшили генерацію електроенергії на 19,2 % (288 млн кВт·год) блок-станції, які працюють в об'єднаній енергетичній системі України і підпорядковується її централізованому диспетчерському управлінню.

На даний час у області прикладних наукових досліджень розроблено цілий ряд нових технічних рішень для створення енергоефективної техніки і технологій відновлюваної енергетики. Можливі обсяги енергозабезпечення за рахунок енергії відновлюваних джерел в різних регіонах України залежать від багатьох факторів. Необхідно відмітити, що промислово розвинені області з високим енергоспоживанням мають більш низький енергопотенціал ВДЕ.

Екологічна значимість використання енергії відновлюваних джерел в Україні полягає в значному зменшенні шкідливих викидів в атмосферу, що утворюються при згоранні органічного палива – енергетика на відновлюваних джерелах використовує потоки енергії, що вже існують в навколишньому просторі, тому теплове забруднення навколишнього

середовища буде незначним, як і обсяги відходів. Соціальна значимість полягає у створенні додаткових робочих місць у галузях наукової, виробничої, культурно-освітньої, правової, державної та громадської діяльності.

1.1.3 Законодавчо-правове забезпечення відновлюваної енергетики України

Для ефективної реалізації завдань щодо освоєння енергії відновлюваних джерел в Україні, в першу чергу, необхідно створення вітчизняної моделі розвитку відновлюваної енергетики, як окремої енергетичної галузі – створення нормативно-правової бази з урахуванням особливостей освоєння кожного з видів відновлюваних джерел енергії, визначення основ економічної стимулюючої політики держави і створення законодавчої бази відновлюваної енергетики, основаної на проведенні пільгової політики для виробників та споживачів енергії відновлюваних джерел, визначення механізмів фінансування. Для встановлення реального співвідношення основних техніко-економічних показників традиційної і відновлюваної енергетики в Україні необхідно проведення відповідних реформ у ціновій політиці традиційної енергетики. Досвід країн, що активно використовують енергію відновлюваних джерел, показує, що одним з перших чинників при їх освоєнні є вихід на ринкові ціни на енергоносії.

Першочерговими завданнями відновлюваної енергетики України є:

- проведення наукових фундаментальних і прикладних досліджень, науково-дослідних і проєктно-конструкторських розробок та організації їх впровадження;
- здійснення підготовки фахівців за всіма напрямками розвитку відновлюваної енергетики;

- створення профільної інфраструктури на основі вже існуючих навчальних, проектно-конструкторських та науково-дослідницьких організацій;
- розробка нормативно-правової бази, що сприятиме впровадженню розробок на основі ВДЕ, у тому числі щодо доступу об'єктів ВДЕ до електричних і теплових мереж енергокомпаній та відведення земельних площадок;
- створення сертифікаційної та метрологічної бази;
- створення бази для виробництва технічних пристроїв та обладнання, монтажу, експлуатації, ремонту та сервісу.

Перелік законодавчих актів, що регулюють ринок відновлюваних джерел енергії в Україні представлено нижче [21].

Закони України:

- Закон України «Про енергозбереження» №74/94-ВР від 01.07.1994 визначає основи енергозбереження для всіх підприємств і установ, що знаходяться на території України, дає визначення у сфері енергозбереження, закладає перехід до застосування приладів обліку паливно-енергетичних ресурсів, про наукові дослідження – один абзац (Стаття 8), у статті 13 передбачено формування державного фонду енергозбереження, який на практиці не працює. У статті 16 прописані економічні та фінансові шляхи стимулювання енергозбереження в Україні;
- Закон України «Про електроенергетику» №575/97-ВР від 16.10.1997 визначає правові, економічні та організаційні основи діяльності в електроенергетиці і регулює відносини, пов'язані із виробництвом, передачею, постачанням і використанням енергії. У законі дано визначення «зеленого тарифу» (стаття 1), описано ліцензування діяльності (Стаття 13), описано механізм встановлення і формування «зеленого тарифу» (Стаття 17-1);

- Закон України «Про передачу об'єктів права державної та комунальної власності» №147/98-ВР від 03.03.1998;
- Закон України «Про альтернативні види палива» №1391-XIV від 14.01.2000 – прописано збільшення частки використання альтернативних джерел енергії в Україні до 20 відсотків до 2020 року, дано основні визначення видів біопалива (стаття 1), прописано, які види палива можна вважати альтернативними (статті 4, 5, 5-1), наведено порядок визначення палива альтернативним (Стаття 6);
- Закон України «Про природні монополії» №1682-III від 20.04.2000;
 - Закон України «Про ліцензування окремих видів господарської діяльності» №1775-III від 01.06.2000 – дано перелік видів господарської діяльності, які в Україні підлягають ліцензуванню (Стаття 9). Зокрема, передбачено отримання ліцензії на діяльність у сфері електроенергетики (Стаття 9, пункт 6) і виробництво, транспортування та постачання теплової енергії (Стаття 9, пункт 42). У статті 10 дано список документів, які необхідно подати для отримання ліцензії;
 - Закон України «Про альтернативні джерела енергії» №555-IV від 20.02.2003 визначає основні принципи використання альтернативних джерел енергії в Україні. Був одним із перших, що стимулював розвиток галузі ВДЕ в Україні, деякі з принципів, закладені в ньому, на практиці не виконують через дії інших законодавчих актів;
 - Закон України «Про житлово-комунальні послуги» №1875-IV від 24.07.2004;
 - Закон України «Про теплопостачання» №2633-IV від 02.06.2005 регулює основні засади діяльності у сфері теплопостачання, а саме: виробництво, транспортування та постачання теплової енергії. У Законі зазначено, що виробництво теплової енергії з відновлюваних джерел енергії регулюється НКРЕ (Стаття 17);
 - Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо встановлення «зеленого» тарифу» №601-VI 25.09.2008 р. про

встановлення спеціального тарифу, за яким закуповується електроенергія, вироблена на об'єктах електроенергетики, що використовують альтернативні джерела енергії;

- Закон України «Про державне регулювання у сфері комунальних послуг» №2479-VI від 09.07.2010;

- Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії» № 2712 – VIII від 25.04.2019 р.

Укази Президента:

- Указ Президента України від 10.09.2014 №715/2014 «Про затвердження Положення про Національну комісію, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг».

Постанови Кабінету Міністрів України:

- Постанова КМУ «Про затвердження Державної цільової економічної програми енергоефективності і розвитку сфери виробництва енергоносіїв з відновлюваних джерел енергії та альтернативних видів палива на 2010-2015 роки»;

- Розпорядження КМУ «Про схвалення Концепції Державної цільової науково-технічної програми розвитку виробництва та використання біологічних видів палива»;

- Постанова КМУ «Про затвердження порядку ввезення на митну територію України техніки, обладнання, технічних та транспортних засобів, що використовуються для розвитку виробництва і забезпечення споживання біологічних видів палива»;

- Постанова КМУ «Питання ввезення на митну територію України енергозберігаючих матеріалів, обладнання, устаткування та комплектуючих»;

- Постанова КМУ «Про затвердження переліку товарів власного виробництва, 80 відсотків прибутку підприємств від продажу яких на митній території України звільняється від оподаткування»;

- Постанова КМУ «Про затвердження переліку документів, що додаються до заяви на видачу ліцензії для окремого виду господарської діяльності» №756 від 04.07.2001»;
- Постанова КМУ «Про термін дії на здійснення певних видів господарської діяльності» №1755 від 09.11.2000»;
- Постанова КМУ «Про забезпечення єдиного підходу до формування тарифів на житлово-комунальні послуги» №869 від 01.06.2011»;
- Постанова КМУ «Про затвердження правил користування тепловою енергією» №1198 від 03.10.2007».

Постанови НКРЕ:

- Постанова НКРЕ від 26.04.2006 № 540 «Про затвердження Умов та правил (ліцензійних умов) провадження господарської діяльності з виробництва теплової енергії на теплоелектроцентралях, ТЕС, АЕС, когенераційних установках та установках з використанням нетрадиційних або поновлюваних джерел енергії»;
- Постанова НКРЕ «Про затвердження Порядку розрахунку тарифів на електричну та теплову енергію, що виробляється ТЕЦ, ТЕС АЕС та на установках з використанням нетрадиційних або поновлюваних джерел енергії»;
- Постанова НКРЕ «Про затвердження Інструкції про порядок видачі ліцензій Національною комісією регулювання електроенергетики на здійснення окремих видів підприємницької діяльності» №1305 від 06.10.1999;
- Постанова НКРЕ від 26.04.2006 №540 «Про затвердження Умов та правил (ліцензійних умов) провадження господарської діяльності з виробництва теплової енергії на теплоелектроцентралях, ТЕС, АЕС, когенераційних установках та установках з використанням нетрадиційних або поновлюваних джерел енергії»;

- Постанова НКРЕ «Про затвердження Порядку визначення розміру місцевої складової для об'єктів електроенергетики, у тому числі введених в експлуатацію черг будівництва електричних станцій (пускових комплексів), які виробляють електричну енергію з альтернативних джерел енергії (крім доменного і коксівного газів)» №744 від 27.06.2013.

1.2 Вітрова енергія

Вітрова енергія належить до постійно відновлюваних джерел енергії, зобов'язаних своїм походженням діяльності Сонця. Внаслідок нерівномірного нагріву сонячними променями земної поверхні і нижніх шарів земної атмосфери, в приземному шарі, а також на висоті від 7 до 12 км виникають переміщення великих мас повітря, тобто утворюється вітер, який несе колосальну кількість енергії. Сила вітру залежить від його швидкості і змінюється в дуже широких межах. Використовуючи навіть декілька відсотків енергії вітру, можна задовольнити значну частину енергетичних потреб країни.

До переваг вітрової енергії перш за все відноситься доступність, повсюдне поширення і практична невичерпність ресурсів. Джерело енергії не потрібно здобувати і транспортувати до місця споживання: вітер сам поступає до встановленого на його шляху вітродвигуна. Ця особливість вітру надзвичайно важлива для важкодоступних (арктичних, степових, пустинних, гірських і т. п.) районів, віддалених від джерел централізованого енергопостачання, і для відносно дрібних (потужністю до 100 кВт) споживачів енергії.

Основним недоліком при використанні вітру як енергетичного джерела є непостійність його швидкості, а отже, і енергії в часі. Вітер характеризується не тільки багаторічною і сезонною мінливістю, але також змінює свою активність протягом доби і за дуже короткі проміжки часу (миттєві пульсації швидкості і пориви вітру). Однак сучасні досягнення в галузі вітроенергетики забезпечують ефективне використання енергії вітру

та широкомасштабне впровадження обладнання в різних галузях народного господарства.

Вітроенергетика – галузь науки і техніки, в рамках якої розробляються теоретичні основи, методи і засоби використання енергії вітру для отримання механічної, електричної та теплової енергії, визначаються напрями і масштаби доцільного використання вітрової енергії в народному господарстві. Вітроенергетика складається з 2-х основних частин: вітротехніки, що розробляє теоретичні основи і практичні прийоми проєктування технічних засобів (агрегатів і установок), і вітровикористання, що включає вирішення теоретичних і практичних питань оптимального використання енергії вітру, раціональної експлуатації установок і їх техніко- економічних показників, а також узагальнення досвіду практичного застосування вітроенергетичних установок.

Під «вітроенергетикою» у широкому сенсі слова розуміють сукупність знань і технологій щодо перетворення некерованої енергії вітру в керовану енергію на користь людям.

1.2.1 Вітроенергетика Європи

У Європі в 2019 році встановлено нових вітрових електроустановок (ВЕУ) загальною потужністю 15.4 ГВт (з них 13.2 ГВт – в країнах ЄС). Це на 27 % більше, ніж у 2018 році. В результаті у Європі загальна встановлена потужність ВЕС досягла 205 ГВт. В 2019 році в ЄС-28 вітроенергетика забезпечила генерацію 15 % загального споживання електроенергії. На рис. 2.10 представлено розподіл показників встановленої потужності ВЕС між країнами Європи [2].

Середній фактичний коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) європейського парку ВЕС у 2019 році склав 0.26 (0.24 для оншорних ВЕС і 0.38 для офшорних ВЕС). Ці дані представляють продуктивність всіх діючих ВЕУ, включаючи старі екземпляри, суттєво

зношені як фізично (що зменшує їх коефіцієнт готовності, а з ним й КВВП), так і морально (у нових моделях ВЕУ лопаті значно довші, ніж у старих ВЕУ, що мають значно коротші лопаті і, відповідно, значно меншу продуктивність). КВВП нових оншорних ВЕС становить 0.30-0.35, нових офшорних ВЕС – від 0.35 до 0.55. Ще одним фактором збільшення КВВП є удосконалення методів вибору площадок для ВЕС і методів оптимізації розстановки ВЕУ на площадці.

1.2.2 Вітроенергетика України

В 1994 р. було розпочато створення вітроенергетичної галузі промисловості України на базі ринкових засад та під контролем і за підтримки держави.

Державна підтримка полягала у створенні сприятливих умов для інвесторів, яким надали ліцензії на право виготовлення в Україні вітротурбін. Для сприяння інвесторам було прийнято необхідні нормативно-правові акти, які закріплювали права інвесторів на отримання виплат роялті за передачу технологій державним машинобудівним підприємствам, більшість з яких використовувала ці технології для конверсії військового виробництва.

Таким чином Україна, яка отримала у спадок від Радянського Союзу одну з найбільших часток (біля 30 %) військово-промислового комплексу (ВПК), почала одночасно вирішувати проблеми створення нових екологічно- чистих енергетичних потужностей і конверсії підприємств ВПК, які простоювали через відсутність оборонних замовлень.

На виконання цього завдання була спрямована «Комплексна програма будівництва вітрових електростанцій» (надалі – «Комплексна програма»), затверджена постановою Кабінету Міністрів України «Про будівництво вітрових електростанцій» від 15.06.1994 №415. Фінансування цієї програми, яке було досить обмеженим, відбувалось за рахунок збільшення на 0.75 % тарифів на весь обсяг електроенергії. У рамках виконання

«Комплексної програми» будувалися державні ВЕС, обладнання для яких виготовлялось державними підприємствами України. Керування «Комплексною програмою» виконувалось Міжвідомчою координаційною радою з вітроенергетики.

Станом на початок 2020 року загальна встановлена потужність ВЕС в Україні становила 1,17 ГВт.

1.3 Сонячна енергія

Сонячна енергія – це енергія, яка поступає на Землю від Сонця у вигляді радіації та світла і є основою життя на планеті. З усіх відновлюваних джерел екологічно чиста сонячна енергія найбільш доступний та практично невичерпний енергоресурс, використання якого є ефективним на більшості ділянок поверхні Землі.

Використання енергії сонячного випромінювання має багатовіковий історичний досвід. Техніка і технології, що використовують сонячну енергію для отримання електричної або теплової енергії у будь-якому зручному для їх застосування вигляді, називається сонячною енергетикою.

Сонячна енергетика – один із перспективних та прогресуючих напрямів використання енергії відновлюваних джерел, перевагою якого є можливість безпосереднього перетворення енергії сонячної радіації в електричну енергію та отримання теплової енергії. На сучасному етапі розвитку сонячної енергетики на перше місце виходять проблеми ефективного використання енергії сонячної радіації за рахунок застосування передових технологій.

1.3.1 Ресурси сонячної енергії

Сонце кожену секунду випромінює $88 \cdot 10^{24}$ кал теплоти, що еквівалентно $1,25 \cdot 10^{16}$ т у.п. або $1,02 \cdot 10^{20}$ кВт·год. На Землю попадає тільки частина цієї енергії – біля $1 \cdot 10^{18}$ кВт·год ($123 \cdot 10^{12}$ т у.п.) за рік, що приблизно в 100 разів перевищує енергоресурси всіх розвіданих горючих копалин на Землі [21 - 23].

Сонце має безперервний спектр випромінювання, який пересікається у деяких місцях темними лініями поглинання (фраунгоферовими лініями), впливом яких при енергетичних розрахунках можна знехтувати. Розподілення енергії у спектрі Сонця нерівномірне і справжня крива спектральної щільності потоку сонячного випромінювання має досить складний вигляд. Розподілення щільності потоку випромінювання, що випускається Сонцем, по його поверхні досить рівномірне, але об'ємний характер випромінювання призведе до деякого спаду яскравості від центра сонячного диска до краю. У центрі сонячного диска візуальна яскравість в 1,22 рази більша від середньої. Ближче до краю яскравість диска зменшується, при цьому спектр випромінювання змінюється внаслідок того, що температура по краях нижча, ніж у центрі [23].

1.3.2 Основні напрями використання сонячної енергії

Останнім часом сонячна енергетика досягла значного розвитку завдяки створенню і впровадженню новітньої техніки та технологій, що забезпечують підвищення ефективності та зниження вартості виробництва електричної та теплової енергії. Важливу роль відіграють ефективні методи стимулювання сонячної енергетики, в першу чергу електроенергетики, запроваджені в багатьох країнах світу.

Переваги енергії сонячного випромінювання, як енергетичного ресурсу порівняно із органічними видами палива, полягають у практичній невичерпності джерела енергії, можливості використання енергії сонячної радіації на більшості ділянок поверхні Землі як місцевого енергетичного джерела та у можливості безпосереднього перетворення енергії сонячної радіації в теплову та електричну енергію.

Сонячні енергетичні системи – це енергетичні установки, що перетворюють енергію сонячної радіації в інші види енергії.

У сучасній сонячній енергетиці можна виділити два основних практичних напрями використання енергії сонячної радіації [23]:

1) перетворення сонячної енергії в електричну енергію, у тому числі:

- фотоелектричний метод перетворення (електромагнітне випромінювання оптичного діапазону Сонця перетворюється в електроенергію постійного струму);
- термодинамічний метод перетворення (сконцентрована сонячна енергія використовується для одержання пари, яка, обертаючи турбогенератор, виробляє електроенергію);

2) перетворення сонячної енергії в теплову енергію, у тому числі:

- опалення;
- гаряче водопостачання;
- технологічні процеси.

Найбільш поширеним методом отримання електричної енергії є застосування фотоелектричного методу прямого перетворення сонячної енергії із використанням фотоелектричних перетворювачів (ФЕП), які в різних джерелах називають фотоелектричними панелями (ФП), або сонячними елементами (СЕ), або фотоелементами (ФЕ).

Загальний вигляд фотоелектричних панелей показано на рисунку 1.3 [23].



Рисунок 1.3 - Фотоелектричні панелі

В Україні, як найбільш перспективні на даний час, визначено такі напрями використання сонячної енергії:

- **сонячна електроенергетика** або пряме перетворення сонячної енергії в електричну енергію постійного струму за допомогою фотоперетворювачів;

- **сонячна теплоенергетика** або безпосереднє перетворення сонячної енергії в теплову енергію без попередньої концентрації потоку сонячної радіації (для гарячого водопостачання об'єктів, комунально-побутового та технологічного теплопостачання, потреб сільського господарства).

Наукові дослідження фізико-технічних проблем сонячної енергетики ІВЕ НАН України здійснюються з метою [27]:

- формування перспективних напрямів використання енергії сонячного випромінювання;
- математичного моделювання процесів перетворювання сонячної енергії в електричну й теплову;
- розроблення матеріалів і енергоефективних конструкцій сонячних батарей та сонячних колекторів і систем енергопостачання на їх основі.

У даний час виділено такі основні напрями досліджень методів використання сонячної енергії:

- використання сонячної енергії для виробництва електричної енергії на основі фотоелектричних перетворювачів;
- використання сонячної енергії для виробництва теплової енергії в сонячних колекторах різних конструкцій;
- використання сонячної енергії для когенераційного виробництва електричної й теплової енергії.

1.3.3 Потенціал сонячної енергії в Україні

При виборі типу та потужності сонячної енергетичної установки для певної місцевості в першу чергу необхідно орієнтуватись на питомі показники з надходження сонячної радіації в даній місцевості (середня добова, місячна і річна кількість прямої, розсіяної та сумарної сонячної радіації), продуктивність геліотехнічної установки [28, 29]. Розрахункові питомі енергетичні показники надходження сонячної енергії на

горизонтальну поверхню в різних регіонах України, визначені за даними щодо надходження сонячної радіації на діючих в Україні метеостанціях – прямої сонячної радіації, розсіяної сонячної радіації та сумарної сонячної радіації, представлено в таблиці 3.1. [30]

В Україні існують достатньо сприятливі умови для використання сонячної енергії. Середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, що потрапляє на 1 м² поверхні, на території України знаходиться в межах від 1070 кВт·год/м² в її північній частині до 1400 кВт·год/м² і вище на півдні України. Розподіл основних кліматичних показників такий: радіаційний режим території характеризується зміною тривалості сонячного сяйва в середньому за рік від 1690 – 1850 годин у західних районах Полісся та Лісостепу до 2150 – 2450 годин у Криму та на узбережжях Чорного й Азовського морів [23, 31].

Теоретичний потенціал, або сумарне річне надходження сонячної радіації на територію України, оцінюється на рівні $720 \cdot 10^{12}$ кВт·год, що є еквівалентним 88,4 млрд т у.п. [32].

У кліматометеорологічних умовах України для сонячного теплопостачання ефективним є застосування як плоских та трубчатих сонячних колекторів, так, у подальшому, і концентруючих, які використовують пряму і розсіяну сонячну радіацію. Фотоенергетичне обладнання може достатньо ефективно експлуатуватися протягом всього року [33]. Розглянемо розподіл сумарної сонячної радіації та потенціал річного виробітку електроенергії сонячними електростанціями по території України, див. рис.1.4 та рис. 1.5.

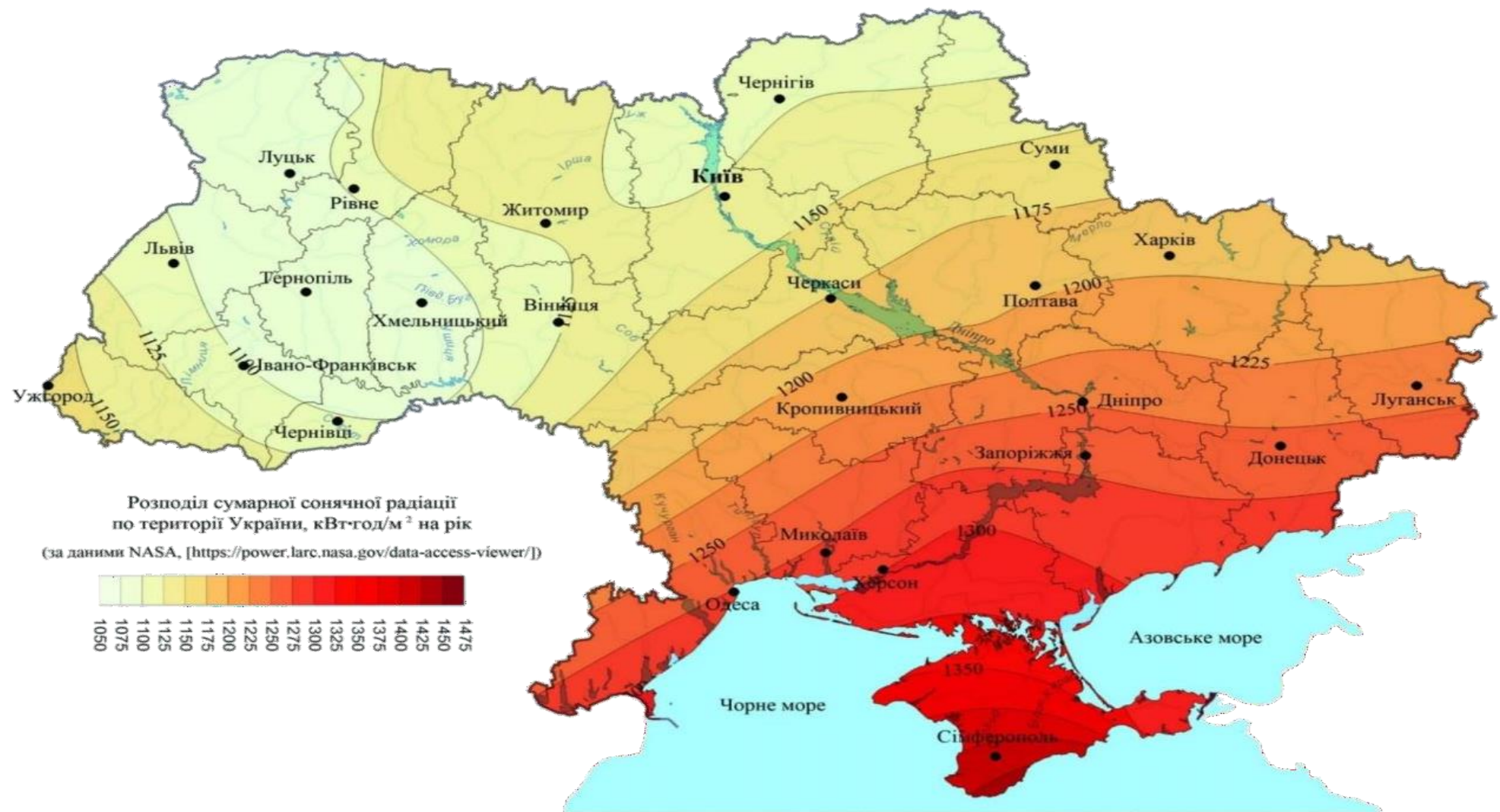


Рисунок 1.4 - Розподіл сумарної сонячної радіації по території України

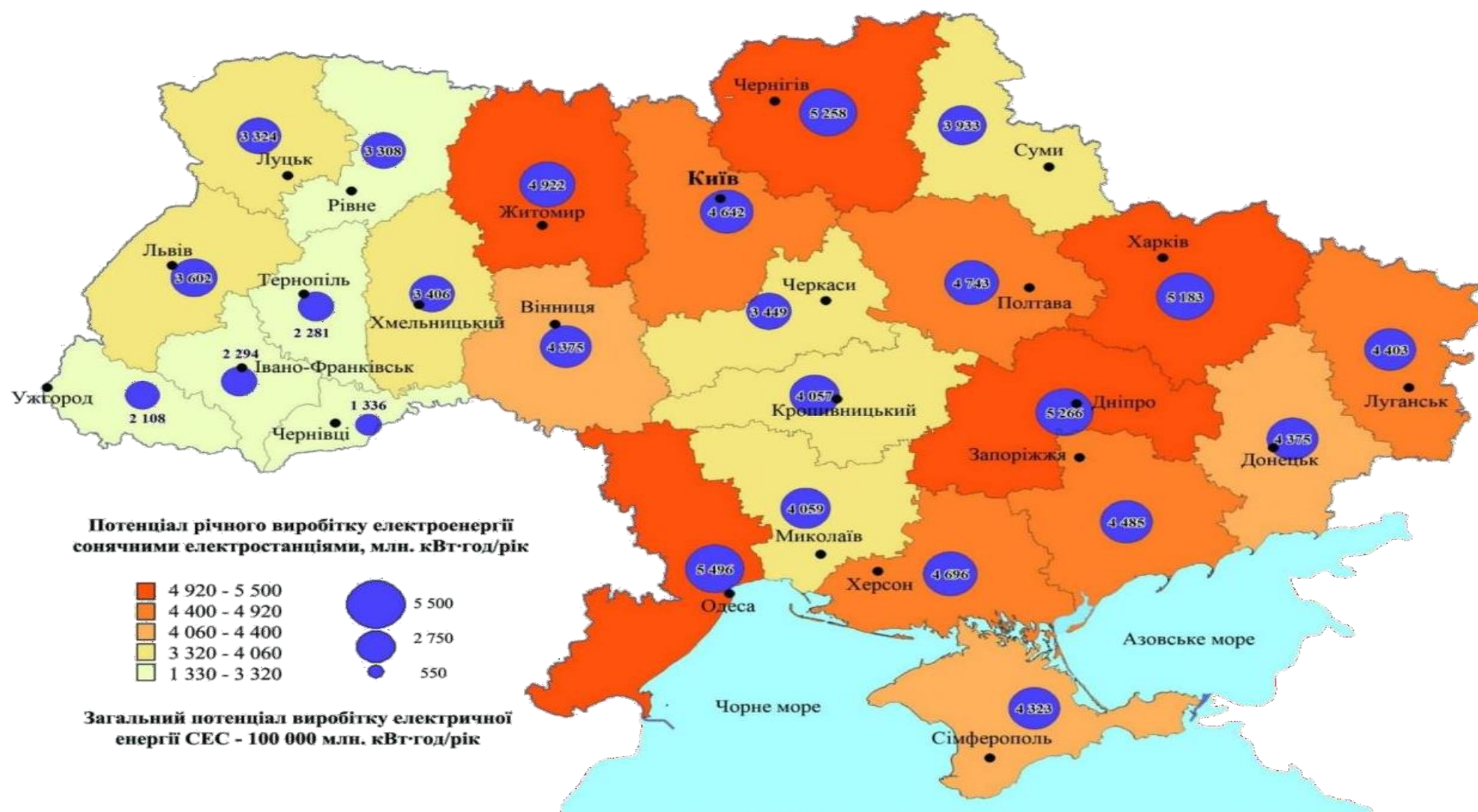


Рисунок 1.5 - Потенціал річного виробітку електроенергії сонячними електростанціями України

1.3.4 Сонячна електроенергетика

Світова сонячна електроенергетика в основному базується на використанні процесу прямого перетворення сонячної енергії в електричну із застосуванням методу фотоелектричного перетворення. Фотоелектричні джерела енергії застосовуються для живлення споживачів у дуже широкому інтервалі потужностей: від міні-генераторів для годинників і калькуляторів потужністю декілька Вт до центральних мережевих електростанцій потужністю в сотні МВт. Технологія виготовлення фотоелементів удосконалюється з кожним роком, при цьому витрати на їх виготовлення та ціна генерованої ними електроенергії постійно зменшуються, а коефіцієнт корисної дії збільшується. За останні роки досягнуто значного технічного прогресу у фотоелектричному перетворенні сонячної енергії, що дозволило значно знизити питомі капіталовкладення в установки такого типу і собівартість електроенергії, ними виробленої.

Фотоелектричне перетворення сонячної енергії в даний час є одним із пріоритетних напрямів використання сонячної енергії, що обумовлюється можливістю отримання електроенергії практично в будь-якому районі; екологічною чистотою перетворення енергії; значним терміном роботи; невеликими затратами на обслуговування; незалежністю ефективності перетворення сонячної енергії від встановленої потужності.

Сучасні сонячні елементи мають наступні переваги: у них відсутні рухомі частини, що зношуються; вони мають необмежений термін служби; вимагають мінімального обслуговування (або взагалі не вимагають такого); не забруднюють навколишнє середовище; на відміну від електрогенераторів інших типів, вони можуть застосовуватися в широких межах потужності – від одного вата і до декількох тисяч мегават.

У сонячній фотоенергетиці сонячне випромінювання перетворюється в електроенергію напівпровідниковими перетворювачами, які володіють селективною спектральною чутливістю. Фотоелементи базуються на

фотоефекті у напівпровідникових структурах з p - n переходами, на так званому вентильному фотоефекті, безпосередньо перетворюють падаюче на них сонячне випромінювання в електричну енергію, являючись таким чином її генераторами. На відміну від фотоопорів і фотоелементів із зовнішнім фотоефектом, вони не потребують джерела зовнішньої напруги.

Більшість нових об'єктів відновлюваної енергетики, введених у світі в 2018 р. – це майже 100 ГВт СЕС. Розвиток сонячної енергетики не лише зменшує обсяги використання органічного палива, але й сприяє соціально-економічному розвитку країн, забезпечуючи нові робочі місця. У сонячній енергетиці зайнято найбільше людей – 3,4 мільйонів і надалі прогнозується значне збільшення потужностей і, відповідно, кількість робочих місць [16].

1.3.5 Сонячна теплоенергетика

Використання сонячної енергії для отримання теплової енергії має давні традиції і дуже широкий спектр застосування. У результаті розробки та застосування сучасних техніки і технологій було створено нову галузь – теплову геліоенергетику, основою якої є використання пристроїв та обладнання, що перетворюють сонячну радіацію в теплову енергію.

Теплові процеси, які використовують енергію сонячного випромінювання, опрацьовані майже для всіх напрямків теплових технологій теплопостачання – гаряче водопостачання та опалення, холодопостачання, кондиціювання повітря, отримання прісної води, сушка матеріалів та виробів і ряд інших. Для реалізації цих процесів розроблена широка гама необхідних пристроїв та обладнання, здійснюється їх серійне виробництво.

Основним елементом геліосистеми є сонячний колектор, в якому, власне, і відбувається перетворення енергії сонячної радіації в теплову. Тому обсяги впровадження таких систем вираховуються в квадратних метрах сонячних колекторів, розрахунок ведеться по загальній площі та, при порівняльних розрахунках між окремими країнами, по питомих

величинах на одного мешканця.

Теплову енергію сонячного випромінювання можна використовувати в житлових, громадських та промислових будівлях, для сушіння різноманітних продуктів та матеріалів, для використання в технологічних процесах у промисловості та сільському господарстві. Застосування в системах теплопостачання обладнання сонячної теплової енергетики є позитивним з точки зору екології – кількість шкідливих викидів в атмосферу зменшується на величину, яка утворювалась би при згорянні заощадженого органічного палива.

Найбільш широке застосування сонячна енергетика знайшла у системах теплопостачання. Вони використовуються для гарячого водопостачання, опалення та інших потреб, це дозволяє значно зменшити використання органічного палива.

Система працює з 1984 року і допомагає економити 10-20 % ще й теплової енергії на опалення. Способи використання сонячної енергії в будинках і в промисловості наведено в [19, 20].

У всіх країнах, де має місце високий рівень приросту об'ємів впровадження сонячних колекторів, створено повний комплекс нормативно- правового забезпечення процесу, діють державні програми, що включають повне нормативно-методичне забезпечення діяльності в галузі сонячної теплоенергетики і пакет засобів економічної підтримки (як правило, або кредити, або податкове зарахування витрачених засобів); створена розгалужена інфраструктура з підрозділами на рівні територіальних громад. Важливою формою роботи є розвиток суспільної думки, що підтримує такі кроки. Мати геліоустановки на даху свого будинку або підігрівати воду в басейні – це не тільки вигідно, але й соціально престижно.

1.4 Енергія малих річок

Гідроелектростанція (ГЕС) це сукупність споруд і устаткування,

призначених для перетворення механічної енергії потоку води в електроенергію [1]. Гідроелектросанції характеризуються високою ефективністю перетворення наявних гідроенергетичних ресурсів в електроенергію. Коефіцієнт корисної дії знаходиться у межах 70-90 %, іноді ще вище.

Гідроенергетика відноситься до освоєних способів виробництва електроенергії без використання викопного органічного і ядерного палива, та має досить прогнозований відновлюваний енергоресурс, найменшу собівартість серед традиційних та більшості нетрадиційних технологій, унікальні маневрові й мобільні властивості, характеризується значним експлуатаційним ресурсом. Висока маневреність ГЕС сприяє вирішенню складних завдань регулювання електропостачання споживачам у об'єднаній енергосистемі та забезпечення її стійкості з врахуванням графіків нерівномірного навантаження, підвищення надійності, безпеки та ефективності виробництва.

Гідроелектростанції будь-якої потужності впливають на економічний та соціальний розвиток прилеглих територій завдяки створенню умов для водопостачання населених пунктів і господарств, судноплавства, рекреацій, риборозведення, зрошення. Ще одна позитивна властивість ГЕС полягає в можливій участі гідроелектростанції в системі керованого захисту територій від повеней. В Україні накопичено унікальний досвід у цьому питанні.

Згідно Закону України «Про електроенергетику» до об'єктів альтернативної енергетики відноситься мала гідроенергетика. Освоєння потенціалу малих річок з використанням малих гідроелектростанцій (МГЕС) допомагає вирішити проблему покращення енергозабезпечення споживачів.

1.4.1 Класифікація малих гідроелектростанцій

У межах малої гідроенергетики України використовують наступну

класифікацію за потужністю:

- *мала гідроелектростанція (мала ГЕС)* – гідроелектростанція, установлена потужність якої становить більше 1 МВт, але не перевищує 10 МВт;

- *мінігідроелектростанція (мініГЕС)* – гідроелектростанція, установлена потужність якої становить більше 0,2 МВт, але не перевищує 1 МВт;

- *мікрогідроелектростанція (мікроГЕС)* – гідроелектростанція, установлена потужність якої не перевищує 0,2 МВт.

Терміносистеми щодо малої гідроенергетики стандартизовані державним стандартом ДСТУ 7501:2014 Гідроенергетика. Гідроелектростанції малі. Терміни та визначення понять [1], який поширюється на гідроелектростанції, їхні робочі характеристики та складові частини.

1.4.2 Охоронні аспекти та засади сталого використання природних ресурсів у нормативно-правовій базі України

В Україні державній охороні і регулюванню використання підлягають земля, надра, водні ресурси, ліси, поєззахисні й водоохоронні лісосмуги, зелені насадження, типові краєвиди, курортні місцевості, рідкісні, корисні, реліктові тварини й рослини, визначні природні об'єкти, державні заповідники і заказники та їхній рослинний і тваринний світ, атмосферне повітря та інші природні багатства, які залучені до господарського обороту, і ті, що їх не експлуатують. Організацію заходів щодо охорони природи та нагляд за їх проведенням здійснюють місцеві органи влади, відомства, інспекції, громадські організації.

Обов'язковою умовою законності ГЕС є наявність дозволів на реконструкцію, будівництво та роботу. ГЕС повинна відповідати і не суперечити принципам та умовам, які ставлять перед країною наступні документи:

1. Рамкова конвенція про охорону та сталий розвиток Карпат [10] та Протокол до Рамкової конвенції про збереження і стале використання біологічного та ландшафтного різноманіття [11];
2. Бернська конвенція [12];
3. Європейська ландшафтна конвенція [13];
4. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» [14];
5. Водний кодекс України [15];
6. Земельний кодекс України [16];
7. Лісовий кодекс [17].

Кожний з цих документів має свої цілі та шляхи їх досягнення, але всі вони поєднані однією метою, а саме – охорона, збереження та стале використання природних ресурсів.

Висновки до розділу 1

Використання відновлюваних джерел для вирішення проблем енергозабезпечення населення та промисловості є надзвичайно важливим для України, що в першу чергу пов'язано з енергодефіцитністю і негативними тенденціями в галузі існуючої вітчизняної енергетичної системи та незадовільним станом оточуючого середовища.

Головним завданням для нашої країни в даний час є створення науково-технічної бази відновлюваної енергетики з метою поступової заміни в Україні традиційних методів отримання енергії на практично невичерпні екологічно чисті відновлювані джерела енергії в межах доцільної реалізації їх потенціалу. Пошук перспективних шляхів розвитку техніки та технологій на основі використання енергії відновлюваних джерел є однією з проблем, вирішення якої в Україні дасть гарантію енергетичної безпеки, що є одночасно і гарантією незалежності держави.

2 ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ ПІДПРИЄМСТВА

Розглянемо задачу підвищення рівня енергоефективності на прикладі підприємства машинобудівної промисловості шляхом проведення його енергетичного обстеження.

2.1 Загальні відомості про підприємство

Основний напрямок діяльності - комплексне забезпечення спеціалізованим і броньованим автотранспортом підрозділів інкасації банківських установ, охоронних і СІТ (cash-in-transit) компаній, виробництво броньованих автомобілів для силових відомств, виробництво броньованих автомобілів для інкасації, сертифікованих інкасаторських сейфів, бронювання автомобілів для приватних осіб, виробництво автомобілів екстреної медичної допомоги.

Підприємство співпрацює в проєктах з проєктування і виробництва спеціалізованих автомобілів під індивідуальні технічні вимоги Замовників - мобільні центри, мобільні майстерні та автомобілі офіси, спецтехніка які успішно експлуатуються в силових відомствах, аварійних службах, великих підприємствах державного і приватного сектора.

Основні напрямки діяльності:

- виробництво і обслуговування броньованих автомобілів для інкасації та перевезення цінностей
- виробництво броньованих автомобілів представницького класу на базі легкових автомобілів і позашляховиків
- виробництво транспорту для спецслужб
- виробництво автомобілів екстреної (швидкої) медичної допомоги
- виробництво пересувних авто лабораторій і автомайстерень
- сервісне обслуговування броньованих інкасаторських автомобілів на власному СТО

- доопрацювання спецтранспорту за індивідуальними проектами
- заміна та ремонт броньованого скла і ходової системи на бронеавтомобілі.

Структура підприємства:

- 1) Науково-технічний центр;
- 2) Виробничі цехи;
- 3) Станція технічного обслуговування спеціалізованих і броньованих автомобілів;
- 4) Комерційна служба.

2.2 Аудит системи електропостачання

2.2.1 Характеристика джерела живлення

Підприємство живиться від підстанції «35» 35/10 кВ, яка в свою чергу живиться від двох повітряних ліній (ПЛ) 35 кВ. Напруга живлення підприємства 10 кВ.

2.2.2 Споживачі паливно-енергетичних ресурсів

На підприємстві працюють силові споживачі змінного струму промислової частоти з напругою живлення 0,38 кВ та споживачі адміністративних і побутових корпусів, що живляться від мережі 220В. Напруга системи освітлення прийнята 220 В.

Споживання електроенергії. Основним електроспоживаючим обладнанням є: обладнання для ремонту і обслуговування (плазменно-дугові різакі, електроінструмент, сварочне оснащення), обладнання котельні (вентилятори), освітлення виробничих приміщень і території, компресори, , що живляться від трифазної мережі з частотою 50 Гц напругою 0,38 кВ.

При цьому там де це доцільно були встановлені частотні перетворювачі, що дозволило мінімізувати споживання енергії.

До основних груп обладнання, що споживають електричну енергію на підприємстві, можна віднести:

- вентиляція;
- підігрів приточного повітря;
- плазменно-дугові різачи;
- компресорне оснащення;
- сварочне оснащення;
- електроінструмент.

Усі споживачі відносяться до другої категорії надійності електропостачання. Зведемо споживачів електричної енергії на підприємстві у таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Електроспоживче обладнання підприємства

Обладнання	Встановлена потужність, кВт	К-сть одиниць обладнання	Загальна встановлена потужність, кВт
Вентиляція (двигун) (ПВ-80-90%)	0,37	3	1,11
Вентиляція (двигун) (ПВ-80-90%)	4,79	1	4,79
Вентиляція (двигун) (ПВ-80-90%)	3	1	3
Вентиляція (двигун) (ПВ-80-90%)	5,5	2	11
Підігрів приточного повітря	45	1	45
Підігрів приточного повітря	15	1	15
Плазменно-дуговий різак(ПВ-30-40%)	10	1	10
Плазменно- дуговий різак(ПВ-30-40%)	17	1	17
Плазменно- дуговий різак(ПВ-30-40%)	19	1	19
Компресорне оснащення (ПВ-50-60%)	3	2	6
Компресорне оснащення (ПВ-50-60%):	4	1	4
Сварочні апарати	5,5	40	220
Електроінструмент	10	1	10

2.2.3 Трансформаторні підстанції, їх кількість, потужність

На підприємстві розташовано 2 трансформаторних підстанції:

- ТП 965 (в якій встановлено 2 трансформатори ТМ-1000 кВА), яка живиться кабелями 2хААБл-3х185 довжиною 1150 м від ПС «Мила»;
- ТП 890 (в якій встановлено 2 трансформатори ТМ-1000 кВА), яка живиться кабелями 2хААБл-3х185 довжиною 200 м від ТП965.

2.2.4 Розрахунок електричних навантажень силових електроприймачів трансформатора №1 на ТП-965

Розрахунок навантажень окремих трансформаторів відбувається методом розрахункових коефіцієнтів. Вихідними даними є номінальна потужність окремих споживачів, їх коефіцієнт потужності і кількість споживачів.

Розрахунок навантажень 0,4 кВ окремих цехів покажемо на прикладі ремонтно-механічного цеху. Для характерних груп електроспоживачів визначається коефіцієнт використання.

Величина проміжно активного навантаження за найбільш навантажену зміну $P_{пр.}$ визначається за виразом :

$$P_{пр.} = \sum_{i=1}^n (k_{в.і} \cdot P_{ном.і}), \quad (2.1)$$

де $k_{в.і}$ – коефіцієнт використання активної потужності і-ої групи ЕП;

$P_{ном.і}$ – номінальна потужність і-ої групи ЕП, кВт;

n – кількість груп ЕП.

Проміжне реактивне навантаження за найбільш навантажену зміну $Q_{пр.}$ визначається за виразом :

$$Q_{\text{пр.}} = \sum_{i=1}^n Q_{\text{пр.}i} = \sum_{i=1}^n (P_{\text{ном.}i} \cdot k_{\text{в.}i} \cdot \text{tg} \varphi_i), \quad (2.2)$$

де φ_i – кут зсуву фаз струму та напруги i -го ЕП.

Дані розрахунків електричних навантажень зведемо в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Дані для розрахунку електричного навантаження

Установка	К-ть	Т, ч	$P_{\text{ном. сум}}$ кВт	$K_{\text{в}}$	$\cos \varphi$	$\text{tg} \varphi$	$P_{\text{пр}}$	$Q_{\text{пр}}$
Вентиляція (двигун)	3	1964	1,11	0,	0,60	0,6	0,24	0,20
Вентиляція (двигун)	1	6149,	4,79	0,	0,60	0,6	3,16	2,72
Вентиляція (двигун)	1	6149,	3	0,	0,60	0,6	2,32	1,99
Вентиляція (двигун)	2	1964	11	0,	0,60	0,6	0,24	0,20
Підігрів приточного	1	5037,	45	0,	0,68	0,4	71,4	44,2
Підігрів приточного	1	5782,	15	0,	0,68	0,4	99,0	61,3
Плазменно-дуговий різак	1	5782,	10	0,	0,68	0,4	99,0	61,3
Плазменно-дуговий різак	1	1965,	17	0,	0,28	2,1	3,13	8,40
Плазменно-дуговий різак	1	6054,	19	0,	0,76	0,2	11,3	3,74
Компресорне оснащення	2	5236,	6	0,	0,60	0,6	0,90	0,77
Компресорне оснащення	1	1964	4	0,	0,60	0,6	0,24	0,20
Сварочні апарати	40	6149,	220	0,	0,60	0,6	3,16	2,72
Електроінструмент	1	6149,	10	0,	0,60	0,6		1,99
		6	70	8	88		2,32	2
			365,				296,	189,

Груповий коефіцієнт використання $k_{\text{г}}$ підраховується за формулою:

$$K_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{пр.}i}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{ном.}i}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\text{ном.}i} \cdot k_{\text{в.}i}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{ном.}i}}; \quad (2.3)$$

$$K_{\text{в}} = \frac{296,5}{365,9} = 0,82$$

Ефективне число електроприймачів визначається за виразом:

$$n_e = \frac{\left(\sum_{i=1}^n P_{\text{ном.}i} \right)^2}{\sum_{i=1}^n P_{\text{ном.}i}^2}, \quad (2.4)$$

$$n_e = \frac{(365,9)^2}{39377,3} = 2,6 \approx 3 \text{ шт.}$$

Розрахункове навантаження P_p знаходиться за виразом (2.5):

$$P_p = K_{p.a} \cdot P_{\text{пр.ц}}, \quad (2.5)$$

де $K_{p.a}$ – коефіцієнт максимуму згідно в залежності від n_e та K_B .

(при $K_B=0,8$ $K_{p.a}=1$ незалежно від n_e)

$$P_p = 1 \cdot 296,5 = 296,5 \text{ кВт}$$

Розрахункове реактивне навантаження знаходиться за виразом (2.6):

$$Q_p = K_{p.p} \cdot Q_{\text{пр.ц}}, \quad (2.6)$$

де $K_{p.p}$ – коефіцієнт максимуму реактивного навантаження:

(при $n_e < 10$ $K_{\phi.\phi.} = 1,1$)

$$Q_p = 1,1 \cdot 189,9 = 208,89 \text{ квар}$$

Розрахункова потужність S_p підраховується за формулою (2.7):

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (2.7)$$

$$S_p = \sqrt{296,5^2 + 208,89^2} = 362,7 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Розрахунок навантажень систем освітлення:

В побутовому корпусі розміщено 96 ламп типу ЛБ 40, $\Phi=2800$ лм,

$\cos \varphi_0 = 0,85$.

Розрахункова активна потужність:

$$P_{p.o} = 96 \cdot 0,4 \cdot 1,1 = 42,2 \text{ кВт}$$

де $k_{\text{пра}}$ - коефіцієнт, що враховує втрати потужності в пускорегулюючій апаратурі.

Для газорозрядних ламп розрахункова реактивна потужність

$$Q_{p.o} = P_{p.o} \cdot \operatorname{tg} \varphi_0, \quad (2.8)$$

де $\operatorname{tg} \varphi_0$ – відповідно $\cos \varphi_0$ для кожного типу ламп.

$$Q_{p.o} = 42,24 \cdot 0,62 = 26,18 \text{ квар}$$

Розрахунок електричних навантажень по ремонтно-механічного цеху:

$$P_{\Sigma p} = P_p + P_{p.o.}, \quad (2.9)$$

$$P_{\Sigma p} = P_p + P_{p.o} = 296,5 + 42,24 = 338,74 \text{ кВт}$$

$$Q_{\Sigma q} = Q_p + Q_{p.o.}, \quad (2.10)$$

$$Q_{\Sigma q} = Q_p + Q_{p.o} = 208,89 + 26,18 = 235,07 \text{ квар},$$

$$S_{\Sigma p} = \sqrt{P_{\Sigma p}^2 + Q_{\Sigma p}^2}, \quad (2.11)$$

$$S_p = \sqrt{338,74^2 + 235,07^2} = 412,3 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

2.2.5 Розрахунок електричних навантажень ТП

2.2.5.1 Вибір кількості та потужності трансформаторів з врахуванням компенсації реактивної потужності

Вибір числа і економічної потужності трансформаторів здійснюється одночасно з вибором низьковольтних батарей конденсаторів (НБК).

Потужність трансформаторів рекомендується визначати за питомою густиною навантаження, $\text{кВ} \cdot \text{А} / \text{м}^2$

$$\sigma_s = \frac{S_m}{S}, \quad (2.12)$$

де S_M – розрахункове навантаження цеху, кВ·А;

S – площа цеху, м².

$$\sigma_s = \frac{412,3}{2425} = 0,17$$

Згідно розрахункового навантаження приймаємо до встановлення трансформатор з номінальною потужністю $S_{\text{ном.т}} = 1000$ кВА.

Мінімальне число трансформаторів N_{min} однакової потужності $S_{\text{н.тр}}$, що призначені для живлення технологічно зв'язаних навантажень:

$$N_{\text{min}} = \frac{S_p}{K_3 \cdot S_{\text{н.тр}}} + \Delta N \quad (2.13)$$

де S_p – максимальне навантаження даної групи споживачів, кВ·А;

K_3 – коефіцієнт завантаження трансформатора при більшості споживачів 2-ї категорії приймається 0,7 – 0,8;

ΔN – дробовий доданок до найближчого цілого числа

$S_{\text{н.тр}}$ – номінальна потужність трансформатора, кВ·А.

$$N_{\text{min}} = \frac{412,3}{0,75 \cdot 1000} + 0,81 = 1$$

Також розрахуємо некомпенсовану потужність $Q_{\text{мах.т}}$, яка передаватиметься через трансформатор в мережу 0,38 кВ.

Вона визначається за формулою (2.14):

$$Q_{\text{мах.т}} = \sqrt{(n_{\epsilon} k_{3.\phi} S_{\text{т.ном}})^2 - P_{\text{р.0,38}}^2} \quad (2.14)$$

де $k_{3.\phi}$ – фактичний коефіцієнт завантаження

$$k_{3.\phi} = \frac{S_p}{n_{\epsilon} \cdot S_{\text{т.ном}}} \quad (2.15)$$

$$K_{3.\phi} = \frac{412,3}{1 \cdot 1000} = 0,41$$

$$Q_{maxT} = \sqrt{(1 \cdot 0,41 \cdot 1000)^2 - 338,74^2} = 230,98 \text{ квар.}$$

Потужність низковольтних конденсаторів для компенсації реактивної потужності визначається за виразом (2.16):

$$Q_{HK1} = Q_{p.0,38} - Q_{max.T}, \quad (2.16)$$

$$Q_{HK1} = 235,07 - 230,98 = 4,09 \text{ квар}$$

Додаткова потужність низковольтних конденсаторів визначається за виразом (2.17):

$$Q_{HK2} = Q_{p.0,38} - Q_{HK1} - \gamma n_e S_{T.ном}, \quad (2.17)$$

де γ – розрахунковий коефіцієнт, що знаходиться за кривими [2] у функції K_1 , K_2 і схеми живлення.

Показник K_1 характеризує відношення питомих витрат на низько- та високовольтні конденсатори і в практичних розрахунках для енергетичної системи України при кількості робочих змін 3 дорівнює 11. Показник K_2 враховує віддаленість ТП від РП ГПП та потужність трансформаторів.

Отже:

$$Q_{HK2} = 235,07 - 4,09 - 0,65 \cdot 1 \cdot 1000 = -419,02 \text{ квар}$$

Як бачимо, встановлення двох трансформаторів по 1000 кВА є економічно не вигідним і тягне за собою збільшення втрат через роботу трансформатора в режимі недовантаження, тобто збільшення часу роботи в режимі холостого ходу.

Тому, скомпенсуємо частину реактивної потужності щоб використовувати один трансформатор 1000 кВА в режимі номінального завантаження. Встановимо компенсаторні батареї потужністю 200 квар (2x100 квар).

Тоді розрахункова реактивна потужність буде становити:

$$Q_{\Sigma Q} = Q_p + Q_{p.o} - Q_{комп} = 208,89 + 23,18 - 200 = 32,07 \text{ квар}$$

Розрахункова потужність для вибору трансформатора визначимо за формулою 2.7.:

$$S_p = \sqrt{338,74^2 + 32,07^2} = 340,26 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Згідно розрахункового навантаження приймаємо до встановлення трансформатор з номінальною потужністю $S_{\text{ном.т}} = 1000 \text{ кВ} \cdot \text{А}$.

Мінімальне число трансформаторів N_{min} однакової потужності $S_{\text{н.тр}}$, що призначені для живлення технологічно зв'язаних навантажень розрахуємо за формулою 2.13:

$$N_{\text{min}} = \frac{340,26}{0,75 \cdot 1000} + 0,02 = 1$$

Також розрахуємо некомпенсовану потужність $Q_{\text{мах.т}}$, яка передаватиметься через трансформатор в мережу 0,38 кВ.

Вона визначається за формулою (2.14):

$$Q_{\text{мах.т}} = \sqrt{(n_e k_{3.ф} S_{\text{т.ном}})^2 - P_{\text{р.0,38}}^2}, \quad (2.14)$$

де $k_{3.ф}$ – фактичний коефіцієнт завантаження

$$k_{3.ф.} = \frac{S_p}{n_e \cdot S_{\text{т.ном}}}, \quad (2.15)$$

$$K_{3.ф} = \frac{338,74}{1 \cdot 1000} = 0,339$$

$$Q_{\text{махт}} = \sqrt{(1 \cdot 0,339 \cdot 1000)^2 - 338,74^2} = 13,27 \text{ квар.}$$

Потужність низковольтних конденсаторів для компенсації реактивної потужності визначається за виразом (2.16):

$$Q_{\text{нк1}} = Q_{\text{р.0,38}} - Q_{\text{мах.т}}, \quad (2.16)$$

$$Q_{\text{нк1}} = 32,07 - 13,27 = 18,8 \text{ квар}$$

Отже, встановлення конденсаторних батарей потужністю 200 квар дало нам можливість використати один трансформатор з номінальним завантаженням, що дає як початковий економічний ефект (затрати на закупку трансформатора знижуються в 2 рази), так і енергозбереження впродовж процесу експлуатації.

Трансформатор, який ми розраховали повністю відповідає встановленому на підприємстві.

2.2.5.2 Розрахунок перерізу кабелю

Переріз жил кабелів напругою 10 кВ вибираємо з перевіркою на умови нагріву довготривалим розрахунковим струмом в нормальному та післяаварійному режимах, на допустиму втрату напруги і на термічну стійкість до струмів короткого замикання.

За розрахункову потужність трансформатора приймаємо максимальне навантаження з врахуванням втрат потужності в трансформаторі.

$$P_{p10} = P_{p,0,38} + \Delta P_T ; \quad (2.18)$$

$$Q_{p10} = Q_{p,0,38} + \Delta Q_T , \quad (2.19)$$

де $P_{p,0,38}$, $Q_{p,0,38}$, – розрахункові навантаження на стороні 0,4 кВ .

$$\Delta P_T = \Delta P_{xx} + \kappa_3^2 \cdot \Delta P_{кз} ; \quad (2.20)$$

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{xx} + \kappa_3^2 \cdot \Delta Q_{кз} ; \quad (2.21)$$

$$\Delta P_T = 1,9 + 0,89^2 \cdot 12,2 = 11,56 \text{ кВт}$$

$$\Delta Q_T = 17 + 0,89^2 \cdot 55 = 60,57 \text{ квар}$$

$$P_{p10} = 338,74 + 11,56 = 350,3 \text{ кВт}$$

$$Q_{p10} = 235,07 + 60,57 = 295,64 \text{ квар}$$

$$S_{p.l} = \sqrt{P_{p10}^2 + Q_{p10}^2} ; \quad (2.22)$$

$$S_{p.l} = \sqrt{350,4^2 + 295,64^2} = 458,45 \text{ кВ} \cdot \text{А}$$

Розрахунковий струм в нормальному режимі визначається як :

$$I_{л} = \frac{S_{л}}{\sqrt{3} \cdot U_{н.}} ; \quad (2.23)$$

$$I_{л} = \frac{458,45}{\sqrt{3} \cdot 10} = 26,5 \text{ А}$$

Приймаємо кабель марки ААБл - 3х35 з $I_{\text{доп}} = 117 \text{ А}$

Умова перевірки кабелю на допустимий струм в нормальному режимі роботи визначається із співвідношення:

$$I_{л} \leq I_{\text{доп.}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 ,$$

$$26,5 \text{ А} \leq 117 \cdot 1,05 \cdot 1,15 \cdot 0,9 = 127 \text{ А}$$

де K_1 – поправний коефіцієнт, що залежить від температури землі та повітря;

K_2 – поправний коефіцієнт, що залежить від кількості числа кабелів прокладених паралельно;

$I_{\text{доп.}}$ – тривалий допустимий струм в нормальних умовах, А.

Перевірка на допустимий струм в післяаварійному режимі відбувається за виразом

$$2 \cdot I_{л} \leq I_{\text{доп.}} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 ,$$

K_3 – допустиме короткочасне перевантаження кабельної лінії;

$$2 \cdot 26,5 \text{ А} \leq 117 \cdot 1,05 \cdot 1,15 \cdot 0,9 = 127 \text{ А}$$

$$53 \text{ А} \leq 117 \cdot 1,05 \cdot 1,15 \cdot 0,9 = 127 \text{ А}$$

Умова виконується.

Втрати напруги в лінії в нормальному режимі роботи складуть:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_{\text{л}} \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi), \quad (2.24)$$

де $l = 0,2$ км – довжина лінії;

$r_0 = 0,62$ Ом/км, $x_0 = 0,09$ Ом/км – відповідно питомий активний і реак-тивний опір лінії;

$\cos \varphi$ – коефіцієнт потужності навантаження лінії.

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot 26,5 \cdot 0,2(0,62 \cdot 0,8 + 0,09 \cdot 0,6) = 5,01 \text{ В}$$

2.2.6 Електричне внутрішнє і зовнішнє освітлення

В адміністративному корпусі, теплопункті підприємства встановлені люмінесцентні лампи типу TLD – 15 та ЛБ-40. На складі та в виробничому цеху встановлені лампи ДРЛ 400 з світильниками типу РСП-400-001-У2.

Освітлення проїздів та доріг, відкритих виробничих майданчиків, а також освітлення для потреб охорони виконується світильниками галогенними прожекторами 150 Вт, які встановлюються на залізобетонних опорах вздовж підприємства, а також на покрівлях та стінах будівель на кронштейнах.

Як приклад розрахуємо освітлення в старому виробничому цеху.

Розміщення світильників на плані цеху визначається наступними даними:

$H = 8$ м - висота цеху;

$h_c = 4$ м - висота підвісу світильника (відстань від світильника до перекриття);

$h_n = 4$ м - висота світильника над підлогою цеху;

$h_p = 0,8$ м - висота робочої поверхні над підлогою;

$h = h_n - h_p = 4 - 0,8 = 3,2$ м - розрахункова висота;

$L_A = 6$ м - відстань між сусідніми рядами світильників;

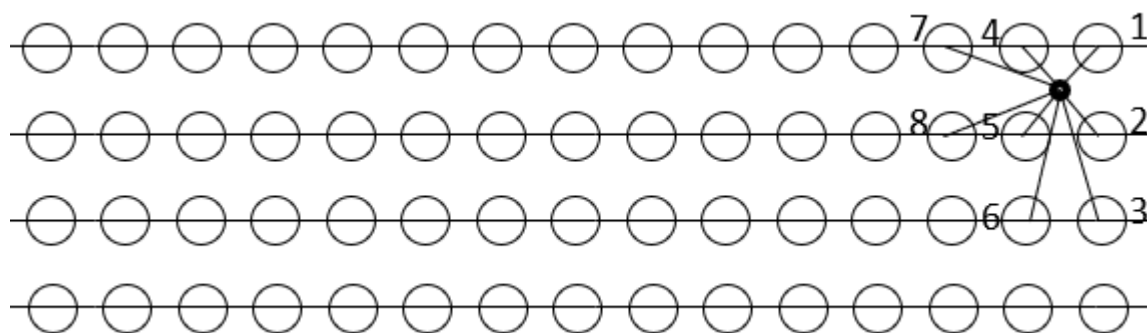
$L_B = 4$ м - відстань між сусідніми світильниками в ряді;

$l_a = 3$ м - відстань від крайніх рядів світильників до стіни.

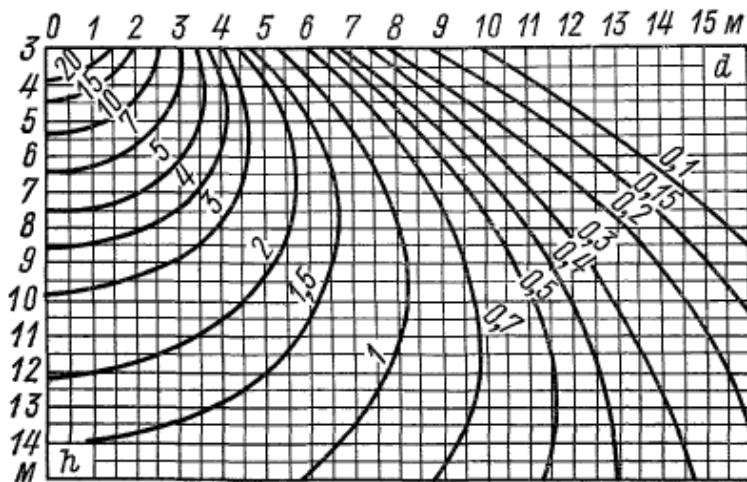
Розрахунок освітлення виконуємо точковим методом.

В ремонтно-механічному цеху розміщено 60 ламп типу ДРЛ 400, $\Phi=19000$ лм, $\cos \varphi_0=0,85$.

Значення умовної освітленості одного світильника e , лк типу РСП-400-001-У2 визначаємо за графіком просторових ізолюкс для умов горизонтальної освітленості. Нижче наведено схему розміщення світильників та криві ізолюкс, див. рис. 2.1.



а)



б)

Рисунок 2.1 - Схема розміщення світильників та криві ізолюкс:

а - у плані; б – криві ізолюкс для світильників типу РСП 08/КЗ

Дані світлотехнічних рішень зведені в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 - Значення умовної освітленості в точці А

Контрольні точки	Номера світильників	Відстань d , м	Умовна освітленість, лк	
			одного світильника	всіх світильників
1	2	3	4	5
А	1, 2, 4, 5	3,6	3	12
	3, 6	9,2	0,7	1,4
	7, 8	6,7	1,4	2,8
				$\sum e = 16,2$ лк

$$E = \frac{\Phi \cdot \mu \cdot \sum_{i=1}^n e_i}{1000 \cdot k_z}, \quad (2.33)$$

де Φ – світловий потік світильника, лм; μ - коефіцієнт неврахування освітленості від інших світильників; $\mu = 1, 1 \dots 1, 2$; k_z - коефіцієнт запасу.

$$E = \frac{19000 \cdot 1,1 \cdot 16,2}{1000 \cdot 1,5} = 225,7 \text{ лк}$$

Для механічних цехів нормована мінімальна освітленість робочої поверхні $E_n = 200$ лк .

Перевірка:

$$E = (0,9 \div 1,2) \cdot E_n = 180 \div 240 \text{ лк}$$

$$180 \text{ лк} < E = 225,7 \text{ лк} < 240 \text{ лк}$$

Виконана перевірка задовільняє нормованій мінімальній освітленості.

2.3 Аналіз споживання енергії та обсягів виробництва на підприємстві

Помісячні обсяги споживання електричної енергії на підприємстві за період 2018-2020 років наведено в таблиці 2.4 та на рис. 2.2.

Таблиця 2.4 – Споживання електричної енергії, 2018-2020 рр.

Місяць	2018, кВт	2019, кВт	2020, кВт
Січень	22 890	27468	25179
Лютий	22 550	27060	24805
Березень	17 340	20808	19074
Квітень	9 025	10830	9927,5
Травень	6 725	8070	7397,5
Червень	5 855	7026	6440,5
Липень	6 765	8118	7441,5
Серпень	9 845	11814	10829,5
Вересень	13 655	16386	15020,5
Жовтень	14 071	16885,2	15478,1
Листопад	18 094	21712,8	19903,4
Грудень	22 011	26413,2	24212
Всього	168 826	202 591	185 709

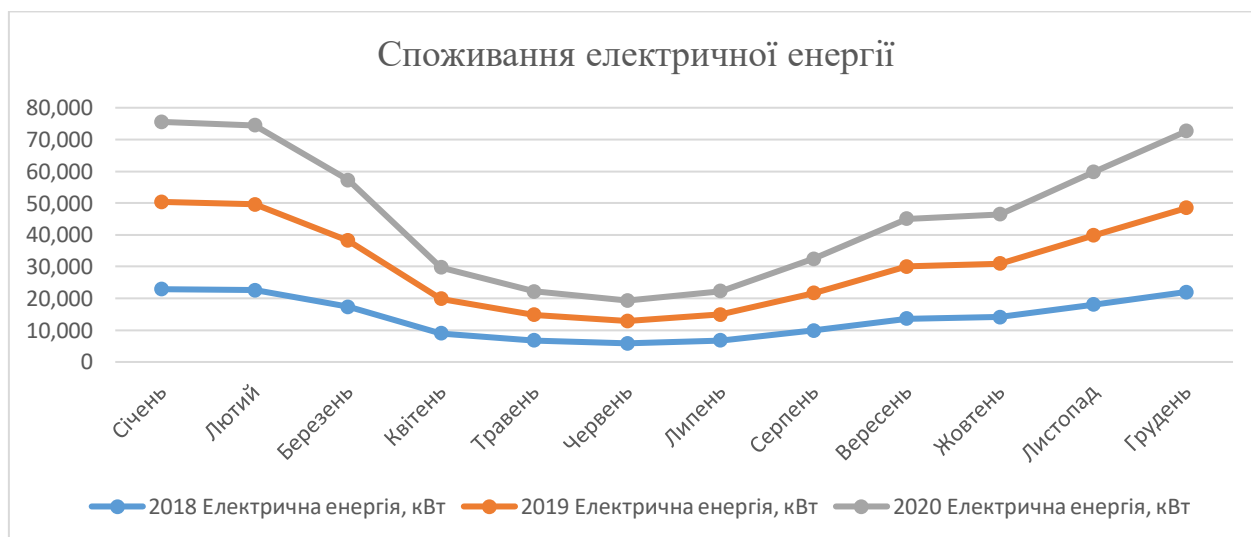


Рисунок 2.2 – Споживання електричної енергії, 2018-2020 рр.

Розглянемо графіки електроспоживання за день на підприємстві, рис. 2.3

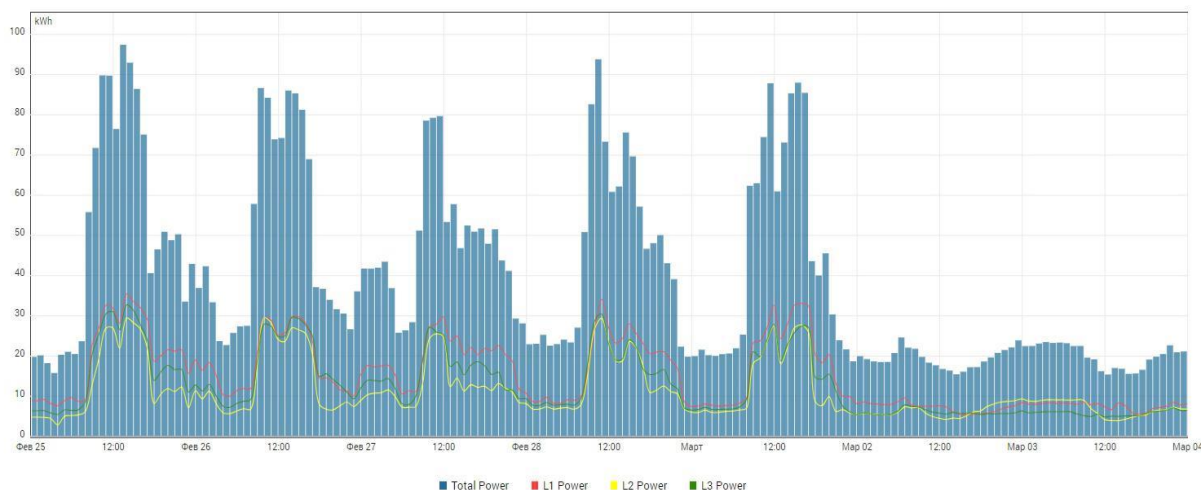


Рисунок 2.3 – Добове споживання електроенергії протягом тижня

2.4 Рівномірність споживання електроенергії

На рис. 2.4 показано рівномірність споживання електричної енергії на підприємстві

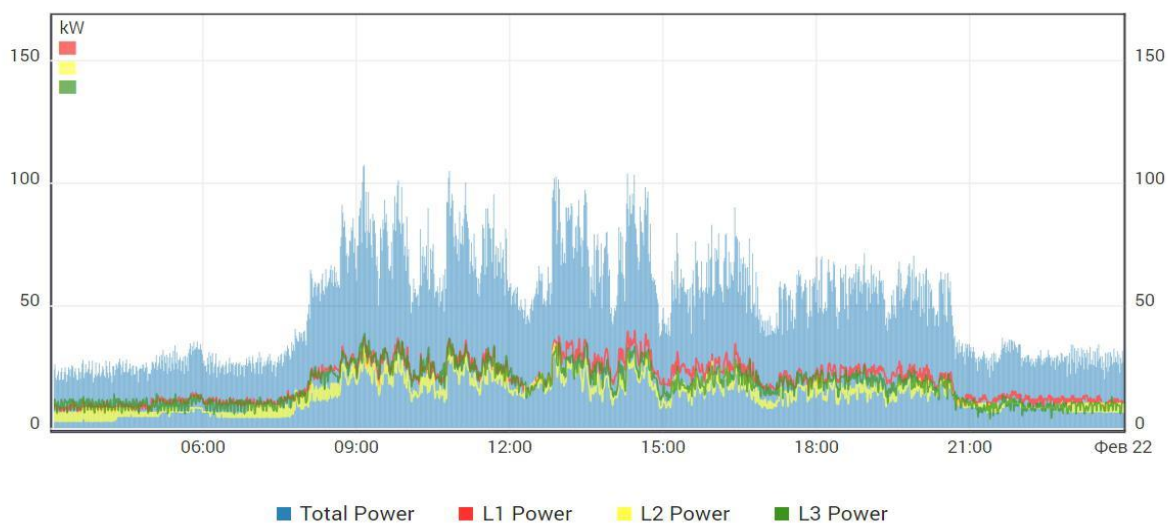


Рисунок 2.4 - Похвилинний графік споживання у робочий день

З огляду на графік можна зробити висновок, що є:

Рівномірний розподіл навантаження за фазами

Суцільний графік споживання, без просідань у денний час

2.5 Аудит системи теплопостачання

2.5.1 Система теплопостачання і гарячого водопостачання

Джерелом теплопостачання є існуюча котельня ДЕУ, яка межує з майданчиком забудови. Точка підключення безпосередньо в котельні. Теплоносій - вода з параметрами:

- температура води в подавальному трубопроводі - 95°,
- температура води в зворотному трубопроводі - 70°,
- тиск води в подавальному трубопроводі -70 м в.ст.,
- тиск води в зворотному трубопроводі 45 м в ст.

Проектом передбачена і виконана прокладка тепломережі із попередньоізолюваних труб виробництва Київського сантехпідприємства з системою аварійної сигналізації за технологією АВВ .

Передізолювана труба складається із провідної сталеві труби, що розташована центрично в оболонці із поліетиленової труби. Простір між провідною і захисною трубами заповнений поліуретановою піною, до якої вмонтовані елементи аварійної сигналізації.

Для трубопроводів теплових мереж застосовані сталеві електрозварювальні труби згідно [21].

Компенсація теплових подовжень трубопроводів вирішується за рахунок кутів повороту траси тепломережі. З метою надання можливості переміщення компенсуючих колін і прийняття згину труб на ділянках гнучкої компенсації, виконані компенсаційні зони, застосовувавши для обертання трубопроводів мінераловатні плити М-75 товщиною 50-60 мм в 2 шари з подальшим обгортанням зовні поліетиленовою плівкою (заклейка стиків клейкою стрічкою) або рубероїдом з промасленням стиків. В місцях виконання компенсаційних зон виконано розширення траншеї.

Спуск води з трубопроводів теплових мереж передбачено в дренажні колодязі.

Тепловий пункт розташований в приміщенні адміністративного будинку. Схеми підключення місцевих систем до теплових мереж прийняті:

- опалення - по залежній схемі з насосним підмішуванням (встановлені на подавальному трубопроводі системи опалення), з встановленням регулятора витрати теплоносія та регулятора температури на подавальному трубопроводі;
- гаряче водопостачання - по закритій схемі через пластинчасті теплообмінники ГВП по паралельній схемі з встановленням регулятора температури на подавальному трубопроводі до теплообмінника ГВП.

Циркуляційні насоси систем опалення адміністративного будинку прийняті імпорного виробництва «GRUNDFOS», циркуляційні насоси систем гарячого водопостачання - імпорного виробництва «GRUNDFOS» (теплообмінні модулі).

Трубопроводи в межах теплового пункту підлягають ізоляції матами скловолокнистими типу «Ізовер» $\delta=40$ мм. Покрівельний шар – негорюча тканина з скляних кручених комплексних ниток. Системи опалення з місцевими приладами проєктовані двохтрубні, регульовані, с бічним підводом теплоносія.

Опалення щитової у енергоблоку - за допомогою регістрів, які зварені із сталевих труб та усі з'єднання виконані на зварці. Опалення виробничих приміщень проєктовано у неробочий час з можливістю підтримання в приміщеннях температури $+5^{\circ}\text{C}$.

2.5.2 Розрахунки теплового навантаження підприємства та складання балансів теплоспоживання

Для розрахунку теплових навантажень системи опалення були використані такі дані, див. табл.2.5:

Таблиця 2.5 – Дані для розрахунку теплового навантаження

Кліматичні дані:	
Географічна широта	51 ⁰ Пн.ш
Барометричний тиск	990 ГПа
Розрахункові параметри зовнішнього повітря:	
Для проектування опалення взимку	-21 °С
Середня температура опалювального періоду	-0,5 °С
Температурна зона України	1
Кількість опалюваних днів на рік за $t < 8^{\circ}\text{C}$	187
Кількість градусодіб опалювального періоду	3572
Швидкість вітру взимку	4,2 м/с
Швидкість вітру влітку	1 м/с

Розрахуємо теплове навантаження побутового корпусу. Для цього скористаємось програмним забезпеченням одного з європейських виробників труб із зшитого поліетилену UPONOR. Температури по приміщеннях вибрані згідно [5]. Кратності повітрообміну вибрані згідно [6] та [7].

Розглянемо конструктиви огорожувальних конструкцій (див таблиці 2.6-2.11) та графіки падіння температур (див. рисунки 2.5 – 2.7)

Таблиця 2.6 – Конструктив зовнішньої стіни

Матеріал шару	d [мм]	λ [Вт/(м*К)]	R [(м²*К)/Вт]
Стіна зовнішня			
Штукатурка пісчано-цементна (EN 12524)	10	1	0,01
Газо- и пінобетон (600)	300	0,22	1,364
Утеплювач Rockwool ROCKMUR	50	0,04	1,25
Штукатурка пісчано-цементна (EN 12524)	10	1	0,01

$$\text{Загальний опір } R_c = 2,792 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

Загальний опір програма розраховує за формулою 3.1:

$$R = \frac{1}{\alpha_{\text{вн}}} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{\delta_n}{\lambda_n} + \frac{1}{\alpha_3}, \quad (2.47)$$

де $\alpha_{\text{вн}}$ - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної

конструкції (згідно [5] та [8] $\alpha_{\text{вн}} = 8,7 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$ - для зовнішніх стін, перекриттів, $\alpha_{\text{вн}} = 8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$ - для вікон, балконних дверей, вітражів)

δ_1 – товщина поточного слою

λ_1 – коефіцієнт теплопровідності поточного слою

α_3 - коефіцієнт тепловіддачі внутрішньої поверхні огорожувальної конструкції (згідно [5] та [8] $\alpha_{\text{вн}} = 23 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$)

$$R_{\text{с.з}} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,01}{1} + \frac{0,3}{0,22} + \frac{0,05}{0,04} + \frac{0,01}{1} + \frac{1}{23} = 2,792 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

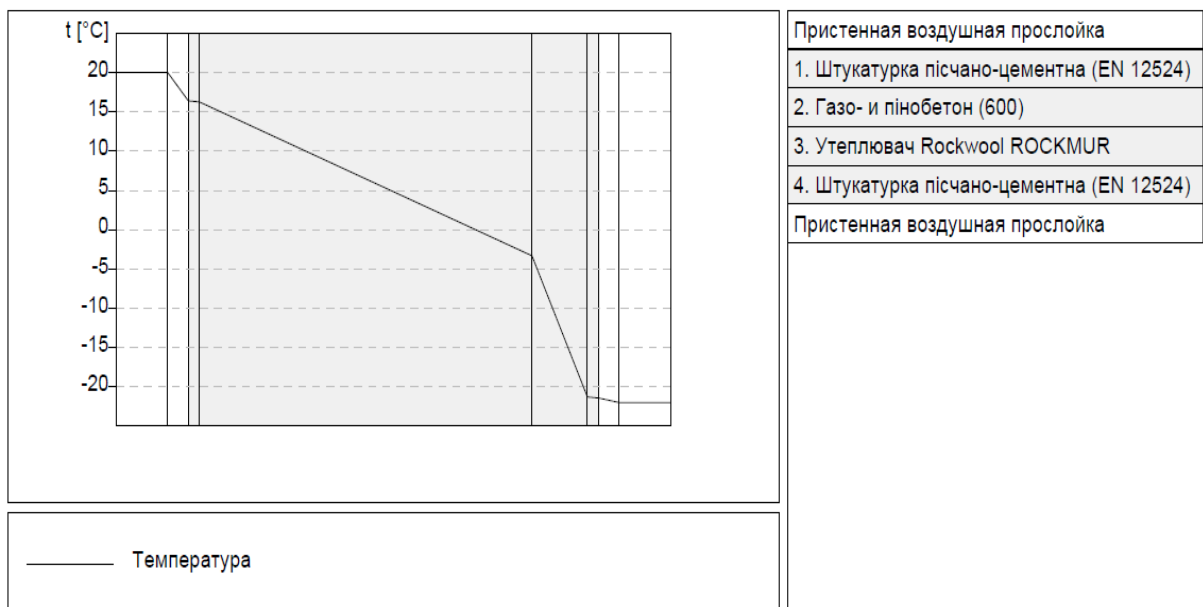


Рисунок 2.5 – Графік падіння температури через шари зовнішньої стінки

Таблиця 2.7 – Конструктив покрівлі

Матеріал шару	d [мм]	λ [Вт/(м*К)]	R [(м²*К)/Вт]
Покрівля			
Бетон армований з 1 % сталі (EN 12524)	220	2,3	0,096
Утеплювач Rockwool DACHROCK	120	0,04	3
Цементно-пісчана стяжка	20	0,76	0,026
Рубероїд	3	0,17	0,018

$$\text{Загальний опір } R_{\Pi} = 3,298 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

$$R_{\Pi} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,22}{2,3} + \frac{0,12}{0,04} + \frac{0,02}{0,76} + \frac{0,03}{0,17} + \frac{1}{23} = 3,298 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

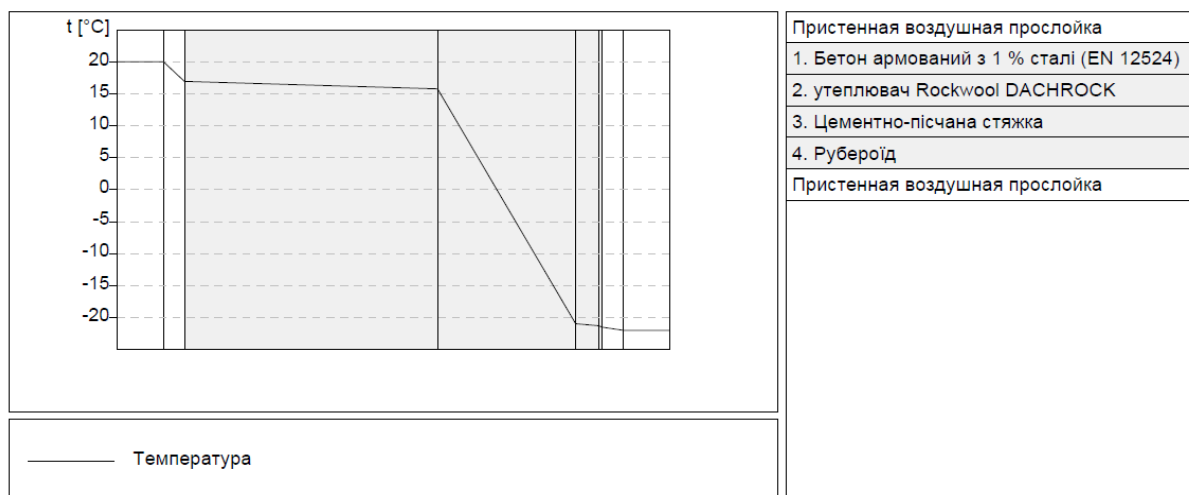


Рисунок 2.6 – Графік падіння температури через шари покрівлі

Таблиця 2.8 – Конструктив спареного вікна в дерев'яній рамі

Матеріал шару	d [мм]	λ [Вт/(м*К)]	R [(м²*К)/Вт]
Вікно зовнішнє			
Скло - кварцеве (EN 12524)	3	1,4	0,002
Повітряна прослойка неventильована	50	---	0,17
Скло - кварцеве (EN 12524)	3	1,4	0,002
Повітряна прослойка ventильована	100	---	0,23

Продовження таблиці 2.8

Скло - кварцеве (EN 12524)	3	1,4	0,002
Повітряна прослойка неvented	50	---	0,17
Скло - кварцеве (EN 12524)	3	1,4	0,002

$$\text{Загальний опір } R_b = 0,747 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

Як бачимо з рисунку 2.11, при зовнішній температурі -22°C на внутрішній поверхні вікна можливе випадіння конденсату.

$$R_b = \frac{1}{8,7} + \frac{0,03}{1,4} + 0,17 + \frac{0,03}{1,4} + 0,23 + \frac{0,03}{1,4} + 0,17 + \frac{0,03}{1,4} + \frac{1}{23}$$

$$= 0,747 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

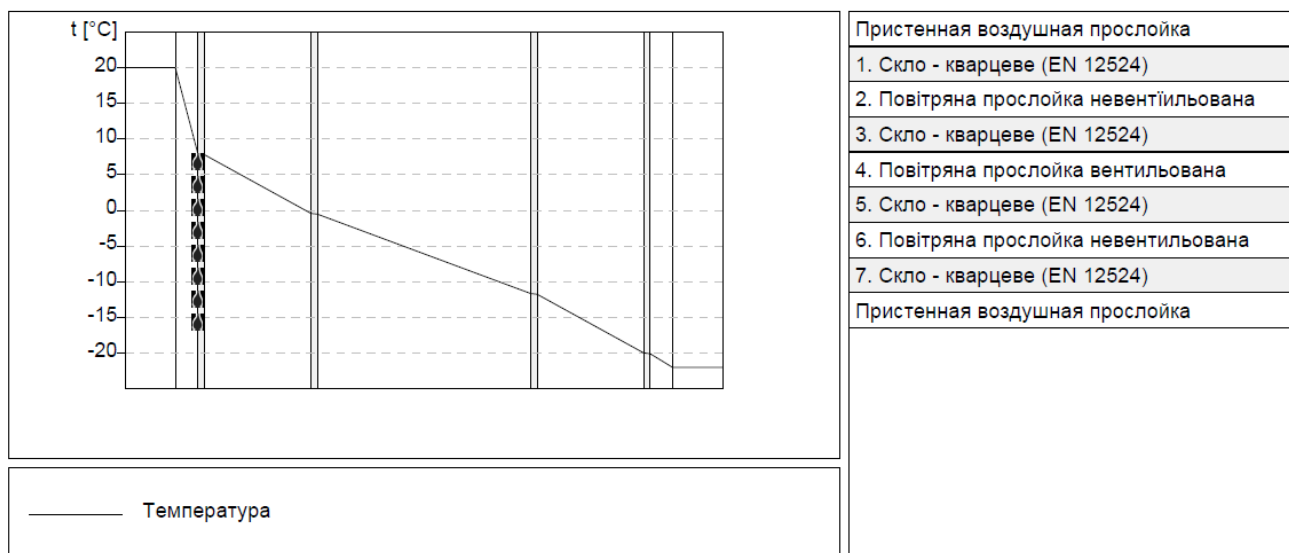


Рисунок 2.7 – Графік падіння температури через шари вікна

Таблиця 2.9 – Конструктив підлоги на ґрунті

Матеріал шару	d [мм]	λ [Вт/(м*К)]	R [(м²*К)/Вт]
Підлога на ґрунті			
Плитка керамічна	5	1	0,005
Цементно-пісчана стяжка	30	0,76	0,039
Бетон армований з 1 % сталі (EN 12524)	250	2,3	0,109

Тепловтрати через підлогу, розташовану безпосередньо на ґрунті, розраховують по зонах. Для цього поверхню підлоги ділять на смуги шириною 2 м, паралельні зовнішнім стінам. Смугу, найближчу до зовнішньої стіни, позначають першою зоною, наступні дві смуги - другою і третьою, а решту поверхні підлоги - четвертою зоною. Загальний опір визначають за формулою 2.48:

$$R = R_{н.п} + \sum \frac{\delta_i}{\lambda_i}, \quad (2.48)$$

де $R_{н.п}$ - опір теплопередачі зони підлоги, що розглядається:

$$\text{Зона I} \quad R_I = 2,1 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

$$\text{Зона II} \quad R_{II} = 4,3 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

$$\text{Зона III} \quad R_{III} = 8,6 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

$$\text{Зона IV} \quad R_{IV} = 14,2 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

$$R_I = 2,1 + 0,005 + 0,039 = 2,144 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

Аналогічно розрахуємо інші 3 зони.

$$\text{Загальний опір в зоні I} \quad R_I = 2,144 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

$$\text{Загальний опір в зоні II} \quad R_{II} = 4,344 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

$$\text{Загальний опір в зоні III} \quad R_{III} = 8,644 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

$$\text{Загальний опір в зоні IV} \quad R_{IV} = 14,244 \frac{\text{м}^2 \cdot \text{К}}{\text{Вт}}$$

Таблиця 2.10 – Конструктив внутрішньої тонкої стіни

Матеріал шару	d [мм]	λ [Вт/(м*К)]	R [(м ² *К)/Вт]
Стіна внутрішня тонка			
Цегла глиняна на цем.-пісч. розчині	120	0,7	0,171

$$R_{c.B} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,12}{0,7} + \frac{1}{17} = 0,345 \frac{m^2 \cdot K}{Bt}$$

Таблиця 2.11 – Конструктив внутрішньої товстої стіни

Матеріал шару	d [мм]	λ [Вт/(м*К)]	R [(м²*К)/Вт]
Стіна внутрішня товста			
Пінобетон	300	0,22	1,364

$$R_{c.B} = \frac{1}{8,7} + \frac{0,3}{0,22} + \frac{1}{17} = 1,537 \frac{m^2 \cdot K}{Bt}$$

Зведемо дані для всіх огорожувальних конструкцій в таблицю 2.12.

Таблиця 2.12 – Зовнішні огорожувальні конструкції

Огорожувальна конструкція	R [(м²*К)/Вт]
Стіна зовнішня	2,792
Стіна внутрішня тонка	0,345
Стіна внутрішня тонка	1,537
Покрівля	3,298
Вікно зовнішнє	0,747
Двері зовнішні	0,5
Двері внутрішні	1
Підлога на ґрунті:	
• Зона I	2,144
• Зона II	4,344
• Зона III	8,644
• Зона IV	14,244

Розрахуємо теплові втрати через кожну з огорожувальних конструкцій за формулою 2.49:

$$Q = \frac{F \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{з}}) \cdot (1 + \sum \beta) \cdot n}{R}, \quad (2.49)$$

де F – площа огорожувальної конструкції

$t_{\text{в}}, t_{\text{з}}$ – внутрішня і зовнішня температури

β – коефіцієнт, що враховує додаткові тепловтрати (орієнтація за сторонами світу, вуглова кімната і т.д)

n – коефіцієнт, що приймається залежно від положення зовнішньої поверхні огорожувальної конструкції по відношенню до зовнішнього повітря, що приймається згідно з [6] (для зовнішніх стін, вікон, перекриттів $n = 1$)

Приміщення 001: Тамбур

Тепловтрати через зовнішню стіну:

$$Q_{\text{с.з}} = \frac{8,26 \cdot (10 - (-22)) \cdot (1 + 0,1)}{2,792} = 77,6 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через внутрішню стіну:

$$Q_{\text{с.в}} = \frac{19,8 \cdot (10 - 16)}{0,345} = -344,7 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через двері зовнішні:

$$Q_{\text{дв.з}} = \frac{2,1 \cdot (10 - (-22)) \cdot (1 + 1,64)}{0,5} = 354,8 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через двері внутрішні:

$$Q_{\text{дв.в}} = \frac{2,1 \cdot (10 - 16)}{1} = -12 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через підлогу I зона:

$$Q_{\text{пI}} = \frac{5,44 \cdot (10 - (-22))}{2,144} = 81,2 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через підлогу II зона:

$$Q_{\text{пII}} = \frac{1,42 \cdot (10 - (-22))}{4,344} = 10,5 \text{ Вт}$$

За умовами гігієни для приміщень з довготривалим перебуванням людей необхідно передбачати подачу зовнішнього повітря.

Мінімальні тепловтрати на вентиляцію визначають за формулою 2.50.

$$Q_{\text{вент}} = \beta_{\text{мін}} \cdot V_{\text{п}} \cdot c \cdot \rho \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{з}}), \quad (2.50)$$

де $\beta_{\text{мін}}$ - поправочний коефіцієнт, $\beta_{\text{мін}} = 0,34$

$V_{\text{п}}$ – об'єм повітря, що замінюється

c - теплоємність повітря $c = 1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$

ρ - густина повітря

$t_{\text{в}}, t_{\text{з}}$ – температури внутрішнього і зовнішнього повітря.

Розрахуємо теплові втрати на вентиляцію за формулою 2.51.

$$Q_{\text{вент}} = 0,34 \cdot V_{\text{прим}} \cdot N \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{з}}), \quad (2.51)$$

де N – кратність повітрообміну (приймається згідно [6] та [7])

$$Q_{\text{вент001}} = 0,34 \cdot 15,9 \cdot 0,5 \cdot (10 - (-22)) = 87 \text{ Вт}$$

Загальні тепловтрати приміщення розрахуємо за формулою 2.52.

$$Q_i = \sum Q_{\text{ог.к}} + Q_{\text{вент}} = Q_{\text{с.з}} + Q_{\text{с.в}} + Q_{\text{д.з}} + Q_{\text{д.в}} + Q_{\text{пока}} + \sum Q_{\text{підл}} \quad (2.52)$$

$$Q_{001} = 77,6 - 344,7 + 354,8 - 12 + 81,2 + 10,5 + 87 = 254 \text{ Вт}$$

Тепловий показник приміщення визначимо за формулою 2.53.

$$q = \frac{Q_i}{S_i}, \quad (2.53)$$

де Q_i – тепловтрати приміщення

S_i - площа приміщення

$$q_{001} = \frac{254}{5,29} = 48 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Приміщення 002: Коридор

Тепловтрати через зовнішню стіну:

$$Q_{\text{с.з}} = \frac{6,7 \cdot (16 - (-22)) \cdot (1 + 0,1)}{2,792} = 100,3 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через внутрішню стіну товсту:

$$Q_{c.B} = \frac{19,03 \cdot (16 - (-15,5))}{1,537} = 390 \text{ Вт}$$

$$Q_{c.B} = \frac{31,23 \cdot (16 - 20)}{1,537} = -81,3 \text{ Вт}$$

$$Q_{c.B} = \frac{8,05 \cdot (16 - 24)}{1,537} = -41,9 \text{ Вт}$$

$$Q_{c.B} = \frac{18,34 \cdot (16 - 15)}{1,537} = 11,9 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через двері внутрішні:

$$Q_{дв.з} = \frac{58,9 \cdot (16 - 15)}{1} = 58,9 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через підлогу I зона:

$$Q_{пI} = \frac{4,42 \cdot (10 - (-22))}{2,144} = 78,2 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через підлогу II зона:

$$Q_{пII} = \frac{4,06 \cdot (10 - (-22))}{4,344} = 35,5 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через підлогу III зона:

$$Q_{пII} = \frac{4,06 \cdot (10 - (-22))}{8,644} = 17,8 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через підлогу IV зона:

$$Q_{пII} = \frac{48,95 \cdot (10 - (-22))}{14,244} = 130,6 \text{ Вт}$$

Теплові втрати на вентиляцію:

$$Q_{\text{вент}002} = 0,34 \cdot 161 \cdot 0,5 \cdot (16 - (-22)) = 1040 \text{ Вт}$$

Загальні тепловтрати приміщення:

$$Q_{002} = 100,3 + 390 - 81,3 - 41,0 + 11,9 + 58,9 + 78,2 + 35,5 + 17,8 + 130,6 + 1040 = 1740 \text{ Вт}$$

Тепловий показник приміщення:

$$q_{002} = \frac{1740}{53,8} = 32,3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Приміщення 003: Туалет

Тепловтрати через внутрішню стіну тонку:

$$Q_{с.в} = \frac{12,22 \cdot (20 - 13))}{0,345} = 248 \text{ Вт}$$

$$Q_{с.в} = \frac{18 \cdot (20 - 16))}{0,345} = 208,7 \text{ Вт}$$

$$Q_{с.в} = \frac{9,7 \cdot (20 - 18))}{0,345} = 56 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через двері внутрішні:

$$Q_{дв.в} = \frac{4,2 \cdot (20 - 16)}{1} = 16,8 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через підлогу IV зона:

$$Q_{пIV} = \frac{12 \cdot (20 - (-22))}{14,244} = 35,3 \text{ Вт}$$

Теплові втрати на вентиляцію:

$$Q_{\text{вент}003} = 0,34 \cdot 31,4 \cdot 3 \cdot (20 - (-22)) = 1345 \text{ Вт}$$

Загальні тепловтрати приміщення:

$$Q_{003} = 248 + 208,7 + 56 + 16,8 + 35,3 + 1345 = 1909 \text{ Вт}$$

Тепловий показник приміщення:

$$q_{003} = \frac{1909}{10,5} = 181,8 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Приміщення 004: Душова для персоналу

Тепловтрати через зовнішню стіну:

$$Q_{c.з} = \frac{6 \cdot (24 - (-22)) \cdot (1 + 0,1)}{2,792} = 108,7 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через внутрішню стіну тонку:

$$Q_{c.в} = \frac{35 \cdot (24 - 20)}{0,345} = 405,5 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через двері внутрішні:

$$Q_{дв.в} = \frac{2,1 \cdot (20 - 16)}{1} = 8,2 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через вікно:

$$Q_{в} = \frac{2,25 \cdot (20 - (-22)) \cdot (1 + 0,1)}{0,747} = 152,4 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через підлогу I зона:

$$Q_{пI} = \frac{5,44 \cdot (24 - (-22))}{2,144} = 116,6 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через підлогу II зона:

$$Q_{пII} = \frac{5 \cdot (24 - (-22))}{4,344} = 52,9 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через підлогу III зона:

$$Q_{пIII} = \frac{4,92 \cdot (24 - (-22))}{8,644} = 26,2 \text{ Вт}$$

Теплові втрати на вентиляцію:

$$Q_{\text{вент}004} = 0,34 \cdot 40,1 \cdot 3 \cdot (24 - (-22)) = 1898 \text{ Вт}$$

Загальні тепловтрати приміщення:

$$\begin{aligned} Q_{004} &= 108,7 + 405,5 + 8,2 + 152,4 + 116,6 + 52,9 + 26,2 + 1898 \\ &= 2810 \text{ Вт} \end{aligned}$$

Тепловий показник приміщення:

$$q_{004} = \frac{2810}{13,4} = 209,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Приміщення 005: Кімната прийому їжі

Тепловтрати через зовнішню стіну:

$$Q_{c.3} = \frac{9,3 \cdot (20 - (-22)) \cdot (1 + 0,1)}{2,792} = 153,9 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через внутрішню стіну тонку:

$$Q_{c.B} = \frac{7,8 \cdot (20 - 10)}{0,345} = 225,8 \text{ Вт}$$

$$Q_{c.B} = \frac{11,13 \cdot (20 - 16)}{0,345} = 129 \text{ Вт}$$

$$Q_{c.B} = \frac{4,88 \cdot (20 - 24)}{0,345} = -56,5 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через внутрішню стіну товсту:

$$Q_{c.B} = \frac{9,35 \cdot (20 - 16)}{1,537} = 24,3 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через двері внутрішні:

$$Q_{дв.в} = \frac{2,1 \cdot (20 - 16)}{1} = 8,4 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через вікно:

$$Q_B = \frac{2,25 \cdot (20 - (-22)) \cdot (1 + 0,1)}{0,747} = 152,4 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через підлогу I зона:

$$Q_{пI} = \frac{7,61 \cdot (20 - (-22))}{2,144} = 149,1 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через підлогу II зона:

$$Q_{пII} = \frac{7 \cdot (20 - (-22))}{4,344} = 67,7 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через підлогу III зона:

$$Q_{пIII} = \frac{6,9 \cdot (20 - (-22))}{8,644} = 33,5 \text{ Вт}$$

Теплові втрати на вентиляцію:

$$Q_{\text{вент}005} = 0,34 \cdot 57 \cdot 0,5 \cdot (20 - (-22)) = 410 \text{ Вт}$$

Загальні тепловтрати приміщення:

$$Q_{005} = 153,9 + 225,8 + 129 - 56,5 + 24,3 + 8,4 + 152,4 + 149,1 + 67,7 + 33,5 + 410 = 1284 \text{ Вт}$$

Тепловий показник приміщення:

$$q_{005} = \frac{1284}{19} = 67,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Приміщення 006: Гардероб

Тепловтрати через зовнішню стіну:

$$Q_{с.з} = \frac{37,61 \cdot (20 - (-22)) \cdot (1 + 0,1)}{2,792} = 650,6 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через внутрішню стіну тонку:

$$Q_{с.в} = \frac{16,45 \cdot (20 - 24)}{0,345} = -190,6 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через внутрішню стіну товсту:

$$Q_{с.в} = \frac{17 \cdot (20 - 16)}{1,537} = 44,2 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через двері внутрішні:

$$Q_{дв.в} = \frac{2,1 \cdot (20 - 16)}{1} = 8,4 \text{ Вт}$$

$$Q_{дв.в} = \frac{2,1 \cdot (20 - 24)}{1} = -8,4 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через вікно:

$$Q_{в} = \frac{3 \cdot (20 - (-22)) \cdot (1 + 0,1)}{0,747} = 194 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через підлогу I зона:

$$Q_{пI} = \frac{22,03 \cdot (20 - (-22))}{2,144} = 431,5 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через підлогу II зона:

$$Q_{пII} = \frac{11,91 \cdot (20 - (-22))}{4,344} = 115,2 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через підлогу III зона:

$$Q_{пIII} = \frac{3,91 \cdot (20 - (-22))}{8,644} = 19 \text{ Вт}$$

Теплові втрати на вентиляцію:

$$Q_{\text{вент}006} = 0,34 \cdot 97 \cdot 0,5 \cdot (20 - (-22)) = 698 \text{ Вт}$$

Загальні тепловтрати приміщення:

$$Q_{006} = 650,6 - 190,6 + 44,2 + 8,4 - 8,4 + 194 + 431,5 + 115,2 + 19 + 698 = 1962 \text{ Вт}$$

Тепловий показник приміщення:

$$q_{006} = \frac{1962}{32,3} = 67,6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Приміщення 007: Склад

Тепловтрати через зовнішню стіну:

$$Q_{с.з} = \frac{13,2 \cdot (13 - (-22)) \cdot (1 + 0,1)}{2,792} = 182 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через внутрішню стіну тонку:

$$Q_{с.в} = \frac{12,22 \cdot (13 - 20)}{0,345} = -247,9 \text{ Вт}$$

$$Q_{с.в} = \frac{48,33 \cdot (13 - 16)}{0,345} = -420 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через внутрішню стіну товсту:

$$Q_{с.в} = \frac{50,43 \cdot (13 - 18)}{1,537} = -164 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через двері внутрішні:

$$Q_{дв.в} = \frac{2,1 \cdot (13 - 16)}{1} = -6,3 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через підлогу I зона:

$$Q_{пI} = \frac{8,7 \cdot (13 - (-22))}{2,144} = 142 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через підлогу II зона:

$$Q_{пII} = \frac{8 \cdot (13 - (-22))}{4,344} = 64,4 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через підлогу III зона:

$$Q_{пIII} = \frac{8 \cdot (13 - (-22))}{8,644} = 32,4 \text{ Вт}$$

Тепловтрати через підлогу IV зона:

$$Q_{\text{пIV}} = \frac{37,95 \cdot (13 - (-22))}{14,244} = 93,2 \text{ Вт}$$

Теплові втрати на вентиляцію:

$$Q_{\text{вент007}} = 0,34 \cdot 172 \cdot 0,5 \cdot (13 - (-22)) = 1033 \text{ Вт}$$

Загальні тепловтрати приміщення:

$$Q_{007} = 182 - 247,9 - 420 - 164 - 6,3 + 142 + 64,4 + 32,4 + 93,2 + 1033 = 709 \text{ Вт}$$

Тепловий показник приміщення:

$$q_{007} = \frac{709}{172} = 12,3 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

Аналогічно розрахуємо теплові втрати через всі огорожувальні конструкції для приміщень 2-го поверху і обчислимо результати тепловтрат всієї будівлі в таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Результати розрахунку тепловтрат

Загальні тепловтрати	31547	Вт
Тепловтрати на нагрів повітря, що інфільтрується ззовні	16307	Вт
Тепловтрати внаслідок проникнення	15240	Вт
Тепловий показник будівлі - поверхневий	57,8	Вт/м ²

де поверхневий тепловий показник будівлі розраховано за формулою 2.54.

$$q = \frac{Q_{\text{заг}}}{S}, \quad (2.54)$$

де $Q_{\text{заг}}$ - загальні тепловтрати будівлі

S - загальна площа будівлі

$$q = \frac{31547}{546} = 57,77 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$$

В таблиці 2.14 покажемо сумарні втрати теплоти по кожній з огорожувальних конструкцій.

Таблиця 2.14 - Долі тепловтрат через кожну з огорожувальних конструкцій

Огороджувальна конструкція	Площа, м ²	Тепловтрати, Вт
Стінка зовнішня	349,23	5594
Перекрыття	374,84	4619
Вікно в дерев'яній рамі	40,5	2505
Підлога	257,63	2167
Двері входні	2,1	355

На рисунку 2.8 зобразимо баланс тепловтрат через огорожувальні конструкції

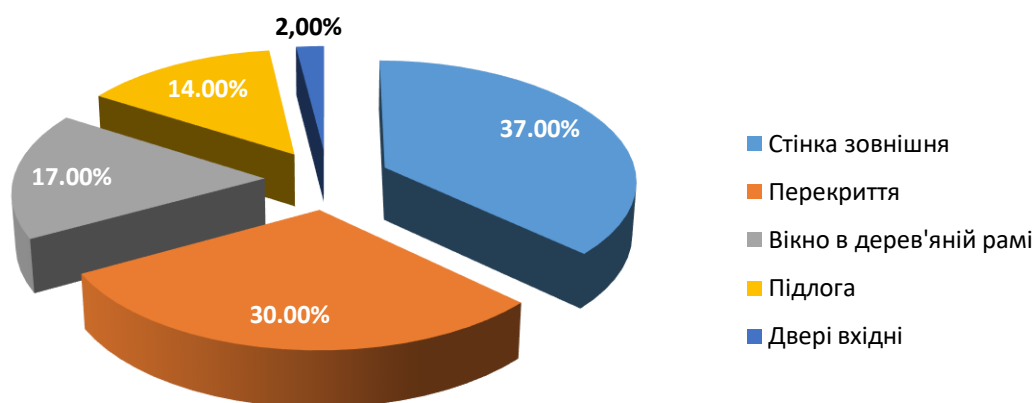


Рисунок 2.8 – Доля тепловтрат через кожну з огорожувальних конструкцій

Побудуємо тепловий баланс підприємства (див. рисунки 2.9, 2.10), щоб показати долю кожного з споживачів у загальному тепловому навантаженні.

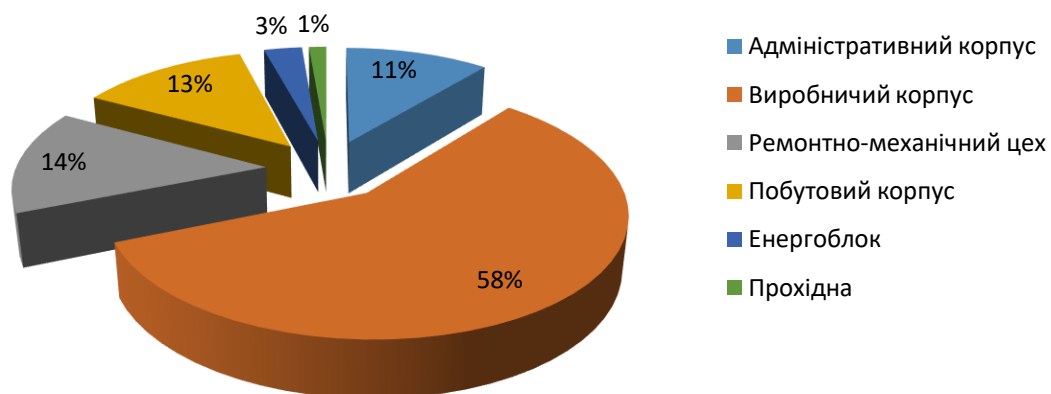


Рисунок 2.9 – Доля кожного з споживачів в загальному тепловому балансі

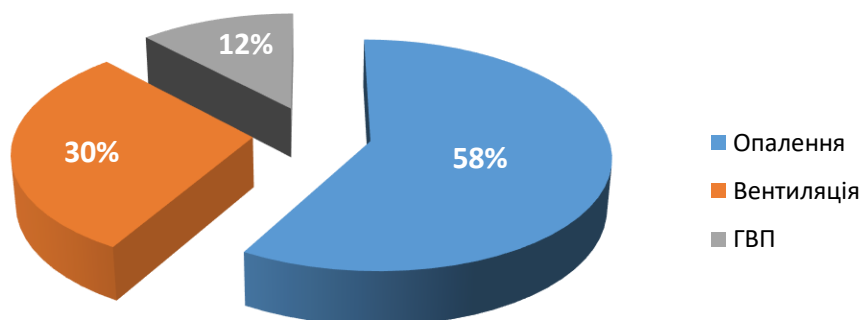


Рисунок 2.10- Доля вентиляції, опалення і ГВП в загальному тепловому балансі

В таблиці 2.15 вказані дані по споживанню теплової енергії підприємством за опалювальні періоди 2018-2020 рр.

Таблиця 2.15 - Споживання теплової енергії підприємством

	2018	2019	2020
жовтень	22,4		
листопад	60	74,4	36
грудень	80,8	92	51,2
січень	51,2	76,8	94,4
лютий	67,2	80	104
березень	55,2	52,8	37,6
квітень		6,4	

Для наглядного порівняння, побудуємо графік споживання теплової енергії за вказані роки (див. рис. 2.11).

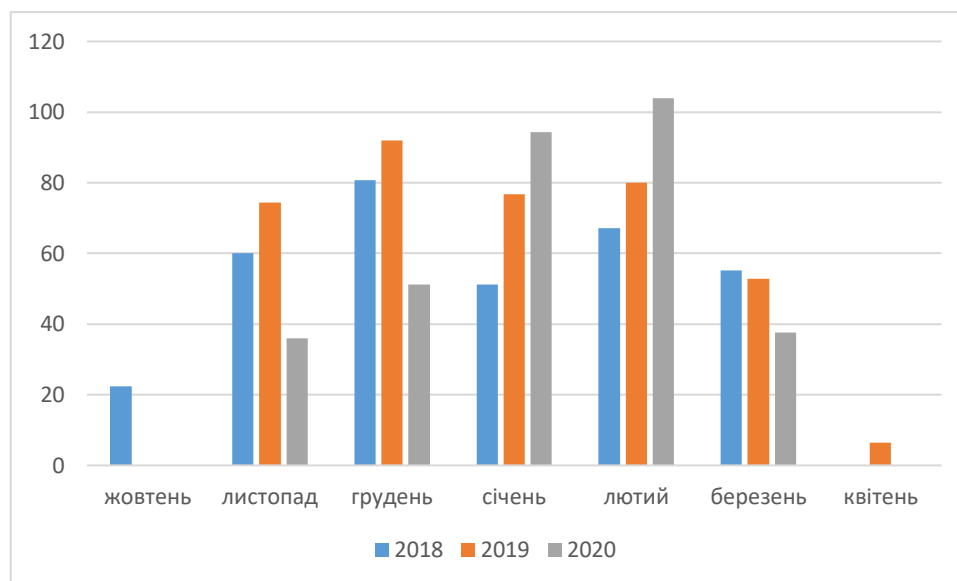


Рисунок 2.11 – Споживання теплової енергії за 2018-2020 роки

2.5.3 Заходи з енергоефективності

2.5.3.1 Проведення тепловізійної діагностики огорожувальних конструкцій та системи опалення

При огляді підприємства було виявлено невідповідності температур у однорідних приміщеннях (з однаковим температурним режимом, однаковою площею і однаковим конструктивом огорожувальних конструкцій), а також наявність відсирілих кутів приміщень.

Проведення тепловізійної діагностики дозволить виявити:

1) місця підвищених втрат теплоти через огорожувальні конструкції, такі як:

- неправильний монтаж теплоізоляції, або її пошкодження;
- неправильний монтаж вікон чи дверей;

2) накопичення вологи всередині конструкції

3) внутрішні забруднення та застої в радіаторах і трубах

Тепловізійні вимірювання зовнішніх поверхонь огорожувальних конструкцій проводять в зимовий або перехідні періоди року при

температурному перепаді між внутрішнім і зовнішнім повітрям не менше 15 °С.

Вимірювання проводять за відсутності атмосферних опадів, туману, задимленості повітря, інею на поверхнях, а також прямого сонячного опромінювання поверхонь огорожувальних конструкцій.

Обстежувані поверхні огорожувальних конструкцій не повинні знаходитися в зоні прямого і відбитого сонячного опромінювання за 12 годин до проведення вимірювань.

Тепловізійні вимірювання проводиться в 2 етапи. Спочатку проводиться оглядове тепловізійне обстеження всіх зовнішніх конструкцій будівлі, потім – аналіз оглядових термограм і вибір характерних зон (ділянок конструкції).

Виявлення даних недоліків і їх усунення призведе до орієнтовного зниження втрат тепла, а, як наслідок, зменшення споживання на опалення на 3-5%.

Взявши за основу дані а опалювальний період 2018-2020 року, де сумарне споживання теплової енергії складало 478 Гкал/рік, порахуємо річну економію.

$$E = 478 \cdot 0,03 = 14,34 \text{ Гкал/рік}$$

В грошовому еквіваленті (при вартості для підприємства 1 Гкал=1339,79 грн.), річна сума економії складе:

$$E = 14,34 \cdot 1339,79 = 19212,58 \text{ грн/рік.}$$

Затрати на проведення діагностики спеціалізованою фірмою і усунення недоліків складатимуть 10500 грн.

Розрахуємо простий термін окупності за формулою 2.55.

$$T_{\text{ок}} = \frac{3}{E}, \quad (2.55)$$

де 3 – затрати на впровадження енергозберігаючого заходу, грн.

E – річна економія в грошовому еквіваленті, грн.

$$T_{\text{ок}} = \frac{10500}{19212,58} = 0,6 \text{ року}$$

2.5.3.2 Усунення всіх джерел втрат води, встановлення нових душових ліжок і аераційних насадок на змішувачі

Як показує практика, серед всіх енергоносіїв найбільші втрати - втрати води на холодне і гаряче водопостачання. Зазвичай такі втрати можуть сягати до 40 % через погано закриті крани, або зношені змішувачі.

Пропоную:

1. Встановити нові душові лійки, що мають можливість ручного регулювання потоку води, котрий через них проходить. Такі лійки можуть знизити споживання води майже на 50%.
2. Встановити на всіх змішувачах аераційні насадки. Даний захід також дозволяє майже на 50% знизити споживання води.

Сукупна вартість впровадження заходу складатиме 8500 грн.

Економія води ГВП, як описувалось вище, складає 50%.

Серед всього споживання теплової енергії на ГВП припадає 12%, що складає:

$$Q_{\text{ГВП}} = 478 \cdot 0,12 = 57,36 \text{ Гкал/рік}$$

$$E = 57,36 \cdot 0,5 = 28,68 \text{ Гкал/рік}$$

$$E = 28,68 \cdot 1399,78 = 40145,69 \text{ грн/рік}$$

Простий термін окупності розрахуємо за формулою 2.55:

$$T_{\text{ок}} = \frac{8500}{40145,69} = 0,21 \text{ року}$$

2.5.3.3 Облаштування власної котельні на базі теплового насосу

Вивчивши технологічний процес, пропоную установити тепловий насос типу «вода-вода» для покриття необхідних потужностей на опалення, щоб взагалі відмовитись від теплопостачання місцевої котельні.

Для гарячого водопостачання пропонується встановити ємнісний електричний нагрівач. Розрахунок необхідних потужностей і економічного ефекту від впровадження буде детально описаний в спеціальному питанні

дисертації. Для наглядності занесемо результати розрахунків ЗЕЕ в таблицю 2.16.

Таблиця 2.16 – Результати впровадження ЗЕЕ

ЗЕЕ	ЕКОНОМІЯ			Вартість впровадження	Простий термін окупності
	Гкал/рік	т.у./рік	Грн/рік		
1. Проведення тепловізійної діагностики огорожувальних конструкцій та системи опалення	14,34	2,05	19212,58	10500	0,6
2. Усунення всіх джерел втрат води, встановлення нових душових ліжок і аераційних насадок на змішувачі	26,68	3,81	40145,69	8500	0,3
Всього:	88,82	12,69	59358,27	19000	0,9

Перерахунок в умовне паливо здійснений згідно теплоємності умовного палива 7000 ккал/кг.

2.6 Шляхи підвищення ефективності використання системи електропостачання для забезпечення електричною енергією

Покажемо баланс електроенергії на рис. 2.12 у вигляді кругової діаграми.

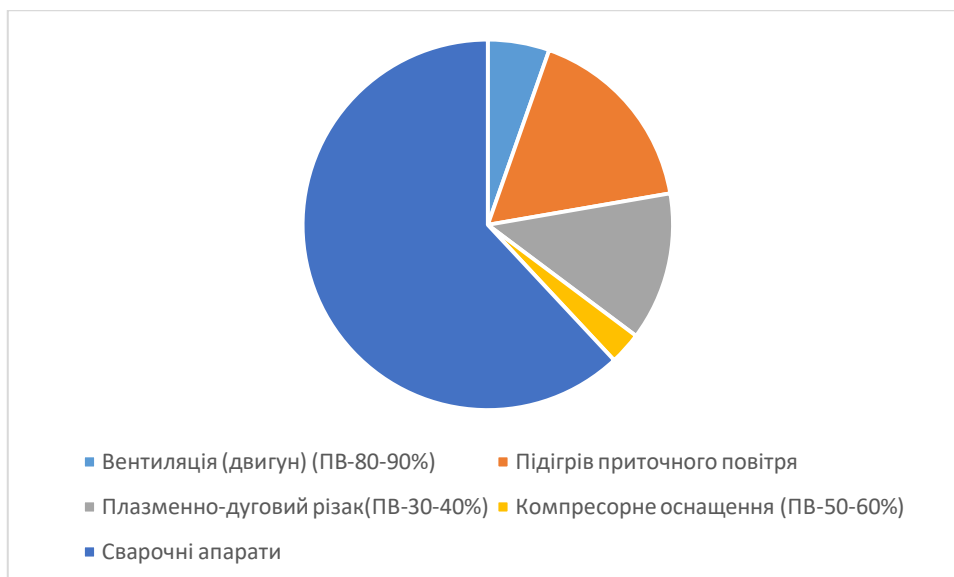


Рисунок 2.12– Структура споживання електроенергії

При запуску, агрегати знаходяться у безперервному робочому стані в заданих режимах. Навіть вночі, при низькому споживанні води, вони працюють в такому ж режимі як вдень.

Основними причинами низької енергетичної ефективності підприємств є:

- значний фізичний і моральний знос основних засобів і, як наслідок, висока аварійність обладнання;
- низький рівень контролю та регулювання споживання енергоресурсів;
- підвищені втрати у виробничих процесах і висока витрата первинних паливно-енергетичних ресурсів;
- нестача кваліфікованих фахівців у сфері енергетичного менеджменту;
- низький рівень мотивації персоналу до енергозбереження тощо.

Природно, ставлення керівництва підприємства до енергозбереження визначається часткою витрат на енергетичні ресурси в собівартості продукції. І якщо в хімічній промисловості частка енергетичних витрат

може досягати 40 %, то для машинобудування ця цифра, як правило, коливається в межах 6-15 %.

Промислові підприємства в процесі модернізації повинні впроваджувати такі типи технологій, які дають значний енергозберігаючий ефект:

- загальні технології для багатьох підприємств, пов'язані з використанням енергії (двигуни зі змінною частотою обертання, теплообмінники, стиснене повітря, освітлення, пар, охолодження, сушка, тощо);

- більш ефективне виробництво енергії, включаючи сучасні котельні, когенерацію (тепло та електрику), а також трігенерація (тепло, холод, електрика);

- заміна старого промислового обладнання на нове, яке споживає значно менше енергії;

- альтернативні джерела енергії.

Режим енергозбереження особливо актуальний для механізмів, які частину часу працюють зі зниженим навантаженням – конвеєри, насоси, вентилятори. Існує чимало пристроїв, які дозволяють домогтися зменшення втрат при роботі електроустаткування, основними з яких є конденсаторні установки і частотно регульовані приводи, які можуть бути впроваджені на більшості промислових підприємств

Впровадження стратегії енергозбереження допомагає підприємству уникнути ризиків і отримати конкурентну перевагу щодо інших компаній, що представляють свою продукцію або послуги на ринку. Дана стратегія повинна стати основою для ефективного управління процесами енергозбереження в рамках проведення довготермінової енергетичної, економічної та інноваційної політики підприємства.

Вибір тієї або іншої стратегії енергозбереження залежить, перш за все, від цілей підприємства та його потенційних можливостей щодо реалізації стратегії. Крім того, в умовах економічної самостійності

підприємств одним з головних критеріїв вибору стратегії впровадження технологій енергозбереження та стимулювання процесів впровадження енергозберігаючих заходів є оцінки їх економічної ефективності.

До основних ефектів від реалізації стратегії енергозбереження промислового підприємства можуть бути віднесені:

- збільшення продуктивності технологічних установок та обладнання в разі впровадження заходів щодо технологічного енергозбереження, зниження енерговитрат на одиницю продукції та поліпшення її якості;

- економія енергії та інших ресурсів, що приводить до зниження матеріальних витрат та собівартості продукції;

- скорочення платежів підприємства за забруднення навколишнього середовища в зв'язку із зменшенням кількості витрачених паливно-енергетичних ресурсів.

Висновки розділу 2

Впровадження стратегії енергозбереження допомагає підприємству уникнути ризиків і отримати конкурентну перевагу щодо інших компаній, що представляють свою продукцію або послуги на ринку. Дана стратегія повинна стати основою для ефективного управління процесами енергозбереження в рамках проведення довготермінової енергетичної, економічної та інноваційної політики підприємства.

Оцінивши результати впровадження всіх даних енергозберігаючих заходів, можемо зробити висновок, що, в порівнянні з опалювальним періодом 2018-2020 роки, за наступний рік можемо отримати економію 12,69 т.у.п , що в грошовому еквівалентні складе 59358,27 грн. При цьому вартість впровадження складе 19000 грн. Термін окупності кожного з запропонованих заходів менше року, що робить їх дуже перспективними з точки зору вкладу коштів. І, як наслідок, за рік кожен проєкт окупиться і отримаємо чистого прибутку 40368,27 грн.

3 ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

3.1 Запровадження інтегрованої системи моніторингу енергоспоживання та технологічних параметрів

На разі підприємство знаходиться на шляху впровадження системи технічного обліку енергоресурсів по більшості процесів. При цьому залишається не вирішеним питання щодо визначення показників ефективності енергоспоживання по підприємству в цілому та по окремим технологічним лініям.

Пропонується:

1. Забезпечити автоматизований контроль за показниками енергоспоживання та виробництва продукції для забезпечення оперативного контролю по:

- технологічним лініям;
- системам енергозабезпечення: котельня з контролем окремих котлів, повітряні компресори, сварочне оснащення.

2. Розробити нормативи енергоспоживання з врахуванням модернізованого обладнання та проводити щоквартальний їх перегляд.

Кількість моделей енергоспоживання:

- Виробництво і обслуговування броньованих автомобілів для інкасації та перевезення цінностей
- Виробництво броньованих автомобілів представницького класу на базі легкових автомобілів і позашляховиків
- Виробництво транспорту для спецслужб
- Виробництво автомобілів екстреної (швидкої) медичної допомоги
- Виробництво пересувних авто лабораторій і автомайстерень

- Сервісне обслуговування броньованих інкасаторських автомобілів на власному СТО
- Доопрацювання спецтранспорту за індивідуальними проєктами
- Заміна та ремонт броньованого скла і ходової системи на бронеавтомобілі.

Впровадження заходу передбачає наступні елементи:

- підключення встановлених лічильників до єдиної автоматизованої системи моніторингу енергоресурсів та розробка ПЗ для аналізу;
- розробка нормативів споживання енергоресурсів для окремих напрямків з врахуванням впливових параметрів (обсяги виробництва, погодні умови тощо);
- проведення навчання персоналу та призначення на посаду енергоменеджера;
- запровадження системи мотивації енергоощадного використання.

В результаті впровадження заходу очікується зниження витрат електроенергії та газу, пов'язаних з відхиленнями від оптимального рівня енергоспоживання. Вартість реалізації заходу з розбивкою по напрямкам показана у табл.3.1.

Таблиця 3.1 – Вартість реалізації заходу з розбивкою по напрямкам:

Напрямок	Капітальні затрати, грн	Щорічні витрати, грн
Підключення встановлених лічильників до єдиної авт. системи моніторингу енергоресурсів та розробка ПЗ для аналізу	450 000	

Продовження таблиці 3.1

розробка нормативів споживання енергоресурсів для окремих напрямків з врах. впливових параметрів (обсяги виробництва, погодні умови тощо);	110 000	
проведення навч. персоналу та призначення на посаду енергоменеджера;		250 000
запров. системи мотивації енергоощадного викор.		200 000
Загалом	560 000	550 000

Річна економія, що розрахована як 50% від відхилень споживання електричної енергії та газу від розрахункової лінії регресії становить:

Економія електроенергії: 303 тис. кВт-год, або 758 тис. грн.

Чиста економія (консервативний варіант) складе: 588 тис. грн.рік.

Термін окупності: 1 рік і 2 місяці.

3.2 Впровадження сонячної електростанції на підприємстві

Зважаючи на тенденцію зростання тарифів є доцільним розгляд автономної генерації енергії, у тому числі електричної за рахунок сонця. До основних аспектів роботи СЕС слід віднести : розташування панелей, потужність установки, обсяги споживання будинком електричної енергії, тип системи (гібридна і т.п.), тип інверторів та модуля.

Головними цілями встановлення сонячної електростанції:

- зменшити енергоспоживання з міської мережі, за рахунок енергії, що генерується сонячною електростанцією.

- зменшити навантаження на трансформаторну підстанцію.
- закласти основи для розширення комерційної електростанції з можливістю продажу електроенергії.
- зменшити витрати палива під час роботи від дизель генератора.

Для розробки системи використовується програмне забезпечення TSOL. Воно дозволяє долучити різні параметри для розрахунку системи, включаючи розташування відносно сонця подового, варіативність використання різних типів і виробників сонячних панелей, інвенторів, обчислювальних модулів і типів під'єднань до загальної енергосистеми.

На даний момент “ринок сонячної енергії” стрімко зростає і з'являються нові конкурентноспроможні компанії з дуже привабливими цінами, гарантованою якістю. Тому перш за все необхідно дослідити ринок сонячних панелей, де Піднебесна вже не перший рік займає лідуючі позиції за ціною та доступністю у придбанні. На це і звернемо увагу при виборі панелей. Схема підключення СЕС зображена на рисунку 3.1.

Схема роботи СЕС для економії

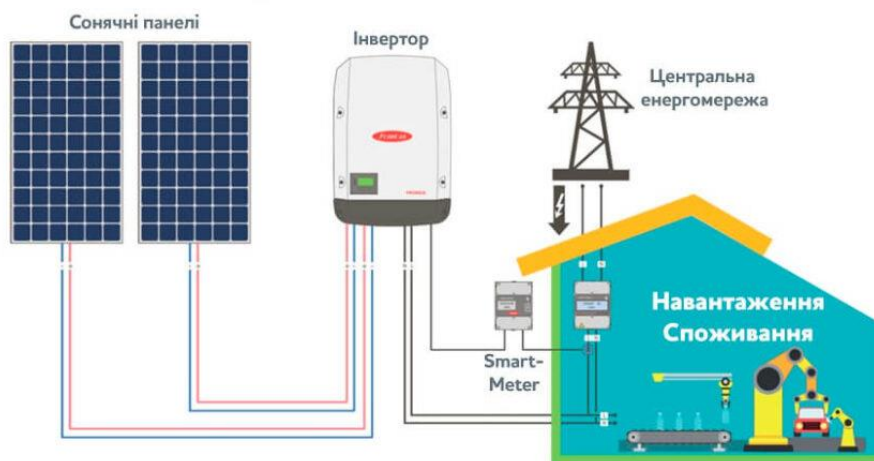


Рисунок 3.1 - Схема під'єднання СЕС

3.2.1 Вихідні дані для проєктування СЕС

Об'єкт – фотоелектрична станція для виробництва електричної енергії з енергії сонячного випромінювання, знаходиться в Київській обл.

В якості вихідних даних для проєктування послужили наступні матеріали і документи:

Проведення енергетичного аудиту і визначення можливості встановлення сонячних панелей на дах підприємства.

Проєктована сонячна станція СЕС потужністю 50/47,6 (AC/DC) кВт, призначена для промислового виробітку електричної енергії шляхом перетворення сонячної енергії в екологічно чисту електричну енергію з наступною її трансформацією в зовнішні електричні мережі. Реалізація проєкту будівництва СЕС потужністю 50/47,6 (AC/DC) кВт виконується в одну чергу, що передбачено завданням на проєктування.

Було досліджено встановлення 144-х сонячних панелей на двох цехах підприємства. Нижче графічно наведено розміщення панелей на дахах будівель, рис 3.2.

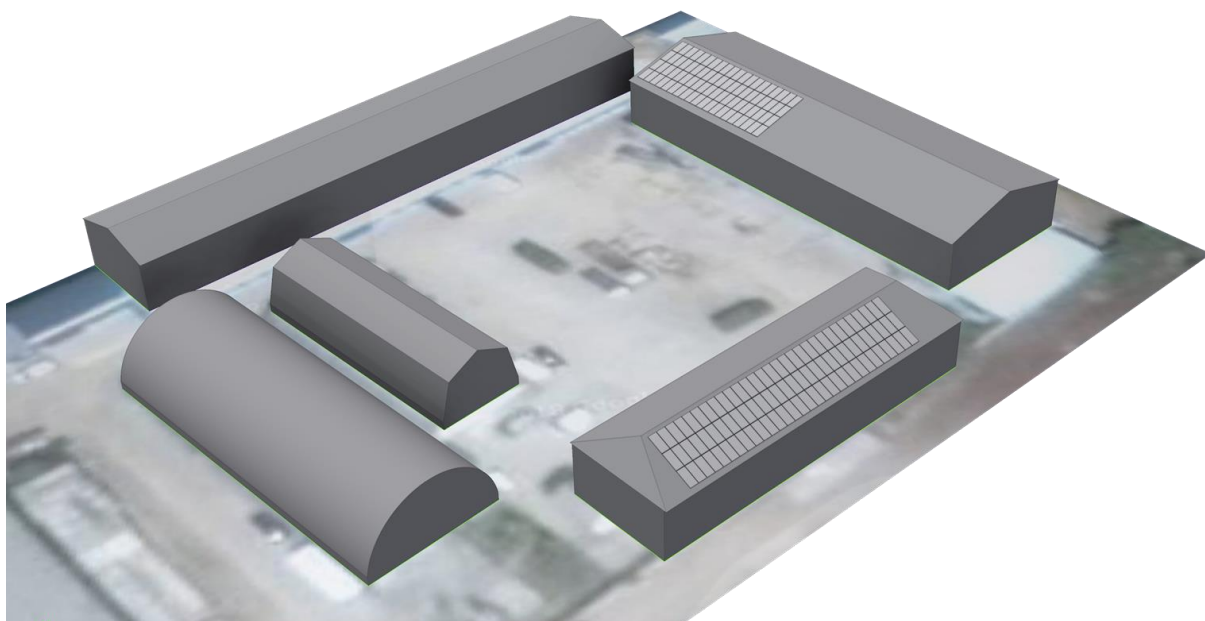


Рисунок 3.2 – Розміщення панелей на цехах підприємства

Проєктом передбачається:

- встановлення 2 інвертора потужністю 27 кВт кожний, які виконують повну автоматичну синхронізацію фотоелектричної установки. Інвертори відстежують всі параметри мережі та видають електричну енергію у мережу з ідентичними параметрами;

- монтаж металевих конструкцій для кріплення фотогальванічних панелей;

- монтаж 144 фотогальванічних панелей потужністю 325 Вт кожна.

Кріплення ФЕМ до змонтованих профілів виконується за допомогою алюмінієвих притисків через ізолювальні прокладки. Притискні елементи ФЕМ виконані з алюмінієвого профілю. ФЕМ комутуються послідовно, утворюючи ряди(стрінги). Стрінги підключаються до інверторів;

- підключення сонячних панелей виконати кабелями постійного струму з мідними жилами з ПВХ-ізоляції. Ізоляція кабелю складається з безгалогенового сополімеру та спеціально розроблена для використання у фотоелектричних системах. Матеріал ізоляції стійкий до дії ультрафіолетового випромінювання, високих температур, озоностійкий.

Основою для розробки проєкту стали наступні дані:

Технічний звіт за результатами обстеження та оцінки технічного стану будівельних конструкцій.

Відповідно до даних, наведених в ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010, згідно архітектурно-будівельного районування території України, об'єкт знаходиться у І кліматичному районі Північно- західному.

Клімат характеризується помірно м'якою зимою з частими відлигами і порівняно теплим літом. Середньорічна температура повітря становить +7,5 С. Середньомісячна температура січня від -5 до -8 С, липня від +18 до +20 С. Абсолютний мінімум від -37 до -40 С, абсолютний максимум +37 до +40 С.

Переважає напрямок вітрів в січні- північно-західний. Переважає напрямок вітрів в липні- південний.

Характеристика значень навантажень і впливів: вітрове навантаження- 510 Па, снігове навантаження- 1220 Па.

Розглянемо техніко-економічні показники об'єкту (див табл. 3.2) та розташування сонячних панелей (див. рисунки 3.3 – 3.4)

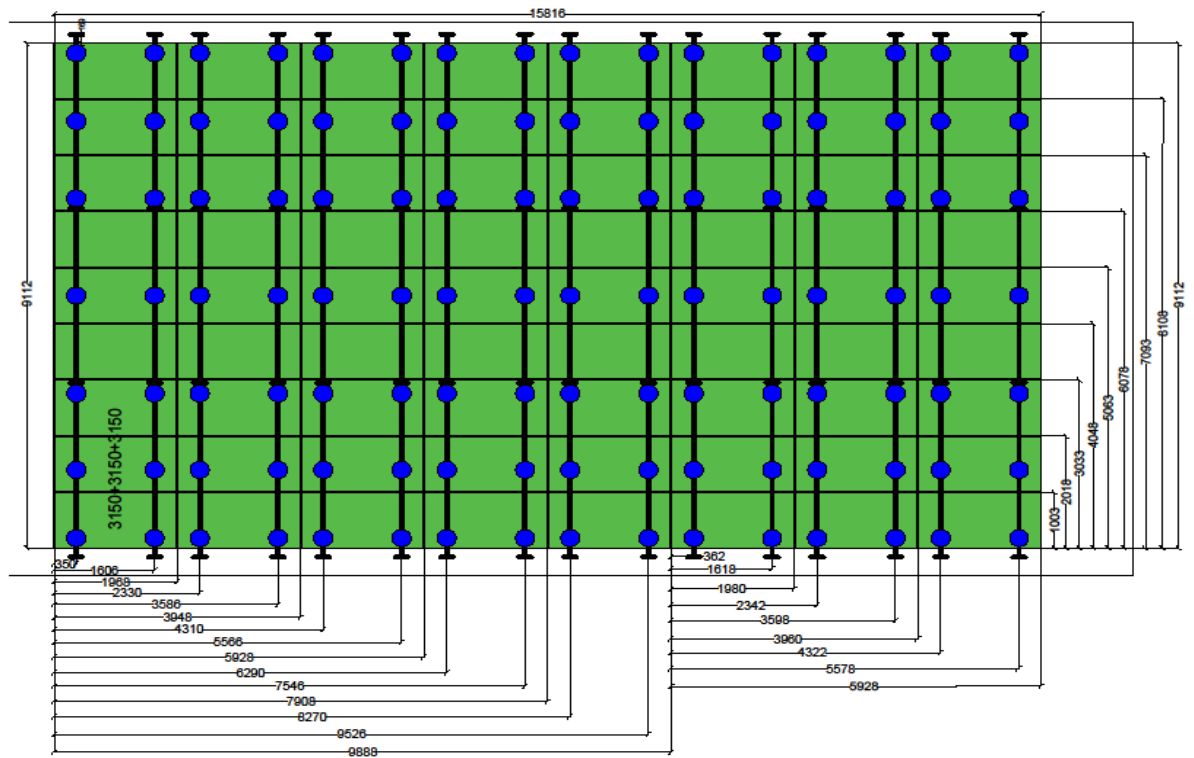


Рисунок 3.4 - Розташування сонячних панелей на території 2

Зображення схеми під'єднання панелей між собою та підключення СЕС до системи електропостачання (див. рисунки 3.5 – 3.7), а також схеми підключення лічильника до інвертора (див. рис.3.8).

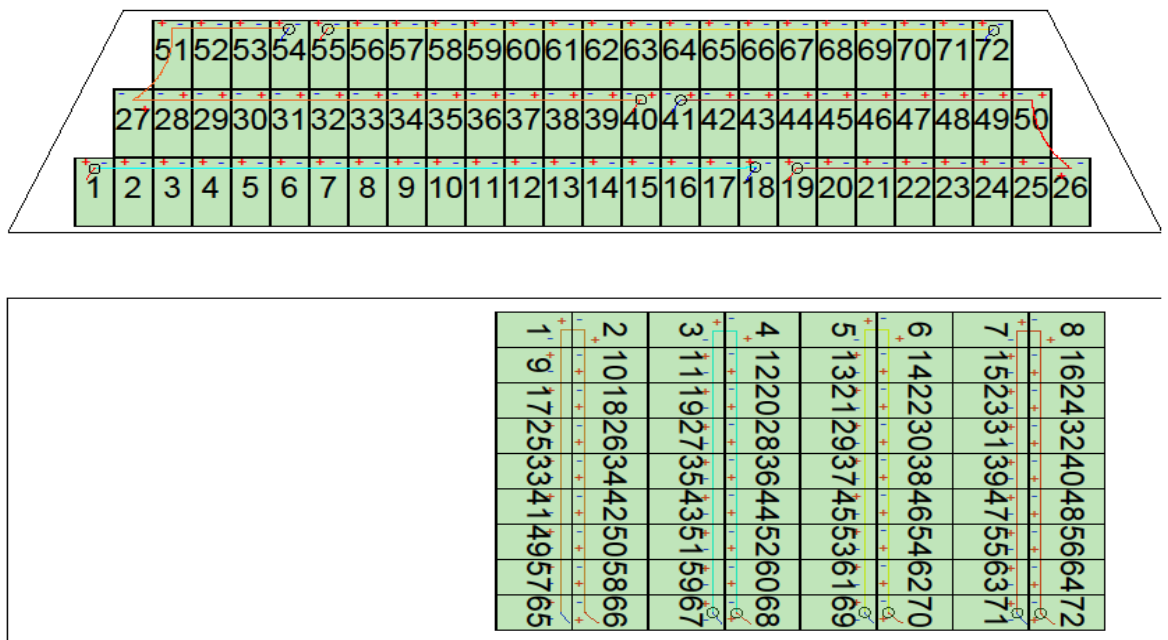


Рисунок 3.5 - Схема під'єднання сонячних панелей

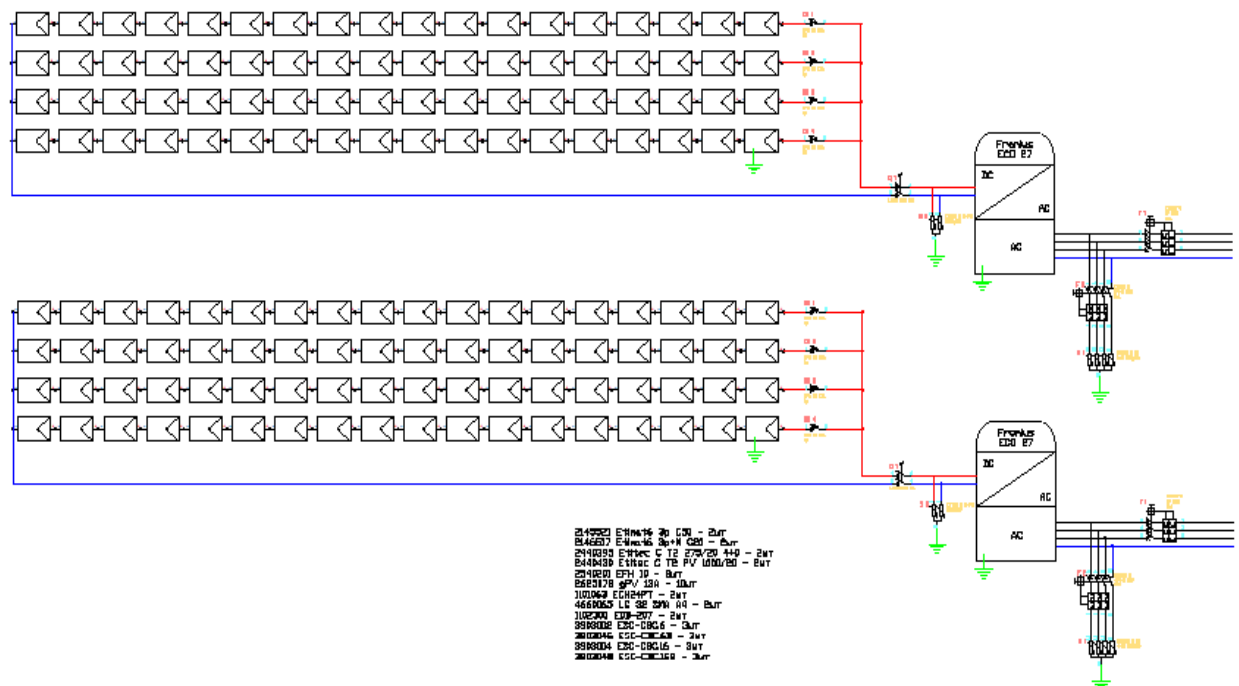


Рисунок 3.6 Схема під'єднання СЕС до інвертора

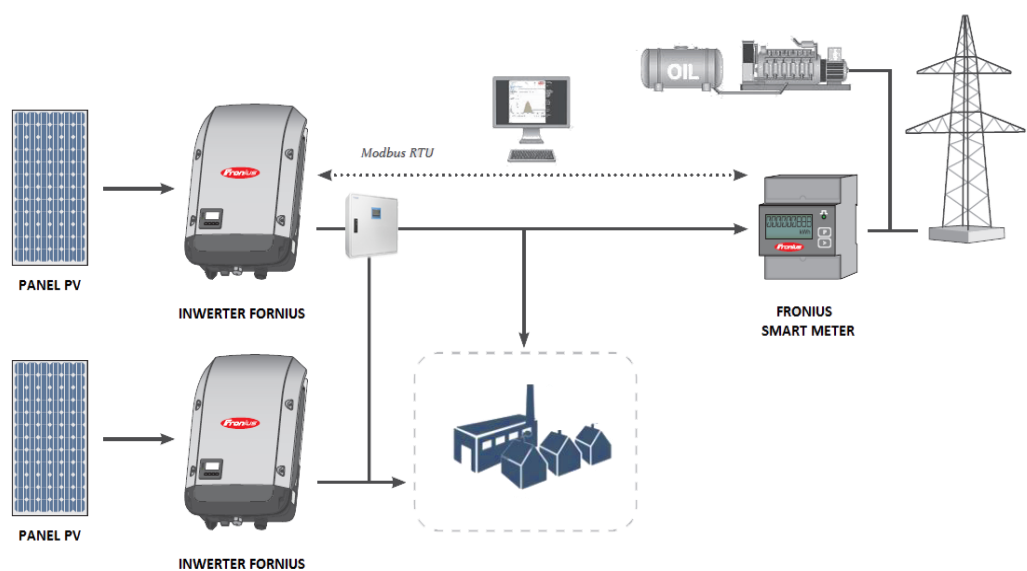


Рисунок 3.7 - Схема під'єднання СЕС до системи

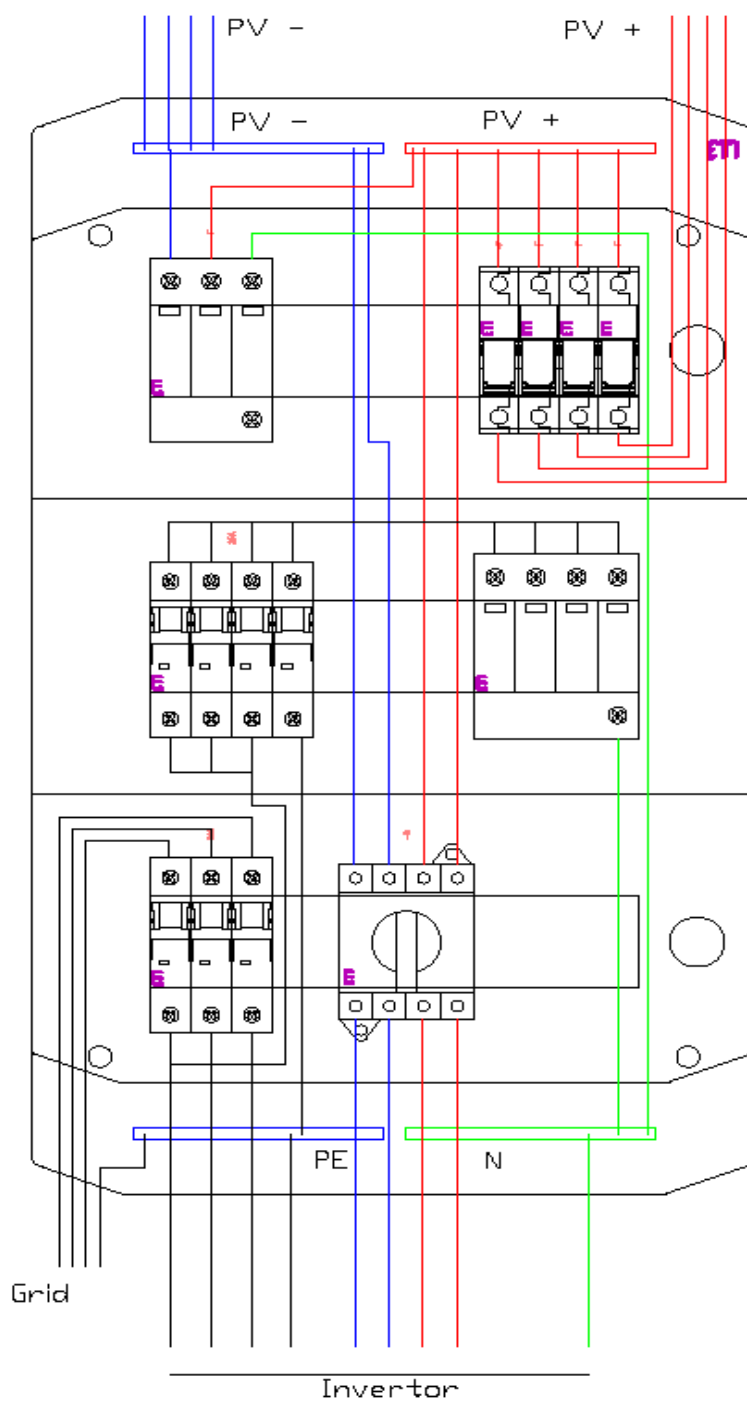


Рисунок 3.8 – Схема підключення лічильника до інвертора

Генерація СЕС змінного струму 600 кВт/рік, ККД 77,6%, рентабельність активів 5,63 %, економія 7800 грн/ рік. До використання були запропоновані інвертори Fronius ECO 27.0-3-S Q .

3.2.2 Сонячна активність

Розглянемо сонячну активність та її вплив на СЕС на рис.3.9 та 3.10.

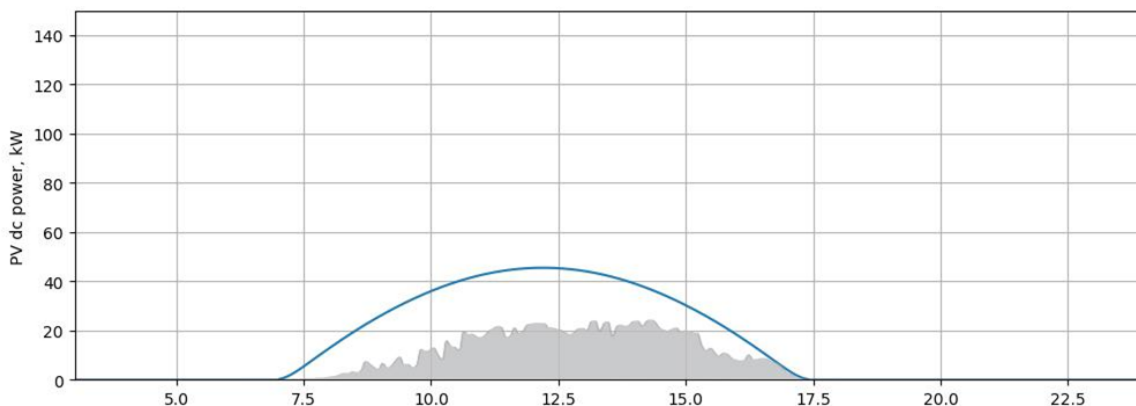


Рисунок 3.9 - Денне вироблення поля панелей в 50 кВт в ідеальний сонячний день 21.02.2021

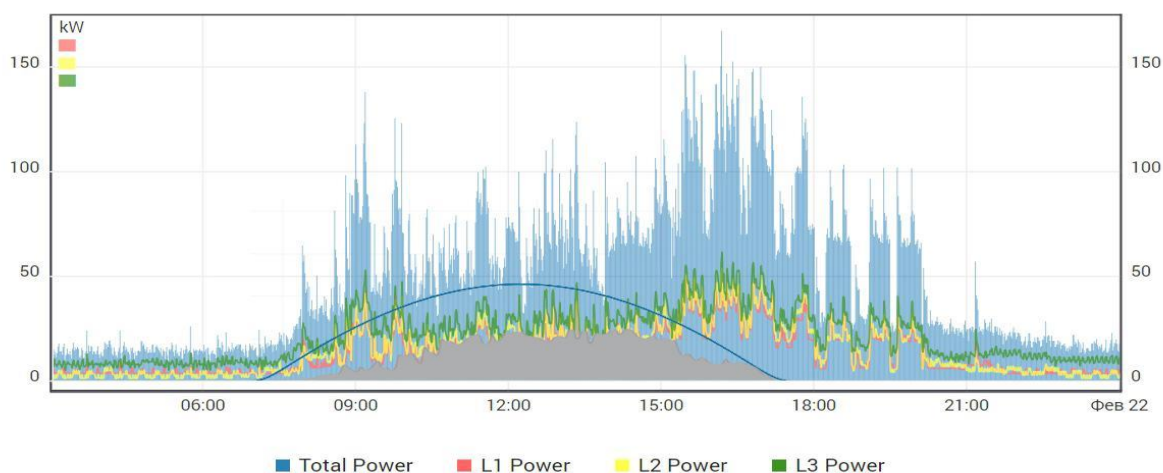


Рисунок 3.10 – Порівняння графіку споживання електроенергії разом з сонячною активністю

Для СЕС потужністю 50кВт близько 99% виробленої енергії буде спожито навантаженням у міжсезоння та зимовий період.

У літній період за рахунок зниження базового споживання (відсутність опалення) відсоток спожитої енергії може у піку сонячної активності знизиться до 80-90%

3.2.3 Підключення сонячної електростанції до системи енергозабезпечення підприємства

Точка приєднання: на контактних з'єднаннях ЛЕП замовника до РУ 0,4 кВ ТП підприємства.

Фотоелектричні модулі поєднані по 18 шт. у стрінги послідовно. Сформовані стрінги приєднуються до інверторів, інвертори групуються по 2 шт. у РЩ.

Мережні інвертори виконують повну автоматичну синхронізацію фотоелектричної установки вихідну напругу та струм зі стаціонарною мережею.

Принцип дії синхронізації: інверторні перетворювачі відстежують усі параметри мережі (величину напруги, струм, частоту тощо) та видають електричну енергію у мережу з ідентичними параметрами, забезпечуючи критерії якості електричної енергії відповідно до чинних вимог ДСТУ EN 50160:2014.

Фотоелектрична установка буде синхронізована з мережею тільки при відповідності напруги та частоти установки напрузі та частоті мережі. У разі невідповідності основних показників розподільча станція відключається.

При порушеннях в енергосистемі України, при відсутності мережі, автоматика інверторів повністю зупиняє генерацію. При відновленні мережі- звіряє всі параметри мережі, після чого відновлює генерацію.

Для ручного та автоматичного відокремлення установки від мережі передбачена система автоматичного захисту в інверторних перетворювачах і в роз'єднувачі для ручного керування. Захист від КЗ ліній зв'язку та обладнання виконано за допомогою АВН.

Комерційний облік електроенергії встановлюється на межі балансової належності, на шинах 0,4 кВ в ТП.

Комерційний облік електроенергії власних потреб встановлюється у комірці РУ-0,4 кВ ТП.

Технічний (балансуючий) облік генерації електричної енергії встановлюється у комірці РУ-0,4 кВ ТП.

Всі лічильники вводяться в систему АСКОЕ. Розробка АСКОЕ розробляється окремим проєктом.

Для побудови якісної сонячної електростанції було запропоновано використання наступного обладнання :

Інвертор

Інвертор є пристроєм, що дозволяє перетворювати постійний струм, отриманий від сонячних батарей в перемінний струм. Зовнішній вигляд обраного інвертора можемо побачити на рис.3.11.

Fronius ECO 27.0-3-S

$P_{AC} - 27.0 \text{ kW}$

$\eta_{\max} - 98.2 \%$

1 mppt $35.7 \text{ kW}_{\text{peak}}$

Гарантія 7 років (подовжується до 20)



Рисунок 3.11 – Зовнішній вигляд інвертора Fronius ECO 27.0-3-S

Моніторинг споживання в реальному часі

Завдання:

- Дізнатися реальне споживання протягом дня щохвилини

- Зрозуміти розподіл споживання за фазами мережі
- При необхідності та можливості вирівняти споживання по фазах
- Визначити оптимальну конфігурацію Сонячної системи для максимального споживання сонячної енергії.

Обладнання: Електролічильник з віддаленим доступом та системою побудови похвилинного графіка споживання по фазах.

Для даного проєкту було обрано енергомонітор D103-300, основні показники наведені у таблиці 3.3 та зовнішній вигляд показано на рис. 3.12.

Таблиця 3.3 – Енергомонітор D103-300

Вимірювання сили струму по одній лінії	від 50mA до 800A (залежить від трансформатора струму)
Внутрішній діаметр, струм/мм	300A/23mm; 600A/32mm;
Вимірювання напруги	0 - 300V
Потужність навантаження на керованому виході	до 50W
споживана потужність	< 1.2 W
Бездротовий протокол зв'язку	2.4 ГГц / IEEE 802.11 (b, g, n)
Інтервал оновлення даних	5 сек.
Інтервал збору даних	60 сек.
Накопичення даних за відсутності зв'язку з сервером	10 діб
Встановлений робочий діапазон температури	-40 - +70 °C.
Розміри ДхВхШ	90x67x52 мм.
Вага	0,1 кг



Рисунок 3.12 – Енергомонітор D103-300

Сонячні панелі

Зовнішній вигляд обраних сонячних панелей показано на рис.3.13.

Орієнтація: Південний Схід , Південний Захід

Longi Solar LR6-72-345M (TIER1)

Monocrystalline

72 cell

345 W

1956 x 991 x 40 mm

Гарантія 10 років (25 років лінійної гарантії продуктивності)



Рисунок 3.13 – Сонячні панелі Longi Solar LR6-72-345M

Максимальна потужність одного інверторного перетворювача не перевищує 27 кВт. Встановлена кількість інверторів дорівнює 2, встановлена потужність СЕС не перевищує 50 кВт. Конструктивно вони захищені від перевантаження, як в сторону генерації, так і в сторону споживання. Встановлення ПЗР є недоцільним і водночас може спричиняти економічний збиток обладнанню при хибному спрацюванні.

Розглянемо річну генерацію енергії на рис 3.14 та рис.3.15.

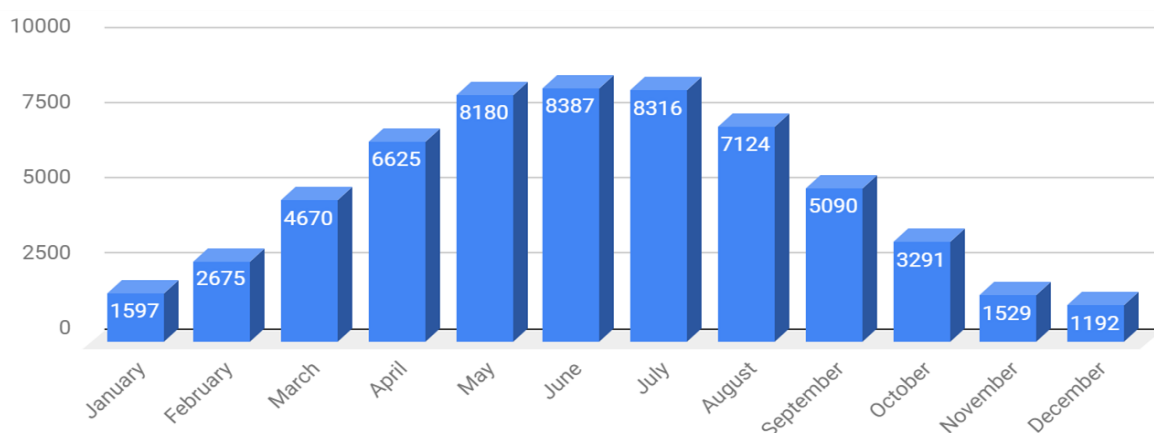


Рисунок 3.14 - Вироблення СЕС у кВт·год по місяцях



Рисунок 3.15 – Вироблення СЕС і споживання території 2 в кВт·год

З урахуванням понижувального коефіцієнта для місяців з травня по серпень сумарна генерація за рік становитиме близько 54 МВт·год, що дозволить скоротити енерговитрати на території-2 на 21%

За збереження тарифу на рівні 2,56 грн/кВт річна економія складе 139 170 грн (5150 \$)

3.2.4 Розрахунок значення робочого струму при проєктних ЛЕП-0,4 кВ

Відповідно схеми електропостачання, виконуємо розрахунок для кабельних ліній р2 (АВВГ-1 (кму) 3х185+1х95 мм² – 148 м) та р3 (АВВГ-1 (кму) 4х120 – 150 м).

Вибір типу кабелю для КЛ- 04, кВ нового будівництва виконано за умовами прокладання.

Розрахункове номінальне (воно ж максимальне) значення струму розподільчого щита складає:

Розрахунковий номінальний струм споживання по р2 Р_д= 132 кВт

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} = \frac{132}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,95} = 211,115 \text{ А} \quad (3.2)$$

Розрахунковий номінальний струм споживання по р3 Р_д= 66 кВт

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos \varphi} = \frac{66}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,95} = 105,68 \text{ А} \quad (3.3)$$

Перевірка кабелю виконується з умов забезпечення вимог ПУЕ-2017.

За умовами стійкості нагріванню струмами тривалого режиму роботи кабель відповідає значенню максимального розрахункового струму

$I_p=211, 115(A)$ – для $p2$ АВВГ-1 (кму) – $3 \times 185 + 1 \times 95$ мм² значення тривало допустимого струму $I_{Td}=312$ А, для $p3$ АВВГ-1 (кму) – 4×120 мм² $I_{Td}=226$ А (прокладання в ґрунті)(згідно технічних характеристик підприємства виробника) перевищує розрахункове.

Примітка. Захист кабелю від тривалих перевантажень забезпечується автоматичним вимикачем, встановленим на початку лінії- відповідає вимогам ПУЕ-2017, розділ 3.1.

За умовами термічної стійкості дії струмів короткого замикання кабель перевірки не потребує- згідно ПУЕ-2017, пункт 1.4.3.

Розрахункове значення падіння напруги в кабельній лінії в робочому тривалому режимі складає:

$$\Delta U = I_N * \left(\sqrt{(X_{л2} + R_{л2})} \right) = 4,97 \text{ В} \quad (3.4)$$

$$\Delta U\% = 100 * \left[1 - \frac{E - \Delta U}{U_{\phi}} \right] = 2,28 \% < 5\% \quad (3.5)$$

$$R_{л} = R_{0л} * L_1 = 0,02336 \text{ Ом} \quad (3.6)$$

$$X_{л} = X_{0л} * L_1 = 0,0086 \text{ Ом} \quad (3.7)$$

де $L_1=0,148$ км- довжина кабелю $p2$ з урахуванням надбавок;

$R_{0л}=0,16$ Ом/км, $X_{0л}=0,059$ Ом/км- питомий опір кабелю з алюмінієвими жилами перетином 120 мм²;

$E_{\phi}=230$ В- фазна напруга на шинах РУ- 0,4 кВ ТП;

$U_{\phi}=220$ В- фазна напруга на вводі абонента по ГОСТ13109-97.

$$\Delta U = I_N * \left(\sqrt{(X_{л2} + R_{л2})} \right) = 3,3 \text{ В} \quad (3.8)$$

$$\Delta U\% = 105,68 * \left[1 - \frac{E - \Delta U}{U_{\phi}} \right] = 3,045 \% < 5\% \quad (3.9)$$

$$R_{л} = R_{0л} * L_1 = 0,03 \text{ Ом} \quad (3.10)$$

$$X_{л} = X_{0л} * L_1 = 0,00885 \text{ Ом} \quad (3.11)$$

де $L_1=0,15$ км- довжина кабелю $p3$ з урахуванням надбавок;

$R_{0л}=0,2$ Ом/км, $X_{0л}=0,059$ Ом/км- питомий опір кабелю з алюмінієвими жилами перетином 120 мм²;

$U_{\text{ф}}=230 \text{ В}$ - фазна напруга на шинах РУ- 0,4 кВ ТП;

$U_{\text{ф}}=220 \text{ В}$ - фазна напруга на вводі абонента по ГОСТ13109-97.

3.2.5 Вибір уставок автоматичних вимикачів

Величина розрахункового приєднаного навантаження для:

$$Q2- P_{p2}=132 \text{ кВт} \quad (3.12)$$

$$Q3 - P_{p3}=66 \text{ кВт при живленні від мережі } 380\text{В, } 50\text{Гц.} \quad (3.13)$$

Розрахунковий струм в ввідному вимикачі, що встановлюється в РУ- 0,4 кВ:

$$I_{p2} = \frac{P_{p2}}{U \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi} = 211,115 \text{ А} \quad (3.14)$$

$$250 \text{ А} \geq 211,115 \text{ А}$$

В якості відхідного апарату встановити автоматичний вимикач з тепловим розчеплювачем $I_{\text{тр}}=250 \text{ А}$.

$$I_{p2} = \frac{P_{p2}}{U \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi} = 105,68 \text{ А} \quad (3.15)$$

$$125 \text{ А} \geq 105,68 \text{ А}$$

В якості відхідного апарату встановити автоматичний вимикач з тепловим розчеплювачем $I_{\text{тр}}=125 \text{ А}$

Уставки автоматичних вимикачів РУ- 0,4 кВ ТП (Q2,Q3)

До розрахунку взято автоматичний вимикач Q2 (250 А 3р) та Q3 (125 А 3р), що встановлені в РУ- 0,4 кВ ТП.

Для Q2:

$$I_{\text{ном.авт}} \geq I_{\text{ном.РЩ}}$$

$$250 \text{ А} \geq 211,115 \text{ А}$$

$$I_{\text{ПОС}}=36 \text{ кА} > I_{\text{уд.мах}}=35,4 \text{ кА}$$

Для Q3:

$$I_{\text{ном.авт}} \geq I_{\text{ном.РЩ}}$$

$$125 \text{ А} \geq 105,68 \text{ А}$$

$$I_{\text{ПОС}}=36 \text{ кА} > I_{\text{уд.мах}}=35,4 \text{ кА}$$

Проектом рекомендовано встановлення автоматичних вимикачів з тепловим розчеплювачем $I_{\text{тр}}=250 \text{ А}$ та $I_{\text{тр}}=125 \text{ А}$ із значенням електродинамічної стійкості не менше 36 кА.

3.2.6 Рішення по обліку електроенергії

Організація розрахункового обліку електроенергії розробляється проектом відповідно до вимог ПУЕ, Технічних рекомендацій на впровадження системи автоматизованого комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ) та Кодексу комерційного обліку електричної енергії.

Проектом передбачено влаштування вузлів розрахункового та балансуючого обліку електроенергії, з введенням в систему АСКОВЕ, на встановленій межі балансового розмежування електромереж, а саме:

- точка обліку №1 (0,4 кВ) – загальний облік по РУ-0,4 кВ, ТП- точка розрахункового обліку по приєднаннях (3 лінії) СЕС (50 кВт);
- точка обліку №2 (0,4 кВ) – загальний облік по РУ-0,4 кВ, ТП- точка технічного обліку по приєднаннях (3 лінії) СЕС (50 кВт);
- точка обліку №3 (0,4 кВ) – загальний облік по РУ-0,4 кВ – точка обліку електроенергії власних потреб.

Лічильник електроенергії SL 7000 встановлено в РУ- 0,4 кВ ТП.

Перевірка обладнання розрахункової точки обліку №1 – трансформаторів струму – на забезпечення вимог ПУЕ-1.5 щодо:

- кратності коефіцієнту трансформації ТС:

Розрахункова кратність струму до робочого завантаження вузла обліку

$$I_{\text{р1}}/I_{\text{тс}}=557,75/600=0,93 \text{ (} 93\% > 20\% \text{)} \quad (3.16)$$

де $I_{\text{р1}}$ – значення робочого струму вузла обліку, який відповідає робочому струму СЕС при номінальній потужності $P_{\text{р}}=330 \text{ кВт}$ та

граничному значенні регульованого коефіцієнту потужності $\cos\varphi=(+0,9...-0,9)$;

$$I_p = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi} = \frac{330}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,9} = 557,75 \text{ A} \quad (3.17)$$

- розрахункова кратність струму до робочого завантаження вузла обліку при рекомендованому (експлуатаційному) коефіцієнті потужності:

$$I_p/I_{тс}=512,22/600=0,854 \text{ (85,4\% > 20\%)} \quad (3.18)$$

де I_p – значення робочого струму вузла обліку, який відповідає робочому струму СЕС при номінальній потужності $P_p=330$ кВт та рекомендованому значенні регульованого коефіцієнту потужності $\cos\varphi=+0,98$;

$$I_{pe} = \frac{P_1}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi_e} = \frac{330}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,98} = 512,22 \text{ A} \quad (3.19)$$

- розрахункова кратність струму до мінімального робочого навантаження вузла обліку:

$$I_{мін}/I_{тс}=102,44/600=0,1707 \text{ (1,707\% > 1\%)} \quad (3.20)$$

де $I_{мін}$ – значення мінімального струму вузла обліку, який відповідає номінальному робочому струму для одного інвертора потужністю $P_p=66$ кВт;

$$I_p = \frac{P_p}{\sqrt{3} \cdot U_H \cdot \cos\varphi} = \frac{66}{\sqrt{3} \cdot 0,38 \cdot 0,98} = 102,44 \text{ A} \quad (3.21)$$

Вимоги ПУЕ в частині забезпечення необхідної кратності струмів-забезпечуються.

Перевірка трансформаторів струму точки обліку №1:

- по завантаженню вторинної обмотки трансформаторів струму – забезпечується: $z_2 \leq z_{2ном}$

$z_2=0,0808$ Ом < $z_{2ном}=0,4$ Ом при розрахунковому зведеному опорі вимірювального кола вторинної обмотки трансформатора.

Розрахунок трансформатора струму точки обліку №1 наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Розрахунок трансформатора струму точки обліку №1

Назва елемента	Опір елемента, вимірювального кола, <u>Ом</u>		
	В фазі А	В фазі В	В фазі С
Лічильник EPQS 122.23.17LL	0,0006	0,0006	0,0006
Опір кіл (провід ПВ-1,2,5)	0,0302	0,0302	0,0302
Опір перехідних контактних з'єднань (при числі приладів менше 3)	0,05	0,05	0,05
Разом, z_2 , <u>Ом</u>	0,0808	0,0808	0,0808

При номінальному опорі вторинної обмотки вимірювального трансформатора струму 10 ВА (паспортні значення) $z_{2\text{ном}}=0,4$ Ом.

Схема підключення трансформаторів струму:

- три елементна вимірювальна схема (в фазах А, В та С).

Технічні дані про навантаження вторинної обмотки вимірювального трансформатора:

- тип встановленого лічильника електроенергії – SL 7000;
- споживана потужність лічильника – не більше 4 Вт (в трифазній мережі).

- прокладання провідників від облікових трансформаторів струму в РУ- 0,4 кВ ТП виконано контрольним кабелем з мідними жилами, з перетином жил 2,5 кв.мм. Розрахункова довжина провідника одного кола складає 4,5 м.

- опір кожного послідовного кола – 0,0302 Ом.

Вимірювальні трансформатори струму точки обліку №1 відповідають всім вимогам ПУЕ до облікових трансформаторів струму.

3.2.7 Рішення щодо пристроїв компенсації реактивної потужності

При впровадженні устаткування сонячної електростанції з використанням комплектних перетворюючих пристроїв (інверторів) типу Fronius ECO 27.0-3-S не потребується впровадження додаткових пристроїв компенсації реактивної потужності.

Інвертори забезпечують видачу потужності з програмованим коефіцієнтом потужності, встановленим в діапазоні від -0,9 до +0,9 (встановлюється при програмуванні інвертора). Підтримання встановленого коефіцієнту потужності забезпечується автоматично.

Проектом рекомендовано встановлення коефіцієнту потужності для всіх інверторів (зокрема- на етапі пусконаладження) на рівні 0,98.

3.2.8 Техніко-економічне обґрунтування впровадження СЕС

Вихідні дані

- планова відпускна ціна (без ПДВ) за 1 кВт*год електроенергії, вироблюваної на СЕС;
- тариф (без ПДВ) за 1 кВт*год електроенергії, одержуваної з боку;
- чисельність обслуговуючого персоналу СЕС по посадах;
- плановані середньомісячні заробітки обслуговуючого персоналу по посадах;
- орієнтовний ефективний термін експлуатації модулів СЕС;
- джерело фінансування будівництва СЕС;
- планований середньорічний виробіток електроенергії на СЕС;
- річні витрати на експлуатацію.

Загальний розмір капітальних вкладень на будівництво СЕС визначений, відповідно до зведеного кошторисного розрахунку вартості, у

сумі 6 637,834 тис.грн., у тому числі будівельно-монтажні роботи 2 588, 755 тис. грн.. Напрямок і структура капітальних вкладень по об'єктах будівництва та по видах робіт і витрат наведені в таблиці 3.5 - 3.6

Таблиця 3.5 – Витрати на установку електростанції

Item	Brand	Артикул	Кіл-ть	Ціна	Сума
Solar Panels	Longi Solar	LR6-72-345M	144	\$131,10	\$18 878,40
Invertor	Fronius	Eco 27.0-3-S	2	\$2 951,00	\$5 902,00
		Smart Meter	1	\$287,00	\$287,00
		Трансформаторы	3	\$60,00	\$180,00
Roof Hardware	Передові Технології			\$21,00	\$3 024,00
Wire and Cable Management					
Кабель Solar, м	LAPP	OLFLEX SOLAR XLS-R 1x4 WH/BK	600	€30	€18 000,00
Кабель у щиток		ПВ-3 6мм2	50	€15	€774,00
Кабель АС		ВВГнг (ПВС) 5x16мм2	20	€200	€4 000,00
Кабель FTP (Mod Bus)		FTP cat 5e наружный тросом	250	€10	€2 500,00
RG45 з екраном			4	€10	€40,00
Кабель UTP (Internet)		UTP cat.5e	200	€5	€1 000,00
MC4 (тато+мама)			15	€50	€750
Monitoring					
Micro Tik		Micro Tik	1	€600	€600,00
Cable Management					

Продовження таблиці 3.5

Гофра, м	КОPOS	2332/LPE-1	200	€12,72	€2 544,00
Обойма для гофри		32мм	200	€4,00	€800,00
Electrical					0
Щит зовнішній розподільний	ETITEC	ЕСН 24РТ (24 модулей)	2	€750,00	€1 500,00
Наконечники втулкові з ізоляцією	АСКО		1	100	100
Шина 2p 125A 2x7	ETI		2	€100,00	€200,00
Коробка розподільна	OBO	T 40	4	€26,63	€106,52
Surge Protection					0
Обмежувач перенапруги PV	Phoenix	PV 1000	2	€1 170,00	€2 340,00
Обмежувач перенапруги АС	ETITEC	C T2 275/20 (4+0) 4p	2	€1 267,00	€2 534,00
Роз'єднувач	ETITEC	EFH 10 1p 25A 1000V DC	9	€66,67	€600,00
Запобіжник	ETITEC	CH 10x38 gPV 13A 1000V 30kA	9	€46,55	€418,95
Авт. вимикач	ETITEC	ETIMAT 6 3p+N C 63A	2	€383,50	€767,00
Вимикач навантаження DC	ETI	LS SMA (DC) 32A	2	€1 152,00	€2 304,00
Mounting Hardware					
Введення прохідного			1	€1 500,00	€1 500,00
Bolts and Screws					

Продовження таблиці 3.5

Дюбелі та болти для підвісу інвертора			10	€10,00	€100,00
Болт для кріплення L куточків, кг		6x80	400	€2,00	€800,00
Tools					
Стяжки пластикові чорні		150 мм	3	28	84
Стяжки пластикові чорні		300 мм	3	65	195
Гідроізоляційна плівка (під кронштейн)			2	€200,00	€400,00
Податок ФОП					€6 000
Fuel					€0,00
паливо			14	100	€1 400,00
доставка панелей		Київ	1	€2 375,00	€2 375,00
Work					
монтаж			14	€2 000,00	€28 000

Таблиця 3.6 – Капітальні вкладення

Найменування витрат	Загальний розмір капітальних вкладень, грн.,%	У тому числі		
		Будівельно- монтажні роботи, грн.,%	Основні фонди, грн.,%	Інші роботи і витрати, грн.,%
Усього витрат	1048572	100636	927936	20000
	100	10	87	3

Повернення інвестицій можна побачити на рис.3.16 та рис.3.17.

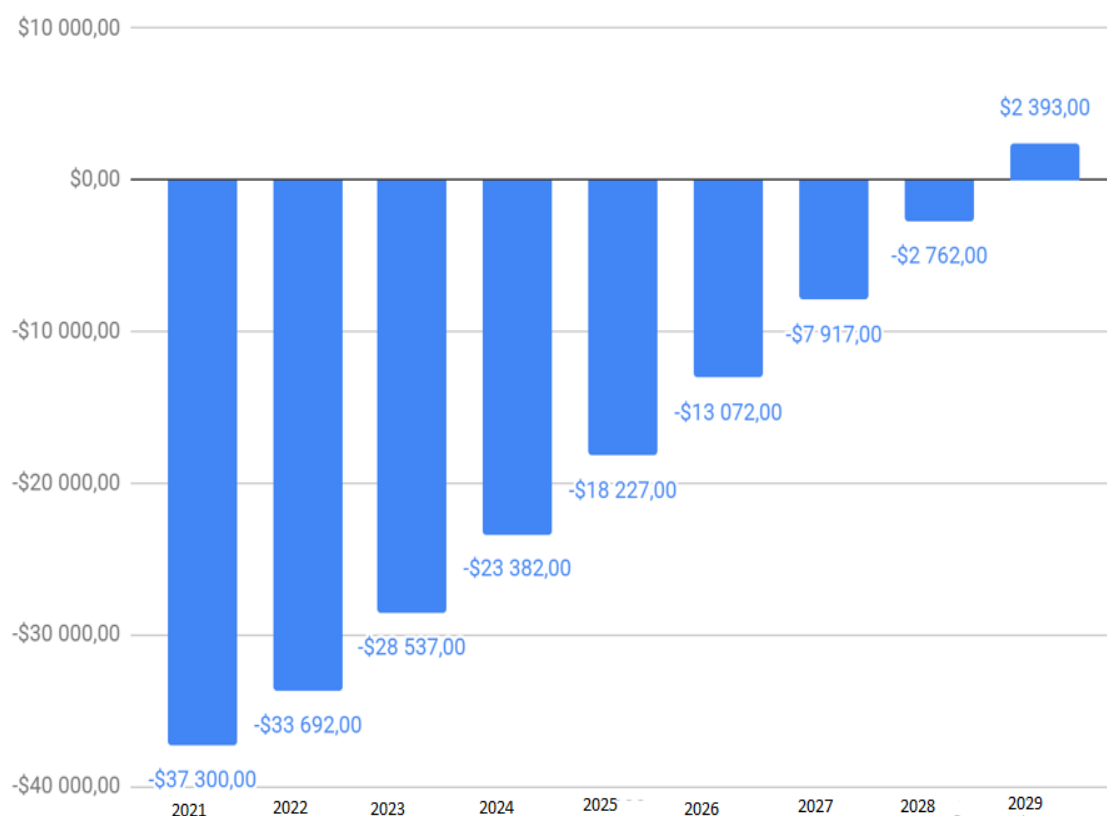


Рисунок 3.16 – Термін окупності СЕС

Вартість системи 37 300 \$

Вартість енергії 2,56 грн/кВт·год (незмінна)

Щорічне вироблення 54,3 МВт·год

Термін окупності 8 років

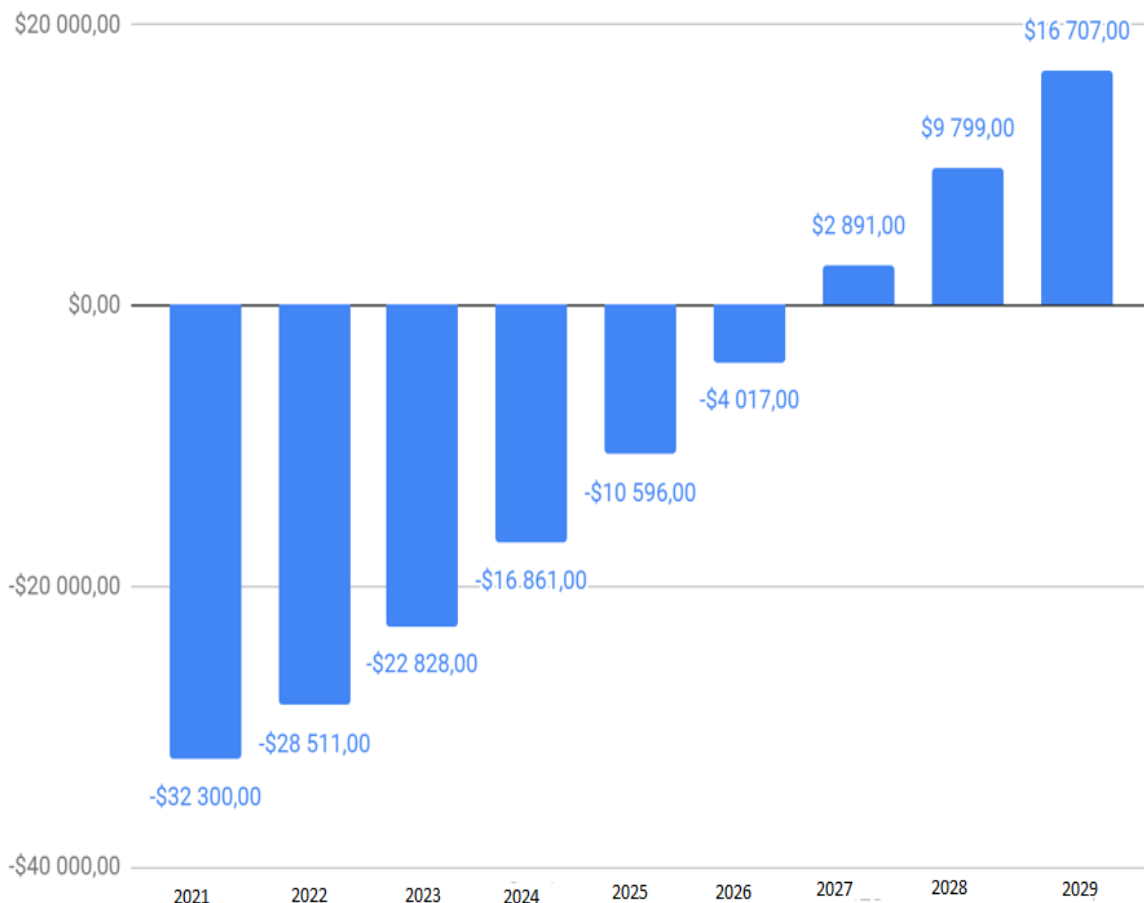


Рисунок 3.17 – Термін окупності СЕС

Вартість системи 37 300 \$

80% обладнання можна придбати з ПДВ (близько 5000 \$ ПДВ),
підсумкова ціна без ПДВ 32 300 \$

Вартість енергії 2,56 грн/кВт·год на 2021 рік, коефіцієнт
подорожчання +5% на рік до рівня 0,13 \$/кВт·год.

Щорічне вироблення 54,3 МВт·год

Термін окупності 5,5 років

3.3 Екологічність сонячної енергетики

Використання сонячної електростанції на 50 кВт дозволить зменшити
викиди CO₂, вироблені ТЕС на 51,3 тонни на рік

Протягом усього терміну експлуатації у 25 років – 1283 тонни

Для поглинання даної кількості CO₂ потрібно посадити близько 700 дерев листяних порід

Також варто враховувати, що при виробництві сонячних панелей на 30% менше викидів в атмосферу, порівняно зі стандартним виробництвом джерел енергії

Щорічно дана електростанція на 50 кВт дозволить зменшити річний обсяг твердих відходів ТЕС (вугілля) на 27 тонн.

Висновки до розділу 3

1. Запропоновано впровадження низки загальнопідприємствоських заходів щодо підвищення рівня енергоефективності підприємства та проведено техніко-економічне обґрунтування цих заходів;
2. На основі проведеного енергетичного обстеження було прийнято рішення щодо проєктування на підприємстві сонячної електростанції для генерації електричної енергії і подальшої віддачі її в мережу за "зеленим" тарифом;
3. Спираючись на вихідні дані, було вирішено питання підключення сонячної електростанції до основної мережі, визначено точку її приєднання, кількість та переріз кабелів для живлення, проведено розрахунок уставок пристроїв захисту за допустимим струмом, наведено конструктивне виконання та спосіб кріплення і розташування фотоелектричних модулів на даху підприємства.
4. Наведено техніко-економічне обґрунтування будівництва та впровадження сонячної електростанції на підприємстві.

4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЄКТУ ПО ВПРОВАДЖЕННЮ СИСТЕМИ ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ НА ПРОМИСЛОВОМУ ПІДПРИЄМСТВІ З ВИКОРИСТАННЯМ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

У сучасному світі все частіше з'являється потреба у моніторингу об'єктів зі сторони енергетичного споживання та відповідності до встановлених норм та вказаних енергетичних характеристик у технічних паспортах об'єктів. Сьогодні в Україні досить актуальним є питання енергетичної незалежності країни. Зміни, які відбуваються в енергетичній політиці країни, здійснюється шляхом переходу від застарілої системи до нової моделі управління.

Генерація струму з енергії сонця – один з найприбутковіших видів бізнесу в Україні. За статистикою, лише у першому півріччі 2019 року у вітчизняну альтернативну енергетику інвестовано 1,3 млрд євро. Найбільше грошей бізнесмени вклали саме у фотоелектричну галузь. Загальна потужність встановлених в країні сонячних електростанцій зараз перевищує 2,6 ГВт.

Ідея стартапу полягає у проведенні моніторингу об'єкта, аналізу отриманих даних та розрахунків для встановлення системи енергопостачання промислового підприємства з використанням сонячних панелей.

Завдання розділу полягає у визначенні перспективності запропонованих у цій роботі науково-технічних рішень і пропозицій за допомогою маркетингового аналізу та оцінці можливостей їх ринкового впровадження.

4.1 Цілі та етапи реалізації стартап-проєкту

Першочерговим завданням потрібно обрати цілі та визначитись з планом дій. Цілі та етапи реалізації занесемо в таблицю 4.1

Таблиця 4.1 – Цілі основних етапів реалізації стартап-проєкту

Етапи реалізації стартап-проєкту	Цілі етапів реалізації стартап-проєкту
Початковий етап стартап-проєкту	Дослідження існуючої системи та можливостей з технічної сторони(монтаж)
Етап обґрунтування актуальності та новизни інноваційної ідеї	Узгодження з державною нормативною базою. Підвищення респектабельності і відповідно вартості площі новобудови. Автономності в експлуатації.
Етап аналізу конкурентного середовища	Виявлення можливих конкурентів, які виготовляють схоже обладнання, надають послуги або пропонують схожі технології та недоліків реалізації
Етап обґрунтування ресурсного забезпечення проєкту	Визначення необхідних ресурсів, ключових процесів, технології, обладнання та реалізації проєкту
Етап фінансового забезпечення реалізації проєкту	Обґрунтування вартості обладнання та наданих послуг
Інвестиційний етап реалізації стартап-проєкту	Зацікавлення мешканців та орендарів. Участь у міських та державних програмах (такі, як «70/30»)
Маркетинговий етап реалізації проєкту	Обґрунтування обраного способу розповсюдження

4.2 Опис ідеї проєкту

Ідея проєкту полягає у встановленні та використанні сонячної електростанції (СЕС) у багатоповерховому житловому будинку в якості джерела електричної енергії.

Переваги сонячних електростанцій:

- **Висока прибутковість.** Заробляти на генерації вигідніше, чим займатися нерухомістю або примножувати гроші у банку. ROI (рентабельність інвестицій) у середньому складає 16-18%.
- **Малі експлуатаційні витрати.** Для обслуговування промислової сонячної станції достатньо штату з 5-7 чоловік. Панелі та інвертор не потребують складного дорогого догляду.
- **Тривалий строк служби.** Мережеві інвертори та сонячні панелі від надійних виробників працюють від 25 років. Звичайно, генерація з часом падає, але дуже повільно: у середньому на 0,5-0,8% за рік.
- **Короткий термін окупності.** Чим потужніша сонячна електростанція, тим швидше повертаються вкладені в неї кошти. В залежності від регіону та класу обладнання інвестиції окупаються за 5-7 років.
- **Біопозитивність.** Сонячна енергія належить до відновлювальних ресурсів, а кремнієві модулі не містять жодних шкідливих речовин. Фотоелектричні системи працюють тихо, не порушують екобаланс. Найчастіше їх встановлюють на землях несільськогосподарського призначення: розчищених смітниках, на ділянках відпрацьованих кар'єрів, тощо.

Однак генерацію електроенергії можна поєднувати і з фермерством. Доведено, що встановлення сонячних панелей на ріллі сприяє підвищенню врожайності тіньовитривалих рослин. В агровольтаїчних господарствах фотомодулі монтують на високих металоконструкціях з автоматичною регуляцією кута нахилу. Оснащувати сонячними батареями вигідно і промислові підприємства. Установка забезпечуватиме внутрішні потреби виробництва, а продаж зайвого струму дозволить компенсувати збитки від закупівлі електроенергії вночі.

4.3 Аналіз конкурентного середовища

Для зручності, порівняльні характеристики зведені до таблиці 4.2 та таблиці 4.3.

Таблиця 4.2 – Переваги ідеї проєкту

Техніко-економічні характеристики ідеї	Стартап проєкт	Конкурент 1	Конкурент 2
Модель та найменування фірми	NENERGY	SOLARENERGY	SUNSAENERGY
Складність впровадження запропонованої системи	Низька	Середня	Низька
Тривалість виконання установочних робіт (днів)	7-14	14-20	7-14
Проведення сервісного обслуговування	Так	Так	Так

Таблиця 4.3 - Аналіз сильних та слабких сторін проєкту

Сильні сторони	Слабкі сторони
1. Інвестиційна привабливість 2. Підтримання нормативних (комфортних) умов мікроклімату будівлі 3. Вирішення проблеми недогріву у приміщеннях та цехах 4. Екологічна доцільність 5. Автономія енергозабезпечення 7. Автоматизоване керування системою	1. Складності з отриманням грошей з боку держави 2. Довгий термін окупності 3. Використання майже усієї площі даха.
Можливості	Загрози
1. Можливість використання сучасних технологій 2. Можливість зменшення грошових витрат 3. Можливість моніторингу і обслуговування за рахунок кадрів технічних учбових закладів	1. Можлива потреба в обслуговуванні обладнання

4.4 Обґрунтування ресурсного забезпечення проєкту

Розглянемо декілька варіантів встановлення сонячної електростанції на промисловому підприємстві. Потужність виробленої електроенергії кожної сонячної електростанції є різною в залежності від споживання підприємства електричної енергії. Необхідні грошові витрати на обладнання зведені до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Затрати на обладнання для проєкту

Назва	Величина грн		
	50 кВт	100 кВт	200 кВт
Сонячні панелі	510000	1020000	2040000
Інвертор Fronius ECO 27.0-3-S	160000	320000	640000
Провідники (дріт)	15040	30080	60160
Метало-конструкція	18000	36000	72000
Датчик зовнішньої температури	320	640	1280
Терморегулятор	1500	3000	6000
Блок керування	65500	131000	262000
Всього	770360	1540720	3081440

4.5 Фінансове обґрунтування стартап-проєкту

Крім матеріальних витрат існують витрати на заробітну платню та надані послуги, вони зведені до таблиці 4.5 та таблиці 4.6 відповідно.

Таблиця 4.5 – Витрати на заробітну платню

Посада	Кількість працівників	Заробітна плата (грн.)
Інженер	1	20000
Монтажник	3	45000
Всього		65000

Таблиця 4.6 – Витрати за надані послуги

Вид послуги	Вартість (грн.)
Доставка обладнання	6500
Всього	6500

4.6 Рівень рентабельності ідеї

Дані обґрунтування необхідного рівня прибутку інноваційної ідеї, для якої розраховується ціна зводиться до таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 - Обґрунтування рівня рентабельності товару

Статті витрат	Джерело даних	Од. вимір.	Значення показників
1. Собівартість одиниці продукції	табл. 4.4	грн.	5426,8
Обсяг виробництва в рік	Прогноз		240
2. Необхідний прибуток	п.п.2,1+2,2+2,3+2,4+2,5+ 2,6+2,7	грн.	705875
2.1. Кредитні засоби та їх обслуговування	Кредитна угода	грн.	50 000
2.2. Засоби ФРВ	Колективна угода	грн.	40 000
2.3. Засоби ФСР	Колективна угода	грн.	35 000
2.4. Засоби ПФ	Колективна угода	грн.	10 000
2.5. Грошові виплати власникам підприємства	Колективна угода	грн.	20 000
2.6. Фінансовий резерв	$(2.1+2.2+2.3+2.4+2.5) \cdot 0.05/0.95$	грн.	12500
2.7. Податок на прибуток	$(2.1+2.2+2.3+2.4+2.5) \cdot 0.18$	грн.	17000
3. Необхідний рівень рентабельності продукції	$\text{п.2} / \text{п.1} \cdot 100\%$	%	14

4.7 Вартість виробництва інноваційної технології

Визначимо величину ПДВ та ціни техніки (технології). Узагальнимо ре-зультати обґрунтування в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Обґрунтування вартості та ціни

Статті витрат	Джерело даних	Одиниці вимірювання	Значення показників
1. Собівартість одиниці товару (послуги)	табл. 4.5-4.6	грн.	16280,4
2. Норма рентабельності	табл. 5.8	%	42
3. «Нормальний» питомий прибуток	п.1 · п.2 / 100%	грн.	1761
4. Вартість виробництва одиниці продукції	п.1 + п.3	грн.	4500
5. ПДВ	п.4·0,2	грн.	600
6. Відпускна ціна товару (послуги)	п.4+п.5	грн.	6300

Для аналізу границь змін відпускної ціни в умовах вільного ринку необхідне проведення маркетингового дослідження на продукти-аналоги. Результати досліджень записуються в таблицю 4.9.

Таблиця 4.9 – Порівняльний аналіз сформованої ціни з цінами конкурент-них товарів-аналогів

Види ціни	Джерело даних	Одиниці вимір.	Показники
Розрахункова ціна виробництва одиниці продукції з ПДВ	Табл. 4.8	грн.	2700
Ринкові ціни товарів-аналогів на ринку	Маркетингове дослідження ринку		
Мінімальна		грн.	1500
Максимальна		грн.	9000
Середня		грн.	4200
3. Скоригована ціна реалізації			5000

4.8 Цільова група потенційних споживачів

До цільової групи споживачів потрапляють майже всі ДНЗ, оскільки в більшості з них не проводилась термомодернізація та досі використовуються застарілі тепlopункти. Основним способом розповсюдження запланована участь у державних тендерах та зв'язок з адміністрацією міста/ учбового закладу.

4.9 Канал збуту

В таблиці 4.10 наведено формування системи збуту.

Таблиця 4.10 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Оптимальна система збуту
1	Клієнт зацікавлений у якості товару, яка відповідає ціні	Збір інформації, необхідної для здійснення успішної реалізації продукту, створення та поширення відомостей про товар	Рекламна компанія в соціальних мережах; Участь у комерційних перемовинах з головами вищих навчальних закладів; Участь у виставках, тендерах та торгівельних семінарах;

4.10 Бізнес-модель проєкту

В таблиці 4.11 представляємо структуру бізнес-моделі обладнання.

Таблиця 4.11 – Структура бізнес моделі обладнання

Ключові партнери:	Ключові види діяльності:	Цінність пропозиції:	Взаємодія з клієнтами:	Споживчі сегменти:
1.NENERGY 2.SUNSA ENERGY 3.SOLAREN ERGO 4.ATMOSFE RA 5.EKOTECH NICK UKRAINE	1. Розрахунок системи 3. Установка системи електро-генерації 4. Проведення навчання 5. Сервісне обслуговування	Автоматизація процесу і автономність генерації від енерго-постачальників для підтримання нормованих/комфортних умов	Пряма взаємодія з клієнтами	Державні та приватні (багатоповерхівки офісного типу), адміністративні будівлі навчальні заклади (ДНЗ, школи, ВНЗ)
	Ключові ресурси: 1. Витрати на придбання обладнання 2. Людські ресурси 3. Фінансові ресурси (державні кошти та залучені інвестиції)		Канали збуту: Прямий продаж	

Висновки до розділу 4

В розділі було розглянуто на прикладі промислового підприємства рентабельність впровадження системи генерації сонячних панелей.

На даний момент ми бачимо спадання собівартості сонячної електрогенерації у порівнянні з минулими роками на 20-40% (у залежності від типу об'єкта і фірми виробника обладнання) за рахунок зростаючої конкуренції та дешевизни виробів з КНР.

ВИСНОВКИ

1. Було проведено аналіз відновлювальних джерел енергії та підприємств машинобудівної промисловості, з якого було визначено, що задля стрімкого розвитку впровадження ВДЕ в Україні та підвищення рівня енергоефективності потрібно намагатись брати приклад з країн ЄС, що ставлять перед собою найамбітніші цілі щодо енергоефективності та скорочення викидів шкідливих речовин; сприяти на загальнодержавному рівні підвищенню енергоефективності за рахунок заохочення громадян, наприклад, "зеленими" тарифами.

Проаналізувавши напрямки розвитку та потенціал ВДЕ, можна сказати, що найбільш перспективними до впровадження на підприємствах машинобудівної промисловості з них є:

- впровадження вітроагрегатів для автономної енергетики;
- впровадження сонячних електростанцій для генерації електроенергії;
- використання геліосистем для теплопостачання;
- впровадження комбінованих когенераційних енергетичних систем в комплексі з системами акумулювання енергії тощо;
- комплексне впровадження теплових насосів для одночасного вироблення тепла та холоду.

2. Головним завданням для нашої країни в даний час є створення науково-технічної бази відновлюваної енергетики з метою поступової заміни в Україні традиційних методів отримання енергії на практично невичерпні екологічно чисті відновлювані джерела енергії в межах доцільної реалізації їх потенціалу. Пошук перспективних шляхів розвитку техніки та технологій на основі використання енергії відновлюваних джерел є однією з проблем, вирішення якої в Україні дасть гарантію енергетичної безпеки, що є одночасно і гарантією незалежності держави.

3. Зі сторони державних органів влади необхідно зробити державну політику у сфері відновлюваної енергетики більш прогнозованою за рахунок створення довготермінових стратегічних

планів, спрямованих на досягнення нульового викиду вуглецю, із відповідним наповненням щодо стимулювання, гарантій та фінансової кредитної підтримки проєктів та програм залучення місцевих громад до проєктів ВДЕ.

4. Було досліджено, що сонячна електроенергетика України розвивається найбільш динамічно із всіх ВДЕ – встановлені потужності промислових сонячних мають тенденцію до щорічного зростання, досить активно впроваджуються також домашні СЕС. Однак необхідність створення балансових потужностей та зменшення «зеленого» тарифу може негативно вплинути на загальну динаміку даної галузі сонячної енергетики.

5. Було проведено енергетичне обстеження підприємства машинобудівної галузі, що займається виробництвом та обслуговуванням броньованих автомобілів задля визначення можливих заходів з енергоефективності та доцільності їх впровадження в рамках даного підприємства. Було проведено аналіз споживання електричної енергії, теплової енергії та обсягів виробництва продукції, електричний баланс споживання тощо. На основі цих даних було зроблено висновки щодо наявності на підприємстві потенціалу щодо підвищення рівня енергоефективності, в тому числі, за рахунок впровадження сонячної електростанції для генерації електричної енергії та подальшої віддачі її в мережу за "зеленим" тарифом.

6. Основним електроспоживаючим обладнанням є: обладнання для ремонту і обслуговування (плазменно-дугові різакі, електроінструмент, сварочне оснащення), обладнання котельні (вентилятори), освітлення виробничих приміщень і території, компресори. При цьому там де це доцільно були встановлені частотні перетворювачі, що дозволило мінімізувати споживання енергії.

7. До основних ефектів від реалізації стратегії енергозбереження промислового підприємства можуть бути віднесені:

- збільшення продуктивності технологічних установок та обладнання в разі впровадження заходів щодо технологічного енергозбереження, зниження енерговитрат на одиницю продукції та поліпшення її якості;

- економія енергії та інших ресурсів, що приводить до зниження матеріальних витрат та собівартості продукції;

- скорочення платежів підприємства за забруднення навколишнього середовища в зв'язку із зменшенням кількості витрачених паливно-енергетичних ресурсів.

8. На основі проведеного енергетичного обстеження було прийнято рішення щодо проектування на підприємстві сонячної електростанції для генерації електричної енергії і подальшої віддачі її в мережу за "зеленим" тарифом. Спираючись на вихідні дані, було вирішено питання підключення сонячної електростанції до основної мережі, визначено точку її приєднання, кількість та переріз кабелів для живлення, проведено розрахунок уставок пристроїв захисту за допустимим струмом, наведено конструктивне виконання та спосіб кріплення і розташування фотоелектричних модулів на даху підприємства. Наведене техніко-економічне обґрунтування будівництва та впровадження сонячної електростанції на підприємстві машинобудівної промисловості показало, що проєкт є доцільним, оскільки окуповується за відносно невеликий термін при середній тривалості експлуатації обладнання 25 років.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кудря С.О. Стан та перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні // Вісник НАН України, № 12, 2015. – С. 19-26.
2. Атом vs енергія вітру: хто переможе і якою буде енергетика України у 2050 році [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <http://budport.com.ua/news/16769-atom-vs-energiya-vitru-hto-peremozhe-iyakoyu-bude-energetika-ukrajni-u-2050-roci>.
3. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії / Кудря С.О. – Підручник. – Київ: Національний технічний університет України («КПІ»), 2012. – 495 с.
4. Мхитарян Н.М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. К., Наукова думка, 1999. – 314 с.
5. Розвиток відновлюваних джерел енергії в Україні. Звіт в рамках проєкту «Секретаріат та Експертний хаб з енергоефективності», що впроваджується Програмою розвитку ООН в Україні за підтримки Уряду Республіки Словачія та сприяння Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства в Україні. – 2017. – 36 с.
6. В ЄС уперше "зелена" енергетика обігнала "класичну" [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://rubryka.com/2020/07/25/v-yes-upershezelen-energetyka-obignala-klasychnu/>.
7. Основні результати від Bloomberg New Energy Financehttps [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://euea-energyagency.org/uk/novynyta-podiyi/novyny-rynku/key-results-of-climatescope-2019-by-bloombergnef-2/>.
8. Сонячні та вітрові станції + акумуляторні сховища – тепер найдешевші джерела енергії у світі [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://site.ua/ira.kovalchuk/27882/>.
9. Renewable Energy and Jobs – Annual Review 2018 [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <http://irena.org/publications/2018/May/RenewableEnergy-and-Jobs-Annual-Review-2018>.

10. Кудря С.О., Рєпкін О.О., Яценко Л.В., Ткаленко М.Д., Шинкаренко Л.Я. Концепція Дорожньої карти розвитку водневої енергетики України на період до 2035 року / Відновлювана енергетика. – 2019. – №4 (59). – С. 22-28.
11. Інститут відновлюваної енергетики НАН України. Історія становлення, сучасність та перспективи / За ред. С.О. Кудрі. – Київ.: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2018. – 94 с.
12. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / За ред. С.О. Кудрі. – Київ.: ТОВ "Віол Принт", – 2008. – 55 с.
13. Кудря С.О. Електроенергетичний потенціал відновлюваних джерел енергії України / Матеріали XXI-ої міжнародної конференції “Відновлювана енергетика та енергоефективність XXI століття”, м. Київ, 14-15 травня 2020 р. – С. 26-33.
14. Інформація щодо потужності та обсягів виробництва електроенергії об'єктами відновлюваної електроенергетики [Електронний ресурс] // – Режим доступу: https://saee.gov.ua/sites/default/files/1_kv_2020_VDE
15. Альтернативна енергетика в Україні за рік зросла більш ніж вдвічі [Електронний ресурс] // – Режим доступу: https://glavcom.ua/new_energy/news/alternativna-energetika-v-ukrajini-za-rikzroslo-bilsh-nizh-vdvichi-670283.html.
16. Стратегія енергозбереження, енергоефективності та розвитку відновлюваних джерел енергії Дніпропетровської області на 2018 – 2035 роки. – Дніпро, – 2017. – 27с.
17. Желєзний А. Огляд державного механізму стимулювання енергозбереження в муніципальних та житлово-комунальних будівлях Чехії. Національний екологічний центр України, www.nescu.org.ua. Київ. – 2012. – 10 с.
18. Яценко Л.В. Визначення ефективності застосування комбінованих енергосистем на основі відновлюваних джерел енергії. // Технічна електродинаміка, ч. 1, Київ, 1999. – С. 34–41.

- 19.Кудря С.О., Рєпкін О.О., Яценко Л.В., Ткаленко М.Д., Шинкаренко Л.Я. Концепція Дорожньої карти розвитку водневої енергетики України на період до 2035 року // Відновлювана енергетика. – 2019. – №4 (59). – С. 22-28.
- 20.Стоян О.Ю. Державне регулювання розвитку сфери відновлювальної енергетики в Україні: теорія, практика, механізми: монографія – Миколаїв: 2014. – 387 с.
- 21.Нормативно-правова база. Перелік законів, що регулюють ринок відновлюваних джерел в Україні [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <http://banisaenergy.com/uk/normatyvno-pravova-baza>.
- 22.Закон України «Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електричної енергії з альтернативних джерел енергії» № 2712 – VIII від 25.04.2019р. Відомості Верховної Ради України, № 23. – 2019. – С. 89.
- 23.Андерсон Б. Солнечная энергия. – М. – Стройиздат, 1982. – 374 с.
- 24.Даффи У.Дж., Бекман У.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии / Под ред. Ю.Н. Малевского – М., 1977. – 413 с.
- 25.Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії / Кудря СО. – Підручник. – Київ: Національний технічний університет України («КПІ»), 2012. – 495 с.
- 26.Мхитарян Н.М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. К., Наукова думка, 1999. – 314 с.
- 27.Энергетика: история, настоящее и будущее. Т. I. От огня и воды к электричеству. – Киев, 2005. – 304 с.
- 28.Энергетика: история, настоящее и будущее. Т. 4. Возобновляемая энергетика. Функционирование и развитие энергетики в современном мире. – Киев, 2010. – 612 с.
- 29.Інститут відновлюваної енергетики НАН України. Історія становлення, сучасність та перспективи / За ред. С.О.Кудрі / Інститут відновлюваної енергетики. – Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАНУ, 2019. – 94с.

- 30.Рекомендации по проектированию установок солнечного горячего водоснабжения для жилых и общественных зданий. КиевЗНИИЭП. Киев. 1987. – 119 с.
- 31.Матях С.В., Суржик Т.В., Резцов В.Ф. Визначення ефективності впровадження систем сонячного гарячого водопостачання / Відновлювана енергетика. – 2020. – № 1 – С. 34-42.
- 32.Научно-прикладной справочник по климату СССР, Сер. Вып. 10. УССР. Кн. 1. Ч. 1. Солнечная радиация и солнечное сияние. Гидрометеиздат, 1990. – 608 с.
- 33.Держава: природні умови та ресурси / Енциклопедія історії України: Україна–Українці. Кн. 1 / Редкол.: В.А. Смолій (голова) та ін. НАН України. Інститут історії України. – К.: в-во «Наукова думка», 2018. – 608 с. [Електронний ресурс] // Режим доступу: <http://www.history.org.ua/termin>.
- 34.Програма державної підтримки розвитку нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії та малої гідро- і теплоенергетики. Київ, 1997. – 56 с
- 35.POWER Data Access Viewer. Prediction Of Worldwide Energy Resource [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <https://power.larc.nasa.gov/data-access-viewer/>
- 36.Енергія сонця [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <http://saee.gov.ua/uk/ae/sunenergy>
15. Твайделл Дж., Уэйр А. Возобновляемые источники энергии. – М.: Энергоатомиздат. 1990. – 344 с.
- 37.Renewable Energy and Jobs: Annual Review 2018 – IRENA [Електронний ресурс] // – Режим доступу: <http://irena.org/publications/2018/May/Renewable-Energy-and-Jobs-AnnualReview-2018>.
38. Стан і перспективи розвитку технологій «інтелектуальних» електромереж, управління попитом та систем режимного управління в умовах розвитку поновлюваних джерел енергії у зарубіжній енергетичній сфері НПЦР ОЕС України.