

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА ЛЬОТНА АКАДЕМІЯ

Факультет авіаційного менеджменту

Кафедра аеронавігації, метеорології та організації повітряного руху

КОТИШ ОЛЕНА ФЕДОРІВНА

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ
ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ АЕРОПОРТІВ**

Спеціальність 272 «Авіаційний транспорт»

ОПП «Авіаційний транспорт»

Освітній ступінь – магістр

«Допустити до захисту»

Т.в.о. завідувача кафедри

к.т.н., доцент _____ А.С. Пальоний

«_____» _____ 20__ р.

Науковий керівник:

к.т.н., доцент _____ В.О. Тузов

Робота захищена:

«_____» _____ 20__ р.

з оцінкою _____

Голова ЕК _____

Кропивницький 2025 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА ЛЬОТНА АКАДЕМІЯ

Факультет авіаційного менеджменту
Кафедра аеронавігації, метеорології та організації повітряного руху

Освітній ступінь «Магістр»

Спеціальність 272 «Авіаційний транспорт»

ОПП «Авіаційний транспорт»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Т.в.о. завідувача кафедри

к.т.н., доцент _____ А.С. Пальоний

« ____ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
здобувачу вищої освіти

КОТИШ ОЛЕНА ФЕДОРІВНА

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1 Тема кваліфікаційної роботи

«Підвищення ефективності та надійності електропостачання аеропортів»

затверджена наказом ректора академії від « ____ » _____ 20__ р. № ____.

2 Термін здачі здобувачем вищої освіти закінченої роботи « ____ » _____ 20__ р.

3 Вихідні дані до роботи

Нормативні документи, наукові джерела, статті, періодичні видання, що освітлюють тему кваліфікаційної роботи

4 Зміст кваліфікаційної роботи магістра (перелік питань, які належить розробити)

Розділ 1 Аналіз стану електроенергетичних систем аеропортів

1.1 Особливості електропостачання аеропортів в сучасних умовах

1.2 Аналіз існуючих методів та технічних засобів підключення СЕС до електричної мережі

Розділ 2 Теоретичні дослідження функціонування розподільних електричних мереж із сонячними електростанціями

2.1 Розрахунок потоку енергії сонця на довільно орієнтовану поверхню

2.2 Математична модель фотоелектричного елементу

2.3 Концепція побудови сучасних систем обліку електроенергії в умовах енергоринку України

Розділ 3 Забезпечення надійності та ефективності електропостачання аеропорту

3.1 Загальний опис СЕС та системи АСКОЕ сонячної електростанції

3.2 Визначення структури АСКОЕ сонячної електростанції, вибір засобів та способів зв'язку, що забезпечують інформаційну взаємодію рівнів системи

3.3 Режими функціонування АСКОЕ СЕС аеропорту

3.4 Склад функцій, комплексів задач що реалізуються компонентами системи

3.5 Інформаційне забезпечення АСКОЕ СЕС

3.6 Алгоритми визначення показників виробітку, споживання, купівлі, відпуску, продажу електроенергії на СЕС

3.7 Техніко-економічне обґрунтування теми магістерської роботи

4 Перелік графічного матеріалу

Презентація в редакторі Power Point в кількості 12 сторінок

5 Консультанти роботи із зазначенням розділів роботи

Розділ	Консультанти	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Розділ 1	Тузов В.О.		
Розділ 2	Тузов В.О.		
Розділ 3	Тузов В.О.		

6 Дата видачі завдання «__» _____ 20__ р.

Науковий керівник роботи _____
(підпис)

Тузов Володимир Олександрович
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____
(підпис)

Котиш Олена Федорівна
(прізвище та ініціали)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Отримання завдання на кваліфікаційну роботу	21.10.2024	Виконано
2	Визначення об'єкту, предмету, мети та завдань дослідження	12.11.-24.11. 2024	Виконано
3	Інформаційний пошук, аналіз літературних джерел з теми дослідження, складання робочого плану кваліфікаційної роботи	25.11.-30.11. 2024	Виконано
4	Виконання теоретико-методологічного розділу	11.11.-24.11. 2024	Виконано
5	Виконання дослідницько-аналітичного розділу	25.11.-15.12. 2024	Виконано
6	Виконання проектно-рекомендаційного розділу	16.12.-29.12. 2024	Виконано
7	Підготовка вступу	30.12.-31.12. 2024	Виконано
8	Підготовка висновків та додатків	01.01.-12.01. 2025	Виконано
9	Підготовка списку літератури	13.01.-19.01. 2025	Виконано
10	Оформлення кваліфікаційної роботи	20.01.-31.01. 2025	Виконано
11	Перевірка кваліфікаційної роботи на плагіат	03.02.2025	Виконано
12	Отримання висновку про роботу наукового керівника і допуску на захист від кафедри	10.02.-14.02. 2025	Виконано
13	Зовнішнє рецензування кваліфікаційної роботи	17.02.2025	Виконано
14	Підготовка кваліфікаційної роботи до захисту	18.02.-23.02. 2025	Виконано

Здобувач вищої освіти _____
(підпис)

Котиш Олена Федорівна
(прізвище та ініціали)

«___» _____ 2025 р.

УКРАЇНСЬКА ДЕРЖАВНА ЛЬОТНА АКАДЕМІЯ

**ПОДАННЯ ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ
ЩОДО ЗАХИСТУ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ**

Направляється здобувач вищої освіти другого курсу Котиш Олена Федорівна
(прізвище та ініціали)

навчальної групи 383М-АТ до захисту кваліфікаційної роботи за спеціальністю 272
«Авіаційний транспорт» на тему: «Підвищення ефективності та надійності
електропостачання аеропортів»

Кваліфікаційна робота і рецензія додаються.

Декан факультету авіаційного менеджменту _____ М.С. Письменна

Довідка про успішність

Здобувач вищої освіти Котиш О.Ф. за період навчання на факультеті АМ з 2023р.
(прізвище та ініціали)

по 2025р. повністю виконала навчальний план за спеціальністю з таким розподілом
оцінок: за національною шкалою: відмінно ____ %, добре ____ %, задовільно ____ %;
за шкалою ECTS: A ____ %, B ____ %, C ____ %, D ____ %, E ____ %.

Секретар факультету _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Висновок наукового керівника кваліфікаційної роботи

Здобувач вищої освіти Котиш О.Ф. присвятила кваліфікаційну роботу вирішенню
важливого науково-технічного завдання підвищення економічної ефективності
експлуатації та надійності електроенергетичної системи аеропортів шляхом
комбінованого використання автономної сонячної електростанції та зовнішньої системи
енергопостачання. Такий підхід до вирішення завдання обумовлений особливістю
енергоспоживання аеропортів: великою нерівномірністю графіка навантаження, а також
наявністю високих вимог до безперебійного живлення для споживачів першої категорії.

У роботі досліджено технічні питання побудови та автоматичного управління
панелями сонячної електростанції, а також методи розрахунку отримуваної потужності
електроенергії з урахуванням географічного розташування аеропорту, пори року та доби.
Особливий інтерес представляє запропонований склад обладнання для вимірювання,
автоматичного керування та комерційного обліку потоків електроенергії між автономною
та зовнішньою системами.

За результатами проведених наукових досліджень опубліковано тези доповідей
«Особливості електропостачання аеропортів в сучасних умовах», та видано статтю
«Вплив роботи трансформаторів напруги підстанцій 35/10 кВ на похибки системи обліку
електроспоживання» у фаховому виданні, категорія Б.

Слід зазначити, що при опрацюванні даної науково - технічної задачі здобувачка
Котиш О. Ф. проявила неординарний підхід, вміле логічне мислення, вміння самостійно
працювати із науковою літературою, що позитивно відобразилося на якості роботи, яка
заслуговує на оцінку відмінно, а її авторка присвоєння ступеня магістра з авіаційного
транспорту.

Науковий керівник _____
(підпис)

Тузов Володимир Олександрович
(прізвище та ініціали)

«____» _____ 2025р.

Висновок випускової кафедри про кваліфікаційну роботу

Кваліфікаційна робота розглянута. Здобувач вищої освіти Котиш О.Ф.
(прізвище та ініціали)
допускається до захисту даної роботи в Екзаменаційній комісії.

Т.в.о. завідувача кафедри АМОрПР _____ А.С. Пальоний
(підпис) (прізвище та ініціали)
«___» _____ 2025р.

АНОТАЦІЯ

Котили О.Ф. Підвищення ефективності та надійності електропостачання аеропортів – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 272 «Авіаційний транспорт». – Українська Державна Льотна академія, Кропивницький, 2025.

В роботі розглянуто організаційно-технічні заходи з підвищення ефективності та надійності електропостачання аеропортів в умовах сьогодення. Проаналізовано енергетичну безпеку аеропортів, рекомендовано шляхи модернізації систем електропостачання на базі використання сонячних електростанцій. Розроблено автоматизовану систему контролю та обліку електроспоживання, яка працює в системі електропостачання аеропорту.

Ключові слова: енергетична безпека, система електропостачання, відновлювальні джерела енергії, сонячна електростанція, автоматизована система контролю та обліку електроспоживання.

ANNOTATION

Kotysh O.F. Increasing the efficiency and reliability of electricity supply to airports – Manuscript.

The research on obtaining a Master degree in the specialty 272 «Aviation Transport» – Ukrainian State Flight Academy, Kropyvnytskyi, 2025.

The paper examines organizational and technical measures to increase the efficiency and reliability of electricity supply to airports in today's conditions. The energy security of airports was analyzed, and ways to modernize power supply systems based on the use of solar power plants were recommended. An automated system of control and accounting of electricity consumption has been developed, which works in the airport's electricity supply system.

Key words: energy security, power supply system, renewable energy sources, solar power plant, automated system of control and accounting of electricity consumption.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	6
ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ АЕРОПОРТІВ	10
1.1 Особливості електропостачання аеропортів в сучасних умовах	10
1.2 Аналіз існуючих методів та технічних засобів підключення СЕС до електричної мережі	27
Висновки до розділу 1	33
РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ІЗ СОНЯЧНИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ	35
2.1 Розрахунок потоку енергії сонця на довільно орієнтовану поверхню	35
2.2 Математична модель фотоелектричного елемента	46
2.3 Концепція побудови сучасних систем обліку електроенергії в умовах енергоринку України	52
Висновки до розділу 2	55
РОЗДІЛ 3 ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ АЕРОПОРТУ	56
3.1 Загальний опис СЕС та системи АСКОЕ сонячної електростанції	58
3.1.1. Загальна характеристика СЕС	59
3.1.2. Загальна характеристика АСКОЕ сонячної електростанції	63
3.2 Визначення структури АСКОЕ сонячної електростанції, вибір засобів та способів зв'язку, що забезпечують інформаційну взаємодію рівнів системи	66
3.2.1. Структура АСКОЕ СЕС	66
3.2.2. Організація каналів зв'язку	70
3.3 Режими функціонування АСКОЕ СЕС аеропорту	72

3.3.1. Надійність функціонування АСКОВ СЕС	74
3.3.2. Захист інформації від несанкціонованого доступу	75
3.4 Склад функцій, комплексів задач що реалізуються компонентами системи	76
3.4.1. Функції засобів обліку електроенергії	79
3.4.2. Функції GSM- модему	79
3.4.3. Функції серверу збору та обробки даних і термінального пункту оператора АСКОВ СЕС	80
3.4.4. Контроль функціонування АСКОВ СЕС	81
3.5 Інформаційне забезпечення АСКОВ СЕС	82
3.6 Алгоритми визначення показників виробітку, споживання, купівлі, відпуску, продажу електроенергії на СЕС	85
3.7 Техніко-економічне обґрунтування теми магістерської роботи	89
3.7.1. Витрати на виконання науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт	90
3.7.2. Матеріальні витрати на виготовлення системи	91
3.7.3. Заробітна плата основних робочих на впровадження АІС	93
3.7.4. Визначення економічного ефекту від підвищення надійності роботи системи	95
3.7.5. Визначення витрат на експлуатацію системи	96
3.7.6. Визначення економічної ефективності у сфері експлуатації системи	98
3.7.7. Зведені техніко-економічні показники	98
Висновки до розділу 3	99
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	100
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	102
ДОДАТКИ.....	108

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

РЕМ – розподільна електрична мережа;

АСКОЕ – автоматизована система комерційного обліку електроенергії;

СЕС – сонячна електростанція;

ПЗПД – пристрій збору та передачі даних;

КЗ – канал зв'язку;

ЛЧ – лічильник електронергії;

ТС – трансформатори струму;

ТН – трансформатор напруги;

ЛУО – локальне устаткування обліку електроенергії;

РУЗД – регіональне устаткування збору даних;

ЦУЗД – центральне устаткування збору даних;

ОЕС – об'єднана енергетична система;

ЛУЗОД – локальне устаткування збору та обробки даних;

МБН – межа балансової належності;

ТВ – точка виміру електроенергії;

ТР – точка розподілу електроенергії;

ОСР – оператор системи розподілу;

ПЗ – програмне забезпечення;

ВСТУП

Актуальність теми. Визнання авіації одним із ключових секторів розвитку вітчизняної економіки та спрямованість державної політики на відродження авіаційного сектору надають авіакомпаніям, незалежно від форми власності, можливість підвищити операційну ефективність та розширити свою пропозицію на міжнародному ринку авіаційних перевезень.

Аналітичний огляд сучасного стану аеропортів показав, що енергетична безпека є одним з основних факторів авіаційної безпеки польотів. Енергетична безпека аеропортів в сучасних умовах базується на модернізації систем зовнішнього і внутрішнього електропостачання, як правило на базі застосування відновлювальних джерел енергії. Встановлено, що на території України найбільшого поширення набули сонячні електростанції, що пов'язано з географічними та кліматичними умовами нашої держави.

Мета і задачі роботи. Метою роботи є підвищення ефективності та надійності електропостачання аеропортів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі основні задачі:

1. Аналіз сучасних систем електропостачання аеропортів, виявлення їх переваг і недоліків.
2. Провести огляд існуючих методів та технічних засобів підключення СЕС до електричної мережі з метою виявлення найдоцільніших схем підключення потужних промислових СЕС.
3. Провести аналітичний огляд існуючих автоматизованих систем обліку електроенергії з СЕС з метою встановлення основних особливостей функціонування АСКОВ для СЕС.
4. Розробити автоматизовану систему комерційного обліку електроенергії потужної промислової СЕС, що працює в системі електропостачання аеропорту.

5. Провести техніко-економічне порівняння САК, що реалізують розроблені закони регулювання напруги з відомими та визначити їх основні показники економічної ефективності.

Об'єктом кваліфікаційної роботи є система електропостачання аеропортів, зокрема її надійність та ефективність.

Предметом дослідження є засоби і технології підвищення надійності систем електропостачання аеропортів на базі сонячних електростанцій та системи АСКОЕ.

Методи дослідження. Вирішення поставлених задач роботи відбувалося за допомогою методів комп'ютерного імітаційного моделювання, методів теорії електричних кіл, чисельних методів розв'язку задач.

Теоретичною та методологічною основою дослідження є наукові праці вітчизняних та закордонних учених з безпеки руху авіаційним транспортом, провідних вчених в галузі електроенергетики, документи НКРЕ, енергопостачальних компаній, а також міжнародних та національних авіаційних організацій, законодавчі та нормативно-правові акти тощо.

Наукова новизна результатів магістерського дослідження полягає в наступному:

1. Узагальнено досвід України та інших країн світу з упровадження АСКОЕ на об'єктах електроенергетики.
2. Визначено основні особливості функціонування автоматизованих систем обліку електроенергії в розподільних електричних мережах з сонячними електростанціями в системі електропостачання аеропорту.

Практичне значення одержаних результатів:

- алгоритм визначення середнього значення густини потоку повної сонячної радіації на похилу поверхню за 1 годину;
- алгоритм визначення вихідної потужності фотоелектричної батареї.

Апробація результатів кваліфікаційної роботи. Основні теоретичні та практичні положення магістерського дослідження оприлюднено та обговорено на симпозиумі та конференціях, а саме:

1. О.Ф. Котиш, А.І. Котиш. Особливості електропостачання аеропортів в сучасних умовах // матеріали XXVII Міжнародного симпозиуму «Проблеми електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» (SIEMA'2024) м. Харків, НТУ "Харківський політехнічний інститут", 24-25 жовтня 2024 р. С.61.

2. Котиш А.І., Зінзура В.В., Гарасьова Н.Ю., Савеленко І.В., Котиш О.Ф. Вплив роботи трансформаторів напруги підстанцій 35/10 кВ на похибки системи обліку електроспоживання // Збірник наукових праць. Центральноукраїнський науковий вісник / Технічні науки. М.Кропивницький, 2023р. (фахове видання, категорії Б). Вип. 8 (39) ч.2., С 64 – 69.

3. О.Ф. Котиш, В.О., Тузов, А.І. Котиш. Ефективність застосування в системі електрозабезпечення аеропорту // матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Управління високошвидкісними рухомими об'єктами та професійна підготовка операторів складних систем», м. Кропивницький, УДЛА, 26 лютого 2025 р.

Структура, зміст та обсяг кваліфікаційної роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел (____ найменувань). Загальний обсяг роботи становить ____ сторінок друкованого тексту, в тому числі ____ сторінок основного тексту, ____ сторінок списку використаних джерел та ____ сторінок додатків. Кваліфікаційна робота містить ____ таблиць, ____ рисунків, ____ додатків.

РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ АЕРОПОРТІВ

1.1. Особливості електропостачання аеропортів в сучасних умовах

Зростання обсягів повітряних перевезень, що спостерігається в багатьох частинах світу в останні роки, призвело до збільшення навантаження на повітряні судна. Збільшення навантаження на аеропорти, аеродроми та інші об'єкти наземної інфраструктури призводить до збільшення енергоспоживання. В останні роки повітряний транспорт став найбільш швидкозростаючим транспортним сектором в ЄС-28 з точки зору кінцевого споживання енергії.

Основними завданнями аеропортів як багатофункціональних транспортних підприємств є забезпечення зльоту та посадки повітряних суден, наземного обслуговування, прийому та відправлення пасажирів, багажу, пошти і вантажів, а також створення умов, необхідних для функціонування авіакомпаній, органів авіаційного регулювання, митних та інших видів діяльності. У зв'язку з великим обсягом пасажирських і вантажних перевезень, що здійснюються комерційними авіакомпаніями, великі аеропорти (з пропускною спроможністю понад 1 500 пасажирів на годину) за рівнем енергоспоживання можна порівняти з міськими населеними пунктами.

Згідно [1,2,3,4,5,6,7,8,9] безпека авіації складається з безпеки польотів, авіаційної безпеки, енергетичної безпеки, екологічної безпеки, економічної та інформаційної безпеки. Більш детально на рис. 1.1. показано ці чинники.

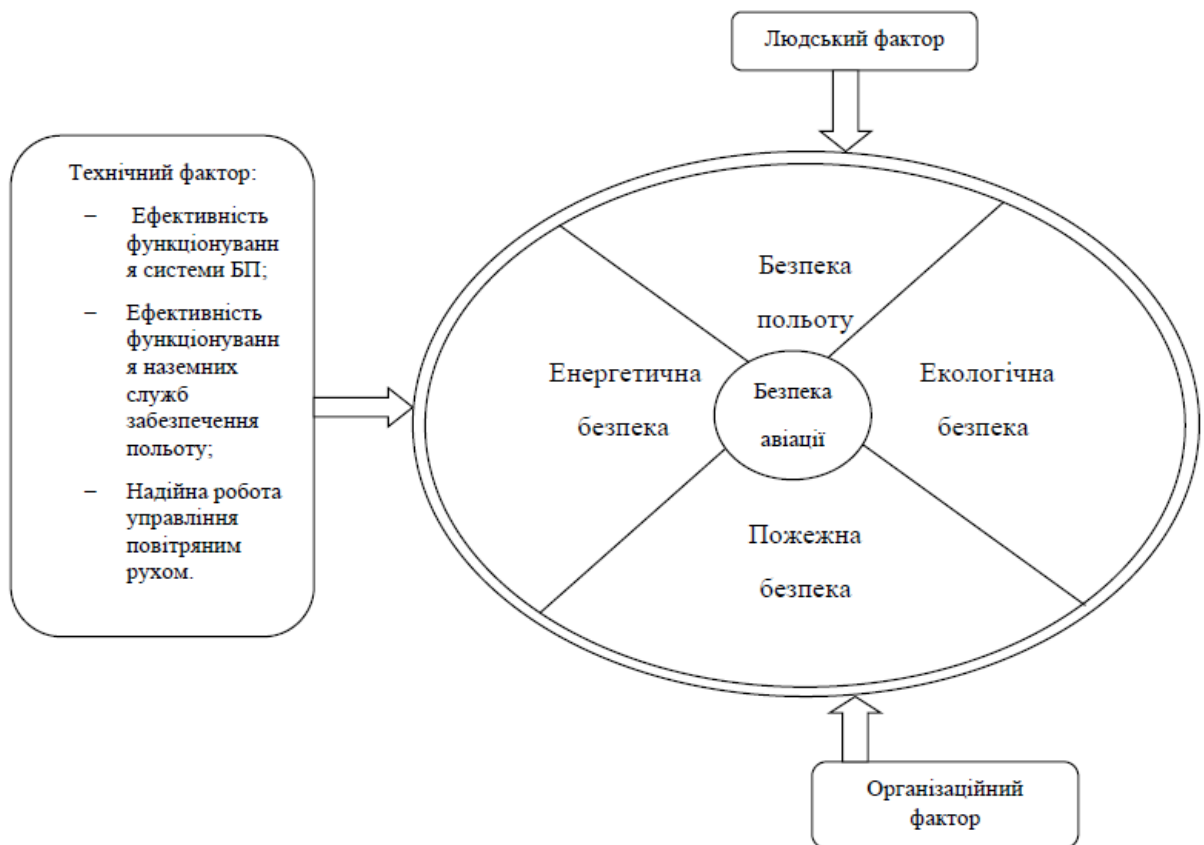


Рис. 1.1. Основні складові безпеки авіації

Іншими словами, це можна підсумувати наступним чином:

1. Основними складовими авіаційної безпеки є безпека польотів, авіаційна безпека, екологічна безпека, пожежна безпека та енергетична безпека. Нормальне функціонування цих складових забезпечує безпеку авіаційних операцій.

2. Енергетична самодостатність є важливою складовою енергетичної безпеки і має враховуватися в наукових дослідженнях і практиці, насамперед при формуванні та реалізації національної енергетичної та економічної політики, а також політики захисту національних інтересів і безпеки.

Традиційно аеропорти живляться від централізованих систем електропостачання.

Для розподілу електроенергії більшість аеропортів використовують двоступеневу трансформаторну систему. Спочатку напруга 35-110 кВ подається на вхідну знижувальну підстанцію, де вона знижується до 6-10 кВ і передається лініями електропередач на трансформаторну підстанцію, де вона

знову знижується до 380-220 В і використовується безпосередньо для роботи місцевих споживачів.

Зазвичай система електропостачання складається з двох частин: внутрішньої та зовнішньої. Внутрішня частина включає всі елементи електропостачання, що знаходяться в межах території аеропорту. Зовнішня частина охоплює лінії електропередач, які з'єднують зовнішню енергосистему з ввідною підстанцією аеропорту. Кількість трансформаторних підстанцій (ТП) залежить від характеру електричних навантажень і розташування споживачів на території аеропорту.

Споживачі електроенергії аеропорту можуть бути розділені на три категорії з точки зору надійності та безперебійності електропостачання.

Категорія 1: споживачі, для яких перерва в електропостачанні може загрожувати життю людей або призвести до значних матеріальних збитків (сюди входять освітлення, радіообладнання, обладнання зв'язку, системи УПР, аварійне освітлення виробничих приміщень, котельні та насосні станції (наприклад, насосні станції)).

Категорія 2: Споживачі, для яких перерви в електропостачанні супроводжуються значним скороченням виробництва (графік польотів літаків) або простоєм людей і машин (наприклад, злітно-посадкова смуга літака, освітлення цехів і агрегатів, електропостачання енергетичних цехів).

Категорія 3: До цієї категорії належать безвідповідальні споживачі (наприклад, допоміжні цехи, побутові приміщення).

У загальному випадку система електропостачання аеропорту є складною технічною системою, що складається з низки структурних елементів, які перебувають у складному стані взаємодії [10, 11].

Кожен елемент системи електропостачання характеризується залежністю від інших технічних систем (паливно-енергетичного комплексу (ПЕК) та об'єктів аеропорту) та часовою безперервністю виробничих процесів, пов'язаних з виробництвом, розподілом та споживанням електроенергії (рис. 1.2).

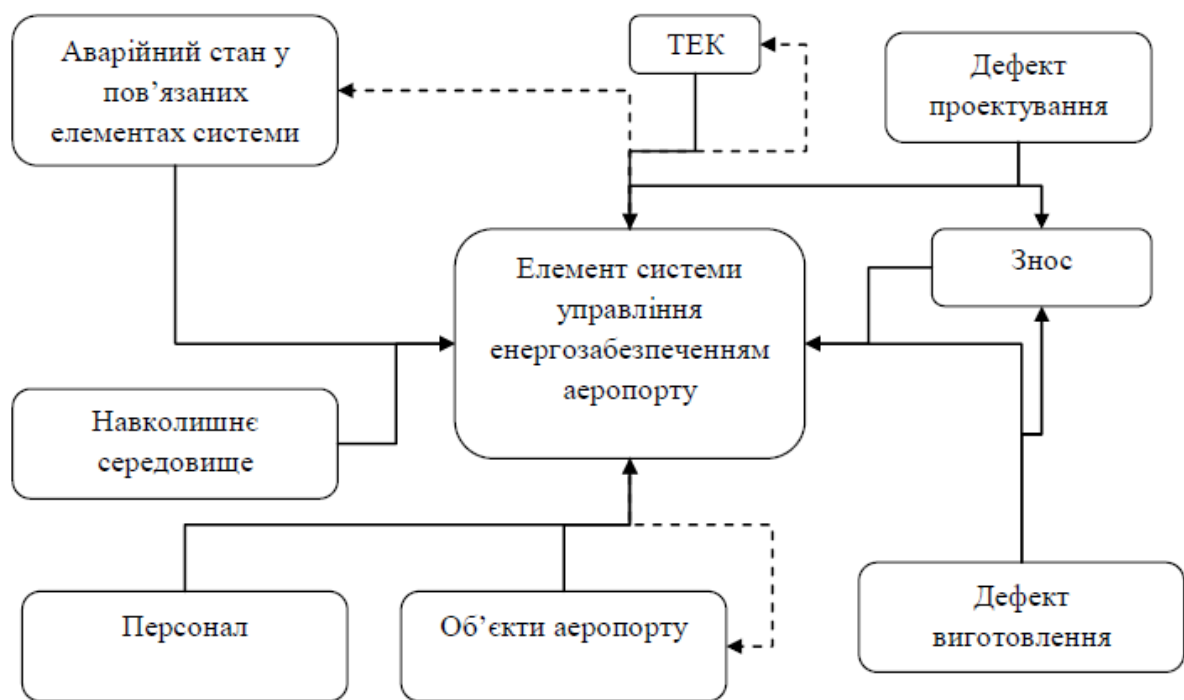


Рис. 1.2. Схема взаємодії для елементів системи управління енергозабезпеченням аеропорту

Інноваційний розвиток аеропортів, модернізація авіації та супутньої інфраструктури є ключовим викликом для будь-якої країни. У сучасних умовах економічної глобалізації, збільшення обсягів торгівлі та розширення міжнародних зв'язків авіаційна галузь може адекватно забезпечити навіть обороноздатність та суверенітет країни.

Процес модернізації аеропортів зазвичай піднімають такі питання як впровадження сучасних моделей управління, оновлення парку наземного обладнання та ІТ-інфраструктури, а також модернізацію системи електропостачання.

Останнім часом в багатьох аеропортах системи електропостачання будуються або модернізуються з використанням відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). Найчастіше встановлюються сонячні електростанції (СЕС) на базі сонячних батарей.

Так наприклад в аеропорті Цюриха площа сонячних батарей становить 6 тис. м², СЕС також використовують аеропорти Сан-Франциско, Денвера, Сакраменто, Схїпхол, Гельсінкі, Брюсселю, Тбілісі та інші. Четверте за

величиною місто в штаті Теннессі, Чаттануга, отримало перший в США — і один з небагатьох у світі — аеропорт, що використовує виключно сонячну енергію (рис. 1.3.). На реалізацію цього проекту пішло сім років та \$5 млн з бюджету Федерального управління цивільної авіації [12].



Рис. 1.3. СЕС аеропорт Чаттануга США



Рис. 1.4. СЕС на даху пасажирського терміналу аеропорту Гельсинки

Одним із пріоритетних напрямків розвитку електроенергетики України, визначених Енергетичною стратегією України на період до 2035 року (ЕСУ) [13], є стимулювання збільшення частки виробництва електроенергії з відновлюваних джерел енергії, у тому числі СЕС (щонайменше на рівні 19,5%).

Наразі в Україні прийнято низку законодавчих змін, спрямованих на стимулювання розвитку сектору відновлюваної енергетики. Одним з основних стимулів, який сприяв стрімкому розвитку сектору відновлюваної енергетики, стало вдосконалення механізму «зеленого» тарифу, передбаченого Законом України «Про електроенергетику» [14].

Аналіз показує, що установки ВДЕ можна розділити на три групи відповідно до їх призначення (рис. 1.5):

- Приватні установки, що використовують ВДЕ малої потужності (до 30 кВт);
- Комерційні установки середньої потужності (від 30 кВт до 1 МВт);
- Промислові установки великої потужності (>1 МВт).

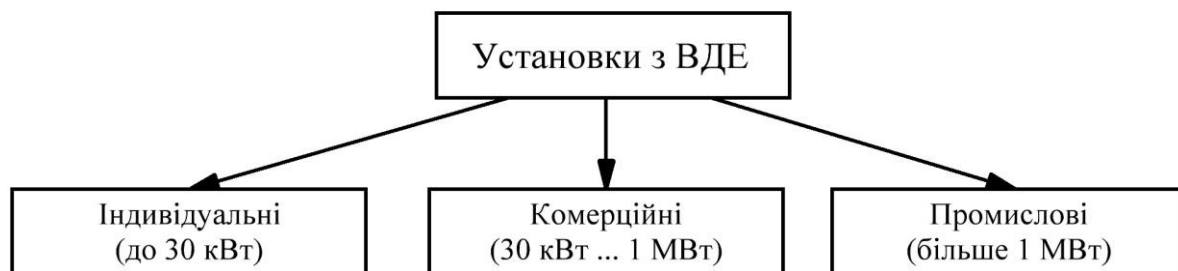


Рис. 1.5. Класифікація установок з ВДЕ

Перший тип установок призначений насамперед для забезпечення безперебійного електропостачання споживачів. Як такі, системи таких установок зазвичай включають автономні генератори, які використовують накопичувачі енергії (акумулятори) або традиційні види палива (дизельне паливо, бензин тощо). Більшість індивідуальних об'єктів ВДЕ використовують один тип ВДЕ (СЕС або ВЕС) або, в рідкісних випадках,

два. Такі об'єкти ВДЕ також можуть зменшити споживання електроенергії з мережі, якщо вони підключені паралельно до мережі. У цьому випадку окремі об'єкти ВДЕ підключаються до мережі 0,4 кВ. Однак, через відносно невелику встановлену потужність окремих об'єктів ВДЕ, вплив на роботу мережі, тобто на рівень сталого відхилення напруги в точці підключення до мережі, є незначним.

Середні комерційні ВДЕ-установки призначені насамперед для зменшення споживання електроенергії великими приватними споживачами та промисловими підприємствами. Вони відрізняються від індивідуальних об'єктів ВДЕ тим, що не мають акумуляторних батарей. Тому такі об'єкти завжди працюють паралельно з мережею.

Потужні промислові електростанції відновлюваної енергетики призначені для генерації електроенергії в мережу в промислових масштабах. Як правило, це СЕС або ВЕС потужністю від 1 до декількох десятків МВт. Через велику потужність ці електростанції підключаються до мережі за допомогою потужних підвищувальних трансформаторів 35-110 кВ. Тому такі електростанції ВДЕ можна вважати електрично віддаленими від споживачів електроенергії в мережі.

Тому, враховуючи стрімкий розвиток відновлюваної енергетики в Україні та світі в цілому, питання технічної підтримки та інтеграції ВДЕ в існуючу електромережу є дуже актуальним. Одним з найважливіших аспектів цього питання є проблема побудови систем обліку електроенергії на таких об'єктах. Однак, перш ніж розглядати це питання, необхідно проаналізувати існуючі методи підключення об'єктів ВДЕ до електромережі.

1.2. Аналіз існуючих методів та технічних засобів підключення СЕС до електричної мережі

СЕС - це електростанції, які використовують пряме перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію. На рисунку 1.6 показана

загальна функціональна схема СЕС, що працює паралельно з електромережею.1.6.

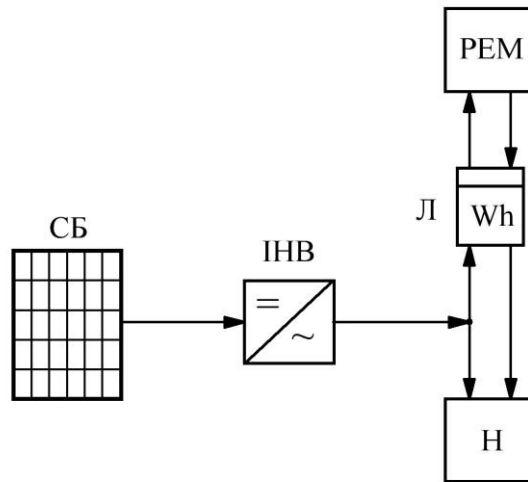


Рис. 1.6. Функціональна схема СЕС, яка працює паралельно із електричною мережею

СБ – сонячна батарея;

ІНВ – інвертор сонячний;

Л – двонаправлений лічильник активної електричної енергії;

РЕМ – розподільна електрична мережа;

Н – навантаження електричне.

Енергія сонячного випромінювання за допомогою фотоелектричних панелей перетворюється у постійний струм, а потужність визначається [15]:

$$P_{CB} = N_{series} N_{parallel} U_{x.x.} I_{k.z.} F_{\Phi} \quad (1.1)$$

де

P_{CB} – електрична потужність, яка генерується сонячними батареями;

N_{series} – кількість послідовно з'єднаних між собою фотоелементів у складі батареї;

$N_{parallel}$ – кількість паралельно з'єднаних між собою фотоелементів у складі батареї;

$U_{x.x.}$ – значення величини напруги неробочого ходу;

$I_{к.з.}$ – значення величини струму короткого замикання;

F_{Φ} – коефіцієнт заповнення вольт-амперної характеристики для певного типу фотоеlementу.

Обов'язковою умовою для підключення генеруючих установок, в тому числі об'єктів ВДЕ, до мережі є виконання вимоги, щоб їх електричні параметри (наприклад, величина та форма напруги, частота струму [16]) відповідали відповідним параметрам мережі. Тому одним з основних елементів СЕС є інвертор напруги, який використовується для перетворення постійного струму від сонячних панелей в змінний струм мережі промислової частоти. Слід зазначити, що більшість сучасних сонячних інверторів мають можливість відстежувати максимальну потужність, яку можна витягти з сонячних панелей (MPPT tracking), що значно підвищує ефективність використання СЕС.

Стрімкий розвиток силової напівпровідникової електроніки та мікропроцесорної техніки призвів до появи різноманітних інверторів для СЕС, які відрізняються за своїм функціональним призначенням та сферою застосування [17]. Класифікація інверторів, призначених для використання в СЕС, наведена на рисунку 1.7.

Автономні (акумуляторні) інвертори використовуються в індивідуальних малопотужних установках ВДЕ з акумуляторами і не призначені для підключення до централізованої електромережі. Для потужних СЕС зазвичай використовують мережеві сонячні інвертори з можливістю автоматичної синхронізації параметрів потужності (амплітуда напруги, частота тощо) з аналогічними параметрами електромережі.

Для цього можна використовувати гібридні (акумуляторно-мережеві) інвертори, але вони трохи дорожчі, ніж мережеві, і їх слід використовувати в поєднанні з батареями лише тоді, коли є підвищена потреба в безперебійному електропостачанні.



Рис. 1.7. Класифікація інверторів, які застосовуються в СЕС

Залежно від форми вихідного сигналу розрізняють два типи інверторів: синусоїдальні інвертори (які виробляють вихідний сигнал практично без спотворення форми синусоїдальної кривої) і модифіковані синусоїдальні інвертори, вихідний сигнал яких близький до меандрування. Незважаючи на те, що модифіковані синусоїдальні інвертори значно дешевші за синусоїдальні, сфера їх застосування значно обмежена через притаманний їм серйозний недолік - синусоїдальна форма кривої вихідної напруги сильно спотворюється. Наявність високих рівнів гармонік у спектрі напруги негативно впливає на більшість електроприймачів, особливо на системи асинхронного електроприводу та статичні конденсаторні батареї. Тому найбільш доцільно використовувати мережеві інвертори, які забезпечують синусоїдальну вихідну напругу.

Залежно від кількості та потужності сонячних панелей у фотоелектричній системі змінюється і спосіб підключення до мережі. Кожна схема підключення сонячних панелей має свої переваги та недоліки і вимагає використання певного типу сонячного інвертора.

На рис. 1.8 показані найпоширеніші способи підключення сонячних панелей до електромережі.

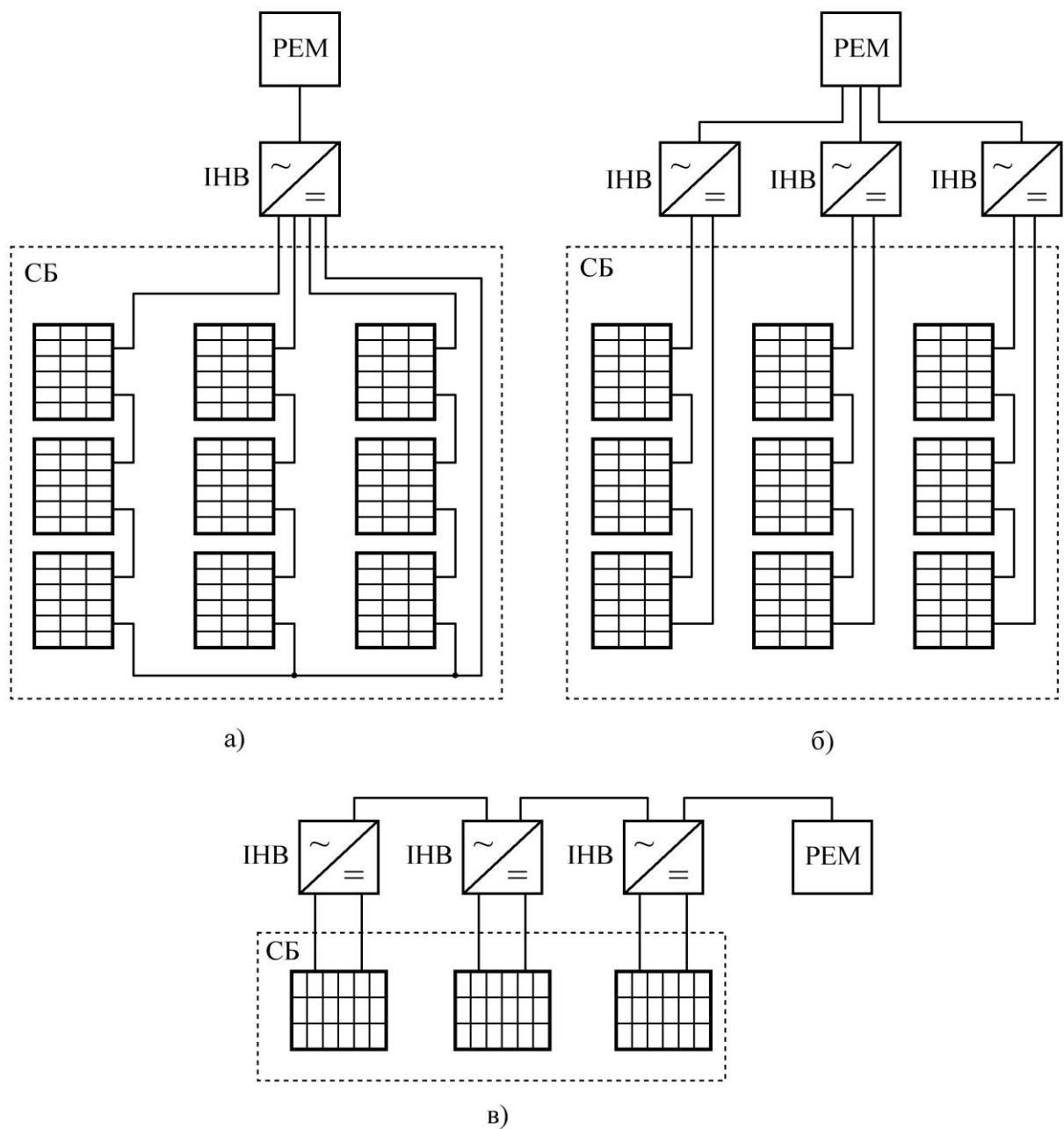


Рис. 1.8. Варіанти схем приєднання різних типів сонячних інверторів до електричної мережі:

- а) схема з центральним інвертором; б) схема зі стрінг інверторами;
в) схема з мікроінверторами

На рисунку 1.8(а) показано схему з'єднання сонячних панелей з використанням центрального інвертора. У цій схемі всі сонячні панелі з'єднані послідовно відповідно до їх потужності і згруповані в масиви. Кожен

з цих масивів потім підключається до одного інвертора з боку постійного струму, а вихід інвертора підключається до шини розподільчої мережі.

Перевагами цього методу підключення є відносно невелика встановлена потужність інверторів СЕС та відносна простота будівництва і обслуговування. Однак у цього методу є ряд істотних недоліків, основними з яких є те, що лінії з'єднання між сонячними панелями та інвертором досить довгі, що призводить до великих перепадів напруги і втрат потужності в системі постійного струму, різких коливань потужності, коли частина сонячних панелей знаходиться в тіні, низька надійність і гнучкість, а також той факт, що всі сонячні панелі підключаються до одного трекера МРРТ, що знижує продуктивність СЕС. Для всіх сонячних панелей використовується один МРРТ-трекер, що значно знижує ефективність використання фотоелектричної системи при наявності декількох типів сонячних панелей.

Схема підключення мікроінверторів, показана на рисунку 1.8 в., має деякі з недоліків схеми підключення центрального інвертора. 1.8 в. У цій схемі підключення інвертори розташовані близько до сонячних панелей. Завдяки невеликій довжині провідників постійного струму і функції відстеження МРРТ в кожному інверторі, ця схема найбільш стійка до впливу часткової тіні і найбільш ефективно використовує потужність кожної сонячної панелі. Однак цей метод має більш високу вартість на одиницю встановленої потужності мікроінверторів порівняно з іншими типами інверторів. Крім того, при встановленій потужності в кілька десятків кВт дуже ускладнюється обслуговування через велику кількість мікроінверторів потужністю 50-500 Вт. Тому сфера застосування мікроінверторного методу обмежується СЕС малої потужності.

На рис. 1.8 б показана схема підключення сонячних панелей з використанням стрінгових інверторів. У цій схемі кожна сонячна батарея підключена до окремого стрінгового інвертора, на відміну від схеми з використанням центрального інвертора. Це дозволяє зменшити довжину проводів від сонячних панелей до інвертора, тим самим зменшуючи падіння

напруги і втрати потужності в системі постійного струму. Крім того, кожен інвертор оснащений трекером MPPT, який знижує чутливість СЕС до затінення деяких сонячних панелей СЕС. Хоча стрінгові інвертори трохи дорожчі відносно встановленої потужності, ніж центральні інвертори, ці переваги роблять цей тип інверторів найбільш придатним для будівництва комерційних і великих промислових СЕС.

Підсумовуючи, можна побачити, що СЕС є досить складним електротехнічним комплексом. Тому для забезпечення роботи СЕС в режимі, близькому до техніко-економічного оптимуму, використовуються досить складні системи перетворення енергії, автоматичного регулювання режимів тощо; зрозуміло, що для обліку електроенергії, виробленої СЕС, повинні використовуватися спеціальні системи автоматичного обліку (САУ). Окрім технічних аспектів використання АСКОЕ на СЕС, існує низка питань, пов'язаних з чинною нормативно-правовою базою, що регулює роботу систем автоматичного вимірювання електроенергії в мережах з СЕС.

РОЗДІЛ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ ІЗ СОНЯЧНИМИ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯМИ

Одним з відомих способів підвищення ефективності фотоелектричних електростанцій є оснащення сонячних панелей пристроями, які автоматично змінюють кут нахилу панелей.

Згідно з концепціями SmartGrid і SmartMetering, такий підхід до управління може бути реалізований за допомогою спеціальних підсистем інтелектуальної системи управління енергією сонячної електростанції.

Для реалізації такого підходу необхідно вирішити наступні питання:

- Розробити алгоритм визначення координат сонця та кута падіння сонячних променів на поверхню при заданому азимуті;
- Розробити алгоритм визначення середнього значення сумарної густини потоку сонячної радіації за одну годину на похилій поверхні;
- Розробити математичну модель сонячного елемента;
- Розробити алгоритм визначення вихідної потужності сонячного елемента.

Вирішенню цих питань і присвячено даний розділ роботи.

2.1 Розрахунок потоку енергії сонця на довільно орієнтовану поверхню

Кількість сонячного випромінювання, що потрапляє на світлочутливу поверхню сонячного елемента, залежить від положення Сонця відносно світлочутливої поверхні. Положення Сонця відносно спостерігача, який перебуває на земній поверхні, визначається двома горизонтальними координатами: азимутом і висотою (на рис. 2.1 а).

Азимут Сонця $A_{\odot}$ – це кут між напрямком на північ й горизонтальною проекцією напрямку на Сонце. Він може приймати значення від 0° до 360° .

Висота Сонця $h_{\odot}$ – це кут між горизонтальною площиною й напрямком на Сонце, може приймати значення від -180° до $+180^{\circ}$.

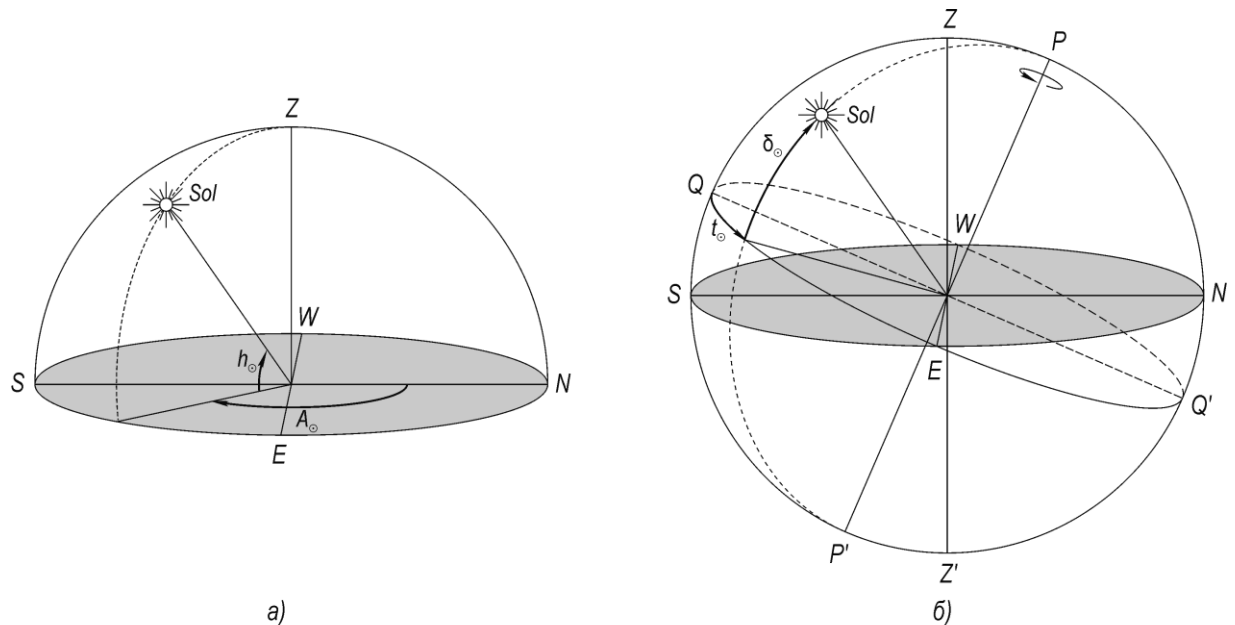


Рис. 2.1. Горизонтальні (а) й екваторіальні (б) координати Сонця

Так як Земля рухається як навколо власної вісі так і навколо Сонця, то горизонтальні координати $(A_{\odot}, h_{\odot})$ будуть безперервно змінюватися як на протязі доби так і протягом року. Для визначення поточних горизонтальних координат Сонця використовуємо першу систему екваторіальних координат. В ній у якості координат використовуються схилення Сонця $\delta_{\odot}$ та часовий кут Сонця $t_{\odot}$ (рис. 2.1, б).

Схилення Сонця можливо визначити за формулою Купера [18]:

$$\delta_{\odot}(t) = 23,45^{\circ} \sin \left[360^{\circ} \frac{284 + d(t)}{365} \right], \quad (2.1)$$

де $d(t)$ – номер дня року.

Часовий кут Сонця обов'язково визначається перерахуванням середнього місцевого часу на реальний сонячний час:

$$t_{\odot}(t) = \left[\tau(t) + \frac{\lambda}{15^{\circ}} - Z_{\pi} + E(t) - 12^h \right] \cdot 15^{\circ}, \quad (2.2)$$

де $\tau(t)$ – поточний час доби (змінюється у межах від 0^h до 24^h);

λ – довгота місця (на схід від Гринвічу додатна, на захід – від’ємна);

Z_{π} – номер часового поясу (так, для UTC+2 $Z_{\pi} = 2$, для UTC-3 $Z_{\pi} = -3$);

$E(t)$ – рівняння часу (різниця між реальним сонячним та середнім часом):

$$E(t) = 3,85 \cdot \left[0,000075 + 0,001868 \cdot \cos B(t) - 0,032077 \cdot \sin B(t) - \right. \\ \left. - 0,014615 \cos 2B(t) - 0,04089 \sin 2B(t) \right]; \quad (2.3)$$

де

$$B(t) = [d(t) - 1] \frac{360^{\circ}}{365}.$$

Визначивши за рівняннями (2.1) й (2.2) екваторіальні координати Сонця можна перейти до горизонтальних координат [18]:

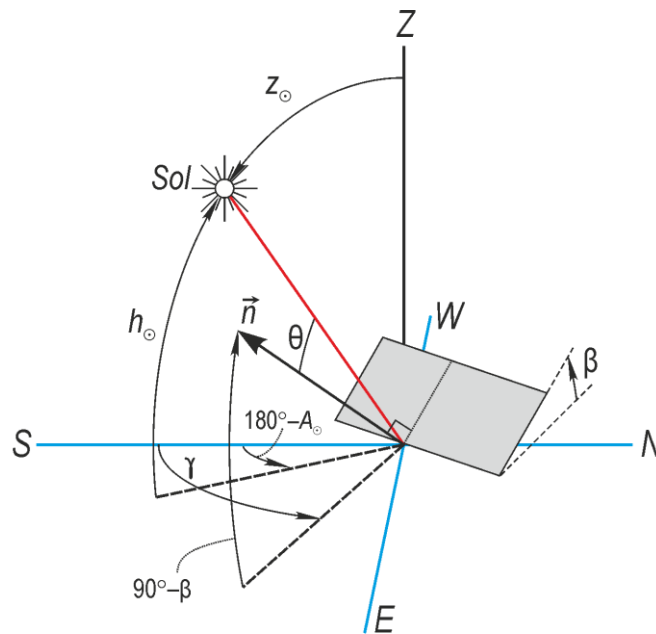
$$h_{\odot}(t) = \arcsin \left[\sin \delta_{\odot}(t) \sin \varphi + \cos \delta_{\odot}(t) \cos \varphi \cos t_{\odot}(t) \right]; \quad (2.4)$$

$$A_{\odot}(t) = \begin{cases} A', & \text{при } \sin t_{\odot}(t) < 0; \\ 360^{\circ} - A', & \text{при } \sin t_{\odot}(t) \geq 0; \end{cases} \quad (2.5)$$

$$\text{де } A' = \arccos \left[\frac{\sin \delta_{\odot}(t) - \sin \varphi \sin h_{\odot}(t)}{\cos \varphi \cos h_{\odot}(t)} \right];$$

φ – широта місцевості.

Кількість сонячної радіації, яка потрапляє на похилу поверхню залежить також від кута падіння променів на цю поверхню (рис. 2.2).



$\vec{n}$ – нормаль до приймаючої поверхні

Рис.2.2. Визначення кута падіння сонячних променів на довільно орієнтовану поверхню θ

Якщо поверхня нахилена відносно горизонту β , а її орієнтація відносно напрямку на Південь визначається певним кутом γ , то кут падіння сонячних променів θ можна визначити за формулою:

$$\cos \theta(t) = \sin \beta \sin \gamma \sin A_0(t) \cos h_0(t) - \sin \beta \cos \gamma \cos A_0(t) + \cos \beta \sin h_0(t) \quad (2.6)$$

Кількість сонячної радіації від Сонця зазвичай вважається постійною. Однак кількість радіації, що досягає верхніх шарів атмосфери, змінюється протягом року, оскільки відстань між Сонцем і Землею змінюється протягом року через ексцентриситет земної орбіти.

Густина потоку позаземної позитивної сонячної радіації, тобто кількість сонячної радіації, що падає на площину, перпендикулярну до променів на межі атмосфери, визначається як [18]:

$$I_{0n}(t) = I_{sc} \left[1 + 0,033 \cos \frac{360d(t)}{365} \right], \quad (2.7)$$

де $I_{0n}(t)$ – густина потоку нормального позаземного випромінювання, кВт/м²;

$I_{sc} = 1,367 \text{ кВт/м}^2$ – сонячна стала;

$d(t)$ – номер дня року.

Очевидно, що ця густина потоку *позаземного випромінювання* буде визначатися наступним чином:

$$I_0(t) = I_{0n}(t) \cos z_{\odot}(t) = I_{0n}(t) \cos[90^\circ - h_{\odot}(t)] = I_{0n}(t) \sin h_{\odot}(t); \quad (2.8)$$

де $I_0(t)$ – густина потоку горизонтального позаземного випромінювання, кВт/м²;

$I_{0n}(t)$ – густина потоку нормального позаземного випромінювання, кВт/м²;

$z_{\odot}(t)$ – зенітний кут;

$h_{\odot}(t)$ – висота Сонця відносно горизонту.

Щоб отримати середнє значення густини потоку позаземної горизонтальної радіації проінтегруємо (2.8):

$$\begin{aligned} \bar{I}_0(t) &= \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_{\odot 1}}^{t_{\odot 2}} I_{0n}(t) \sin h_{\odot}(t) dt = \\ &= \frac{12}{\pi} I_{0n}(t) \left[\cos \varphi \cos \delta_{\odot}(t) [\sin t_{\odot 2}(t) - \sin t_{\odot 1}(t)] + \frac{\pi [t_{\odot 2}(t) - t_{\odot 1}(t)]}{180^\circ} \sin \varphi \sin \delta_{\odot}(t) \right]; \end{aligned} \quad (2.9)$$

де $\bar{I}_0(t)$ – середнє значення густини потоку позаземної горизонтальної радіації за 1 годину, кВт/м²;

$t_{\odot 1}(t)$ та $t_{\odot 2}(t)$ – часові кути Сонця на початку t_1 та вкінці t_2 годинного інтервалу.

Вираз (2.9) дозволяє визначити середню кількість сонячної радіації, яка потрапила на горизонтальну площину у верхніх шарах атмосфери за 1 годину.

Спостереження сонячної радіації на метеорологічних станціях Землі, з іншого боку, надають інформацію про кількість сонячної радіації, що потрапляє на горизонтальну поверхню нижніх шарів атмосфери (біля поверхні Землі) за той самий період. Відношення сонячної радіації біля земної поверхні до

сонячної радіації у верхніх шарах атмосфери називається прозорістю атмосфери і визначається наступним рівнянням:

$$k_{\text{асн}}(t) = \frac{\bar{I}(t)}{\bar{I}_0(t)}; \quad (2.10)$$

де $\bar{I}_0(t)$ – середнє значення густини потоку сонячної радіації на горизонтальну площину за 1 годину;

$\bar{I}(t)$ – середнє значення густини потоку горизонтальної радіації біля поверхні за інтервал часу 1 година.

Сонячне випромінювання можна вважати як суму двох складових – *пряму та дифузну сонячну радіацію*:

$$\bar{I}(t) = \bar{I}_{\text{пр}}(t) + \bar{I}_{\text{диф}}(t); \quad (2.11)$$

де $\bar{I}_{\text{пр}}(t)$ – середнє значення густини потоку прямої сонячної радіації за 1 годину, кВт/м²;

$\bar{I}_{\text{диф}}(t)$ – середнє значення густини потоку дифузної сонячної радіації за 1 годину, кВт/м².

Пряма радіація - це частина сонячної радіації, яка досягає поверхні Землі безпосередньо від Сонця, не розсіюючись в атмосфері. Розсіяна радіація - це та частина сонячної радіації, напрямок якої змінюється внаслідок розсіювання в атмосфері Землі.

Різниця між прямим і розсіяним випромінюванням відіграє важливу роль у розрахунку сумарної радіації, що падає на похилу поверхню. Орієнтація поверхні має більший вплив на пряму сонячну радіацію, яка надходить виключно від сонця, ніж на розсіяну радіацію, яка надходить з будь-якої точки неба.

Тим не менш, реальні метеорологічні станції часто вимірюють сумарну сонячну радіацію, а не складову сонячної радіації. Це означає, що для того, щоб правильно визначити кількість сонячної радіації, яка падає на

приймаючи поверхню, необхідно розрахувати складову сонячної радіації. Для цього можна використовувати коефіцієнт, який визначає частку розсіяної радіації залежно від прозорості атмосфери [19]:

$$\frac{\bar{I}_{\text{диф}}(t)}{\bar{I}(t)} = \begin{cases} 1 - 0,009k_{\text{ячн}}(t) & \text{при } k_{\text{ячн}}(t) \leq 0,2; \\ 0,9511 - 0,1604k_{\text{ячн}}(t) + \\ 4,388k_{\text{ячн}}^2(t) - 16,638k_{\text{ячн}}^3(t) + & \text{при } 0,22 < k_{\text{ячн}}(t) \leq 0,8; \\ 12,336k_{\text{ячн}}^4(t) & \\ 0,165 & \text{при } k_{\text{ячн}}(t) > 0,8; \end{cases} \quad (2.12)$$

Для кожного часового інтервалу розбірливість розраховується за допомогою загального випромінювання в горизонтальній площині, а потім розсіяного випромінювання. Потім загальне опромінення віднімається від розсіяного, щоб отримати пряме опромінення.

Існує кілька методів оцінки опромінення, залежно від часу, виміряних даних про опромінення, типу клімату і місцезнаходження.

Модель HDKR (Hay-Davies-Klucher-Reindl) [18] використовується для розрахунку сумарної радіації, що падає на похилу поверхню. Згідно з цією моделлю, сонячна радіація поділяється на пряму та розсіяну. Розсіяна радіація складається з трьох компонентів:

- а) ізотропний компонент
- б) навколосонячний компонент
- в) позаорбітальна складова.

Середня густина потоку сонячної радіації на похилій площині за моделлю HDKR (рис. 2.3) [18]:

$$\begin{aligned} \bar{I}_{\beta}(t) = & \left[\bar{I}_{\text{пр}}(t) + \bar{I}_{\text{роз}}(t)A_i(t) \right] R_{\text{пр}}(t) + \\ & + \bar{I}_{\text{пр}}(t)[1 - A_i(t)] \frac{1 + \cos \beta}{2} \left[1 + f(t) \sin^3 \left(\frac{\beta}{2} \right) \right] + \\ & + \bar{I}(t) \rho_{\text{зп}} \frac{1 - \cos \beta}{2}; \end{aligned} \quad (2.13)$$

де $\rho_{\text{зп}}$ – альбедо земної поверхні;

$R_{\text{пр}}(t)$ – геометричний фактор для прямого сонячного випромінювання,

A_i – анізотропний індекс;

f – коефіцієнт «прозорості горизонту».

Геометричний коефіцієнт прямої сонячної радіації визначається відношенням прямої сонячної радіації на похилій площині до прямої сонячної радіації на горизонтальній площині:

$$R_{\text{пр}}(t) = \frac{\cos \theta(t)}{\cos z_{\odot}(t)}. \quad (2.14)$$

Індекс анізотропії A_i - це міра прозорості атмосфери по відношенню до прямого випромінювання. Цей коефіцієнт використовується для оцінки кількості навколосонячного випромінювання, також відомого як попередньо розсіяне випромінювання:

$$A_i(t) = \frac{\bar{I}_{\text{пр}}(t)}{\bar{I}_0(t)}. \quad (2.15)$$

Величина f виступає у якості коефіцієнту, що враховує «просвітлення горизонту», або той факт, що найбільша частина розсіяної радіації надходить з-за горизонту, а не від усього неба. Цей коефіцієнт безперечно пов'язаний із хмарністю і задається наступним рівнянням:

$$f(t) = \sqrt{\frac{\bar{I}_{\text{пр}}(t)}{\bar{I}(t)}}. \quad (2.16)$$

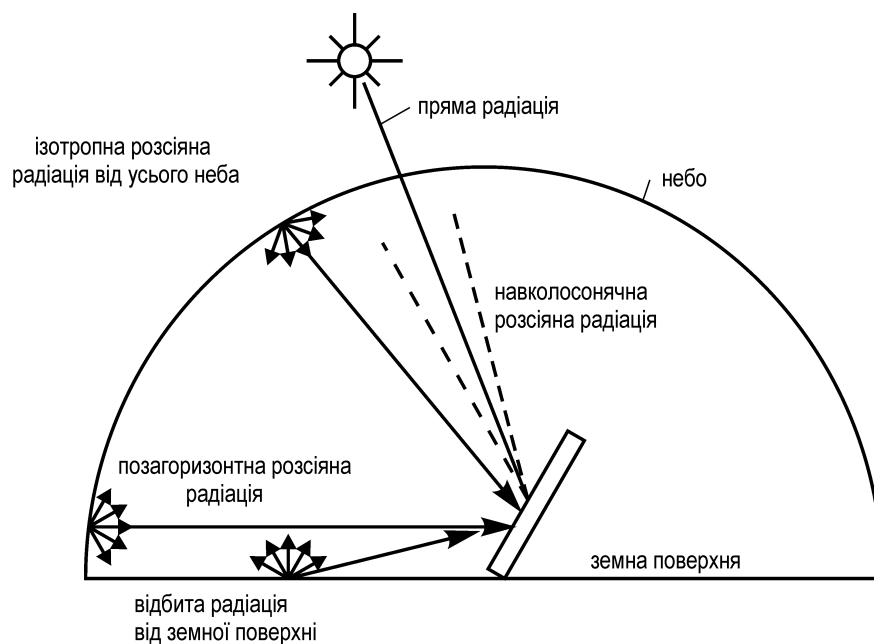


Рис. 2.3. Пряма, розсіяна та відбита радіація на похилу поверхню згідно із моделлю HDKR

Реалізація наведених вище рівнянь для визначення координат сонця і кута падіння сонячних променів на поверхню під довільним азимутом та визначення середнього значення сумарної густини сонячного потоку за одну годину на похилій поверхні показана на рисунках 2.4 - 2.6 у вигляді відповідних алгоритмів.

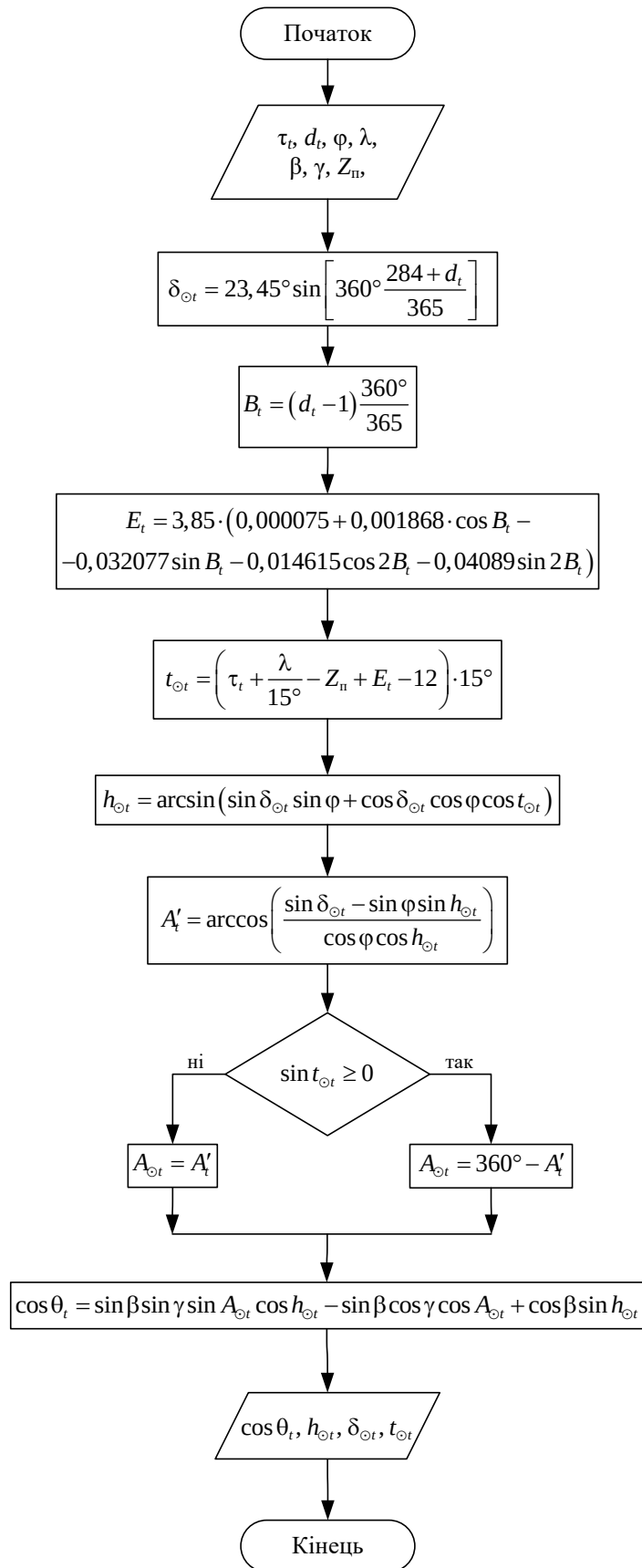


Рис. 2.4. Алгоритм визначення координат Сонця й кута падіння сонячних променів на довільно орієнтовану площину

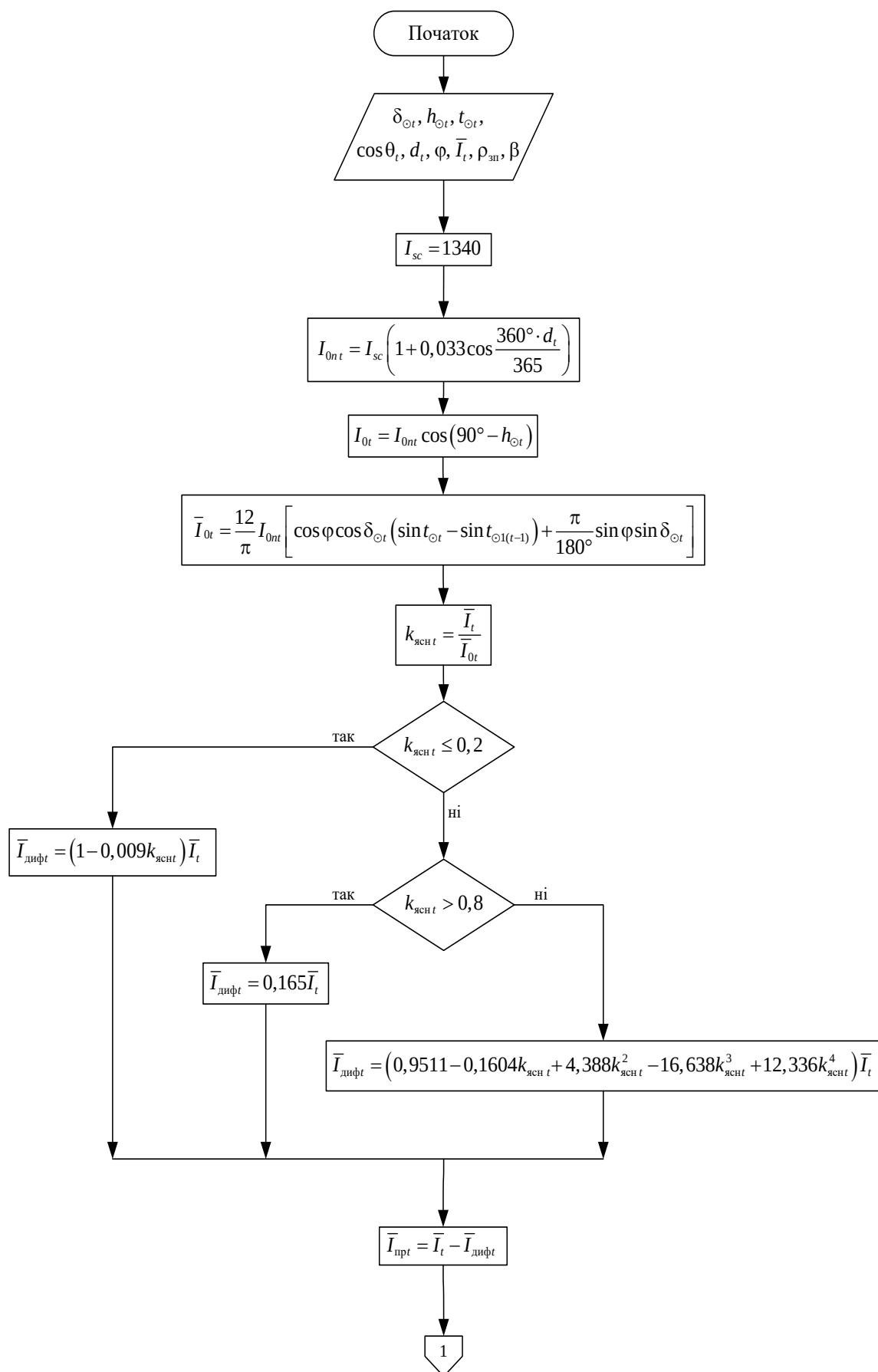


Рис. 2.5. Алгоритм визначення середнього значення густини потоку сонячної радіації на похилу площину за 1 годину

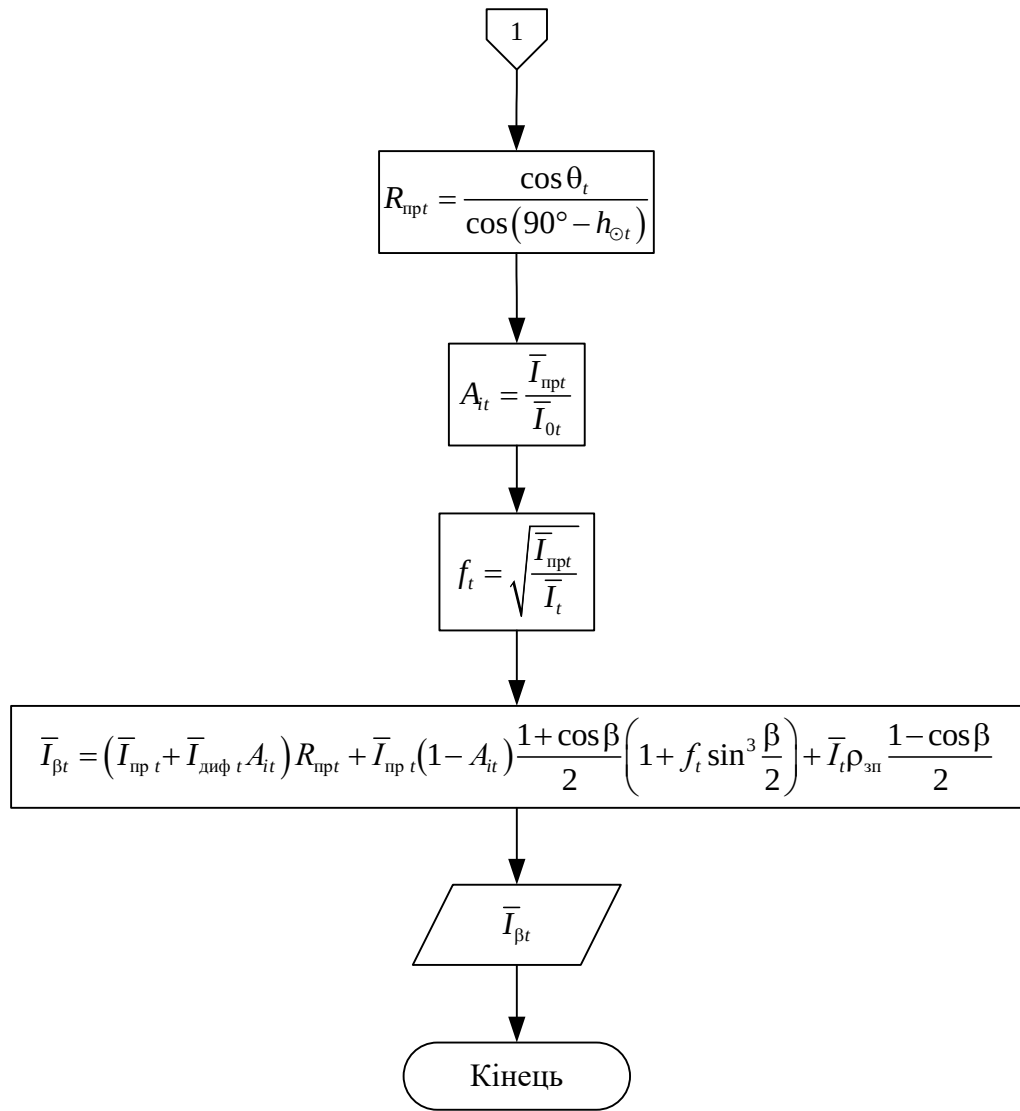


Рис. 2.6. Алгоритм визначення середнього значення густини потоку сонячної радіації на похилу площину за 1 годину (продовження)

2.2 Математична модель фотоелектричного елементу

Розрахунок вихідної потужності фотоелектричної батареї (ФЕБ) виконується за такою формулою [18]

$$P_{\text{ФЕБ}}(t) = P_{\text{ФЕБном}} k_{\text{з.е.}} \frac{\bar{I}_{\beta}(t)}{I_{\text{СУ}}} [1 + \alpha_P (\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) - \vartheta_{\text{СУ}})]; \quad (2.17)$$

де: $P_{\text{ФЕБ}}(t)$ – вихідна потужність ФЕБ, кВт;

$P_{\text{ФЕБном}}$ – номінальна потужність ФЕБ при СУ, кВт;

$k_{з.е.}$ – коефіцієнт зниження ефективності ФЕБ;

$\bar{I}_\beta(t)$ – середнє значення густини потоку сонячної радіації, яка потрапляє на поверхню ФЕБ за годинний інтервал, Вт/м²;

$I_{СУ}$ – густина потоку сонячної радіації, яка потрапляє на поверхню ФЕБ при СУ, кВт/м²;

α_p – температурний коефіцієнт потужності ФЕБ, °C⁻¹ (як правило від’ємна величина α_p , що означає зменшення ефективності ФЕБ із збільшенням температури);

$\vartheta_{ФЕБ}(t)$ – поточна температура ФЕБ, °C;

$\vartheta_{СУ}$ – температура ФЕБ при СУ, °C.

Стандартні умови включають щільність сонячного потоку $I_{СУ} = 1 \text{ кВт/м}^2$ і температуру поверхні сонячних елементів $\vartheta_{ФЕБ} = 25 \text{ °C}$. Параметри, отримані за цих умов, називаються номінальними параметрами фотоелектричної системи.

Рівняння (2.17) спрощується, якщо не враховувати зміни вихідної потужності фотоелектричних перетворювачів під впливом температури:

$$P_{ФЕБ}(t) = P_{ФЕБном} k_{з.е.} \frac{\bar{I}_\beta(t)}{I_{СУ}}; \quad (2.18)$$

Температура сонячної батареї - це температура її поверхні. Вночі температура поверхні батареї дорівнює температурі навколишнього середовища, а під впливом сонячного світла може перевищувати температуру навколишнього середовища більш ніж на 30°C.

Температуру фотоелектричної батареї можна визначити з рівняння балансу потужності [19], яке відображає баланс між сонячною енергією, що падає на фотоелектричну батарею, потужністю і тепловіддачею в навколишнє середовище:

$$\tau \alpha I_{\beta}(t) = \eta_{\text{ФЕБ}} I_{\beta}(t) + \alpha_{\text{ФЕБ}} [\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) - \vartheta_0(t)]; \quad (2.19)$$

де τ – коефіцієнт пропускання ФЕБ;

α – коефіцієнт поглинання ФЕБ;

$I_{\beta}(t)$ – густина потоку сонячної радіації, яка потрапляє на поверхню ФЕБ, кВт/м²;

$\eta_{\text{ФЕБ}}$ – ККД ФЕБ;

$\alpha_{\text{ФЕБ}}$ – коефіцієнт тепловіддачі від ФЕБ в навколишнє середовище, кВт/(м²·°C);

$\vartheta_0(t)$ – температура довкілля, °C.

Розв'язавши (2.19) відносно $\vartheta_{\text{ФЕБ}}$, одержуємо:

$$\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) = \vartheta_0(t) + I_{\beta}(t) \frac{\tau \alpha}{\alpha_{\text{ФЕБ}}} \left(1 - \frac{\eta_{\text{ФЕБ}}}{\tau \alpha} \right); \quad (2.20)$$

З тієї пичини що величину $\frac{\tau \alpha}{\alpha_{\text{ФЕБ}}}$ практично виміряти дуже й дуже

важко, використовують технічні дані виробників. У режимі роботи без навантаження вираз (2.20) матиме вигляд:

$$\frac{\tau \alpha}{\alpha_{\text{ФЕБ}}} = \frac{\vartheta_{\text{ФЕБ ном}} - \vartheta_{0 \text{ ном}}}{I_{\text{ном}}}; \quad (2.21)$$

де $\vartheta_{\text{ФЕБ ном}}$ – робоча номінальна температура ФЕБ при випробуваннях, °C;

$\vartheta_{0 \text{ ном}}$ – температура довкілля, при якій проводяться випробування й визначається $\vartheta_{\text{ФЕБ ном}}$, °C, (зазвичай $\vartheta_{0 \text{ ном}} = 20$ °C);

$I_{\text{ном}}$ – густина потоку сонячного випромінювання, яка потрапляє на поверхню ФЕБ за умов проведення випробувань, кВт/м², (зазвичай $I_{\text{ном}} = 800$ Вт/м²).

Для спрощення вважаємо, що величина $\frac{\tau \alpha}{\alpha_{\text{ФЕБ}}}$ постійна, тоді вираз (2.20) можна надати у вигляді:

$$\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) = \vartheta_0(t) + I_{\beta}(t) \frac{\vartheta_{\text{ФЕБ ном}} - \vartheta_{0 \text{ ном}}}{I_{\text{ном}}} \left(1 - \frac{\eta_{\text{ФЕБ}}}{\tau \alpha} \right); \quad (2.22)$$

Прийmemo, що величина $\tau\alpha = 0,9$ [18]. Та оскільки величина відношення $\frac{\eta_{\text{ФЕБ}}}{\tau\alpha}$ значно менша 1, то попереднє припущення не вносить значної похибки.

Вважаємо також, що система управління ФЕБ автоматично підтримує режим роботи у точці відбору максимуму потужності. Це означає, що ККД ФЕБ також має завжди максимальне значення:

$$\eta_{\text{ФЕБ}} = \eta_{\text{ФЕБ max}}; \quad (2.23)$$

де $\eta_{\text{ФЕБ max}}$ – ККД ФЕБ в точці відбору максимуму потужності.

Враховуючи (2.23) вираз (2.22) набуває такого вигляду:

$$\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) = \vartheta_0(t) + (\vartheta_{\text{ФЕБ ном}} - \vartheta_{0 \text{ ном}}) \frac{I_{\beta}(t)}{I_{\text{ном}}} \left(1 - \frac{\eta_{\text{ФЕБ max}}(t)}{\tau\alpha} \right); \quad (2.24)$$

Величина $\eta_{\text{ФЕБ max}}$ залежить від температури. Вважаємо, що ККД змінюється за лінійним законом:

$$\eta_{\text{ФЕБ max}}(t) = \eta_{\text{ФЕБ max су}} [1 + \alpha_P (\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) - \vartheta_{\text{су}})]; \quad (2.25)$$

де $\eta_{\text{ФЕБ max су}}$ – ККД ФЕБ в точці максимуму потужності при СУ.

Підставляючи вираз (2.25) у (2.24) отримаємо рівняння щодо визначення поточної температури ФЕБ:

$$\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) = \vartheta_0(t) + (\vartheta_{\text{ФЕБ ном}} - \vartheta_{0 \text{ ном}}) \frac{I_{\beta}(t)}{I_{\text{ном}}} \left(1 - \frac{\eta_{\text{ФЕБ max су}} [1 + \alpha_P (\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) - \vartheta_{\text{су}})]}{\tau\alpha} \right); \quad (2.26)$$

Виконавши певні еквівалентні перетворення у формулі (2.26) визначаємо температуру ФЕБ у момент часу t :

$$\vartheta_{\text{ФЕБ}}(t) = \frac{\vartheta_0(t) + (\vartheta_{\text{ФЕБ ном}} - \vartheta_{0 \text{ ном}}) \frac{I_{\beta}(t)}{I_{\text{ном}}} \left(1 - \frac{\eta_{\text{ФЕБ max cy}} (1 - \alpha_P \vartheta_{\text{cy}})}{\tau \alpha} \right)}{1 + (\vartheta_{\text{ФЕБ ном}} - \vartheta_{0 \text{ ном}}) \frac{I_{\beta}(t)}{I_{\text{ном}}} \frac{\eta_{\text{ФЕБ max cy}} \alpha_P}{\tau \alpha}}; \quad (2.27)$$

Якщо значення $\eta_{\text{ФЕБ max cy}}$ не зазначено у документації, то воно визначається із наступного рівняння:

$$\eta_{\text{ФЕБ, max cy}} = \frac{P_{\text{ФЕБ ном}}}{F_{\text{ФЕБ}} I_{\text{cy}}}; \quad (2.28)$$

де $F_{\text{ФЕБ}}$ – площа ФЕБ, м².

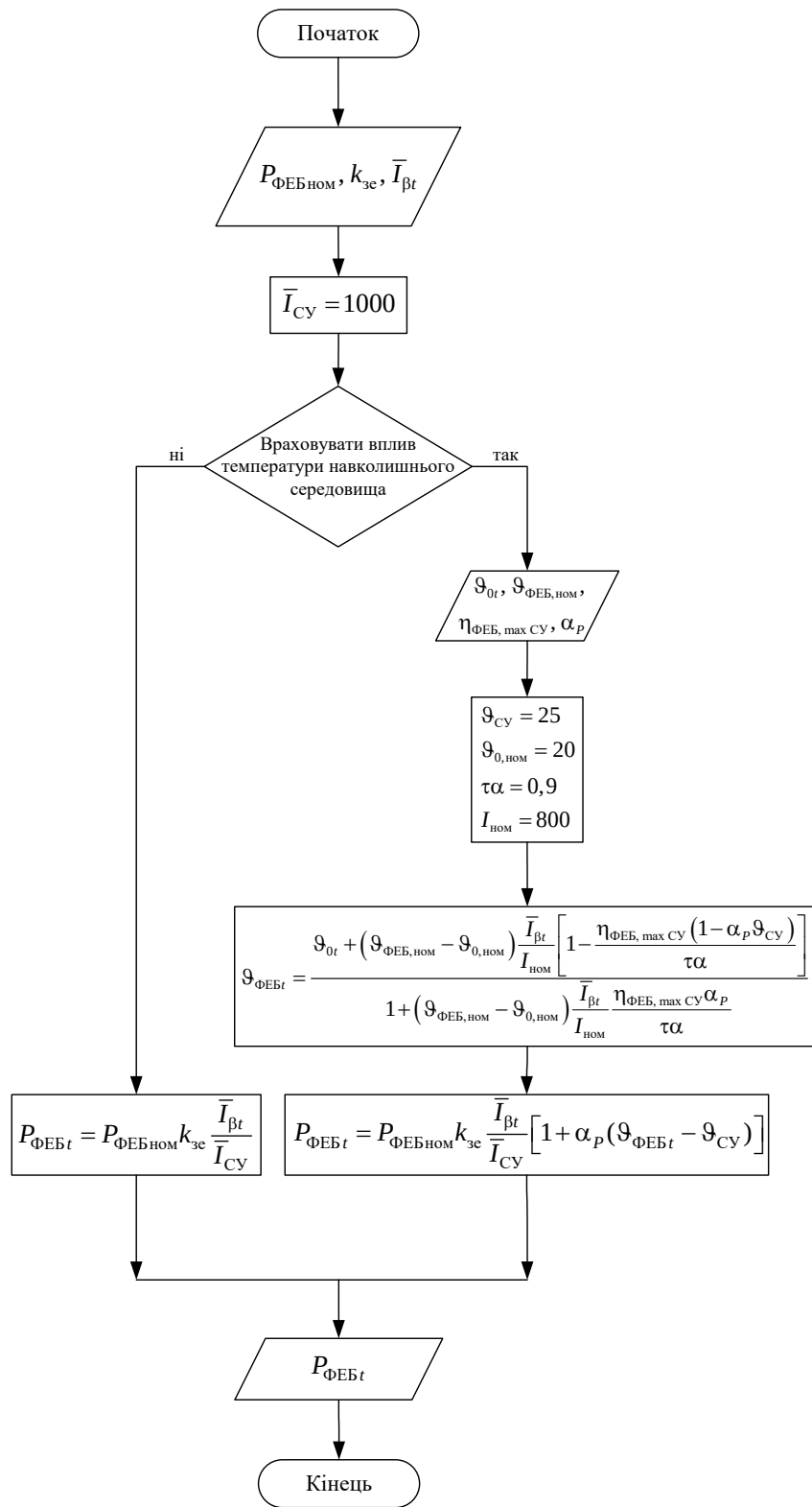


Рис. 2.6. Алгоритм визначення вихідної потужності ФЕБ

2.3 Концепція побудови сучасних систем обліку електричної енергії в умовах енергоринку України

Функціонування енергетичного сектору в умовах енергоринку висуває вимоги до системи обліку та рівня її автоматизації, точності, надійності та цілісності [20].

Точність та достовірність інформації, що отримується системою, визначається засобами інформаційно-вимірювальної техніки та принципами їх використання.

До основних характерних показників використання інформаційно-вимірювальних засобів відносяться точність, достовірність і синхронність.

Точність - це якість інформації, отриманої від засобу вимірювання потужності;

Надійність - процес отримання якісної інформації від засобів обліку електроенергії та автоматизація її перевірки;

Одночасність - процес синхронізації інформації, отриманої приладами обліку електроенергії в точці обліку.

Основною метою вдосконалення систем обліку електроенергії вважається отримання достовірного балансу між внутрішнім виробництвом, передачею, розподілом та споживанням електроенергії, а також показника якості електроенергії, що споживається споживачами.

На рис. 2.7 показано структурну схему багаторівневої системи обліку електроенергії, яка рекомендується як типова для використання в точках обліку, пов'язаних з оптовим та роздрібним ринками електроенергії.

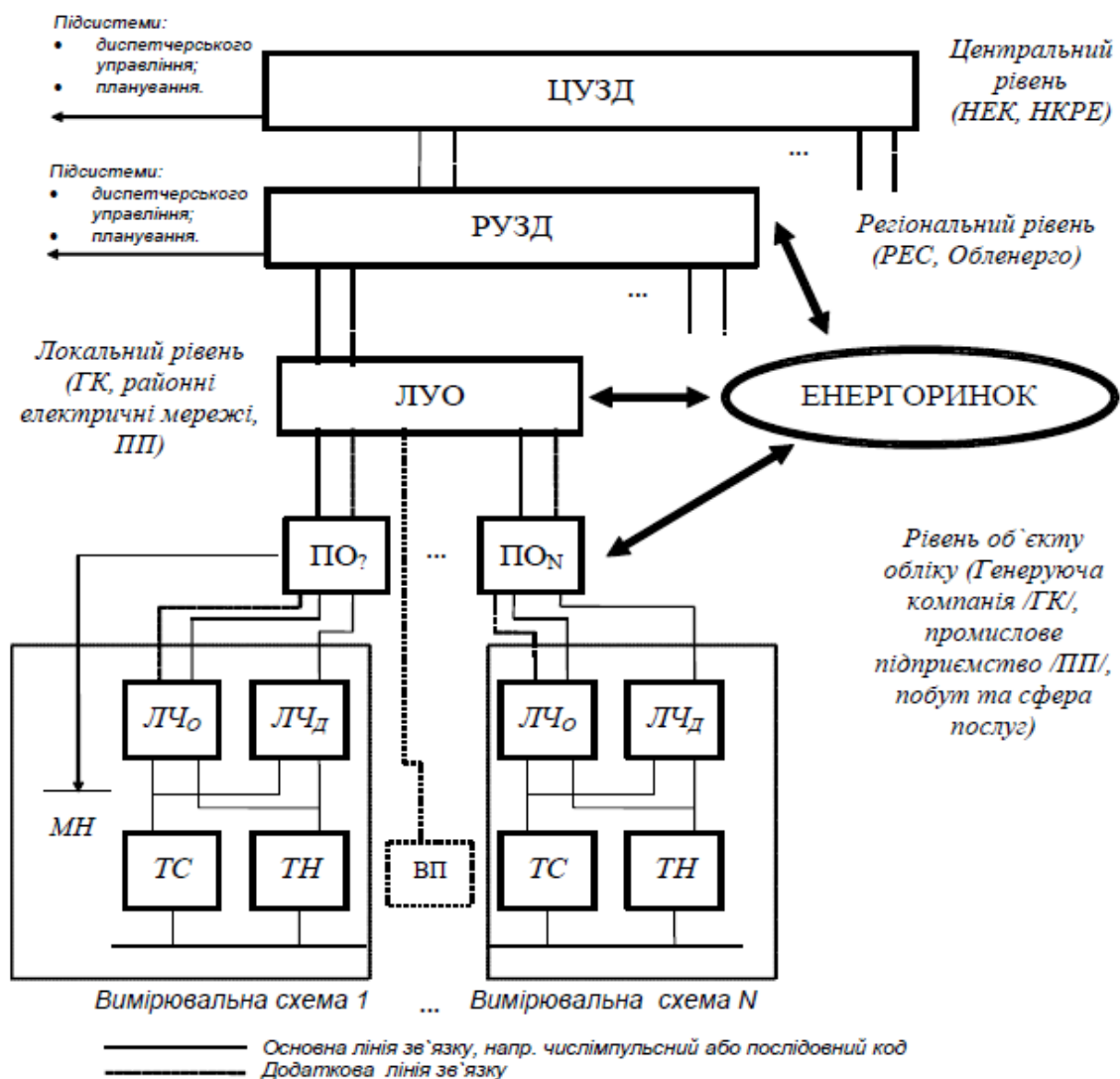


Рис. 2.7. Структурна схема багаторівневої системи обліку електроенергії

ТС - трансформатори струму;

ТН - трансформатор напруги;

ВП - вимірювач параметрів якості електроенергії;

МН - маневрене навантаження;

ЛЧО - лічильник електроенергії (основний лічильник);

ЛЧД - лічильник електроенергії (дублюючий лічильник);

ПО - прилад обліку - вимірювальний компонент ЛУО;

ЛУО - локальне устаткування обліку електроенергії;

РУЗД - регіональне устаткування збору даних;

ЦУЗД - центральне устаткування збору даних.

Система комерційного обліку електроенергії сама по собі є складною системою, яка оперативно передає потоки електроенергії учасникам енергоринку через відображення даних лічильників електроенергії в режимі реального часу та автоматичну обробку даних.

Для визначення точності обліку електроенергії системами обліку необхідно не тільки синхронізувати вимірювання, але й визначити похибки вимірювання на різних рівнях точок обліку та похибки обробки інформації.

Похибки вимірювання на різних відомих рівнях системи обліку повинні бути скориговані за відповідними формулами, а відносні похибки для відомого споживання електроенергії наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1. Допустимі похибки вимірювань при заданій потужності

Номер рівня системи обліку	Потужності об'єктів, контролю, МВА	Допустима похибка вимірювань, %
1	$S \geq 1000$	0.3 (0.7 ^{**})
2	$300 \leq S < 1000$	0.4 (0.7 ^{**})
3	$100 \leq S < 300$	0.7
4	$50 \leq S < 100$	1.2
5	$10 \leq S < 50$	1.8
6	$3 \leq S < 10$	2.5
7	$0,75 \leq S < 3$	4.6
8	$S < 0.75$	7.3; 3.2 ^{***}

* для оптового ринку рівень - 3, а для роздрібного - рівень 7.

** вказані у таблиці значення приймаються при перехідному періоді формування системи обліку.

*** тільки для прямого увімкнення лічильників.

Для підвищення точності систем обліку електроенергії необхідно підвищувати точність на кожному етапі процесу, спираючись на дані, отримані за допомогою розрахункових формул. Для вдосконалення точності вимірювань лічильників електроенергії слід застосовувати методи розрахунку, які враховують поточну точність обліку, пропорційність значень

точності для кожного етапу, розрахованих за відповідними формулами, а також економічну ефективність.

При використанні точок обліку з різними рівнями систем, слід враховувати допустимі похибки вимірювань, а не лише клас точності вимірювальної техніки, який визначається при первинному підключенні до мережі однієї точки обліку. Такий підхід дозволить отримати більш точні та якісні значення похибки вимірювальних систем, відповідно до допустимих норм похибки в точках обліку, та розширить можливості застосування засобів обліку в комплектації систем.

При комплектуванні вимірювальної системи, що включає трансформатори струму, напруги та лічильники, слід дотримуватись принципів технічної та економічної доцільності. Якщо значення похибок вимірювального обладнання рівні або близькі, підвищення точності одного з компонентів не призведе до підвищення точності всієї системи в цілому [21].

РОЗДІЛ 3. ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ АЕРОПОРТУ

Підвищення ефективності та надійності електропостачання певного об'єкту, до якого також може бути віднесено й аеропорт може здійснюватися через ряд заходів, спрямованих на оптимізацію роботи електричних систем, підвищення стійкості до аварій та забезпечення безперервного енергопостачання [23,24,25,26,27,28,29,30]. Зазначимо деякі основні підходи:

1. Модернізація обладнання:

- Встановлення нових трансформаторів та обладнання, що забезпечує кращу енергоефективність.
- Використання сучасних електропроводів з низьким опором для зниження втрат електроенергії.
- Інтеграція систем автоматичного керування для моніторингу та управління навантаженнями.

2. Використання резервних джерел живлення:

- Встановлення резервних генераторів або акумуляторних батарей для забезпечення безперервного електропостачання у випадку відключень.
- Підключення до альтернативних джерел енергії (сонячні панелі, вітрові генератори) для підвищення незалежності від центральної електромережі.

3. Оптимізація розподілу електроенергії:

- Запровадження смарт-мереж (smart grids), що дозволяють автоматично розподіляти електроенергію в залежності від навантаження та споживання.
- Реалізація систем балансування навантаження, що зменшує пікові навантаження та покращує стабільність мережі.

4. Реалізація заходів енергоефективності:

- Використання енергоощадних пристроїв та технологій (наприклад, світлодіодного освітлення, енергоефективних двигунів).

- Проведення регулярних енергоаудитів для виявлення точок з високими енергетичними втратами та їх усунення.

5. Регулярне технічне обслуговування:

- Планове обслуговування електричних систем для своєчасного виявлення та усунення несправностей.
- Оперативне реагування на аварії та несправності для мінімізації часу простоїв.

6. Автоматизація та моніторинг:

- Впровадження систем автоматизованого моніторингу для виявлення аномалій та оперативного втручання.
- Використання SCADA систем для централізованого контролю та управління енергопостачанням.

7. Навчання та підготовка персоналу:

- Підвищення кваліфікації обслуговуючого персоналу для кращого розуміння роботи сучасних систем електропостачання.
- Розробка та впровадження інструкцій та протоколів дій у випадках аварійних ситуацій.

8. Забезпечення захисту від зовнішніх впливів:

- Встановлення захисних пристроїв від перенапруг та грозових явищ.
- Захист обладнання від фізичних загроз (наприклад, від вандалізму або стихійних лих).

Застосування цих методів в комплексі дозволяє значно підвищити ефективність та надійність електропостачання об'єкту, що в свою чергу сприяє стабільній роботі підприємства чи інфраструктури.

Як зазначалося в попередніх розділах в даній роботі буде приділено увагу пункту 2 (використання альтернативних джерел енергії), а також пункту 6 (застосування автоматизованої системи контролю та обліку електроспоживання АСКОВ) [32,33,34,35,36,37].

3.1 Загальний опис СЕС та системи АСКОЕ сонячної електростанції

Для реалізації системи комерційного обліку електроенергії для сонячних електростанцій необхідно використовувати АСКОЕ.

У цьому випадку АСКОЕ використовується як інформаційно-облікова система, завданнями якої є вимірювання, зберігання та обробка кількості електроенергії, відображення задокументованої інформації та обмін необхідною інформацією з оператором енергоринку України.

Основними технічними та економічними цілями АСКОЕ є

- Точне вимірювання перетоків електроенергії;
- мінімізація часу, необхідного для збору та обробки необхідних даних, проведення взаєморозрахунків за спожиту (вироблену) електроенергію та прийняття (реалізації) управлінських рішень; та
- створення балансу перетоків електроенергії;
- передача необхідної інформації про переток електроенергії до бізнес-інформаційного комплексу головного оператора;
- Управління режимами електропостачання;
- забезпечення необхідних розрахунків за спожиту (відпущену) електричну енергію в умовах ОРЕ України; - забезпечення необхідних розрахунків за спожиту (відпущену) електричну енергію в умовах ОРЕ України;
- Підготовка та передача даних про кількість перетоків електричної енергії до відповідних органів управління та електропостачальних організацій (ДП «Енергоринок», обленерго, ДП «НЕК “Укренерго” та ін.).

При впровадженні АСКОЕ на фотоелектричних станціях система повинна забезпечувати формування таких необхідних даних: «генерація», «прийом», «відпуск», «платіжний баланс», «купівля» і «продаж».

Проекти з організації та впровадження АСКОЕ на сонячних електростанціях розробляються відповідно до технічних специфікацій системи.

Для забезпечення необхідної функціональності АСКОЕ буде створено базовий комплект системи на основі національного та міжнародного апаратного та програмного забезпечення:

- Лічильник електроенергії SL 7000
- Сервер для прийому, обробки та зберігання даних;
- ряд технічних заходів
- відповідне програмне забезпечення для забезпечення безперервної роботи всієї системи. При впровадженні АСКОЕ на фотоелектричних станціях система повинна забезпечувати формування таких необхідних даних: «генерація», «прийом», «відпуск», «платіжний баланс», «купівля» і «продаж».

Проекти з організації та впровадження АСКОЕ на сонячних електростанціях розробляються відповідно до технічних специфікацій системи.

Для забезпечення необхідної функціональності АСКОЕ буде створено базовий комплект системи на основі національного та міжнародного апаратного та програмного забезпечення:

- Лічильник електроенергії SL 7000
- Сервер для прийому, обробки та зберігання даних;
- ряд технічних заходів
- відповідне програмне забезпечення для забезпечення безперервної роботи всієї системи.

3.1.1. Загальна характеристика СЕС.

Як було зазначено вище предметом дослідження роботи є система комерційного обліку електричної енергії СЕС наземного розміщення. Місце розташування – безпосередньо біля аеропорту.

Електроенергія генерується за допомогою з'єднаних між собою фотовольтаїчних блоків (ФВБ), які складаються з груп фотоелектричних модулів (ФЕМ). ФВБ підключаються до інверторів. У проєкті передбачено 4

Рис. 3.1. Однолінійна електрична схема СЕС з вказанням місць розташування приладів комерційного обліку електричної енергії

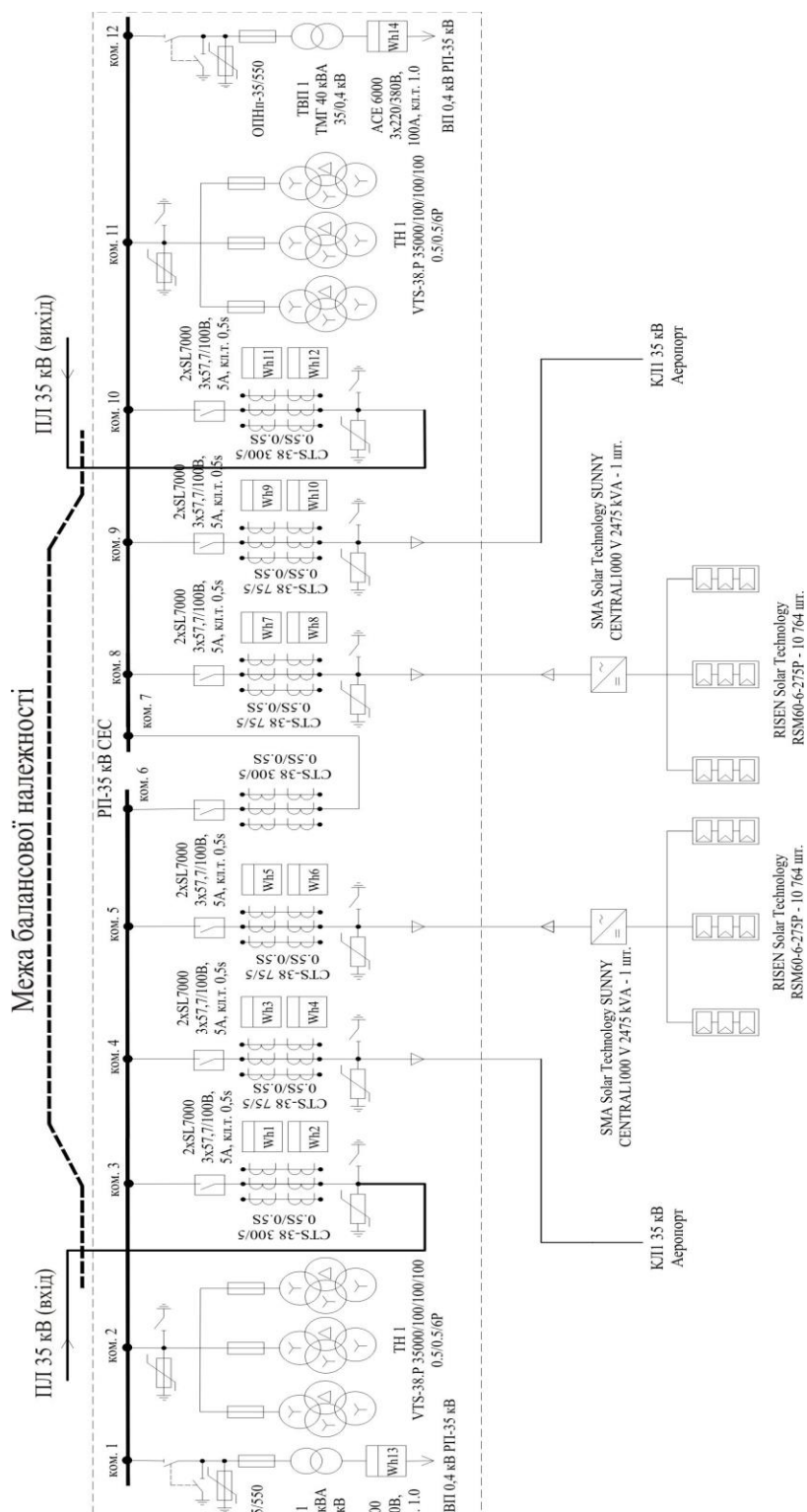


Рис. 3.1. Однолінійна електрична схема СЕС з вказанням місць розташування приладів комерційного обліку електричної енергії

В якості ФЕМ використовуються нами сонячні панелі RISEN Solar Technology RSM60-6-275P із вихідною потужністю 275 Вт (рис. 3.2)



Рис. 3.2. Загальний вигляд сонячної панелі
RISEN Solar Technology RSM60-6-275P

В цій сонячній електростанції використовуються інвертори типу SMA Solar Technology SUNNY CENTRAL1000 V 2475 kVA, потужністю 2475 кВА, у кількості – 4 шт.. Номінальна напруга вихідної мережі інвертора 35 кВ.

Зовнішній вигляд інвертора SMA Solar Technology SUNNY CENTRAL1000 V 2475 kVA зображено на рис. 3.3.



Рис. 3.3. Зовнішній вигляд інвертора SMA Solar Technology SUNNY
CENTRAL1000 V 2475 kVA

Усталена потужність СЕС (постійний струм) – 11 840 400 кВт,
розрахункова потужність (змінний струм) – 9 900 кВт.

Технічні характеристики цієї СЕС наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1. Технічні характеристики СЕС

Найменування виробників електроен.	Фотоелектричні модулі		Встановл. потужн. (пост. струм), кВт	Інвертори		Встановл. потужн. (змінний струм), кВт	cos φ
	Всього, шт.	Номінальна потужність, кВт		Всього, шт.	Номін. потужність, кВт		
СЕС загалом	43 056	0,275	11 840 400	4	2 475	9 900	0,97

Потужність власних потреб СЕС (без споживання інверторними станціями) складає 22 кВт. Споживання електроенергії інверторними станціями на рік складає 10 230,60 кВт·год. Результати розрахунку споживання електроенергії на власні потреби електростанції наведені в табл. 3.2.

Таблиця 3.2. Розрахунок витрат електроенергії на власні потреби електростанції

№ пп	Найменування струмоприймачів	Паспортні дані		К-ть	Коеф. (одночас- ність вико- рис-тання)	Загальна розрахун- кова потужність $P_{p\max.}$, кВт
		P_n , кВт	$\cos\phi$			
1	2	3	4	5	6	7
І. Споживачі, живлення яких здійснюється від КТП ВП 0,4 кВ						
1.1	Освітлення та обігрів РП-35 кВ	3,2	0,85	1	0,8	3,2
1.6	Живлення пристроїв РЗІА та телмеханіки	4,7	0,9	2	1	9,4
1.3	Система моніторингу	0,3	0,99	2	0,8	0,6
1.8	Живлення пристроїв АСКОВЕ	0,75	0,9	2	1	1,5
1.13	Живлення робочого місця оператора	1,0	0,9	1	0,8	1,0
1.15	Шафа відеоспостереження	2	0,9	1	1	2
1.16	Зовнішнє освітлення	2,5	0,85	1	0,5	2,5
1	2	3	4	5	6	7
1.2	Втрати в трансформаторі КТП 10/0,4 кВ Т-25 кВА 10/0,4 кВ в режимі хх	1,6	0,3	1	1	1,6
Разом по КТП ВП 0,4 кВ (Розділ І), $P_{p\max. I}$				0,87		21,8
ІІ. Інші споживачі РП-35 кВ СЕС						
1.1	Власне споживання інверторів	0,05	0,98	4	0,3	0,2
Разом по Іншим споживачам (Розділ ІІ), $P_{p\max. II}$			0,98			0,2
Разом по Розділам І та ІІ (Максимальна потужність) $P_{p\max.} = P_{p\max. I} + P_{p\max. II}$			0,87		1	22,00
Разом по Розділам І та ІІ (Мінімальна потужність) $P_{p\min.} = P_{p\max.} \times \text{Код.}$			0,87		0,55	12,0

3.1.2. Загальна характеристика АСКОВЕ сонячної електростанції

Комерційний (розрахунковий) облік відпуску електричної енергії та обсягу електричної енергії, відібраної фотоелектричною станцією від гарантованого покупця електричної енергії, що постачається із зовнішньої мережі для власного споживання, організовується відповідно до вимог Кодексу комерційного обліку електричної енергії, чинних нормативно-правових актів та технічних умов, виданих енергопостачальником, в точках

PS1 та PS11 СЕС 35 кВ. Здійснюється на межі балансової належності лічильниками SL 7000 (рис. 3.4).



Рис. 3.4. Зовнішній вигляд лічильника SL 7000

Також, споживання та купівля електричної енергії, що надійшла із мереж Енергопостачальника на власні потреби, здійснюється в КТП ВП 25/10/0,4 кВ, де встановлюється SL 7000, кл.т.0,5s. РП-35 кВ СЕС.

В РП-35 кВ СЕС для обліку генерації електричної енергії встановлено лічильники PS3 (PS4 - дубл.), PS5 (PS6 - дубл.), PS7 (PS8 - дубл.), PS 9 (PS10 - дубл.) - SL 7000 клас точності 0,5s.

Для організації технічного обліку власних потреб РП-35 кВ СЕС встановлено лічильники PS13, PS14 (ACE 6000 клас точності 1.0). Його зовнішній вигляд зображено на рис. 3.5.



Рис. 3.5. Зовнішній вигляд лічильника ACE 6000

Для обліку власних потреб СЕС встановлено лічильник PS15 в КТП ВП 25/10/0,4 кВ.

Впровадження АСКОЕ дозволяє здійснювати облік електроенергії за кількома тарифними планами (залежно від часу доби) та автоматизувати процес збору даних і формування звітності [21,22, 23,24,25,26,27,28].

Інформація з лічильника передається через GSM-модем.

Комерційні прилади обліку електроенергії будуть встановлені на межі балансової належності, як показано на однолінійній схемі розташування комерційних приладів обліку електроенергії (Рис. 3.1).

Процес формування балансів споживання та відпуску електроенергії в мережі СЕС підлягає автоматизації за допомогою програмних засобів проєктованої системи. Це стосується визначення обсягів виробленої електроенергії, проданої на ринок, купленої електроенергії для власних потреб у електропостачальній компанії, а також розрахунку сальдо перетоків на межі балансової належності.

Вхідними даними для створення балансів та інших звітів є інформація, що зчитується з первинної бази даних електронних багатofункціональних лічильників. У випадку відсутності зв'язку лічильників із центральним

сервером збору даних, оператор або адміністратор системи вводить ці дані вручну.

Якщо дані комерційного обліку електроенергії за минулу добу не надійшли до сервера АСКОЕ СЕС або не можуть бути зчитані з лічильника, вони вводяться диспетчером або оператором системи вручну в період з 00:00 до 08:00 з подальшим коригуванням.

3.2 Визначення структури АСКОЕ сонячної електростанції, вибір засобів та способів зв'язку, що забезпечують інформаційну взаємодію рівнів системи

3.2.1. Структура АСКОЕ СЕС.

АСКОЕ СЕС - це дворівнева (нижній та верхній) географічно розподілена система, що складається з програмного та апаратного забезпечення для визначення, збору, зберігання, передачі та відтворення даних комерційних вимірювань електроенергії.

Структурна схема АСКОЕ СЕС показана на Рис. 3.6.

АСКОЕ СЕС має характеристики цілісності та централізованого управління; залежно від функціонального призначення АСКОЕ СЕС поділяється на дві функціональні складові: вимірювальну частину АСКОЕ, яка забезпечує генерацію та зберігання первинних даних, та частину АСКОЕ, яка забезпечує збір та обробку даних (ЗОД).

Вимірювальна частина АСКОЕ СЕС конструктивно розташована в нижній частині системи, тоді як частина збору та обробки даних - у верхній частині системи.

На нижньому рівні АСКОЕ СЕС передбачає наступне:

- вимірювання активної та реактивної потужності на основі прямого та зворотного трифазного електронного багатофункціонального лічильника, визначення кількості електроенергії, що відпускається (надходить в мережу) з мережі СЕС у кожний 30-хвилинний інтервал доби, та зберігання визначених даних у первинній базі даних лічильника;

- накопичення та зберігання первинних вимірювань у первинній базі даних лічильника та передача цих даних на вищі рівні АСКОЕ СЕС каналами та засобами зв'язку (зберігання та передача даних здійснюється відповідно до встановлених правил);

- довгострокове зберігання даних;

На верхньому рівні АСКОЕ СЕС виконує наступні функції:

- Автоматичний збір та завантаження до бази даних (БД) АСКОЕ СЕС комерційних даних вимірювань, отриманих через канали зв'язку або шляхом ручного введення;

- доступ персоналу СЕС до бази даних за допомогою прикладного програмного забезпечення;

- забезпечення роботи всіх елементів АСКОЕ СЕС за єдиним розрахунковим часом при дотриманні встановлених правил переходу на літній час;

- формування та передача даних у вигляді макетів 30817, 30818 та 30917 постачальникам електроенергії

- передача даних комерційного обліку до адміністратора комерційного обліку електроенергії з використанням уніфікованого протоколу передачі даних комерційного обліку.

Вищі рівні АСКОЕ СЕС включають

- Сервери, які збирають та обробляють дані комерційного обліку (також діють як операторські термінали (ОТР));

- GSM-модеми з живленням;

Нижчі рівні АСКОЕ включають

- трансформатори струму
- лічильники електроенергії;
- GSM-модем;
- Блоки живлення.

Технічні рішення щодо вибору, розміщення, монтажу, введення в експлуатацію та обслуговування обладнання АСКОВ СЕС на об'єктах з точками обліку електроенергії в мережі СЕС описані в розділі «Основні технічні рішення» робочого проекту.

АСКОВ повинні мати можливість отримувати інформацію про максимальну потужність підприємства в години пікових навантажень відповідно до договору про постачання електроенергії та формувати звіти про порядок визначення обсягу електроенергії при розрахунку тарифу.

3.2.2. Організація каналів зв'язку.

Основний канал зв'язку сервера збору та обробки даних і вимірювальної частини АСКОВ СЕС здійснюється по GSM (GPRS) з використанням Sim-карти мобільного оператора ПрАТ «ВФ Україна».

Резервний канал зв'язку сервера збору та обробки даних і вимірювальної частини АСКОВ СЕС здійснюється по каналу GSM (GPRS) з використанням Sim-карт мобільного оператора ПрАТ «Київстар».

Основним каналом зв'язку для обміну даними між серверами збору та обробки даних СЕС та енергопостачальної компанії є Інтернет (на основі протоколу TCP/IP).

Резервний канал зв'язку для прямого доступу персоналу енергопостачальної компанії до PDB лічильника організовано через канал GSM (GPRS).

Зчитування даних здійснюється цілодобово по кожній точці обліку. Порядок зчитування даних визначається системним адміністратором або оператором (відповідно до наданих прав) за встановленим графіком, погодженим зі службою обліку енергопостачальника Сервери (основний та

резервний) АСКОВ СЕС будуть автоматично встановлюють з'єднання з лічильником, зчитують дані та зберігають їх в СУБД у вигляді первинних (необроблених) даних, згідно з розкладом або за розпорядженням оператора АСКОВ.

Інформаційна взаємодія між компонентами системи, а також між АСКОВ та іншими системами здійснюється в автоматизованому або автоматизованому режимі. У разі виходу з ладу каналу зв'язку та/або окремих компонентів системи забезпечується можливість ручного введення даних або можливість передачі даних від одного компонента системи до іншого у вигляді файлів на магнітних носіях або з використанням мереж передачі даних.

Сервер збору та обробки даних СЕС автоматично формує звіти в узгодженому форматі макетів та передає їх на сервер АСКОВ енергопостачальника. Обмін інформацією з використанням погодинних даних комерційного обліку електроенергії для формування макетів 30817, 30818 та 30917 визначений у процедурі збору, формування та надання даних комерційного обліку електроенергії між оператором АСКОВ СЕС та енергопостачальником.

Окремий GSM/GPRS канал використовується для зчитування даних безпосередньо з ПБД електронного лічильника електроенергії, що входить до складу АСКОВ.

АСКОВ СЕС забезпечує наступне

- Дані АСКОВ СЕС доступні у форматі 30817. Цей макет створюється постачальником електроенергії для подальшої участі в розрахунках на ринку електроенергії;

- надання даних комерційного обліку в узгодженому форматі зацікавленим сторонам (сусіднім операторам авторизаторів ринку електроенергії), отримання даних комерційного обліку від сусідніх операторів та їх аналіз на предмет надійності та потенціалу для координації;

та

- надання даних комерційного обліку в узгодженому форматі на платформу MMS адміністратора комерційного обліку;
- передача графіку відпуску електроенергії та доступної потужності генеруючих одиниць до інформаційної системи ДП «Гарантований покупець» через Інтернет в узгодженому форматі;
- передача даних (в узгодженому форматі та часі) у вигляді макетів 30817, 30818 та 30917 енергопостачальнику;

3.3 Режими функціонування АСКОЕ СЕС аеропорту

АСКОЕ СЕС виконує наступні функції:

- фіксування результатів обліку електроенергії з комерційних лічильників на об'єкті споживача синхронно в заданий момент часу;
- фіксування результатів обліку електроенергії з комерційних лічильників на об'єкті споживача синхронно в заданий момент часу;
- архівування та зберігання даних первинного обліку електроенергії в необробленому вигляді (вимірних значень) без коригування протягом установленого терміну;
- обробку параметрів вимірювання енергії та обчислення результатів за встановленими алгоритмами, а також базу даних АСКОЕ СЕС (далі - БД);
- діагностика працездатності апаратного та програмного забезпечення АСКОЕ СЕС та формування повідомлень про порушення працездатності
- розмежування прав доступу користувачів АСКОЕ та захист інформації комерційного обліку електроенергії від несанкціонованого втручання;
- представлення облікової інформації персоналу споживачів в АСКОЕ СЕС за допомогою екранів та звітних форм;
- дистанційна передача результатів обліку електроенергії енергопостачальникам за запитом;
- синхронізація роботи всіх технічних засобів АСКОЕ СЕС між собою за системним часом.

Функціонування СЕМ СЕС має відбуватися в режимі реального часу та безперервно, за винятком випадків усунення несправностей та планового технічного обслуговування. АСКОЕ СЕС, відповідно до чинного законодавства України, вимагає встановлення єдиного часу для всіх вимірювальних приладів, забезпечення можливості балансування активної та реактивної енергії в єдиний час, а також автоматичного переведення годинників на зимовий - літній час при зміні часу «літній» - «зимовий» сезон.

Всі завдання, що виконуються в процесі розгортання АСКОЕ СЕС, можна поділити на такі категорії.

- Основні: ті, що забезпечують безпосередні функції обліку та контролю, пов'язані з отриманням, розподілом та продажем електроенергії;
- Сервісні: забезпечують координацію, конфігурацію та обслуговування всієї АСУ ТП окремих блоків, фрагментів та СЕС;
- Автоматизовані, автоматизовані та, меншою мірою, неавтоматизовані (з ручним введенням даних).

Включає організацію обліку та контролю при отриманні, розподілі та продажу електроенергії.

- Автоматичне вимірювання параметрів та формування первинної бази даних електронних багатофункціональних лічильників;
- Періодичне (або за запитом) опитування лічильника через інтерфейс RS-485 (IEC 62056-21 або протокол DLMS);
- Ручне введення інформації з лічильника за відсутності підключення до сервера збору даних; формування та ведення бази даних АСКОЕ СЕС, включаючи мітки для варіантів введення даних та поточний системний час, синхронізований на всіх точках лічильника.

Процес адміністрування АСКОЕ включає в себе ряд операцій, пов'язаних з налаштуванням лічильників і параметрів системи, визначенням списків користувачів та їх прав доступу, формуванням структур обліку, створенням і модернізацією нових екранів і форм звітів, створенням і підтримкою баз даних тощо.

Адміністрування здійснюється за допомогою спеціально розроблених інструкцій, програмного забезпечення та шаблонів, а всі необхідні операції можуть бути виконані без спеціальних знань складного апаратного чи програмного забезпечення.

3.3.1. Надійність функціонування АСКОЕ СЕС

Надійність функціонування АСКОЕ СЕС забезпечується такими шляхами:

- Вибором найбільш відповідної функціональної структури;
- вибору апаратного та програмного забезпечення, що відповідає сучасним вимогам та гарантується виробником; та
- оперативна заміна несправного обладнання та програмного забезпечення;
- використання апаратного/програмного резервування на всіх рівнях АСУ ТП СЕС;
- застосування ефективних, з точки зору надійності, схем з'єднання та інтерфейсів між компонентами системи та технічними процесами збору, обробки та передачі даних;
- використання надлишкових сховищ даних та розподілених баз даних з механізмами автоматичної реплікації та синхронізації баз даних.
- Надійність АСКОЕ СЕС зазвичай характеризується наступними показниками надійності.
- Середній термін служби не менше 20 років (з урахуванням заміни технічних засобів, що відпрацювали свій ресурс);
- середній інтервал напрацювання на відмову не менше 10 000 годин для окремої функції; - середній інтервал напрацювання на відмову не менше 10 000 годин для окремої функції
- Середнє напрацювання на відмову технічних засобів не менше 10 000 годин;

- час готовності програмного та апаратного забезпечення не більше 30 хвилин (від повного вимкнення до перевірки готовності).

Відновлення працездатності технічних засобів АСКОЕ здійснюється шляхом заміни технічного засобу (або його частини). Вихід з ладу одного технічного засобу не призводить до виходу з ладу інших технічних засобів АСКОЕ СЕС.

Діагностична програма перевірки працездатності апаратних і програмних засобів АСКОЕ обов'язково фіксує час, місце, тип і причину відмови технічних засобів.

3.3.2. Захист інформації від несанкціонованого доступу

Для забезпечення захисту інформації від несанкціонованого доступу передбачено заходи на програмному й технічному рівнях.

Заходи на рівні програмного забезпечення; програмне забезпечення АМР СЕС включає в себе:

- Використання паролів в інтерактивному режимі;
- Надання користувачам тільки тієї інформації, яка відповідає їхнім правам доступу;
- Обов'язкова регулярна зміна паролів для користувачів АСКОЕ (не рідше одного разу на шість місяців) або використання захищених апаратних засобів автентифікації та авторизації.
- Обов'язкове періодичне (не рідше одного разу на три місяці) встановлення доступних оновлень і патчів для операційної системи та іншого програмного забезпечення, що входить до складу АСКОЕ СЕС.

Інформування про всі дії користувачів АСКОЕ СЕС, що стосуються

- Реконфігурації програмного забезпечення АСКОЕ та його компонентів;
- Зміна кількості користувачів в АСКОЕ СЕС (введення нових паролів, дозволів та списків завдань).

- АСКОВЕ СЕС забезпечує регламентований доступ постачальника електроенергії до

- Масив первинних даних (інформація з лічильників електроенергії) - тільки для читання;

- масиву звітних даних (оперативна та узгоджена звітна інформація);

- нормативно-довідкової інформації (тільки для читання).

Заходи на рівні технологій. Захист від несанкціонованого доступу до технічного обладнання забезпечується шляхом

- Надання доступу до інформації лічильників комерційного обліку;

- Розміщення обладнання АСКОВЕ СЕС в окремому приміщенні, що замикається на ключ, з обмеженим доступом; - Забезпечення недоступності обладнання для сторонніх осіб; - Забезпечення недоступності обладнання для сторонніх осіб

- пломбування лічильників та вимірювальних кіл, а також дотримання вимог нормативного документу Міністерства палива та енергетики «Додаткові вимоги до засобів обліку електричної енергії щодо запобігання несанкціонованому втручанню в роботу»;

- Пристрої передачі даних не підключаються безпосередньо (безпосередньо) до мереж загального користування без механізмів захисту інформації від несанкціонованого доступу.

3.4 Склад функцій, комплексів задач що реалізуються компонентами системи

Технічні та програмні засоби АСКОВЕ виконують такі функції:

- Щоденний збір погодинних даних комерційного обліку активної та реактивної електроенергії за попередню розрахункову добу, а також півгодинних значень перетоків електроенергії (усередненої потужності з періодом інтеграції 30 хвилин) та даних з журналів подій лічильників.

- Щомісячний збір накопичувальних показників активної та реактивної електроенергії, зафіксованих на 24:00 останнього дня кожного звітного місяця.

- Зберігання облікових даних у базі лічильників з можливістю архівації інформації на зовнішніх носіях, з глибиною архіву, що визначається ємністю носіїв.

- Автоматичне зчитування даних із лічильників за визначеними інтервалами та створення копії первинних баз даних лічильників у СКБД АСКОВЕ.

- Первинна обробка даних (включаючи множення на розрахункові коефіцієнти, округлення, приведення до межі балансової належності) та перевірка їх повноти й достовірності.

- Формування півгодинних і годинних графіків виробництва, відпуску та споживання активної і реактивної електроенергії.

- Можливість визначення обсягів виробленої, відпущеної, переданої та спожитої електроенергії СЕС.

- Можливість ручного введення даних у разі неможливості автоматичного збору інформації.

- Відновлення даних за встановленими алгоритмами в базі АСКОВЕ у випадках, коли вони не були отримані автоматично, в тому числі при використанні ручного вводу.

- Зберігання первинних даних з лічильників та розрахункових даних за періодами (доба, місяць, квартал, рік) з дискретністю від 30 хвилин, а також інформації з журналів подій лічильників протягом терміну позовної давності.

- Забезпечення обміну даними комерційного обліку з енергопостачальниками через спільні точки перетоків електроенергії та автоматизований дистанційний доступ до первинних даних.

- Надання позначок якості інформації (ручний або автоматичний ввід), які передаються на вищій рівні обліку.

- Резервування технічних засобів АСКОЕ для забезпечення надійності та своєчасної передачі даних Адміністратору комерційного обліку.
- Забезпечення збереження даних при аварійних ситуаціях (відмова мережного обладнання, поломка серверів або робочих станцій, пожежі тощо).
- Виведення значень параметрів обліку у вигляді екранних і звітних форм на термінали або за запитом оператора.
- Налаштування параметрів системи та ручне введення даних.
- Обмеження доступу до системи на основі паролів.
- Підтримка єдиного системного часу з можливістю автоматичного коригування з вищих рівнів або інженерного пульта.
- Синхронізація сервера АСКОЕ, лічильників та пристроїв обліку з серверами точного часу через протокол NTP.
- Створення архівів на зовнішніх носіях.
- Автоматичне формування екранних та звітних форм на підставі необроблених і розрахункових даних.
- Автоматична підготовка та відправлення фінансових звітів.
- Автоматичне оновлення екранних форм по мірі надходження нових даних.
- Автоматична діагностика стану програмних і технічних засобів та каналів зв'язку.
- Формування електронного журналу подій, візуальна та звукова сигналізація про аварії та нештатні ситуації.
- Автоматичний перехід на літній/зимовий час.
- Збереження даних при аваріях та резервування інформації.
- Можливість налаштування технічних засобів без зупинки їх функціонування.
- Захист інформації від несанкціонованого доступу та розмежування прав користувачів.

- Можливість експорту даних із бази АСКОЕ у зовнішні бази за запитом користувачів.

3.4.1. Функції засобів обліку електроенергії

Лічильник SL 7000 внесений до Державного реєстру засобів вимірювальної техніки України, має клас точності 0,5s, відповідає вимогам чинного ДСТУ ГОСТ 30207-94 та положенням «Кодексу комерційного обліку електричної енергії», і сертифікований як засіб, що відповідає вимогам якості.

Лічильник виконує вимірювання активної та реактивної електроенергії у трифазних мережах змінного струму в точках комерційного обліку як у прямому, так і у зворотному напрямках. Багатофункціональні електронні лічильники фіксують кількість електроенергії за кожен 30-хвилинний інтервал протягом доби (інтервал опитування визначає адміністратор АСКОЕ СЕС за погодженням з Енергопостачальною компанією). Вони зберігають отримані значення в первинній базі даних (ПБД), підтримують облік електроенергії за тарифними зонами, та забезпечують доступ до ПБД через цифровий інтерфейс RS-485 (з використанням протоколу DLMS або IEC 62056-21).

Лічильник, встановлений у точці комерційного обліку СЕС, забезпечує можливість зчитування даних навіть при відсутності основного живлення. Міжповірочний інтервал лічильників становить щонайменше 6 років, а їх термін експлуатації — не менше 20 років. Лічильник оснащений вбудованим годинником і календарем з можливістю зовнішньої синхронізації. Похибка ходу годинника не повинна перевищувати 0,5 секунд на добу.

3.4.2. Функції GSM- модему

GSM-модеми призначені для забезпечення зв'язку між вимірювальним сегментом АСКОЕ СЕС (який знаходиться на нижньому рівні системи) та сервером збору і обробки даних АСКОЕ СЕС, а також сервером АСКОЕ Енергопостачальної компанії. GSM-канал надається оператором мобільного

зв'язку відповідно до умов договору про надання послуг мобільного зв'язку. У GSM-модемах можуть використовуватися SIM-карти різних операторів мобільного зв'язку.

3.4.3. Функції серверу збору та обробки даних і термінального пункту оператора АСКОЕ СЕС

Сервер збору та обробки даних (СЗОД) АСКОЕ СЕС виконує такі функції:

- Накопичення і зберігання інформації по кожній точці обліку, групах обліку та поточній конфігурації системи.
- Збереження та обробка даних, введених вручну.
- Обробка накопиченої інформації згідно з затвердженими алгоритмами комерційного обліку.
- Контроль стану каналів зв'язку.
- Діагностика системи та її переналаштування при зміні конфігурації.
- Розмежування доступу користувачів до бази даних згідно з їхніми правами.
- Накопичення та зберігання даних про функціонування системи.
- Резервне копіювання даних засобами СКБД.
- Прийом даних комерційного обліку електроенергії, що надходять через канали зв'язку від багатофункціональних електронних лічильників підстанцій, з подальшим завантаженням їх у базу даних АСКОЕ СЕС з позначкою якості «Автоматичне введення».
- Прийом даних, введених вручну, із завантаженням їх у базу даних з позначкою «Ручне введення».
- Аналіз цілісності бази даних, виявлення відсутніх даних та формування повторних запитів до приладів обліку для отримання відсутніх даних.
- Обмін інформацією з Енергопостачальником згідно з погодженими протоколами і форматами даних.

- Надання доступу до бази даних АСКОВ СЕС для операторів СЕС.

Сервер обладнаний джерелом безперебійного живлення (ДБЖ) для забезпечення коректного вимкнення сервера бази даних (без втрати даних) у разі відключення електроенергії.

Операторський термінальний пункт (ОТП) відтворює та документує інформацію про кількість електроенергії, відпущеної в мережу (виданої з мережі) СЕС, та виводить на екран відповідні форми звітів ОТП є робочим місцем оператора мережі (користувача).

Вихідними даними для створення звітних форм є значення вимірювань, що зберігаються в первинній базі даних (ПБД) лічильника. Звіти генеруються програмним забезпеченням ТПО на запит оператора. Оператор (користувач) АСКОВ СЕС працює в рамках прав, наданих йому адміністратором системи.

3.4.4. Контроль функціонування АСКОВ СЕС

Функціонування АСКОВ СЕС контролюється під час циклу опитування кожного вимірювального приладу. Стан пристрою порівнюється зі станом на момент налаштування АСКОВ. Якщо є розбіжність, генерується повідомлення про зміну стану пристрою, яке заноситься до журналу подій.

Журнал подій лічильника містить інформацію про перепрограмування тарифних зон, коригування годинника лічильника та зміну налаштувань лічильника. Журнали подій лічильника зчитуються за запитом адміністратора (оператора) АСКОВ СЕС за допомогою програмного забезпечення. Кожна подія супроводжується кодом помилки або повідомленням з коротким описом.

Крім того, на сервері АСКОВ ведеться журнал подій (лог-файл). Ця інформація дозволяє збирати достатньо повну статистичну інформацію про роботу АСКОВ СЕС та її окремих компонентів (каналів зв'язку, лічильників, модулів зв'язку, серверів тощо) для забезпечення профілактики та своєчасного виявлення несправностей, аналізу причин відмов обладнання та

збоїв програмного забезпечення, а також для забезпечення належної роботи АСКОВ СЕС та її діагностики.

3.5 Інформаційне забезпечення АСКОВ СЕС

Інформаційне забезпечення АСКОВ - це сукупність методів збору, обробки, зберігання та пошуку інформації в базах даних, єдина система класифікації та кодування техніко-економічної та ділової інформації, уніфікована система ділової документації.

Інформаційне забезпечення АСКОВ надає можливість:

- Визначити склад даних, що використовуються для вирішення завдань комерційного обліку та контролю.
- Формалізувати форми подання інформації.
- Уніфікувати вхідну та вихідну документацію.
- Визначити способи представлення інформації на всіх етапах її руху та обробки.
- Обрати носії інформації та визначити порядок її розміщення на машинних носіях.
- Визначити формат, терміни та обсяг збереженої інформації, а також способи її зберігання, пошуку, внесення змін у масиви даних і методи контролю інформації.
- Розробити класифікатори та словники для окремих показників.
- Регламентувати інформаційні зв'язки між завданнями та забезпечити взаємний обмін даними із суміжними підсистемами.

Підсистема інформаційного забезпечення АСКОВ СЕС характеризується гнучкістю та здатністю адаптувати інформаційні потоки відповідно до вимог і правил, встановлених ОРЕ.

Зберігання інформації в базі даних. Підсистема накопичення, зберігання та обробки даних виконує функції ведення бази даних (накопичення, зберігання і обробка інформації), додатково забезпечуючи можливості:

- Надання доступу до бази даних з обмеженням повноважень користувачів.

- Вибір інформації за запитам користувачів.

- Створення резервних копій бази даних, її архівування та відновлення з архіву.

- Синхронізація системного часу з еталонними NTP-серверами.

База даних АСКОЕ СЕС містить такі інформаційні масиви:

- Необроблені первинні дані з приладів обліку, включаючи інформацію з журналів подій лічильника.

- Дані, введені вручну, експортовані дані та розрахункові параметри.

- Характеристики вимірювальних каналів точок обліку.

- Алгоритми формування груп обліку.

- Нормативно-довідкову інформацію тощо.

Інформація, що зберігається в базі даних, розрізняється за часом зберігання і тривалістю, після чого автоматично (або за командою) архівується і видаляється з бази даних. Період зберігання інформації визначається адміністратором, виходячи з обсягу пам'яті жорсткого диска та кількості точок вимірювання і параметрів. Графіки навантаження, щоденні та щомісячні вимірювання та інші дані БД зберігаються протягом встановленого терміну.

Архівування інформації здійснюється з метою видалення застарілої інформації з бази даних та створення резервної копії на випадок знищення бази даних. Архівування застарілої інформації відбувається автоматично і створюються архівні файли.

Архівний файл записується адміністратором бази даних на пристрій довгострокового зберігання (наприклад, CD-ROM, DVD-ROM).

Резервне копіювання бази даних здійснюється автоматично за встановленим адміністратором графіком. При цьому сервер АСКОЕ продовжує свою роботу.

Резервні копії бази даних переносяться на носії для забезпечення довгострокового безпечного зберігання. Резервне копіювання бази даних дозволяє повністю відновити базу даних АСКОЕ в разі руйнування жорсткого диска або вірусної активності.

Відтворення інформації. Інформація відображається на заздалегідь підготовлених екранах або звітних формах (включаючи створення друкованих форм) відповідно до конкретних критеріїв вибірки (наприклад, ціль контролю, період інтеграції).

Відповідна інформація вибирається з бази даних, обробляється і представляється у форматі, визначеному користувачем; АСКОЕ виводить інформацію з бази даних і розраховані параметри на дисплей або пристрій для друку.

Звіти АСКОЕ створюються у текстовому форматі та роздруковуються відповідно до заздалегідь підготовлених електронних форм та шаблонів форм звітів. Формат звітів узгоджується на етапі пілотного впровадження АСКОЕ.

Редагування інформації; інформація, внесена до бази даних АМР з автоматичною відміткою про якість введення, не підлягає ручному редагуванню, навіть якщо ця відмітка вказує на неповноту даних або їх відсутність.

Програмне забезпечення АСКОЕ включає: налаштування процедур розрахунку розрахункових параметрів (наприклад, розрахунок небалансів, налаштування алгоритмів формування облікових груп); налаштування користувацьких інтерфейсів (екранів та форм звітів); створення та налаштування шаблонів для макетів експорту даних, До нього входять спеціальні програми, що дозволяють створювати розподільчі реєстри для макетів експорту даних тощо.

3.6. Алгоритми визначення показників виробітку, споживання, купівлі, відпуску, продажу електроенергії на СЕС

Запропонований алгоритм розроблений згідно з постановою НКРЕКП від 26.04.2019 № 641 «Порядок купівлі електричної енергії за «зеленим» тарифом».

Наступні дані комерційного обліку фотоелектричної електростанції повинні бути підготовлені та подані менеджеру (адміністратору) з комерційного обліку енергопостачальника

- Погодинні значення параметра «сальдо» перетоку від енергопостачальника (незалежно від режиму роботи СЕС) з відповідним знаком, на основі показань засобів комерційного обліку;

- погодинні значення параметрів «споживання» та «відпуску» від СЕС на основі показань приладу комерційного обліку (незалежно від режиму роботи фотоелектричної електростанції); та

- Якщо погодинне значення параметра «платіжного балансу» для перетоків від енергопостачальника СЕС (споживання електроенергії СЕС із зовнішньої мережі) є позитивним, значення параметра «проданої електроенергії» СЕС надається зі знаком «мінус».

На другий робочий день після розрахункової дати адміністратор комерційного обліку надає гарантованому покупцю сертифікаційні дані комерційного обліку щодо погодинного відпуску та споживання електричної енергії кожною генеруючою одиницею виробника електричної енергії за «зеленим» тарифом, у якого гарантований покупець закуповує електричну енергію.

Обсяг електричної енергії, відпущеної у кожному розрахунковому місяці, та обсяг електричної енергії, відібраної генеруючими установками виробника за «зеленим» тарифом у оператора гарантованої купівлі електричної енергії, відпущеної з зовнішньої мережі, для кожної з генеруючих установок виробника за «зеленим» тарифом визначаються на

підставі даних, наданих оператором комерційного обліку оператору гарантованої купівлі. Обсяг електричної енергії, що підлягає вилученню з гарантованої купівлі електричної енергії, відпущеної з зовнішньої мережі генеруючою установкою виробника, визначається на підставі даних, наданих оператором комерційного обліку оператору гарантованої купівлі електричної енергії. При цьому обсяг електричної енергії, відпущеної у розрахунковому місяці, визначається на підставі показів лічильника власного споживання за вирахуванням обсягу електричної енергії, спожитої відповідною електроустановкою.

Для того, щоб купувати та продавати електроенергію за «зеленим» тарифом, покупці за «зеленим» тарифом повинні стати учасниками ринку електроенергії, укласти двосторонні договори за «зеленим» тарифом з постачальниками гарантованого «зеленого» тарифу, приєднатися до балансуєчої групи за «зеленим» тарифом за цими договорами та здійснювати торгівлю електроенергією лише з постачальником гарантованого «зеленого» тарифу. Вони не повинні цього робити.

До переліку точок комерційного обліку, за якими розраховується небаланс балансуєчої групи виробників за «зеленим» тарифом, можуть включатися лише точки комерційного обліку генеруючих одиниць, електрична енергія яких продається оператору гарантованої купівлі за «зеленим» тарифом.

Фактичний обсяг електричної енергії, відпущеної/відібраної виробником за «зеленим» тарифом, визначається у кожному розрахунковому періоді, за який здійснюється оплата відповідно до договору.

У кожному розрахунковому місяці за алгоритмом визначається обсяг відпущеної електричної енергії та обсяг електричної енергії, купленої виробником за «зеленим» тарифом у гарантованого покупця електричної енергії, що відпускається із зовнішньої мережі для власного споживання кожною з генеруючих одиниць виробника. Надаємо цей алгоритм.

1) на підставі фактичного обсягу електричної енергії, відпущеної та відібраної виробником за «зеленим» тарифом, визначається величина сальдо електричної енергії за «зеленим» тарифом за відповідний розрахунковий місяць для генеруючої одиниці виробника;

2) у разі позитивного сальдо електричної енергії обсяг електричної енергії, відпущеної генеруючою установкою виробника за «зеленим» тарифом, та відповідний обсяг електричної енергії, проданої гарантованому покупцю, дорівнює абсолютному значенню відповідного сальдо електричної енергії та обсягу електричної енергії, купленої виробником у гарантованого покупця за «зеленим» тарифом із зовнішньої мережі для власного споживання генеруючою установкою у відповідному розрахунковому місяці обсяг електричної енергії, купленої із зовнішньої мережі для власного споживання генеруючої одиниці протягом розрахункового місяця, дорівнює нулю;

3) у разі від'ємного сальдо електричної енергії обсяг електричної енергії, відпущеної виробником за «зеленим» тарифом, та відповідний обсяг електричної енергії, проданої гарантованому покупцю, прирівнюється до нуля, а обсяг електричної енергії, купленої виробником у гарантованого покупця за «зеленим» тарифом за відповідний місяць, яка була відпущена генеруючою установкою виробника, - до абсолютного значення відповідного сальдо. Обсяг електричної енергії, відпущеної із зовнішньої мережі для власного споживання об'єкта, дорівнює абсолютному значенню відповідного балансу електричної енергії.

У разі зміни законодавчої бази або нормативних документів щодо формування даних про потоки електроенергії, «Алгоритм визначення показників виробництва, споживання/купівлі та постачання/продажу електроенергії на об'єкті» підлягає перегляду та додатковому затвердженню.

1. "Сальдо" перетоків електроенергії:

Відпуск електроенергії в мережі оператора системи розподілу:

$$W_{\text{віддача}} = W_{\text{віддачаPS3}} + W_{\text{віддачаPS5}} + W_{\text{віддачаPS7}} + W_{\text{віддачаPS9}} + W_{\text{віддачаPS11}}$$

де: $W_{\text{віддача}}$ – обсяг відпуску електричної енергії в зовнішні мережі;

$W_{\text{віддачаPS3}}$, $W_{\text{віддачаPS5}}$, $W_{\text{віддачаPS7}}$, $W_{\text{віддачаPS9}}$ – обсяг відпуску активної електроенергії за параметром "віддача" приладів обліку PS3, PS5, PS7 та PS9.

Споживання електричної енергії за недостатності чи відсутності виробітку:

$$W_{\text{прийом}} = W_{\text{прийомPS3}} + W_{\text{прийомPS5}} + W_{\text{прийомPS7}} + W_{\text{прийомPS9}} + W_{\text{прийомPS15}} + W_{\text{PSВп.інв.}}$$

де: $W_{\text{прийом}}$ – обсяг споживання електричної енергії з мереж електропередавальної організації; $W_{\text{прийомPS3}}$, $W_{\text{прийомPS5}}$, $W_{\text{прийомPS7}}$, $W_{\text{прийомPS9}}$, $W_{\text{прийомPS15}}$ – обсяг споживання активної електроенергії за параметром "прийом" в точках PS1, PS11, PS15.

$W_{\text{PSВп.інв.}}$ – стала величина, береться із розрахунку споживання на власні потреби інверторними станціями СЕС аеропорту у відповідності до дати року.

"Сальдо" перетоків:

$$W_{\text{сальдо}} = W_{\text{віддача}} - W_{\text{прийом}}$$

Продаж та купівля за розрахунковий місяць:

- якщо $W_{\text{сальдо}} < 0$, то $W_{\text{продаж}} = 0$; $W_{\text{купівля}} = |W_{\text{сальдо}}|$;
- якщо $W_{\text{сальдо}} > 0$, то $W_{\text{продаж}} = W_{\text{сальдо}}$; $W_{\text{купівля}} = 0$;

3.7. Техніко-економічне обґрунтування теми магістерської роботи

В ході розробки магістерської роботи була розроблена автоматизована інформаційна система (AIC) для контролю та обліку електричної енергії від СЕС .

Використання даної системи дозволяє замінити застарілу елементну базу системи обліку, підвищити надійність системи, а також зменшити витрати підприємства за рахунок підвищення точності системи.

Економічна ефективність AIC досягається за рахунок економії коштів, отриманих від автоматизації контролю за режимами електрообладнання і покращення економічних показників фінансово-господарської діяльності. Економічна ефективність AIC забезпечується під впливом ряду факторів, які піддаються кількісній оцінці: обсяг електрогенерації від СЕС, прибуток від продажу електроенергії, продуктивності СЕС, зниження поточних витрат та ін. Однак встановити точну ступінь впливу AIC на покращення кожного показника досить важко [38] .

Впровадження даної системи дозволить швидко змінювати керуючі дії на технологічний процес СЕС. Система передбачає керування та контроль за роботою системи на відстані, що дозволить своєчасно отримувати інформацію про стан роботи системи в цілому та автоматичне відключення її при аварійних режимах.

Таблиця 3.3 – Технічні характеристики виробу

Показники, їх одиниці вимірювання	Позначення	Величина за вартостями	
		базовим	новим
1	2	3	4
Річний об'єм генерації, кВт*год.	N_H	10	10
Нормативний строк служби, років	$T_{сл}$	20	20
Кількість відмов за рік	n_B	10	5
Кількість годин відновлення після однієї відмови	t_B	2	0,3

3.7.1. Витрати на виконання науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт

Витрати на проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт є складовою частиною капітальних вкладень, які передбачаються для виготовлення або модернізації системи контролю та обліку електроенергії [39].

Таблиця 3.4 – Трудомісткість виконання науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт

Статті витрат та зміст робіт	Трудомісткість в людино-днях	Питома вага в загальному обсягу
Постановка задачі, збір інформації, формулювання технічного завдання	3,2	8
Аналіз діючої системи, виявлення недоліків, розробка заходів по її модернізації.	6	15
Розробка ескізного проекту та блок – схем	7,4	19
Розробка принципів електричних схем, виконання розрахунків.	12	30
Розробка друкованих плат та монтажних схем	4,4	11
Складання специфікацій та розробка робочої документації	7	18
Всього витрат часу	40	100

На основі трудомісткості робіт розрахуємо плановий фонд заробітної плати для проведення наукових досліджень [13]:

$$З_{нд} = T_{нд} \cdot O_{нд} \cdot (1 + 0,01H_{\delta}) \cdot (1 + 0,01H_c), \quad (3.1)$$

де $O_{нд}$ – середньоденний оклад конструктора, 350 грн/день;

H_c – відсоток додаткової зарплати (15%);

H_{δ} – норматив відрахувань у соціальні фонди (22%)

$$З_{нд} = 40 \cdot 350 \cdot (1 + 0,01 \cdot 15) \cdot (1 + 0,01 \cdot 22) = 19642 \text{ грн.}$$

Величина витрат по кожній статті кошторису НДДКР визначається методом прямого розрахунку і заноситься до таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Кошторис витрат на виконання НДДКР

Найменування статей	Позначення	Величина, грн.
Матеріали, купівельні вироби та напівфабрикати	$M_{нд}$	2100
Спеціальне обладнання	$O_{нд}$	15000
Заробітна плата науково-виробничого персоналу	$З_{нд}$	19642
Послуги сторонніх організацій	$П_{нд}$	1000
Загальногосподарські витрати	$H_{ак}$	5000
Всього	$K_{нд}$	42742

3.7.2 Матеріальні витрати на виготовлення системи

Величина матеріальних витрат, необхідних для виготовлення АІС визначається методом прямого розрахунку в залежності від їхнього застосування та норм витрат на систему з урахуванням вартості матеріалів і транспортно-заготівельних операцій [40]. Результат зводимо у таблицю 3.6.

Таблиця 3.6 – Матеріальні витрати на систему

Найменування витрат	Позначення	Норма витрат	Вартість одиниці	Затрати на систему
1	2	3	4	5
1. Покупні матеріали				
Трифазний лічильник активної та реактивної електроенергії	SL7000	12	16200	194400
Трифазний лічильник активної та реактивної електроенергії прямого включення	ACE6000	2	9373	18746
Трифазний лічильник активної та реактивної електроенергії прямого включення	SL7000	1	12540	12540

Колодка підключення	НІК КП-25	13	365	4745
Ящик пластиковий IP54	КДЕ-У	3	1000	3000
Шафа АСКОВЕ	828-ЕТР5	2	10000	20000
Всього				253431
2. Допоміжні матеріали				
Кабель силовий з мідними жилами з ПВХ ізоляцією в ПВХ оболонці	ВВГнгД 2х1,5 мм²	100	6,64	664
Провід гнучкий з мідною жилою з ПВХ ізоляцією	ПВ-3 4,0 мм²	20	11,55	321
Кабель зв'язку, екранована "вита пара" з загальним екраном, з ПВХ(Лан-кабель)	КПВЭ-ВП 4х2х0,51 (F/UTP-cat.5E)	110	12,82	1410,2
Всього				2395,2
Всього				255826,2

Витрати на основні матеріали, покупні комплектуючі вироби розраховуються за формулою:

$$M_o = \sum_1^n M_{oi} \cdot K_{mз} = 0 \cdot 1,2 = 0 \text{ грн.}, \quad (3.2)$$

де M_{oi} – витрати на матеріали по і-позиції;

$K_{mз}$ – коефіцієнт транспортно-заготівельних витрат.

Витрати на покупні вироби розраховуються за формулою:

$$M_n = \sum_1^n M_{ni} \cdot K_{mз} = 253431 \cdot 1,2 = 304117,2 \text{ грн.}, \quad (3.3)$$

Визначаємо витрати на допоміжні матеріали за формулою:

$$M_d = \sum_1^n M_{di} \cdot K_{mз} = 2395,2 \cdot 1,2 = 2874,24 \text{ грн.}, \quad (3.4)$$

Величини зворотних відходів складають 2% матеріальних витрат:

$$B_{зв} = (M_o + M_e + M_n) \cdot 2 / 100 = 255826,2 \cdot 2 / 100 = 5116,5 \text{ грн.}, \quad (3.5)$$

Витрати на паливо і енергію з технологічною метою визначаються з урахуванням витрачання енергоносіїв для регулювання та випробування виробу під навантаженням:

$$T_{el} = M \cdot T_{reg} \cdot C_{el}, \quad (3.6)$$

де M – спожита потужність виробу під навантаженням, кВт*год.

C_{el} – ціна електроенергії за кіловат – годину.

T_{reg} – норма часу для регулювання виробу під навантаженням, годин.

$$T_{el} = 2 \cdot 24 \cdot 1,248 = 59,9 \text{ грн.}$$

3.7.3 Заробітна плата основних робочих на впровадження АІС

Розрахунок зарплати по виготовленню виробу виконується з урахуванням трудомісткості робіт, годинних тарифних ставок, а також нормативів доплат до заробітної плати [39].

Витрати на основну заробітну плату за виконання даного виду роботи:

$$O_z = C_z \cdot T_z, \quad (3.7)$$

де O_z – основна зарплата (оплата по тарифу) робітників підготовчої стадії;

C_z – годинна тарифна ставка робочого підготовчої стадії;

T_z – трудомісткість робіт заготівельної стадії.

$$O_z = 30 \cdot 21 = 630 \text{ грн.}$$

Аналогічно обчислюємо витрати на основну заробітну плату по підготовчій, складальній, перевірочній та випробувальній стадіям. Дані розрахунків заносимо до відповідної графі таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 – Основна заробітна плата

Види робіт	Годинна тарифна ставка, грн.	Норма трудомісткості, годин	Оплата по тарифу, грн.
1. Підготовчі	130	21	2730
2. Монтажні	160	40	6400
3. Перевірочні	170	14	2380
4. Випробувальні	160	14	2240
Всього по системі			13750

Основна заробітна плата за виготовлення одного виробу по всіх стадіях виробництва:

$$Z_o = \sum_1^5 O_i, \quad (3.8)$$

де O_i – основна зарплата за виконання даного виду робіт.

$$Z_o = 2730 + 6400 + 2380 + 2240 = 13750 \text{ грн.},$$

Додаткова заробітна плата за виготовлення одного виробу обчислюється за формулою:

$$Z_d = Z_o \cdot (H_d / 100), \quad (3.9)$$

де H_d – норматив (у відсотках) додаткової зарплати по даному підприємству за відпрацьований та невідпрацьований час. $H_d = 20 \%$.

$$Z_d = 13750 \cdot (20 / 100) = 2750 \text{ грн.},$$

Відрахування у соціальні фонди:

$$O_c = (Z_o + Z_d) \cdot (H_c / 100), \quad (3.10)$$

де H_c – норматив (у відсотках) відрахування у соціальні фонди. $H_c = 22 \%$.

$$O_c = (13750 + 2750) \cdot (22 / 100) = 3630 \text{ грн.}$$

3.7.4 Визначення економічного ефекту від підвищення надійності роботи системи

Модернізація системи управління технологічним процесом, як правило, підвищує надійність її функціонування. Результуючим показником надійності є кількість можливих відмов у роботі системи за період експлуатації.

Головною умовою для оцінки економічного ефекту від підвищення надійності є зменшення кількості відмов. За результатами порівняльного аналізу нової техніки з базовим варіантом визначається розбіжність параметрів надійності. Потім виявляються складові ефекту.

Від підвищення надійності, основними з яких можуть бути:

- економія від зменшення кількості запасних частин (комплектуючих виробів);
- зниження витрат на відновлення працездатності технічної системи після відмови;
- скорочення матеріальних витрат на виробництво при використанні високонадійної техніки;
- зменшення часу незапланованого простою устаткування внаслідок відмов.

Економія від зменшення кількості запасних частин визначається методом прямого розрахунку, як різниця

$$E_{зч} = Z_{\bar{\sigma}} - Z_{n_n} \quad (3.11)$$

$$E_{зч} = 12000 - 11500 = 500 \text{ грн.}$$

$Z_{\bar{\sigma}}, Z_{n_n}$ – вартість запасних частин за базовим і новим варіантами відповідно, грн.

Економічний ефект від зниження витрат на відновлення працездатності системи після відмови:

$$E_{відм} = n_{\bar{\sigma}} \times s_{\bar{\sigma}} - n_{\bar{\sigma}}^n \times s_{\bar{\sigma}}^n \quad (3.12)$$

де $n_{\bar{\sigma}}, n_{\bar{\sigma}}^n$ – кількість відмов за рік відповідно базової і нової систем;

$s_{\bar{\sigma}}, s_{\bar{\sigma}}^n$ – середні витрати на усунення однієї відмови, за порівняльними варіантами, грн.;

$$S_{\bar{e}} = \Pi_{\bar{e}} + l_{\bar{q}} \cdot t_{\bar{e}} (1 + K_{\bar{o}c} / 100) \quad (3.13)$$

де $\Pi_{\bar{e}}$ – балансова вартість змінених елементів, грн;

$l_{\bar{q}}$ – середня годинна ставка робітника по усуненню несправності, грн.

$t_{\bar{e}}$ – кількість годин відновлення системи після однієї відмови

(включає час виходу системи на нормальний режим роботи);

$K_{\bar{o}c}$ – процент додаткової зарплати та відрахування на соціальні заходи.

$$S_{\bar{e}}^{\bar{o}} = 500 + 300 \cdot 2(1 + 22/100) = 1232 \text{ грн.},$$

$$S_{\bar{e}}^{\bar{n}} = 200 + 300 \cdot 2(1 + 22/100) = 932 \text{ грн.},$$

$$E_{\bar{e}i\bar{o}m} = 13 \cdot 1232 - 13 \cdot 932 = 3900 \text{ грн.},$$

$$E_{\bar{n}a\bar{o}} = (E_{\bar{z}q} + E_{\bar{e}i\bar{o}m}) \quad (3.14)$$

$$E_{\bar{n}a\bar{o}} = 500 + 3900 = 4400 \text{ грн.}$$

3.7.5 Визначення витрат на експлуатацію системи

Для визначення витрат у споживача системи розробляється кошторис витрат (табл. 3.8). Розрахунки виконуються для базового проектного варіантів.

Таблиця 3.8 – Кошторис витрат

Статті витрат	Позначення	Сума витрат за варіантами, грн.	
		Базовий	Новий
1. Заробітна плата (основна, додаткова і відрахування на соціальні заходи) обслуговуючого персоналу (операторів)	$З_{on}$	1202310	480924
2. Електроенергія	$З_{el}$	44048	41405
3. Поточні ремонти	$З_p$	6710	1797
4. Амортизація	$З_{am}$	0	75887
Всього витрат на експлуатацію	$З_{ek}$	1253068	600013

Заробітна плата операторів по обслуговуванню системи:

$$З_{он} = R_{он} \cdot D_{мс} \cdot S \cdot F_{р\delta} \cdot (1 + 0,01 \cdot H_o) \cdot (1 + 0,01 \cdot H_c), \quad (3.15)$$

де: $R_{он}$ – кількість операторів по обслуговуванню системи за зміну, ставок;

$D_{мс}$ – середньоденна тарифна ставка одного оператора, грн./день;

S – прийнята змінність роботи підрозділу, де використовується система;

$F_{р\delta}$ – річний фонд часу роботи оператора, робочих днів;

H_o – норматив додаткової зарплати оператора, %;

H_c – норматив відрахування у соціальні фонди, %.

$$З_{он}^{\delta} = 2,5 \cdot 300 \cdot 3 \cdot 365 \cdot (1 + 0,01 \cdot 20) \cdot (1 + 0,01 \cdot 22) = 1202310 \text{ грн.},$$

$$З_{он}^н = 1 \cdot 300 \cdot 3 \cdot 365 \cdot (1 + 0,01 \cdot 20) \cdot (1 + 0,01 \cdot 22) = 480924 \text{ грн.}$$

Витрати за електроенергію визначаємо з урахуванням спожитої системою потужності ($K_n^{\delta} = 2,5$) ($K_n^н = 2,35$) в кіловатах та річного фонду роботи ($\Phi_p = 8520$) в годинах.

$$З_{ел} = S_{уст} \cdot \Phi_p \cdot Ц_{ел} \cdot K_n, \quad (3.16)$$

де $Ц_{ел}$ – вартість кіловат – години енергії.

$$З_{ел}^{\delta} = 2,5 \cdot 8520 \cdot 2,2 \cdot 0,94 = 44048 \text{ грн}$$

$$З_{ел}^н = 2,35 \cdot 8520 \cdot 2,2 \cdot 0,94 = 41405 \text{ грн}$$

Витрати на поточні планові ремонти визначаються в залежності від конкретних умов експлуатації системи. При цьому враховуються матеріальні витрати ($M_{рем}^{\delta} = 120$), ($M_{рем}^н = 80$) для проведення одного ремонту (запасні частини та інші матеріали), час проведення одного ремонту в годинах ($t_p^{\delta} = 1$), ($t_p^н = 0,5$), середньогодинна тарифна ставка ремонтного працівника ($l_p = 12$):

$$З_p = n_p \cdot (M_{рем} + t_p \cdot l_p \cdot (1 + 0,01 H_o) \cdot (1 + 0,01 H_c)), \quad (3.17)$$

де n_p – кількість планових ремонтів на рік.

$$З_p^{\delta} = 12 \cdot (120 + 1 \cdot 300 \cdot (1 + 0,01 \cdot 20) \cdot (1 + 0,01 \cdot 22)) = 6710 \text{ грн.},$$

$$З_p^н = 6 \cdot (80 + 0,5 \cdot 300 \cdot (1 + 0,01 \cdot 20) \cdot (1 + 0,01 \cdot 22)) = 1797 \text{ грн.}$$

Витрати по амортизації системи визначаються за нормою амортизації ($H_{ам} = 25\%$) та додатковими капітальними вкладеннями в модернізацію ($B_{ал}$):

$$З_{ам} = H_{ам} \cdot B_{ал} / 100, \quad (3.18)$$

В балансову вартість (додаткові капітальні вкладення в модернізацію) включають ціну системи, витрати на транспортування та підготовку до промислової експлуатації:

$$Z_{ам}^н = 25 \cdot \frac{303551}{100} = 75887 \text{ грн.}$$

Балансова вартість системи визначається з урахуванням витрат на транспортування і підготовку до експлуатації. $K_{mn} = 1,1$.

$$B_{ал}^н = C_n \cdot K_{mn} = 275956 \cdot 1,1 = 303551 \text{ грн.} \quad (3.19)$$

3.7.6 Визначення економічної ефективності у сфері експлуатації системи

При експлуатації системи сукупний економічний ефект складають:

$$E_{екс} = (Z_{ек}^б - Z_{ек}^н) - E_n \cdot B_{ал}^н + E_{над}, \quad (3.20)$$

де $Z_{ек}^б, Z_{ек}^н$ – величина експлуатаційних витрат в порівнюваних варіантах (із табл. 7.6) відповідно базового і модернізованого виробів, грн.

$$E_{екс} = (1253068 - 600013) - 0,25 \cdot 303551 + 7071 = 581567 \text{ грн.}$$

Період окупності додаткових капітальних витрат при експлуатації системи визначається як:

$$T_{екс} = B_{ал}^н / (Z_{ек}^б - Z_{ек}^н), \quad (3.21)$$

де $B_{ал}^н$ – балансова вартість модернізованої системи, грн.

$$T_{екс} = \frac{303551}{(1253068 - 600013)} = 0,46 \text{ року.}$$

3.7.7 Зведені техніко-економічні показники

Зведені техніко-економічні показники системи за порівнювальними варіантами приведені в таблиці 3.9.

Таблиця 3.9 – Зведені техніко-економічні показники

№	Найменування показників	Одиниці виміру	Величина по варіантам	
			Базовий	Новий
1	Зарплата обслуговуючого персоналу	грн.	1202310	480924
2	Витрати на експлуатацію	грн.	1253068	600013
3	Економічний ефект у споживача	грн.	-	581567
4	Період окупності у споживача	років	-	0,46

Під час розрахунків економічної ефективності системи автоматичного керування, яка була розроблена в ході виконання магістерської роботи, були визначені витрати на виконання НДДКР, матеріальні витрати на виготовлення системи, заробітна плата основних робочих за виготовлення системи, непрямі витрати, розроблена калькуляція собівартості системи, ціна системи. Розрахунки показали, що введення системи в існуючу систему призведе до значного економічного ефекту, а всі витрати на проведення модернізації окупаються менше ніж за один рік [40,41,42,43,44].

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Виконані у магістерській роботі дослідження дозволяють сформулювати наступні висновки:

1. В результаті проведеного аналітичного огляду сучасного стану аеропортів встановлено, що енергетична безпека є одним з основних факторів авіаційної безпеки польотів.

2. Енергетична безпека аеропортів в сучасних умовах базується на модернізації систем зовнішнього і внутрішнього електропостачання, як правило на базі застосування відновлювальних джерел енергії. Встановлено, що на території України найбільшого поширення набули сонячні електростанції, що пов'язано з географічними та кліматичними умовами нашої держави.

3. Проведений аналіз існуючих методів та технічних засобів підключення СЕС до електричної мережі показав, що для випадку потужних промислових СЕС найдоцільнішим є застосування централізованих інверторів з номінальною напругою змінного струму 10 кВ і вище.

4. Проведений аналітичний огляд існуючих автоматизованих систем обліку електроенергії в РЕМ з СЕС показав, що сучасні АСКОЕ сонячних електростанцій створюються згідно з концепції інтелектуальних систем вимірювання Smart Metering, що у свою чергу є фундаментом системи Smart Grid.

5. Шляхом використання методів сферичної астрономії та векторного аналізу для визначення погодинного надходження енергії від Сонця був отриманий аналітичний вираз знаходження горизонтальних координат Сонця за значеннями дня року та часу доби а також отримана зручна аналітична залежність кута падіння сонячних променів на довільно орієнтовану світлосприймаючу поверхню в функції часу доби.

6. Проведено аналіз щодо концептуальних положень побудови системи обліку електроенергії в умовах енергоринку. Розглянуто основні характерні показники при використанні при використанні інформаційно-вимірювальної

техніки. Вказано на структуру вимірювального комплексу та проаналізовано багаторівневу систему обліку.

7. В результаті дослідження питання застосування АСКОЕ для СЕС, що працює в системі енергозабезпечення аеропорту встановлено, що АСКОЕ застосовують як інформаційно-вимірювальну систему, завдання якої полягає в вимірюванні, зберіганні, обробці, відображенні задокументованої інформації щодо кількості перетікань електричної енергії, а також для обміну необхідною інформацією в ОРЕ України.

8. Розроблена АСКОЕ СЕС являє собою дворівневу (нижній та верхній рівень), територіально розподілену систему програмно-апаратних засобів визначення, збору, збереження, передачі та відтворення даних комерційного обліку електроенергії.

9. Комерційний (розрахунковий) облік обсягу відпуску електричної енергії, а також обсяг відбору Сонячною електростанцією у гарантованого покупця електричної енергії, що надійшла із зовнішніх мереж на власні потреби, організований відповідно до вимог Кодексу комерційного обліку електричної енергії, діючих НД та Технічних умов, що видаються Енергопостачальною компанією, і здійснюється на межі балансової належності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Безпека авіації / [В. П. Бабак, В. П. Харченко, В. О. Максимов та ін.]; За ред. В. П. Бабака. – К.: Техніка, 2004. – 583 с.: іл., табл.
2. Керівництво по керуванню безпекою польотів [електронний ресурс]: Дос 9859 AN/460. Видання друге. / Міжнародна організація цивільної авіації. – Монреаль 2009, 363 с. – Режим з доступу: <http://aviadocs.net/icaodocs/Docs/> – Назва з екрану.
3. Асамблея 36-я сесія: доклад технічної комісії [електронний ресурс]: Дос 9899, A36-TE, Монреаль, 18 – 27 вересня 2007р. – 93с. – Режим з доступу: <http://aviadocs.net/icaodocs/Docs/> - Назва з екрану.
4. Державна авіаційна служба України. Офіційний сайт. URL: <https://avia.gov.ua/pro-nas/statistika/>.
5. Повітряний кодекс України. Основні механізми управління безпекою в галузі авіації. URL: <https://patrul.in.ua/doc/kod/pku/rozdil-3-pku/> (дата звернення: 26.09.2024).
6. Авіаційні документи. URL: <http://www.aviadocs.net> (дата звернення : 26.09.2024).
7. Енциклопедія безпеки авіації / [Кулик Н. С., Харченко В. П., Луцкий М. Г., Кучер А. Г.]; под ред. Кулика Н. С., - Київ: Техніка, 2008. – 1000 с.
8. Шевцов А. І., Земляний М. Г., Бараннік В. О. та ін. Енергетична безпека України: стратегія та механізми забезпечення / За ред. А. І. Шевцова. – Дніпропетровськ: Пороги, 2002. – 264 с.
9. Україна. Закони. Про енергозбереження [Електронний ресурс]: Закон України: [прийнятий Верховною Радою України 01.07.94 р., №74 94-ВР]. – К., 1994. – Режим доступу: Сторінка "Законодавство України" сайту Верховної Ради (<http://zakon.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi?nreg=74%2F94-%E2%F0&p=1238362376963217>). – Назва з екрану.

10. Енергетична стратегія України до 2030 р. [Електронний ресурс]: [Затверджено Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 15.03.2006 р. №145-р.].–К.,2006.–129с .– Режим з доступу:

<http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/ukrenergo/control/uk/archive/docview? typeId=44577>.- Назва з екрану.

11. Gabriellova T.Yu. Cargo Science: lecture course / T.Yu. Gabriellova, V.Yu. Ivannikova. – К.: NAU, 2012. – 96р.

12. Ashford N., P. H. Wright. Airport design/ 372 с.

13. Касім М. Б. Розвиток структури сучасних аеропортів. Сучасні проблеми архітектури та містобудування : науково-технічний збірник. Київ, 2018. Вип. 52. С. 328–337.

14. Оновлена транспортна стратегія України. Міністерство інфраструктури України. URL: https://mtu.gov.ua/files/strategy_ukr.pdf.

15. Енергетика: Сьогодення та майбутнє. URL: <https://ecotech.news/energy/367-u-ssha-z-yavivsysya-pershij-aeroport-yakij-pratsyue-tilki-na-energiji-sontsya.html> (дата звернення: 16.10.2024).

16. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/file/text/58/f469391n10.pdf> (дата звернення: 16.10.2024).

17. Закон України «Про електроенергетику». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/575/97-%D0%B2%D1%80> (дата звернення: 16.10.2024).

18. Twidell J., Weir T. Renewable Energy Resources ED2. – New York, Taylor & Francis, 2012. – 601 Р.

19. Лежнюк П. Д. Відновлювані джерела енергії в розподільних електричних мережах: монографія / П. Д. Лежнюк, О. А. Ковальчук, О. В. Нікітович, В. В. Кулик. – Вінниця: ВНТУ, 2014 – 204 С.

20. Шавьолкін О. О. Силові напівпровідникові перетворювачі енергії: навч. посібник. Харків. нац. ун-т. міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. – Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. 2015. – 403 с.

21. О.Ф. Котиш, А.І. Котиш. Особливості електропостачання аеропортів в сучасних умовах // матеріали XXVII Міжнародного симпозіуму «Проблеми електроенергетики, електротехніки та електромеханіки» (SIEMA'2024) м. Харків, НТУ "Харківський політехнічний інститут", 24-25 жовтня 2024 р. С.61.

22. Son J., Hara R., Kita H., Tanaka E. Energy management considering demand response resource in commercial building with chiller system and energy storage systems // The 2nd IEEE Conference on Power Engineering and Renewable Energy (ICPERE). 2014. P. 96–101.

23. Energy cloud 4.0. Capturing business value through disruptive energy platforms. Report of Navigation research. Chicago: Navigant Consulting Inc., 2018. 46 p. URL: navigantresearch.com/reports/energy-cloud-40.

24. Explicit Demand Response in Europe. Mapping the Markets 2017. Brussels: SEDC, 2017. 223 p. URL: smarten.eu/wp-content/uploads/2017/04/SEDCExplicit-Demand-Response-in-Europe-Mapping-theMarkets-2017.pdf.

25. Digitalization & Energy. UK: International Energy Agency, 2017. 188 p.

26. URL:iea.org/publications/freepublications/publication/DigitalizationandEnergy3.pdf.

27. Dranka G.G., Ferreira P. Review and assessment of the different categories of demand response potentials // Energy. 2019. Vol. 179. P. 280–294. 6. Takahashi M., Asano H. An Assessment Study of Energy Efficiency Policy Measures for Japanese Commercial Sector // The Energy Journal. 2011. Vol. 32. Special Issue 1. P. 243–260.

28. Wang J., Bloyd C.N., Huc Z., Tand Z. Demand response in China // Energy. 2010. Vol. 35. № 4. P. 1592–1597.

29. Кириленко О. В. Проблеми інтеграції відновлюваних джерел електроенергії в «слабкі» електричні мережі / О. В. Кириленко, В. В. Павловський, Л. М. Лук'яненко, І. В. Трач // Технічна електродинаміка. – 2012. - № 3. – С. 25-26

30. Кириленко О. В. Технічні особливості функціонування енергосистем при інтеграції джерел розподіленої генерації / О. В. Кириленко, І. В. Трач // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України: Зб. наук. пр. 2009. – Вип. 24. - С. 3–6

31. Офіційний портал Верховної Ради України «Про затвердження Концепції побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах енергоринку». URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0032558-00#Text> (дата звернення: 20.10.2024).

32. P. Plieshkov, A. Kotysh, A. Nekrasov Improving the optimal system of automated control over the level of electric power quality indicators in electric networks // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies VOL2, №2 (104) 2020, Information technology. Industry control systems, P. 35 – 45.

33. Державне агенство з енергоефективності та енергозбереження України. Офіційний сайт. URL: <http://saee.gov.ua/uk/news/2450> (дата звернення.26.10.2024).

34. Котиш А.І., Зінзура В.В., Гарасьова Н.Ю., Савеленко І.В., Котиш О.Ф. Вплив роботи трансформаторів напруги підстанцій 35/10 кВ на похибки системи обліку електроспоживання // Збірник наукових праць. Центральноукраїнський науковий вісник / Технічні науки. 2023. Вип. 8 (39) ч.2., С 64 – 69.

35. Праховник А. В. Концептуальні положення побудови АСКОВ в умовах запровадження перспективних моделей енергоринку України / А. В. Праховник, О. В. Коцар // Енергетика та електрифікація. – 2009. – № 2. – С. 45– 50.

36. Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг «Про затвердження

порядку комерційного обліку електричної енергії виробленої на об'єктах електроенергетики з альтернативних джерел енергії», 2017, №472.

37. О.Ф. Котиш, В.О., Тузов, А.І. Котиш. Ефективність застосування в системі електрозабезпечення аеропорту // матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції «Управління високошвидкісними рухомими об'єктами та професійна підготовка операторів складних систем», м. Кропивницький, УДЛА, 26 лютого 2025 р.

38. Наказ Міністерства палива та енергетики України, Національної комісії регулювання електроенергетики України, Державного комітету стандартизації, Метрології та сертифікації України, Державного комітету будівництва, Архітектури та житлової політики України, Державного комітету промислової політики України «Про затвердження Концепції побудови автоматизованих систем обліку електроенергії», 2000, №32/28/28/276/75/54, с.42.

39. УДК. 621.311. Ю.С. Олійник, Українська інженерно-педагогічна академія/ Аналіз впровадження АСКОВ на підприємствах// Харків 2016р, 124с.

40. Структура проекту впровадження АСКОВ URL: <https://active-energy.com.ua/vprovadzhennia.html> (дата звернення 26.10.2024)

41. Розробка автоматизованої системи моніторингу споживання електроенергії URL: <https://events.pstu.edu/konkurs-energy/wp-content/uploads/sites/2/2019/03/%D0%90%D0%A1%D0%9A%D0%9E%D0%95.pdf> (дата звернення 26.10.2024)

42. Постанова НКРЕКП № 641 «Порядок купівлі електричної енергії за «зеленим» тарифом», 26.04.2019 .

43. Комунальне підприємство «Міжнародний аеропорт «Запоріжжя». URL : <https://ozh.aero/> (дата звернення : 20.08.2024).

44. Економіка та організація виробництва: конспект лекцій / Укл. М.М. Полтавець – Кропивницький : ЦНТУ, 2018. – 110 с.

45. Азаренко І. М. Економіка і управління підприємствами авіаційного транспорту. Київ : Вища школа, 2018. 228 с.
46. Клименко С. П. Економіка і управління підприємствами авіаційного транспорту. Львів : ЛНУ, 2021. 310 с.
47. Авіаційний сайт. URL : <http://aviation.kryshi.net> (дата звернення : 26.09.2024).
48. Аерокосмічний портал України. URL : <http://space.com.ua> (дата звернення : 30.09.2024).
49. Історія авіації. URL : <http://www.skypioneers.kiev.ua> (дата звернення : 30.09.2024).
50. Крила : все про українську авіацію. URL : <http://www.wing.com.ua> (дата звернення : 30.09.2024).
51. Науково-технічний журнал «General Aviation» (Авіація загального призначення) on-line. URL : <http://www.aviajournal.com> (дата звернення : 10.10.2024).
52. Українське авіабудівництво : аналітичний огляд. URL : <http://ukrav.com.ua> (дата звернення : 10.10.2024).
53. Український авіаційний портал. URL : <http://www.aviation.com.ua> (дата звернення : 10.10.2024).
54. Сікірда Ю.В., Залевський А.В. Виконання та захист кваліфікаційних робіт: методичні вказівки для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня спеціальності 272 «Авіаційний транспорт» освітньо-професійної програми «Авіаційний транспорт» денної та заочної форм навчання / Ю.В. Сікірда, А.В. Залевський. Кропивницький: ЛА НАУ, 2024. 77 с.