

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНЕ НЕКОМЕРЦІЙНЕ ПІДПРИЄМСТВО
«ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»
АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
_____ С.В. Єнчев
« ____ » _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ЗДОБУВАЧА ВИЩОЇ ОСВІТИ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ «МАГІСТР»

ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 141 «ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА
ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА»

**Тема: Сучасна система моніторингу енергоресурсами сертифікованого
ІСАО аеродрому**

Виконавець студент групи М-141-23-1-МН Кулік Микола Миколайович
(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник к.т.н., доцент Ільєнко Сергій Сергійович
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Консультант розділу «Охорона праці»: _____ І.В. Якимець
(підпис) (ПІБ)

Консультант розділу «Охорона
навколишнього середовища»: _____ Л.М. Черняк
(підпис) (ПІБ)

Нормоконтролер: _____ С.С. Ільєнко
(підпис) (ПІБ)

«ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«КИЇВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ»
Факультет аерокосмічний
Кафедра автоматизації та енергоменеджменту
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та
електромеханіка»
(шифр, найменування)

Освітньо-професійна програма «Енергетичний менеджмент»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
С.В.Єнчев

«26» серпня 2025 р.

ЗАВДАННЯ
на виконання кваліфікаційної роботи
Кулік Микола Миколайович
(П.І.Б. випускника)

1. Тема кваліфікаційної роботи «Сучасна система моніторингу енергоресурсами сертифікованого ІСАО аеродрому » затверджена наказом ректора від «13» серпня 2025 р. №1357/ст.

2. Термін виконання кваліфікаційної роботи: з 26.08.2025 р. по 08.12.2025

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: Розробка сучасних підходів до створення системи моніторингу та управління параметрами електроенергії для сертифікованих ІСАО аеродромів. Оптимізація енергоефективності випробувань завдяки застосуванню сучасних методик та їх проведення Використання наукових підходів наповнення сертифікаційного базису за рахунок математичного, фізичного стендового та півнатурного моделювання.

4. Зміст пояснювальної записки: Аналіз специфіки роботи та параметрів електроенергії сертифікованого ІСАО аеродрому 1, 2, 3 категорій. Методика розрахунку загальної потужності СЕП в системі енергоменеджменту сертифікованого ІСАО аеропорту. Розробка системи моніторингу та управління параметрами електроенергії в системі енергоменеджменту сертифікованого ІСАО аеродрому в складі аеропорту. Охорона праці. Охорона навколишнього середовища.

5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: Схема електрична PZEM-004T v3.0, схема електрична принципова Node MCU LoLin ESP8266, схема під'єднання до трьох фаз монітора енергії, схема електрична принципова трифазного монітору енергії, схема освітлення пункту диспетчерського управління, схема принципова електрифікації аеродрому, Презентація PowerPoint.

6. Календарний план-графік

№	Завдання	Термін виконання	Підпис керівника
1.	Аналіз та обґрунтування вибору інформаційних джерел	26.08.25 – 05.09.25	Виконано
2.	Збір та аналіз даних інформаційного характеру. Обґрунтування вибору рішення щодо тематики дослідження	06.09.25 – 15.09.25	Виконано
3.	Робота над розділом №1	16.09.25 – 30.09.25	Виконано
4.	Робота над розділом №2	01.10.25 – 20.10.25	Виконано
5.	Робота над розділом №3.	21.10.25 – 15.11.25	Виконано
6.	Розгляд питання охорони праці	16.11.25 – 20.11.25	Виконано
7.	Розгляд питання охорони навколишнього середовища	21.11.25 – 26.11.25	Виконано
8.	Робота над оформленням обов'язкового ілюстрованого матеріалу, дооформлення пояснювальної записки	27.11.25 – 29.11.25	Виконано
9.	Перевірка роботи на добросовісність. Підготовка до захисту	02.12.25 – 08.12.25	Виконано

7. Дата видачі завдання: «26» серпня 2025 р.

Керівник кваліфікаційної роботи

_____ Ільєнко С.С.
(підпис керівника) (П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

_____ Кулік М.М.
(підпис випускника) (П.І.Б.)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Моніторинг та управління параметрами електроенергії в системі сертифікованого ІСАО аеродрому» містить: 108 сторінок, 21 рисунків, 6 таблиць, 56 використаних джерел.

Об'єкт дослідження: система організації та реалізації процесів контролю й управління електроенергетичними параметрами в інфраструктурі електропостачання аеродрому, який сертифіковано відповідно до міжнародних стандартів ІСАО.

Предмет дослідження: інноваційні підходи та технічні засоби автоматизованого моніторингу і керування енергетичними процесами, що забезпечують стабільність, безперервність та якість електропостачання в умовах функціонування сучасного сертифікованого аеродрому.

Мета дослідження: розробка та обґрунтування практичних рекомендацій щодо впровадження енергоощадних та високоефективних методів контролю й управління параметрами електроенергії. Особливий акцент робиться на підвищенні рівня надійності системи електропостачання аеродрому, мінімізації ризиків відмов, а також оптимізації часу реагування персоналу на позаштатні та аварійні ситуації.

Методологічна база дослідження включає:

- математичні методи аналізу та комп'ютерне моделювання режимів роботи системи енергопостачання;
- побудову моделей керування потоками електроенергії та алгоритмів оптимізації споживання;
- методи прямого вимірювання та контролю ключових електричних параметрів;
- імітаційне відтворення змін навантажень і сценаріїв використання електроенергії;

- застосування інструментальних засобів і сучасних інформаційних технологій для комплексної діагностики стану енергосистеми.

Практична цінність роботи: отримані результати можуть використовуватись як у навчальній підготовці здобувачів вищої освіти за спеціальністю «*Енергетичний менеджмент*» освітнього рівня «*Магістр*», так і в діяльності інженерно-технічних служб аеропортів. Матеріали роботи мають прикладне значення для вирішення завдань проектування, експлуатаційного контролю та оптимізації роботи систем енергозабезпечення аеродромів.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТА АНАЛІЗ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ СИСТЕМ СЕРТИФІКОВАНИХ АЕРОДРОМІВ ІСАО	10
1.1. Нормативні вимоги Міжнародної організації цивільної авіації (ІСАО) до систем енергопостачання аеропортів категорій І–ІІІ	
1.2. Технології контролю, збору та обробки даних параметрів якості електроенергії на сертифікованих аеродромах	17
1.2.1. Аналіз можливостей SCADA-систем українського виробництва.....	17
1.2.2. Практика застосування у сертифікованому аеропорту Угорщини ...	20
1.3. Інноваційні рішення SCADA-систем на основі програмного комплексу ICONICS GENESIS	24
1.3.1. Архітектура та функціональні можливості ICONICS GENESIS.....	24
1.3.2. Досвід інтеграції в аеропорту Мілан-Мальпенса (Італія)	26
1.3.3. Приклади використання у міжнародному аеропорту Сіань Сяньян (КНР).....	29
1.3.4. Практика аеропорту Схіпхол (Нідерланди).....	32
1.4. Критичний огляд сучасних систем енергоменеджменту в аеропортовій інфраструктурі	33
1.5. Потенціал платформ ThingSpeak і ThingView для впровадження концепції Інтернету речей (ІоТ) у системах енергетичного менеджменту.....	43
РОЗДІЛ 2. НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО РОЗРАХУНКУ ЗАГАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ АЕРОДРОМУ	46
2.1. Переваги та обмеження сучасних систем моніторингу електроенергії як базису для розрахунку потужності СЕП.....	46
2.2. Формування інженерної методики визначення загальної потужності енергосистеми сертифікованого аеропорту	49
2.1.1. Розрахунок сумарного енергоспоживання об'єкта.....	49
2.1.2. Визначення ефективної потужності електроспоживання	53
2.1.3. Оцінка та розрахунок втрат у системі електропостачання	53

2.1.4.	Розрахунок параметрів резервного енергопостачання.....	54
2.1.5.	Визначення потужності світлосигнальних систем аеродрому	55
2.1.6.	Розрахунок потреби в електроенергії для радіонавігаційних комплексів	57
2.1.7.	Системи наземного електроживлення повітряних суден.....	58
РОЗДІЛ 3. ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ АЕРОПОРТУ З УРАХУВАННЯМ ВИМОГ ІСАОІ		61
3.1.	Обґрунтування необхідності впровадження системи моніторингу.....	61
3.2.	Вибір шлюзів збору інформації та аналіз їх сумісності.....	68
3.3.	Вибір бездротових датчиків контролю стану електроцитових.....	71
3.4.	Вибір вимірювачів потужності та обґрунтування їх застосування	
3.5.	Інтеграція обладнання в схему електропостачання аеропорту	
3.6.	Програмне забезпечення та функціонал SCADA	
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ВИРОБНИЧОГО СЕРЕДОВИЩА		73
4.1.	Ідентифікація та аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів .	73
4.2.	Організаційні та інженерно-технологічні заходи для зменшення дії небезпечних факторів	74
4.2.1.	Розрахунок параметрів штучного освітлення диспетчерських і технічних приміщень	75
4.3.	Забезпечення пожежної та вибухової безпеки в умовах експлуатації електротехнічного обладнання	78
4.4.	Інструкція з охорони праці для диспетчерського персоналу та інженерів енергослужби.....	79
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА		82
5.1.	Джерела екологічного навантаження та характер їх впливу на довкілля	82
5.2.	Комплекс рекомендацій щодо зниження негативних екологічних наслідків функціонування аеропорту	87
ВИСНОВКИ		90
СПИСОК БІБЛОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		92
ДОДАТОК А		97
ДОДАТОК Б		104

ДОДАТОК В	105
ДОДАТОК Г.....	106
ДОДАТОК Д	107
ДОДАТОК Е.....	108

СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

- СЕП – система електропостачання
- БПЛА – безпілотний літальний апарат
- КЗ – коротке замикання
- НРЖ – відновлювані джерела енергії
- АВР – автоматичне введення резерву
- ДБЖ – джерело безперебійного живлення
- ЩО – щиток освітлення
- ЩС – силовий щит
- ТР – трансформаторна розподільча підстанція
- ВРП – ввідно-розподільчий пристрій
- КТП – комплектна трансформаторна підстанція
- РП – розподільчий пункт
- ВРУ – ввідно-розподільчий устрій
- ПУЕ – правила улаштування електроустановок
- ДСТУ – державні стандарти України
- СОУ – стандарти організацій України
- ПТЕЕС – правила технічної експлуатації електроустановок споживачів
- НКРЕКП – Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг
- МЕМС – мікроелектромеханічні системи
- АСУ ТП – автоматизована система управління технологічним процесом
- АСДУ – автоматизована система диспетчерського управління
- ІАСУ – інтегрована автоматизована система управління
- ІКМ – інформаційно-керуючий модуль
- ЕПУ – електронний прилад управління
- ККД – коефіцієнт корисної дії
- ОП – охорона праці
- НС – надзвичайна ситуація

ВСТУП

Сучасний розвиток авіаційної інфраструктури потребує безперервного та якісного електропостачання, яке виступає одним із ключових факторів стабільного функціонування сертифікованих аеродромів ICAO. Високі вимоги до надійності та безпеки, що висувуються до міжнародних аеропортів, зумовлюють необхідність впровадження систем оперативного контролю та управління параметрами електроенергії. Особливу роль у цьому відіграють сучасні SCADA-технології, які забезпечують комплексний моніторинг, автоматизоване керування та ефективне використання енергетичних ресурсів. Використання таких систем дозволяє не лише гарантувати стабільність енергопостачання, а й оптимізувати витрати на експлуатацію, обслуговування та енергоспоживання, що є актуальним завданням для аеропортів міжнародного класу.

Наукова новизна

У роботі обґрунтовується застосування інтегрованої енергоефективної системи моніторингу та управління параметрами електроенергії сертифікованого ICAO аеродрому з використанням SCADA-рішень. Запропонований підхід базується на поєднанні сучасних інформаційних та інженерних технологій і передбачає:

застосування високопродуктивних комп'ютерних засобів для автоматизованого збору, обробки та аналізу даних з можливістю оперативного реагування на зміни режимів роботи системи;

використання математичних та імітаційних моделей для прогнозування навантажень і розробки оптимальних сценаріїв енергоспоживання з урахуванням авіаційної специфіки;

реалізацію механізмів автоматичного реєстрування, систематизації та аналітичної обробки великих обсягів даних про якість та параметри електроенергії.

Практична значущість

Впровадження описаної системи моніторингу та управління дозволяє підвищити ефективність експлуатації енергетичного господарства аеропорту шляхом зменшення непродуктивних витрат електроенергії та оптимізації технічного обслуговування обладнання. Інтеграція SCADA-технологій у наявну інфраструктуру забезпечує можливість гнучкого керування енергетичними процесами, зниження пікових навантажень і підвищення рівня техногенної безпеки. Додатково, точний розрахунок енергетичних потужностей аеродрому сприяє раціональному плануванню ресурсів і визначенню резервів для підвищення енергоефективності.

Матеріали дипломної роботи можуть бути використані у навчальному процесі як навчально-практичний приклад реалізації автоматизованих систем моніторингу та управління енергоспоживанням на базі SCADA для сертифікованих аеродромів ICAO. Це дозволить студентам не лише ознайомитися з теоретичними підходами, а й вивчити приклади практичної інтеграції сучасних енергетичних технологій у авіаційній галузі.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ СПЕЦИФІКИ РОБОТИ ТА ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ СЕРТИФІКОВАНОГО ІСАО АЕРОДРОМУ 1, 2, 3 КАТЕГОРІЙ

1.1. Нормативні вимоги Міжнародної організації цивільної авіації (ІСАО) до систем енергопостачання аеропортів категорій I - III

Електрична енергія є фундаментальною складовою систем енергоменеджменту сучасних аеропортів. Вона забезпечує роботу ключових інженерних комплексів, серед яких світлосигнальні установки злітно-посадкових смуг, обладнання систем авіаційної безпеки, радіо- та навігаційні прилади. Окрім цього, електроенергія є критично важливою для функціонування допоміжних підсистем: пасажирських терміналів, автоматизованих комплексів багажопереробки, інформаційних центрів і технологічних процесів наземного обслуговування. До основних категорій споживачів енергоресурсів в аеропортах відносять наземні електротехнічні комплекси, системи освітлення, вентиляційно-кондиціонувальні установки, а також сучасні зарядні станції для електротранспорту [1].



Рис. 1.1. Аеропорт Чикаго

У сучасних умовах збільшення кількості аеропортів обумовлено стрімким розвитком авіаційної галузі та розширенням маршрутної мережі. Інтенсивна структура роботи аеропортів, цілодобове обслуговування рейсів, гарантія безпеки польотів та створення комфортних умов для пасажирів у термінальних комплексах призводять до значного зростання енергоспоживання. Тому ефективне управління енергетичними ресурсами стало одним із ключових напрямів підвищення енергоефективності аеропортів, які характеризуються високим рівнем споживання електроенергії.

Електрифікація аеропортів вимагає ретельного планування та організації, щоб забезпечити стабільне електропостачання всіх систем і водночас гарантувати безпеку навколишнього середовища. Для мінімізації викидів вуглецю все частіше застосовують мікромережі та відновлювані джерела енергії, що одночасно підвищує надійність та стійкість енергетичних систем аеропорту [2].

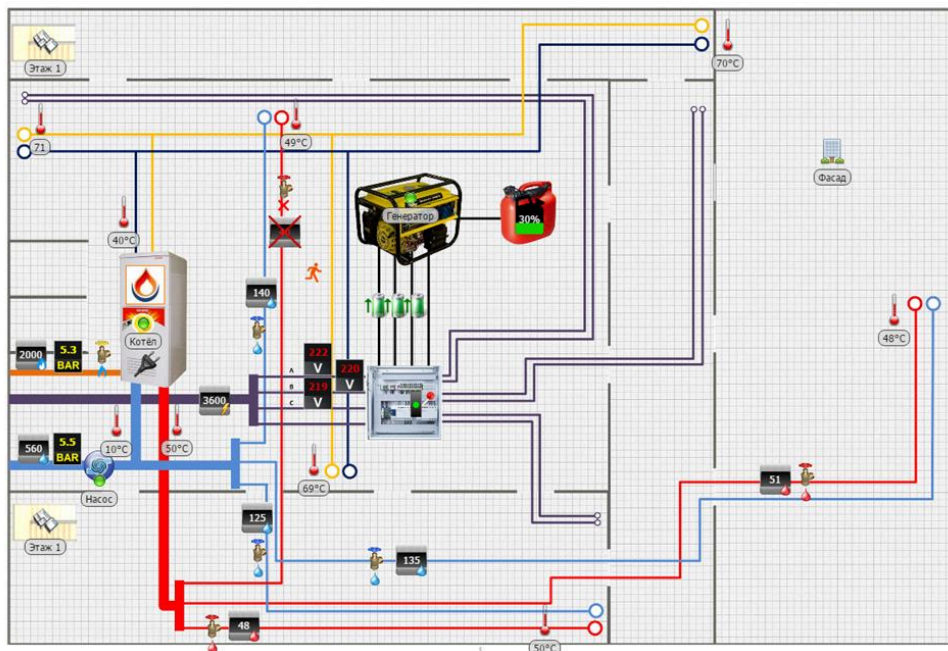


Рис. 1.2. Типова SCADA-система

Впровадження ефективних систем управління енергоспоживанням, зокрема SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), дозволяє оптимізувати використання енергетичних ресурсів та зменшити експлуатаційні витрати. Ці системи забезпечують безперервний моніторинг електромереж у режимі реального часу, надають дані про стан енергопостачання та дозволяють оперативно реагувати на коливання навантаження чи виявлені несправності.

Міжнародна організація цивільної авіації (ІСАО), заснована у Чикаго в 1944 році відповідно до Конвенції про міжнародну цивільну авіацію, є спеціалізованою установою ООН, яка координує міжнародну співпрацю держав у сфері цивільної авіації. До складу ІСАО входять понад 190 держав, зокрема з 9 вересня 1992 року Україна приєдналася до Конвенції. Головний офіс організації розташований у місті Монреаль (Канада) [3].

Основним завданням ІСАО є забезпечення безпеки та стабільного розвитку цивільної авіації у світі, координація міжнародного співробітництва у питаннях перевезень, регулювання повітряного руху та стандартизація аеронавігаційної інформації. В рамках ІСАО світовий повітряний простір поділено на зони льотної інформації, що визначаються з урахуванням можливостей навігаційних засобів та систем контролю повітряного руху. Організація також присвоює аеропортам чотирибуквенні коди, які використовуються для передачі аеронавігаційних та метеорологічних даних, планування польотів та маркування аеродромів на навігаційних картах. [3].

Регулювання електропостачання аеропортів відбувається відповідно до положень Annex 14 «Aerodromes» ІСАО, який містить ключові вимоги до проектування, експлуатації та безпеки енергетичної інфраструктури аеродромів:

- **Розділ 8** – визначає стандарти для електричних систем аеродромів, включаючи світлосигнальні установки злітно-посадкових смуг та резервні джерела енергопостачання для критично важливих систем;

• **Розділ 5** – містить вимоги до світлового обладнання на ЗПС, руліжних доріжках та стоянках літаків, яке повинно бути підключене до стабільного джерела живлення. [14].

Безперебійне функціонування аеродрому безпосередньо залежить від якості електропостачання. Системи електропостачання включають основне джерело енергії, генераторні установки, трансформатори та комутаційне обладнання. При проектуванні енергосистеми необхідно враховувати одночасне живлення всіх об'єктів аеропорту від спільних джерел, а також забезпечення резервних джерел електроенергії для критично важливих підсистем. [2].

Особлива увага приділяється електроживленню візуальних та радіонавігаційних засобів. Вони повинні залишатися працездатними під час аварійних ситуацій або нестандартних режимів роботи мережі, щоб пілот завжди отримував точну інформацію. Системи резервного живлення повинні автоматично підключатися при відмові основного джерела, забезпечуючи мінімальний час переривання роботи. Для ЗПС з точним заходом на посадку та зліт за умов обмеженої видимості резервні джерела енергії повинні відповідати встановленим нормативним показникам (табл. 1).

До критично важливих об'єктів, що потребують резервного живлення, належать:

1. Сигнальні лампи та аварійне освітлення для технічного персоналу;
2. Система світлових заходів на посадку, освітлення ЗПС та руліжних доріжок;
3. Освітлення всіх перешкод для безпечного руху літаків;
4. Метеорологічне обладнання;
5. Аварійне обладнання;
6. Прожекторне освітлення (за наявності);
7. Освітлення перону.

Вимоги до резервних джерел можуть виконуватись через:

- незалежне громадське джерело електроенергії, яке підключене до іншої підстанції за альтернативним маршрутом; [8].
- автономні резервні системи, такі як генератори або акумулятори, здатні підтримувати безперервне енергопостачання критично важливих об'єктів аеродрому.

Таблиця 1.1.

Максимальний час перемикавання на резервне джерело живлення

Злітно посадкова смуга	Освітлювальні прилади, які потребують живлення	Максимальний час перемикавання
Неточний підхід	Система освітлення на підході.	15 секунд
	Візуальні індикатори глибини підходу.	15 секунд
	Освітлення країв злітно-посадкової смуги.	15 секунд
	Освітлення порога злітно-посадкової смуги.	15 секунд
	Освітлення кінця злітно-посадкової смуги.	15 секунд
	Освітлення перешкод.	15 секунд
I категорія точного заходу на посадку	Система освітлення на підході.	15 секунд
	Візуальні індикатори глибини підходу.	15 секунд
	Освітлення країв злітно-посадкової смуги.	15 секунд
	Освітлення порога злітно-посадкової смуги.	15 секунд
	Освітлення кінця злітно-посадкової смуги.	15 секунд
	Освітлення перешкод.	15 секунд
Категорія заходження на посадку II/III	Внутрішні 300 м системи освітлення підходу	1 секунда
	Інші частини системи освітлення підходу	15 секунд
	Перешкоди	15 секунд
	Край злітної смуги	15 секунд
	Поріг злітної смуги	1 секунда
	Кінець злітної смуги	1 секунда

	Центральна лінія злітно-посадкової смуги	1 секунда
	Зона приземлення злітно-посадкової смуги	1 секунда
	Усі стоп бари	1 секунда
	Важлива руліжна доріжка	15 секунд
Злітно-посадкова смуга, призначена для зльоту у візуальному вигляді умови дальності менше ніж 800 м візуальному вигляді	Край злітної смуги	15 секунд
	Кінець злітної смуги	1 секунда
	Центральна лінія злітно-посадкової смуги	1 секунда
	Усі стоп бари	1 секунда
	Основна руліжна дорога	15 секунд
	Перешкоди	15 секунд

Для злітно-посадкових смуг (ЗПС), що експлуатуються за видимості менше 550 м, системи освітлення та управління мають бути організовані так, щоб у випадку аварійних ситуацій пілот завжди отримував достовірну інформацію та мав необхідні візуальні орієнтири. У разі застосування дубльованих ліній електропостачання, кожне джерело має бути незалежним від іншого. При цьому освітлення ЗПС і руліжних доріжок повинно функціонувати автономно, без взаємного впливу. [15].

Системи моніторингу забезпечують постійне відстеження стану освітлювальних комплексів. У разі використання систем освітлення для керування рухом літаків вони повинні працювати в автоматичному режимі, а моніторинг оперативно виявляти будь-які відхилення від нормальної роботи та автоматично передавати інформацію у відповідні підрозділи [5].

При виникненні нестандартних ситуацій індикація стоп-бару на позиціях утримання перед ЗПС має з'являтися протягом 2 секунд, для решти візуальних засобів – протягом 5 секунд. Для ЗПС, що експлуатуються за умов низької

видимості, освітлювальні системи повинні працювати у повністю автоматичному режимі, а моніторинг негайно фіксувати будь-які відхилення в роботі елементів системи та передавати дані у відповідні служби [6].

Якщо працездатність будь-якого елемента системи падає нижче допустимого рівня, його робота має бути припинена та замінена на резервний аналог, а узагальнена інформація про стан передається системою моніторингу до відповідного підрозділу для оперативного реагування.

1.2. Технології контролю, збору та обробки даних параметрів якості електроенергії на сертифікованих аеродрома

1.2.1. Аналіз можливостей SCADA-систем українського виробництва
SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) — це інтегрований програмно-апаратний комплекс, призначений для контролю, управління та збору даних у реальному часі з метою моніторингу та керування різними технологічними процесами. Основна функція SCADA-систем полягає у забезпеченні безперервного функціонування об'єктів, автоматизації процесів та наданні оператору можливості отримувати та аналізувати актуальні дані про стан технологічних систем [7].

SCADA-технології знайшли застосування в широкому спектрі галузей: енергетиці, промисловості, транспорті, наукових дослідженнях та автоматизації будівель. Вони дозволяють здійснювати контроль виробничих процесів, зчитувати інформацію з датчиків, програмованих логічних контролерів (PLC) та інших пристроїв, а також передавати команди для управління обладнанням [8].

Архітектура SCADA-систем зазвичай включає такі елементи:

- Промислові контролери (PLC або RTU), які відповідають за збір і передачу даних про стан обладнання; [16].
- Інтерфейси людина-машина (HMI), що забезпечують операторам візуалізацію процесів та можливість вносити корективи;
- Програмне забезпечення для збору, обробки та збереження даних, що може функціонувати на локальних комп'ютерах або серверних платформах.

SCADA-системи характеризуються високою гнучкістю та масштабованістю, що дозволяє інтегрувати нове обладнання та об'єкти без необхідності значної перебудови інфраструктури. Сучасні рішення підтримують підключення через інтернет та хмарні сервіси, що забезпечує віддалений доступ до даних у будь-який час. [20].

Компанія AUTOSCADA пропонує українське програмне рішення для автоматизації та моніторингу промислових процесів — SCADA-систему TRACE MODE, яка забезпечує комплексний контроль за технологічними процесами у реальному часі. Система побудована на основі відкритої архітектури, що дає змогу інтегрувати різні типи обладнання, бази даних та промислові протоколи.

Основні характеристики AUTOSCADA:

1. Універсальність та масштабованість:

- Підтримка до 64 000 точок введення/виведення;
- Сумісність з промисловими протоколами OPC та GSM для обміну даними з віддаленими пристроями;
- Робота на локальних комп'ютерах, серверах та через веб-інтерфейси з підтримкою хмарних рішень. [28].

2. Модульність:

- Модулі MPB (Монітор Реального Часу) забезпечують збір, архівування та відображення даних, а також аналітику великих обсягів інформації;
- Додаткові модулі підтримують віддалені робочі місця, шаблони документування, резервування даних і інтеграцію з ODBC-базами даних.

3. Функціональні можливості:

- Гнучке архівування даних, формування звітів, управління тривогами та аварійними повідомленнями;
- Підтримка GSM та GPRS для дистанційного керування та передачі повідомлень через SMS або мобільний інтернет;
- Веб-інтерфейс для віддаленого моніторингу та управління.

4. Принцип роботи:

- SCADA включає інструментальні системи для проектування, виконавчі модулі для керування обладнанням і редактори для документування та управління ресурсами;
- Забезпечується збір даних з датчиків, передача оператору та автоматичне регулювання процесів.

5. Інтеграція:

- Підтримка інтеграції з ERP та MES-системами для комплексної автоматизації виробничих процесів;
- Підключення до різних промислових контролерів та сумісність зі стандартизованими протоколами передачі даних.

1.2.2. Практика застосування у сертифікованому аеропорту Угорщини

Міжнародний Будапештський аеропорт ім. Ференца Ліста (BUD) являється найбільшим аеропортом в Угорщині. Кількість «клієнтів» за 2019 рік перевищував 16 мільйонів. На той час програмне забезпечення що відповідало за системи керування та роботи критичної інфраструктури в цілому було не актуальним та не стандартизованим. [9]

Отже, задля приведення системи у відповідність, підвищити її безпечність експлуатації, керуючим органом було висловлено проект-рішення про використання автоматизованого програмного забезпечення, що працює на базі SCADA-ZENON. З її допомогою було втіленим у життя диспетчерське управління системами освітлення ЗПС та аеропортом в цілому, також налагоджене керування роликівими транспортними доріжками. [10]



а)

б)

Рис. 1.3. Будапештський аеропорт: а – вид фронтальний б – вид загальний

Основні переваги SCADA-системи ZENON:

1. Надійна робота навіть у разі аварійних ситуацій;
2. Миттєві перемикання з мінімальною затримкою;
3. Уніфіковане програмне забезпечення для всіх підсистем;
4. Можливість програмування без необхідності знання мов кодування;
5. Незалежність у використанні та обслуговуванні системи.

Аеропорт протягом свого існування, починаючи з відкриття у 1950 році, неодноразово модернізувався. Більшість оновлень стосувалися апаратного забезпечення, тоді як програмне забезпечення замінювалося рідко. При цьому модернізаційні роботи виконували різні організації, що призвело до неоднорідності системної бази, зокрема для таких підсистем, як AGLS (Aerodrome Ground Lighting System — система наземного освітлення аеродрому) та BHS (Baggage Handling System — система обробки багажу).

Для моніторингу та контролю стану цих систем використовували шість різних SCADA-систем, із яких чотири були спеціально призначені для BHS, що обслуговували понад 1000 конвеєрних ліній. Така розрізненість приводила до ускладнень: різні інтерфейси управління, обмежений функціонал і, як наслідок, часті помилки у визначенні технічного стану обладнання.

Неоднорідність систем вимагала індивідуального підходу до навчання персоналу, що збільшувало витрати часу на освоєння кожного виду обладнання. Крім того, звернення до служб технічної підтримки часто виявлялося марним через припинення діяльності компаній-постачальників або нестачу кваліфікованого персоналу. Навіть стандартне оновлення програмного забезпечення могло спричиняти значні проблеми. [23].

Метою модернізації стало інтегрування підсистем AGLS та BHS в єдину мережу із простим і зрозумілим інтерфейсом, що дозволяло централізовано контролювати всі критично важливі процеси. [12].

Інженери аеропорту Угорщини підійшли до цього завдання відповідально: провели комплексне дослідження ринку, перевірили на практиці різні рішення та здійснили порівняльний аналіз SCADA-систем. Хоча система SICAM-230, що

була популярною серед аеропортів з 2010 року, показала високу надійність і мінімальну кількість збоїв, її подальше використання стало неможливим через припинення підтримки постачальником.

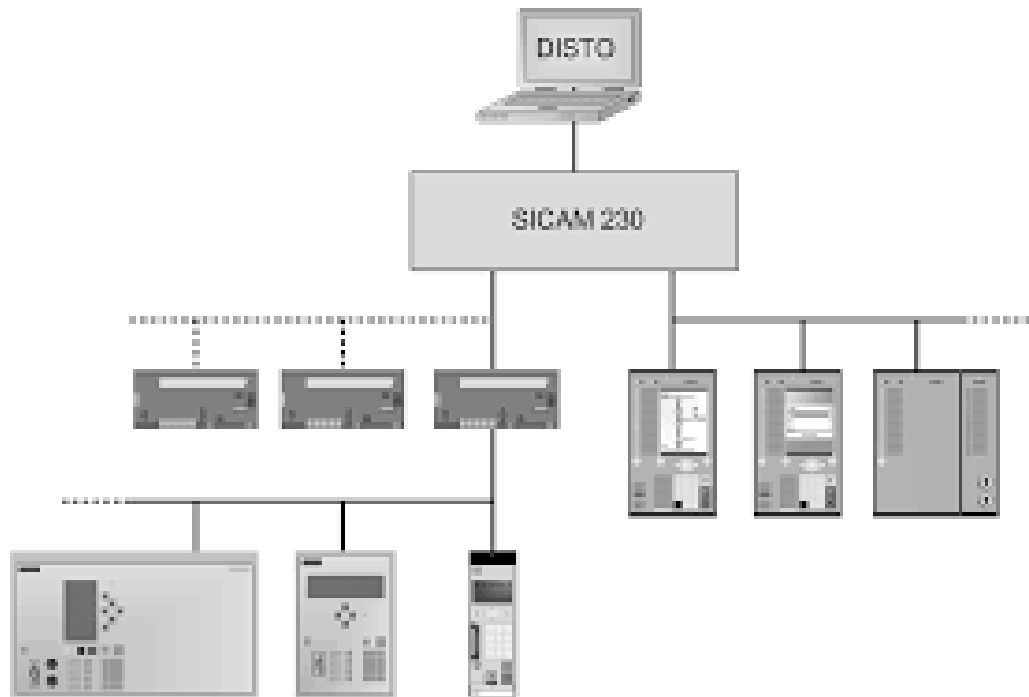


Рис. 1.4. Принцип роботи SICAM-230

Провівши аналіз програмного коду, закладеного під час створення SICAM-230, фахівці виявили, що в його структурі використовується платформа SCADA-ZENON австрійської компанії COPA-DATA. На основі цього було прийнято рішення впровадити саме цю систему для подальшого управління та моніторингу. [30].

На першому етапі модернізації інженери компанії BUD відключили існуючі системи управління AGLS, здійснили заміну схем керування та модернізували 20 дубльованих модулів PLC (Programmable Logic Controller) разом із підключеними до них периферійними пристроями. На рівні централізованого управління було встановлено платформу ZENON, яка забезпечила обробку понад 30 000 точок даних. Для забезпечення інтеграції та обміну інформацією між підсистемами було використано мережевий шлюз, що передавав дані безпосередньо до Радіолокаційної системи аеродрому (ARS).

[3].

За словами керівника робіт з реорганізації та інтеграції, для повного оновлення AGLS та її запуску було відведено близько шести годин. Завдяки інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу ZENON, на цьому етапі не виникло жодних технічних труднощів. Набутий досвід роботи з SICAM-230 значно полегшив процес інтеграції сучасного обладнання. Інженери відзначили можливість перезапуску проєкту ZENON без необхідності зупинки роботи системи, що забезпечує щомісячне оновлення програмного забезпечення без збоїв. [12]

Персонал, відповідальний за управління системами, швидко освоїв всі нюанси роботи ZENON з моменту першого запуску автоматизованих модулів. Завдяки наявності понад 400 інтегрованих драйверів, підключення PLC-пристроїв і контролерів різних виробників відбувалося без жодних проблем. Основним принципом розробки проєктів у ZENON є «параметризація замість програмування», що значно спрощує процес налаштування. [18].

Програмне забезпечення надає бібліотеку готових об'єктів, які можна використовувати для створення графічних інтерфейсів, задач та їх логічного об'єднання. Ці об'єкти можна багаторазово застосовувати та редагувати відповідно до конкретних завдань шляхом встановлення необхідних параметрів. Після внесення змін у проєкт відбувається автоматичне оновлення всіх підпроєктів. Процес відображення VHS з понад 1000 роликівих транспортних доріжок для групи з 7 спеціалістів зайняв приблизно два тижні.

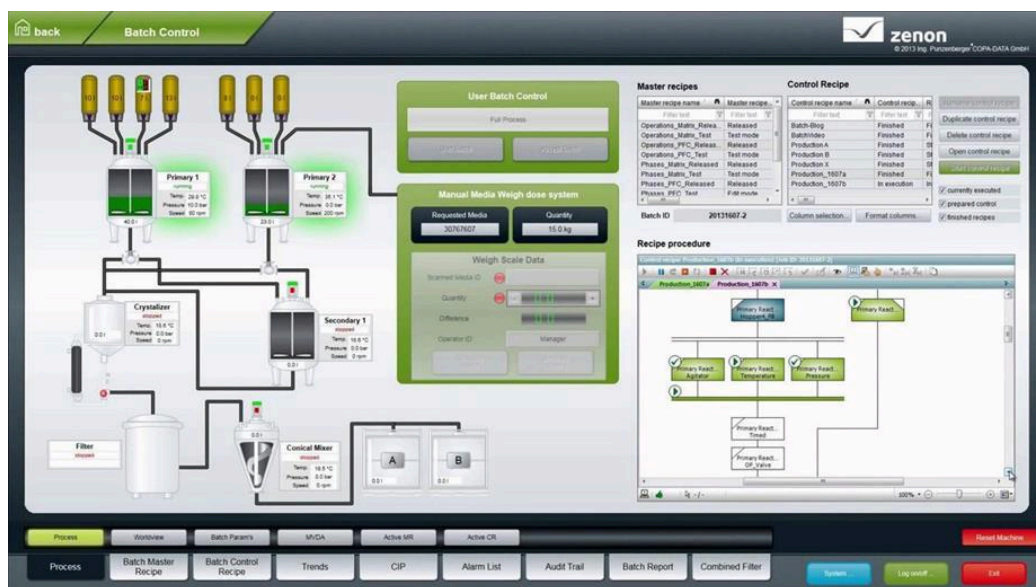


Рис. 1.5. Інтерфейс SCADA ZENON

Використання системи на базі SCADA ZENON демонструє високу зручність та ефективність у щоденному експлуатаційному процесі. Система характеризується збалансованістю та мінімальними витратами ресурсів на її налаштування та модернізацію. [13]

Співробітникам аеропорту більше не потрібно покладатися на підтримку сторонніх аутсорсингових компаній, що значно підвищує оперативність обслуговування. Крім того, впровадження стандартизованих мнемосхем значно полегшило інтерфейс користувача та підвищило зручність управління системою. Завдяки інтуїтивно зрозумілому функціоналу, керівництво інтеграційних проектів планує розширити застосування ZENON на системи вентиляції та кондиціонування (HVAC), а також на загальне електропостачання аеропорту, що сприятиме підвищенню енергоефективності та надійності інфраструктури.

1.3. Інноваційні рішення SCADA-систем на основі програмного комплексу ICONICS GENESIS

1.3.1. Архітектура та функціональні можливості ICONICS GENESIS

ICONICS – міжнародна компанія, яка спеціалізується на створенні програмного забезпечення для автоматизованих систем управління технологічними процесами (АСУ ТП) та підприємствами (АСУП). Заснована у 1986 році у Фоксборо, штат Массачусетс, вона з часом здобула світове визнання і відкрила філіали в таких країнах, як Австралія, Китай, Франція, Німеччина, Індія, Нідерланди, Великобританія та Сінгапур. Компанія є офіційним партнером Microsoft, що дозволяє легально інтегрувати її рішення з продуктами Microsoft [13].

У сучасних міжнародних аеропортах критично важливо забезпечити безперебійну роботу всіх систем, які відповідають за безпеку польотів, комфорт пасажирів та ефективну роботу об'єктів аеропорту. Для цього застосовують розумні системи управління, що дають змогу контролювати роботу різних

інфраструктурних комплексів та отримувати інформацію про стан об'єктів у реальному часі.

Програмні рішення **ICONICS** відповідають високим вимогам до автоматизації та моніторингу аеропортів. Зокрема, модулі **SCADA ICONICS GENESIS** дозволяють збирати та аналізувати дані про критично важливі елементи інфраструктури: відеоспостереження, інформаційні екрани, системи сповіщення, транспортні роликові доріжки, ліфти, траволатори, системи безпеки та інші компоненти аеропорту. [28].

Особливістю **ICONICS GENESIS** є агрегування інформації від груп пристроїв, що значно спрощує контроль та управління великими масивами даних. Це реалізовано завдяки застосуванню таких технологій: [14]

- **BridgeWorX** – сервер для автономного маршрутизування даних між різними базами, включаючи OPC, SNMP, BACnet, Microsoft SQL Server, MSDE, Access, Oracle, SAP та інші;
- **Hyper Historian** – сервер для детального аналізу та архівування історичних даних;
- **Workbench** – робоче середовище, що дозволяє створювати проекти, накопичувати та візуалізувати великі обсяги даних, забезпечуючи ефективний моніторинг та управління параметрами об'єктів у реальному часі.

Таблиця 1.2.

Основні характеристики **ICONICS GENESIS64**

Характеристика	Деталі
Підтримувані ОС	Windows 10/11 (64-біт), Windows Server 2016/2019/2022 (64-біт)
Архітектура	64-бітова платформа
Підтримка стандартів	OPC UA, BACnet, Modbus, SNMP, Web Services, SQL Server, HTML5
Модулі	- GraphWorX64 (візуалізація) - AlarmWorX64 (управління тривогами) - TrendWorX64 (історичні дані) - EarthWorX (географічна візуалізація)

Закінчення таблиці 1.2.

Масштабованість	Підтримка одночасної роботи великої кількості користувачів та пристроїв
Підтримка хмарних сервісів	Інтеграція з хмарними сервісами для збору та аналізу даних з віддалених об'єктів
Кібербезпека	Шифрування даних за допомогою TLS/SSL, підтримка Active Directory
Інтерфейс	Підтримка мобільних пристроїв та браузерів через HTML5 і WebHMI
Висока надійність	Резервування серверів, автоматичне відновлення у випадку відмови

1.3.2. Досвід інтеграції в аеропорту Мілан-Мальпенса (Італія)

Аеропорт **Мілан-Мальпенса** є одним із ключових транспортних вузлів Італії та найбільшим аеропортом Мілана, що обслуговує як пасажирські, так і вантажні авіаперевезення.

- **Код IATA:** MXP
- **Код ICAO:** LIMC
- **Клас аеродрому:** 4F, що дозволяє приймати великі далекомагістральні літаки, такі як Airbus A300 та Boeing 747
- **Злітно-посадкові смуги:** 17L/35R та 17R/35L, довжина кожної — 3920 м, покриття — асфальтобетонне

Обидві смуги обладнані системою інструментальної посадки ILS категорії IIIb, що забезпечує високоточне приземлення навіть за умов дуже низької видимості.

Технічну підтримку та модернізацію інфраструктури аеропорту забезпечує компанія **SEA**. В рамках оновлення було впроваджено інтегрований інтерфейс **HMI/SCADA**, який дозволяє відслідковувати та контролювати потоки інформації у реальному часі, підвищуючи ефективність управління аеропортовою інфраструктурою.

Основні вимоги до модернізованого інтерфейсу

Категорія	Вимога
Надійність та доступність	<ul style="list-style-type: none"> - Система повинна бути доступною 24/7 з мінімальним часом простою. - Забезпечити резервування даних та швидке відновлення в разі збою.
Інтерфейс користувача	<ul style="list-style-type: none"> - Інтуїтивно зрозумілий інтерфейс HMI/SCADA з можливістю налаштування панелей та віджетів. - Налаштування різних рівнів доступу для операторів та адміністраторів.
Відстеження та аналіз даних	<ul style="list-style-type: none"> - Реальний моніторинг та відстеження всіх ключових параметрів системи в режимі реального часу. - Інструменти для аналізу даних, графіки, діаграми та звіти.
Сумісність та інтеграція	<ul style="list-style-type: none"> - Система повинна бути сумісна з існуючими компонентами та програмним забезпеченням. - Інтеграція з іншими системами автоматизації та контролю.
Безпека	<ul style="list-style-type: none"> - Забезпечення високого рівня захисту даних та доступу до системи. - Механізми виявлення та попередження про потенційні загрози безпеки.
Оповіщення та сповіщення	<ul style="list-style-type: none"> - Налаштування автоматичних сповіщень та оповіщень про критичні події та аномалії. - Інтеграція з системами оповіщення через SMS, email або інші канали зв'язку.
Масштабованість	<ul style="list-style-type: none"> - Можливість розширення системи без суттєвих змін в архітектурі. - Підтримка додавання нових функціональних модулів.

Після детального аналізу наявних рішень та оцінки потреб аеропорту було прийнято рішення використовувати програмне забезпечення ICONICS із пакетом HMI/SCADA GENESIS32, до складу якого також входить модуль DataWorX™32, що забезпечує повне управління даними, їх архівування та редагування [15].

Система побудована на основі двох серверів у конфігурації «гарячого резерву» та 11 моніторів, що використовуються для постійного контролю стану інфраструктури. На одному із серверів одночасно працюють компоненти ICONICS AlarmWorX™32 (для архівування аварійних подій), ScriptWorX™32 та DataWorX™32. Завдяки такій архітектурі, у випадку відмови одного з серверів, резервний сервер автоматично підхоплює роботу системи, забезпечуючи безперервне функціонування, а оператор має можливість вручну перемикати сервери за потреби. [1].

Головний робочий екран виконаний у вигляді інтегрованої панелі, на якій відображаються всі ключові підсистеми аеропорту одночасно. Це дозволяє здійснювати комплексний моніторинг стану електроенергетичних систем, аварійних сигналів, мережевих показників та систем управління польотами в режимі реального часу. [6].

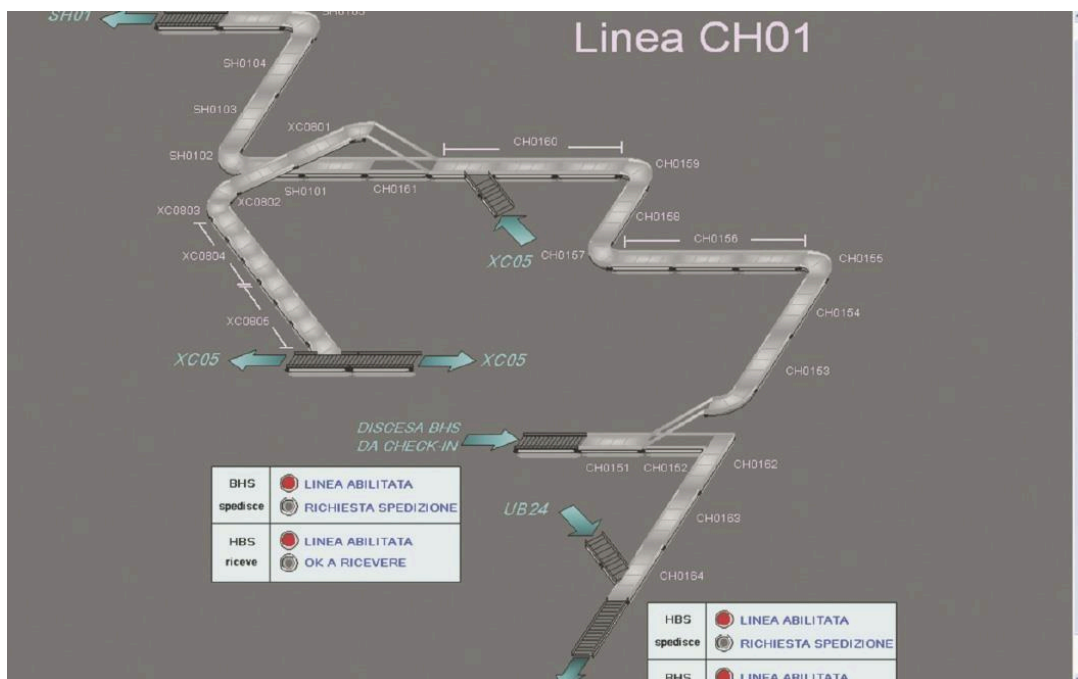


Рис. 1.6. Лінія з обслуговування багажу

Компанія SEA дала високу оцінку за інтеграцію в їх систему управління польотами, та відзначили простоту і ефективність конфігурування екранів, трендів та аварійних сигналів. За допомогою каналу OPC-серверу було здійснено підключення ICONICS до ПЛК SIEMENS. Була проведена робота з повної інтеграції усіх ПЛК, та модулями віддаленого моніторингу PROFIBUS, базою даних та ОС Windows Server Professional.

Рішення запропоновані ICONICS дали можливість аеропорту Мальпенса отримати безпечний доступ, повний контроль та можливість віддаленого керуванню аеропортом.

1.3.3. Приклади використання у міжнародному аеропорту Сіань Сяньян (КНР)

Аеропорт Сіань Сяньян розташований у місті Сіань, одному з ключових центрів Китаю. Цей аеропорт є найбільшим у північно-західному регіоні країни та восьмим за масштабами в КНР. Він має у своєму складі три термінали загальною площею 360 000 квадратних метрів, що дозволяє обслуговувати понад 30 мільйонів пасажирів щорічно.

- Код IATA: XIY
- Код ICAO: ZLXY
- Клас аеродрому: 4F, що забезпечує можливість обслуговування далекомагістральних літаків, зокрема Airbus A300 та Boeing 747
- Злітно-посадкові смуги: 05L/23R та 05R/23L, кожна довжиною 3800 метрів із асфальтобетонним покриттям[6].

Обидві смуги обладнані системою інструментальної посадки ILS категорії IIIb, що дозволяє здійснювати посадку літаків у умовах поганої видимості.



Рис. 1.7. Аеродром аеропорту Сіань Саньян, КНР – вид фронтальний

У зв'язку з постійним збільшенням пасажиропотоку та розширенням аеропорту, керівництво стикнулося з необхідністю впровадження ефективних рішень для моніторингу, контролю та управління інфраструктурою. Система мала забезпечувати інтеграцію різноманітних джерел даних і підтримувати можливість масштабування при нарощенні обладнання. Основна увага приділялася управлінню енергоспоживанням та підтримці комфортного мікроклімату в приміщеннях. [23].

Компанії China Western Airport Group та Xi'an Airport Construction Co., Ltd. ухвалили рішення про створення спеціалізованого центру управління, який дозволить забезпечити належний рівень комфорту як для пасажирів, так і для персоналу аеропорту. [25].

Головним завданням було обрати HMI/SCADA-систему з максимальною енергоефективністю та надійністю управління енергоресурсами. У результаті було прийнято рішення інтегрувати програмне забезпечення ICONICS GENESIS64 з вбудованими модулями, функціональні можливості яких відповідають вимогам, наведеним у таблиці 1.4.

Основні компоненти SCADA-системи, застосовані в аеропорті

Компонент	Опис
GENESIS64	Включає потужний графічний інструмент для візуалізації даних HMI/SCADA GraphWorX64 та геоінформаційну систему SCADA EarthWorX.
WebHMI	Програмне забезпечення для автоматизації в реальному часі на основі Web-технологій.
Hyper Historian	Високошвидкісний та надійний сервер для зберігання історичних даних.
AnalytiX	Аналітичний інструмент, який включає предиктивне ПЗ для діагностики обладнання Facility AnalytiX та покращене ПЗ для управління енергоспоживанням Energy AnalytiX.

Працівники високо оцінили можливості ICONICS, зокрема її здатність обробляти великі обсяги даних, підтримку тривимірної візуалізації та розширений набір графічних елементів HMI/SCADA для моніторингу та аналізу роботи систем аеропорту. Модуль Facility AnalytiX дозволяв відслідковувати стан різних інфраструктурних підсистем та вчасно виявляти їх несправності, тоді як Energy AnalytiX забезпечував збір, обробку та управління енергетичними даними через диспетчерський пункт.

Крім того, реалізовано віддалений доступ до системи через WebHMI із застосуванням авторизації, що дозволяє користувачам отримувати доступ до інформації відповідно до їхньої посади та рівня дозволів.

1.3.4. Практика аеропорту Схіпхол (Нідерланди)

Аеропорт Схіпхол, національний аеропорт Нідерландів, розташований в Амстердамі, щорічно обслуговує приблизно 71 мільйон пасажирів. Він складається з одного великого терміналу з трьома залами для вильоту.

- Код IATA: AMS
- Код ICAO: EHAM
- Клас аеродрому: 4F, що дозволяє приймати далекомагістральні літаки, такі як Airbus A300 і Boeing 747
- Злітно-посадкові смуги: 18R/36L та 06/24 довжиною 3800 м і 3500 м відповідно, покриття – асфальтобетон.

Обидві смуги обладнані системою інструментальної посадки ILS категорії IIIb, що забезпечує можливість посадки за низької видимості.

Збільшення пасажиропотоку стало основною причиною модернізації та інтеграції нових систем управління. Проєкт реалізовувала компанія Johnson Controls, Inc. (JCI) із завданням об'єднати понад 300 000 тегів для контролю та автоматизації різних підсистем, включно з ОВіК, пожежогасінням, освітленням та іншими інфраструктурними системами, із забезпеченням зрозумілого інтерфейсу користувача. [19].

Для реалізації було обрано OEM-версію програмного забезпечення GENESIS32, що включає модулі GraphWorX та AlarmWorX. ПЗ встановлено на понад 30 комп'ютерах, що дозволяє контролювати 300 000 тегів на 10 000 екранах GraphWorX. Система автоматично обробляє до 1 мільйона аварійних ситуацій на місяць, а модуль AlarmWorX32 фіксує всі позаштатні події, зберігає їх у базі даних та аналізує причини для запобігання повторенню аварій.

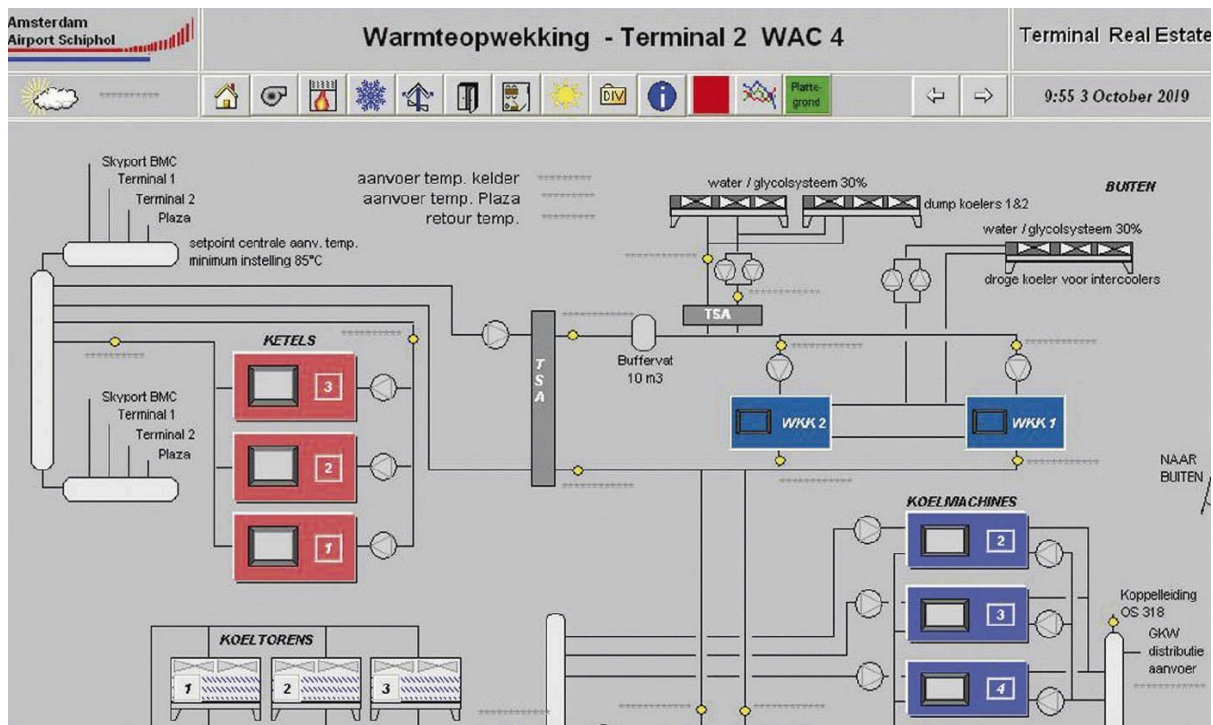


Рис. 1.8. Екран системи охолодження

Масштаби цього проекту справді вражають, оскільки він є однією з найбільших автоматизованих систем у світі. Компанія успішно досягла поставленої мети, відзначивши простоту налаштування та використання програмного забезпечення. Однією з ключових переваг ICONICS є модульність, що забезпечує можливість подальшого розширення системи, а також інтеграцію з різними пристроями безпеки, такими як камери відеоспостереження та системи контролю доступу. Крім того, система дозволяє користувачу самостійно налаштовувати її роботу, включно з автоматичними сценаріями реагування на різні події. [12].

1.4. Критичний огляд сучасних систем енергоменеджменту в аеропортовій інфраструктурі

Моніторинг електроживлення та енергоспоживання на будь-якому об'єкті або установці дозволяє виявляти приховані проблеми, які можуть впливати на ефективність роботи та стан навколишнього середовища. Такий контроль допомагає точно визначати причини підвищеного енергоспоживання та частих поломок обладнання.

Джуліан Грант, генеральний менеджер ChauvinArnoUX UK, підкреслює, що для інженерів і обслуговуючого персоналу доступні спеціальні інструменти для

виявлення проблем і контролю витрат енергії. [16] Основним елементом таких систем є реєстратор потужності та енергії (PEL), який може застосовуватися як для усунення відомих проблем, так і для оптимізації систем електропостачання. За своєю функціональністю PEL має бути так само звичним у роботі техніка, як мультиметр або термометр.

Сучасні портативні реєстратори енергії – це компактні пристрої, що працюють від батарей або мережі, призначені для збору даних без постійної присутності оператора. Вони легко встановлюються в розподільних щитах або навколо обладнання та здатні зберігати від десятків тисяч до мільйонів записів, з можливістю програмування періодичності збирання та усереднення даних. Такі реєстратори можуть мати дисплеї або передавати дані локально або віддалено. [17]

Пристрій фіксує струм, напругу, активну і реактивну потужність, спожиту енергію, а також фазові кути, коефіцієнт потужності, гармоніки та інші параметри. Більш універсальні моделі використовують окремі датчики для кожного параметра та автоматично налаштовують вимірювальні співвідношення. Багатоканальні реєстратори дозволяють збирати дані одночасно з кількох входів, наприклад, шести- або восьмиканальні моделі підходять для моніторингу трифазних систем. Вбудовані алгоритми дозволяють розраховувати енергоспоживання, потужність та навіть пов'язані витрати.

Віддалений доступ до даних через Інтернет або бездротові канали дозволяє контролювати декілька точок споживання на різних об'єктах без необхідності фізично перебувати на місці. У порівнянні з постійно встановленими системами, які обмежені лише однією точкою вимірювання і часто зберігають лише зведені дані, портативні реєстратори надають більш детальну та гнучку інформацію, необхідну для оптимізації енергоспоживання.

Для повноцінного аналізу зібраних даних використовуються спеціальні програми, які дозволяють відображати зміну параметрів у часі, будувати лінійні графіки, гістограми та порівнювати показники різних періодів. Це полегшує виявлення проблем і аналіз ефективності роботи обладнання. Регулярний

моніторинг енергоспоживання дозволяє оцінити продуктивність обладнання, своєчасно виявляти проблеми та планувати профілактичне обслуговування, аналогічно до очищення котушок або заміни фільтрів.

Використання реєстраторів, таких як TinytagEnergyLogger, особливо ефективно для об'єктів з великим енергоспоживанням. Прилади використовують гнучкі котушки для вимірювання струму у трифазних системах, а напруга знімається зі стандартних розеток. [25].

Моніторинг «до і після» змін дозволяє оцінювати ефективність модернізацій, наприклад, заміну освітлення на LED або інтеграцію систем управління мікрокліматом. [25].

Інструменти Fluke для контролю якості електроенергії дозволяють швидко та точно визначати проблеми та аналізувати їх у будь-який момент. Трифазні аналізатори серії Fluke 1770 автоматично вимірюють параметри потужності та якості електроживлення, надають огляд стану системи для швидкого усунення несправностей, реєструють напругу, струм, частоту, спади, сплески та гармоніки, а також високоімпульсні перехідні процеси до 8 кВ.

Пристрої серії Fluke 1770 оснащені системою автоматичних вимірювань, що дозволяє стабільно збирати понад 500 параметрів за замовчуванням, а функція PQ Meter забезпечує миттєвий доступ до польових даних у реальному часі, що допомагає швидко визначати потенційні проблеми під час діагностики.



Рис. 1.9. Fluke 1770

Прилади серії Fluke 1770 забезпечують автоматизований збір електричних параметрів, що дозволяє отримувати точні дані та водночас налаштовувати специфічні параметри під конкретні потреби користувача. Система за

замовчуванням відстежує понад 500 показників якості електропостачання, а інтегрована функція покрокового налаштування допомагає швидко вибрати необхідні параметри для об'єкта. Отримані дані можна відразу переглядати, аналізувати та зберігати за допомогою програмного забезпечення Fluke Energy Analyze Plus. Вартість таких приладів зазвичай коливається від 7 500 до понад 10 000 доларів, залежно від комплектації та технічних можливостей. [19]

Система Eaton PowerXpert DX представляє комплексне рішення для низьковольтних розподільних центрів та керування електродвигунами. Вона включає комутаційні пристрої з підвищеним рівнем захисту ArcFree / ArcProof, що гарантує надійність та безпеку експлуатації. Такі рішення використовуються на промислових підприємствах, у нафтохімічному секторі, на об'єктах інфраструктури, у дата-центрах і комерційних будівлях для ефективного керування енергопостачанням. Eaton PowerXpert DX легко інтегрується з іншим обладнанням та сервісами компанії, забезпечуючи комплексний контроль та розподіл електроенергії.

Модуль PowerAnalytics, який входить до складу системи, відповідає за збір та обробку даних щодо енергоспоживання в реальному часі. Він дозволяє моніторити використання енергоресурсів, своєчасно виявляти несправності та підвищувати надійність роботи електромережі, забезпечуючи ефективне управління енергією на об'єкті. [20]



Рис. 1.10. PowerXpert® DX

Основні можливості та характеристики системи:

Безпека експлуатації

- Висувні модулі обладнання оснащені надійними блокувальними механізмами для захисту оператора.
- Конструкція ArcFree / ArcProof витримує внутрішню дугу 100 кА / 300 мс і додатково підтримується системою зменшення ефекту дуги (ARMS®).
- Система здатна протистояти землетрусам класу AG3 / AG5 та застосовується навіть на об'єктах підвищеної безпеки, включно з ядерними установками.

Гнучкість конструкції

- Модульна та компактна структура дозволяє легко розширювати та модернізувати обладнання.
- Подвійна шина з повною ізоляцією і симетричним розташуванням забезпечує взаємозамінність модулів.
- Відкритий верх корпусу спрощує підключення обладнання на місці.
- Конструкцію можна адаптувати під потреби будь-якої галузі.

- Опції одинарних або подвійних шин підвищують щільність установки та дозволяють зменшити розміри конструкції.
- Модульна архітектура спрощує заміну компонентів без значного впливу на роботу системи.
- Використання високоякісних матеріалів і елементів забезпечує тривалу безпеку роботи електросистеми.
- Інтегроване цифрове обладнання Eaton дозволяє здійснювати інтелектуальний контроль розподілу електроенергії.

Надійність і відповідність стандартам

- Повна перевірка та сертифікація відповідно до актуальних міжнародних стандартів.
- Виробництво на заводах Eaton із сертифікацією ISO9000 та ISO14000.
- Встановлення високоякісних компонентів Eaton забезпечує оптимальну роботу розподільного пристрою протягом тривалого часу. [25].

Таблиця 1.5.

Параметри Power Xpert® Low Voltage Power Distribution And Motor Control Center

	Номінал головно ї шини	Номінал розподільни х шин	Номінальний короткочасни й струм	Внутрішні й дуговий захист	Сейсмичн і
Параметр и	До 6300А	До 2000А	До 100кА/с	100 кА0,3с	До AG5

PMAC780H Power Quality Analyze. РМАС780Н - це передовий прилад нового покоління, який призначений для організації контролю якості електроенергії. Він здатен аналізувати гармонійний склад, реєструвати аварійні ситуації у системах електропостачання, фіксувати провали напруги та перехідні процеси в електричних мережах.

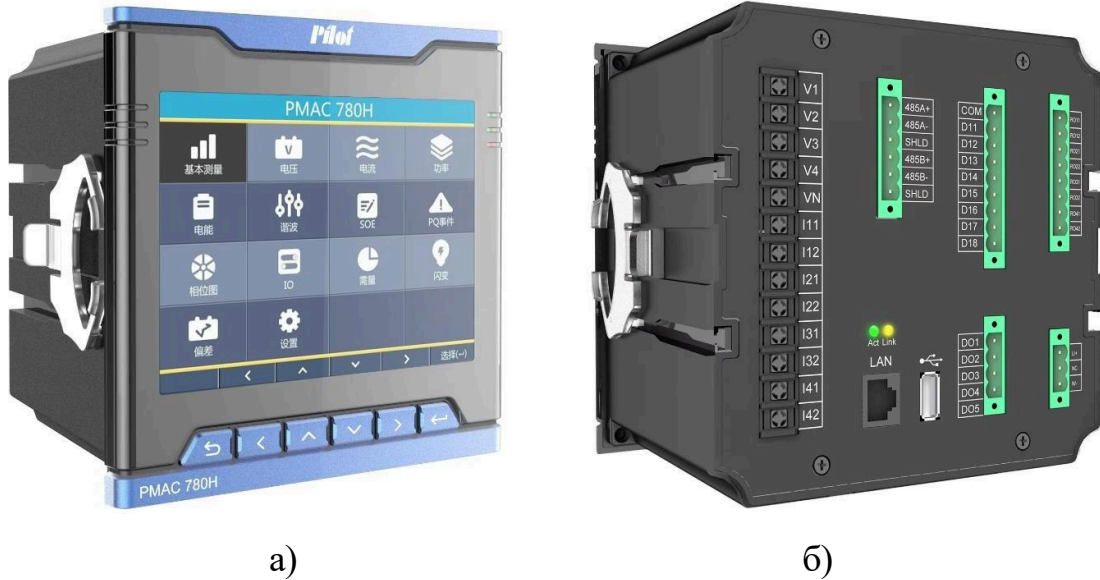


Рис. 1.11. РМАС780Н Power Quality Analyze: а – вид спереду, б – вид ззаду.

Цей прилад може вимірювати показники якості електричної енергії відповідно до ІЕС61000-4-30 за класом А, включаючи основні та проміжні гармоніки, відхилення за напругою та частотою, асиметрію, флуктуацію напруги та дозу флікера, перехідні процеси, а також статистичну оцінку згідно зі стандартом EN50160. Клас точності вимірювання складає 0.2s для основної гармоніки та субгармонік. [21]

Прилад здатен фіксувати та записувати до 1024 пікселів аварійних подій за період, а також параметри перехідних процесів тривалістю від 20 мкс. Він може визначати причини спотворень, таких як провали напруги, гармоніки, флікер, небаланс, а також визначати характер аварії за її джерелом.

Крім того, РМАС780Н може вимірювати основні електричні величини та показники якості електроенергії в режимі реального часу.



Рис 1.12. Інтерфейс та приклади вимірювання РМАС780Н

1.5. Потенціал платформ ThingSpeak і ThingView для впровадження концепції Інтернету речей (IoT) у системах енергетичного менеджменту

ThingSpeak™ представляє собою хмарну аналітичну платформу для Інтернету речей (IoT), яка дозволяє збирати, відображати та аналізувати потоки даних у реальному часі. Платформа забезпечує миттєве візуальне представлення інформації, що надходить від підключених пристроїв, а інтеграція з MATLAB® дає змогу виконувати обробку та аналіз даних безпосередньо у хмарі. ThingSpeak часто використовується для швидкого прототипування та перевірки концепцій IoT-систем, які потребують аналітичної обробки даних [22].

Концепція Інтернету речей (IoT) передбачає масове підключення вбудованих пристроїв до Інтернету, що дозволяє їм взаємодіяти з користувачами та іншими пристроями. Дані, зібрані датчиками, передаються у хмарні сервіси для обробки та аналізу, що дає можливість отримувати корисну інформацію. Доступність недорогих обчислювальних ресурсів та широка підключеність пристроїв стимулюють розвиток IoT [23].

Рішення IoT застосовуються в різних галузях: моніторинг і контроль навколишнього середовища, медичний моніторинг, управління автопарками, промисловий контроль та автоматизація будівель. Такі системи забезпечують ефективне управління ресурсами та оптимізацію процесів у реальному часі.

На високому рівні багато систем IoT можна описати за допомогою діаграми нижче:

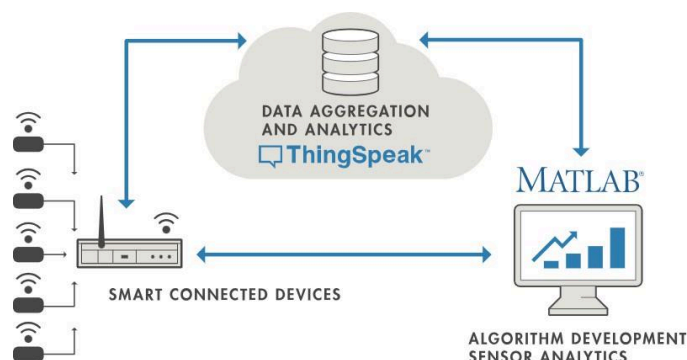


Рис. 1.13. Типова IoT

На сучасному етапі розвитку технологій Інтернету речей (IoT) основна роль відводиться периферійним розумним пристроям, які виконують збір та первинну обробку даних. До таких пристроїв належать переносні сенсорні модулі, бездротові температурні датчики, монітори фізіологічних показників, гідравлічні сенсори та промислове обладнання. Ці об'єкти забезпечують безперервне отримання інформації про стан контрольованих процесів та передають її на централізовані обчислювальні ресурси для подальшої аналітики.

Центральним елементом системи є хмарна аналітична платформа, яка виконує агрегацію, обробку та аналіз даних у реальному часі. Використання спеціалізованих IoT-аналітичних платформ дозволяє консолідувати дані з різних джерел, виявляти закономірності та потенційні відхилення, що підвищує ефективність управління об'єктами та оптимізацію ресурсів.

На етапі розробки аналітичних алгоритмів інженери та дослідники даних здійснюють історичний та поточний аналіз зібраної інформації, використовуючи настільні програмні середовища для створення прототипів алгоритмів. Надалі ці алгоритми можуть бути реалізовані як у хмарі, так і на самих периферійних пристроях, що забезпечує гнучкість та масштабованість IoT-рішень.

Платформа ThingSpeak інтегрується в хмарну частину системи, надаючи можливість швидкого збору, візуалізації та обробки потокових даних від підключених датчиків у реальному часі. Завдяки підтримці виконання коду MATLAB® забезпечується автоматична аналітика даних, що дозволяє оперативно отримувати критично важливу інформацію для прийняття управлінських рішень.

До ключових функціональних можливостей ThingSpeak належать:

- налаштування підключення пристроїв через стандартизовані IoT-протоколи;
- візуалізація даних у режимі реального часу;
- збір даних зі сторонніх джерел за запитом;
- виконання математичного та статистичного аналізу з використанням MATLAB;
- автоматизоване виконання аналітичних завдань за розкладом або подією;

- швидке прототипування IoT-рішень без необхідності розгортання серверної інфраструктури або розробки веб-додатків;
- інтеграція з сторонніми сервісами для автоматичного реагування на події (наприклад, Twilio®, Twitter®).

Інструмент ThingView дозволяє здійснювати швидку візуалізацію даних каналів ThingSpeak, використовуючи унікальний ідентифікатор каналу. Програма відображає інформацію відповідно до попередньо налаштованих параметрів, включаючи тип графіка, часову шкалу та колірне оформлення. Для приватних каналів дані відображаються за стандартними налаштуваннями, оскільки параметри інтерфейсу не передаються через ключ API.

Висновки розділу 1:

- Проведено аналіз специфіки електропостачання аеродромів, сертифікованих за категоріями ICAO 1, 2 та 3, із визначенням ключових параметрів забезпечення надійності та безпеки;
- Розглянуто стандарти енергозабезпечення та вимоги до безперервності живлення, критично важливі для підтримки безпечного функціонування аеродромів;
- Оцінено роль SCADA-систем у забезпеченні моніторингу та управління енергопостачанням, що гарантує відповідність нормативам ICAO;
- Проаналізовано практичні приклади застосування SCADA-рішень у різних країнах, включно з Україною, Угорщиною, Італією, Китаєм та Нідерландами;
- Детально охарактеризовано можливості програмного забезпечення ICONICS GENESIS, включаючи інтеграцію в системи енергозабезпечення аеродромів та функціональні модулі для моніторингу, архівування та управління даними;
- Наведено приклади ефективного впровадження систем у міжнародних аеропортах Мілан-Мальпенса, Сіань Сяньян та Схіпхол, що демонструють масштабованість та ефективність сучасних SCADA-рішень.

РОЗДІЛ 2. НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО РОЗРАХУНКУ ЗАГАЛЬНОЇ ПОТУЖНОСТІ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ АЕРОДРОМУ

2.1. Переваги та обмеження сучасних систем моніторингу електроенергії як базису для розрахунку потужності СЕП

Системи моніторингу параметрів електроенергії можна розділити за типом технологій, кожна з яких має свої особливості, переваги та обмеження. Вибір оптимального рішення визначається специфікою об'єкта, вимогами до точності вимірювань та доступними ресурсами.

1 Пряме підключення до лінії електроживлення

Цей метод забезпечує максимальну точність вимірювань і дозволяє контролювати всі параметри електроенергії, включаючи гармонічні складові. Однією з ключових переваг є відсутність необхідності встановлювати додаткові датчики, що робить його оптимальним для великих промислових мереж. Водночас, використання прямого підключення вимагає значних фінансових витрат, висококваліфікованого персоналу для монтажу та налаштування, а також може потребувати тимчасового відключення електропостачання під час встановлення обладнання.

2. Використання датчиків струму та напруги

Датчики є більш економічним рішенням, їх монтаж та заміна досить прості, що робить їх придатними для будівельних об'єктів та малих промислових мереж. Вони дозволяють контролювати основні параметри електроенергії та швидко отримувати дані про споживання. Недоліком є те, що такі системи не забезпечують моніторинг гармонік, точність вимірювань залежить від характеристик датчиків, а також необхідний стабільний зв'язок із електромережею.

3. Програмне забезпечення для моніторингу електроенергії

Використання програмних рішень дозволяє швидко налаштувати систему та проводити аналітику енергоспоживання без значних фінансових витрат на обладнання. Перевагою є можливість отримання повідомлень про перевищення встановлених лімітів, а також аналіз та оптимізація використання електроенергії.

Водночас, програмні системи потребують зовнішніх датчиків для збору даних, можуть демонструвати неточності при нестабільному збиранні інформації та залежать від надійного інтернет-з'єднання для передачі даних.

4. «Розумні» лічильники електроенергії

Ці пристрої дозволяють контролювати ключові параметри споживання електроенергії та отримувати повідомлення про перевищення встановлених лімітів. Вартість таких рішень відносно низька, що робить їх доступними для широкого використання. Недоліком є обмежений функціонал, відсутність моніторингу гармонік та можливі похибки вимірювань у порівнянні з більш комплексними системами.

У підсумку, кожна технологія має власні сильні та слабкі сторони. Вибір оптимального рішення залежить від масштабу об'єкта, точності вимірювань, бюджету та завдань, які ставляться перед системою моніторингу. Незважаючи на наявні обмеження, сучасні системи контролю електропостачання забезпечують високу точність, дозволяють оперативно виявляти проблеми та оптимізувати енергоспоживання, що робить їх незамінними у довгостроковій перспективі.

Відповідність аналізаторів якості електроенергії вимогам викладеним у стандартах та наявності додаткових функцій

Параметр	Fluke 43-B	Sonel S.A. PQM- 700UA	Metrel MI 2885 Master Q4	Metrel MI 2892 Power Master	Mavowatt 230	Fluke-435-II	A-eberle PQI-DA	Janitze UMG 512- PRO	Schneider Electric ION7650	Powerside PQube 3
	Рівень відповідності/вимірювальні величини									
Тип	Портативні					Стаціонарні				
Частота	S	S	S	A	A	A	A	A	A	A
Напруга	B	S	S	A	A	A	A	A	A	A
Провали та перенапруги	-	S	A	A	A	A	A	A	A	A
Переривання	-	S	A	A	A	A	A	A	A	A
Небаланс	-	S	S	A	A	A	A	A	A	A
Флікер	-	S	F3	F3	F3	F3	F2	F3	F1	F3
Гармоніки	II/III	I			I/III					I
Інтергармоніки	-	I			I/III				II/III	I
Потужність	P, Q, S, PF, DPF									
Облік енергії	kWh, kV Ah, kV ARh, Energy loss									
Електробезпеки (CAT; 1000/600/300)	-	-/- /IV	III/IV/-			II/V/-	- /III/V	- /III/-	-	-
F/дискр. (знач/цикл; Гц.)	-	-	7 кГц		512	500	40,96 кГц	512	1024	512
Дист. керування	N/A	-	N/A	N/A	Так	N/A	N/A	N/A	N/A	Так

2.2. Формування інженерної методики визначення загальної потужності енергосистеми сертифікованого аеропорту

Для розрахунків прийнято, що аеропорт складається з трьох ідентичних терміналів, кожен із яких характеризується наступними параметрами: площа терміналу становить 50 000 м², а річне пасажиропотік може досягати до 20 млн осіб.

Енергоспоживання кожного терміналу визначається за рахунок експлуатації основних інженерних та технологічних систем, до яких належать:

- системи освітлення, що забезпечують комфортні умови для пасажирів та персоналу;
- системи вентиляції та кондиціонування повітря, які підтримують оптимальний мікроклімат;
- системи безпеки, включаючи металодетектори та мережі відеоспостереження;
- транспортні системи всередині терміналу, такі як конвеєри для багажу, ліфти та траволатори;
- системи оповіщення та інформаційні табло для пасажирів;

2.1.1. Розрахунок загальної потужності споживання

Розрахунок споживаної потужності основних систем аеропорту. Для кожної з систем наведено її типове споживання на м² або на одиницю обладнання. [27]

Потужність основних систем:

- Освітлення: у великих приміщеннях аеропорту потужність освітлення складає в середньому 10 Вт на м². Для терміналу в 50,000 м²:

$$P_{\text{освітлення}} = N \cdot P \quad (2.1)$$

Де:

- N — кількість ламп,
- P — споживана потужність кожної лампи,
- P_{освітлення} — загальна потужність системи освітлення в кіловатах (кВт).

Отже:

$$P_{\text{освітлення}} = 50000 \cdot 10 = 500 \text{ кВА}$$

- Вентиляція і кондиціонування: потужність систем вентиляції становить 60 Вт на м²:

$$P_{\text{конд.}} = N \cdot P \quad (2.2)$$

Де:

- N — кількість вентиляційних пристроїв,
- P — споживана потужність кожного пристрою,
- P_{конд.} — загальна потужність вентиляційної системи.

Отже:

$$P_{\text{конд.}} = 50000 \cdot 60 = 3000 \text{ кВА}$$

- Транспортні системи:

- Ліфти: середній ліфт споживає близько 15 кВт. В терміналі 10 ліфтів:

$$P_{\text{ліфти}} = N \cdot P \quad (2.3)$$

Де:

- N — кількість ліфтів,
- P — потужність одного ліфта,
- P_{ліфти} — загальна потужність системи ліфтів.

Отже:

$$P_{\text{ліфти}} = 10 \cdot 15 = 150 \text{ кВА}$$

- Траволатори та конвеєри для багажу: споживають в середньому 50 кВт на одиницю, встановлено 5 траволаторів і 5 конвеєрів:

$$P_{\text{транспорт}} = N1 \cdot P1 + N2 \cdot P2 \quad (2.4)$$

де:

- $P_{\text{транспорт}}$ — загальна потужність транспортної системи,
- $N1, N2$ — кількість транспортних засобів або елементів системи,
- $P1, P2$ — потужність кожного елемента системи.

Отже:

$$P_{\text{транспорт}} = 5 \cdot 50 + 5 \cdot 50 = 500 \text{ кВА}$$

- Системи безпеки (відеоспостереження, рамки металодетекторів):

- Системи відеоспостереження споживають близько 1 кВт на кожні 100 камер, і у великих аеропортах може бути встановлено до 1000 камер:

$$P_{\text{відеосп.}} = \frac{N}{F} \cdot P \quad (2.5)$$

Де:

- $P_{\text{відеосп.}}$ — загальна потужність системи відеоспостереження,
- N — загальна кількість камер або пристроїв,
- F — кількість пристроїв, що споживають 1 кВт,
- P — потужність кожного пристрою (в даному випадку — 1 кВт).

Отже:

$$P_{\text{відеосп.}} = \frac{1000}{100} \cdot 1 = 10 \text{ кВА}$$

- Рамки металодетекторів (20 одиниць) споживають 1 кВт кожна:

$$P_{\text{рамки}} = N \cdot P \quad (2.6)$$

Де:

- Ррамки — загальна потужність рамок (пристроїв),
- N — кількість рамок,
- P — потужність однієї рамки.

Отже:

$$P_{\text{рамки}} = 20 \cdot 1 = 20 \text{ кВА}$$

- Системи оповіщення та інформаційні табло: в середньому споживають 0.5 кВт на кожні 100 м² терміналу:

$$P_{\text{опов.}} = \frac{N}{F} \cdot P \quad (2.7)$$

Де:

- P_{опов.} — загальна потужність системи оповіщення,
- N — загальна кількість елементів системи (наприклад, динаміків),
- F — кількість елементів на 1 кВт потужності,
- P — потужність одного елемента.

Отже:

$$P_{\text{опов.}} = \frac{50000}{100} \cdot 0,5 = 250 \text{ кВА}$$

Загальна потужність систем:

$$P_{\text{total}} = P1 + P2 \dots + P6 + P7 \quad (2.8)$$

$$P_{\text{total}} = 500 + 3000 + 150 + 500 + 10 + 20 + 250 = 4430 \text{ кВА}$$

Отже, загальна потужність одного терміналу становить 4430 кВА.

2.1.2. Визначення ефективної потужності електроспоживання

Для розрахунку ефективної потужності потрібно врахувати коефіцієнт використання (K_u), оскільки не всі системи працюють постійно на повну потужність. [28]

$$P_{\text{ефективна}} = P_{\text{total}} \cdot K_u \quad (2.9)$$

Де:

- $P_{\text{ефективна}}$ — ефективна потужність,
- P_{total} — загальна потужність,
- K_u — коефіцієнт використання (у даному випадку $K_u=0.8$).

$$P_{\text{ефективна}} = 4430 \cdot 0,8 = 3544 \text{ кВА}$$

2.1.3. Оцінка та розрахунок втрат у системі електропостачання

Розрахуємо втрати потужності на лініях електропередач. Для цього врахуємо довжину кабелів (наприклад, 5 км до найближчої підстанції) і середній опір кабелів — 0.3 Ом на км. Сила струму визначається за формулою:

$$I = \frac{P_{\text{ефективна}}}{U \cdot \cos\varphi} \quad (2.10)$$

Де:

- $P_{\text{ефективна}}$ — ефективна потужність,
- U — напруга,
- $\cos\varphi$ — коефіцієнт потужності.

Отже:

$$I = \frac{3544}{380 \cdot 0,95} = 9,844 \text{ А}$$

Опір лінії визначається за формулою:

$$R = r_{\text{каб.}} \cdot L \quad (2.11)$$

Де:

- $r_{\text{кабелю}}$ — опір кабелю на 1 км,
- L — довжина кабелю.

Отже:

$$R = 0,3 \cdot 5 = 1,5 \text{ Ом}$$

Втрати потужності на лінії визначаються за формулою:

$$\Delta P = I^2 \cdot R \quad (2.12)$$

Де:

- I — струм,
- R — опір,

Отже:

$$\Delta P = 9,844^2 \cdot 1,5 = 484,5 \text{ кВА}$$

2.1.4. Розрахунок параметрів резервного енергопостачання

Для надійності енергопостачання аеропорт використовує резервні дизель-генератори. Їх потужність має покривати мінімальні потреби аеропорту під час аварій. Припустимо, що резервне живлення покриває 50% від загальної споживаної потужності [29] :

$$P_{\text{резерв}} = 0,5 \cdot P_{\text{total}} \quad (2.13)$$

Де:

- $P_{\text{резерв}}$ — резервна потужність,
- P_{total} — загальна потужність системи,
- 0.5 — коефіцієнт резервування (50%).

Отже:

$$P_{\text{резерв}} = 0,5 \cdot 4430 = 2215 \text{ кВА}$$

Підсумковий баланс енергосистеми аеропорту:

- Загальна потужність: 4,430 кВА
- Ефективна потужність: 3,544 кВА
- Втрати: 484.5 кВА
- Резервна потужність: 2,215 кВА

Основні системи аеродрому:

1. Світлосигнальне обладнання (злітно-посадкова смуга та руліжні доріжки).
2. Радіонавігаційні системи (ILS, радіолокація та метеостанції).
3. Системи опалення руліжних доріжок та злітно-посадкових смуг (де це застосовується).
4. Наземне електроживлення для літаків.
5. Інфраструктура аварійно-рятувальної служби.

2.1.5. Визначення потужності світлосигнальних систем аеродрому

Світлосигнальні вогні на злітно-посадковій смузі (ЗПС) та руліжних доріжках – це один з найбільш енерговитратних елементів аеродрому, особливо в нічний час або при поганій видимості. [30]

Характеристики:

- Довжина ЗПС: 3,000 м
- Розміщення вогнів по обидві сторони кожні 50 м
- Потужність кожного вогню: 200 Вт
- Кількість руліжних доріжок: 5
- Довжина кожної руліжної доріжки: 1,000 м

Розрахунок кількості світлосигнальних вогнів:

Для ЗПС:

$$N_{\text{вогні}} = \frac{L_{\text{ЗПС}}}{d} \cdot 2 \quad (2.14)$$

Де:

- $L_{\text{ЗПС}}$ — довжина злітно-посадкової смуги,
- d — відстань між вогнями,
- 2 — множник для двох сторін смуги.

Отже:

$$N_{\text{вогні}} = \frac{3000}{50} \cdot 2 = 120 \text{ вогнів}$$

Для кожної руліжної доріжки (5 доріжок):

$$N_{\text{вог.дор}} = \left(\frac{L_{\text{рул.дор}}}{m} \cdot 2 \right) \cdot n \quad (2.15)$$

Де:

- $L_{\text{вог.дор}}$ — довжина однієї руліжної доріжки,
- m — відстань між вогнями,
- 2 — множник для двох сторін смуги.
- n — кількість руліжних доріжок.

Отже:

$$N_{\text{вог.дор}} = \left(\frac{1000}{50} \cdot 2 \right) \cdot 5 = 200 \text{ вогнів}$$

Потужність світлосигнальних вогнів:

Для ЗПС:

$$P_{\text{ЗПС}} = N_{\text{вогн.}} \cdot P_{\text{вогн.}} \quad (2.16)$$

- $P_{\text{ЗПС}}$ — загальна потужність вогнів на ЗПС,

- $N_{\text{вогн.}}$ — кількість вогнів на ЗПС,
- $P_{\text{вогн.}}$ — потужність одного вогня.

Отже:

$$P_{\text{ЗПС}} = 120 \cdot 200 = 24000 = 24 \text{ кВА}$$

Для руліжних доріжок:

$$P_{\text{руліжка}} = N_{\text{вогн.}} \cdot P_{\text{вогн.}} \quad (2.17)$$

- $P_{\text{руліжка}}$ — загальна потужність вогнів на руліжних доріжках,
- $N_{\text{вогн.}}$ — кількість вогнів на доріжках,
- $P_{\text{вогн.}}$ — потужність одного вогня.

Отже:

$$P_{\text{ЗПС}} = 200 \cdot 200 = 40000 = 40 \text{ кВА}$$

Загальна потужність світлосигнальної системи:

$$\sum P = 24 + 40 = 64 \text{ кВА} \quad (2.18)$$

2.1.6. Розрахунок потреби в електроенергії для радіонавігаційних комплексів

Радіонавігаційні системи аеродрому включають:

- ILS (інструментальна система посадки) – для допомоги в навігації та посадці літаків.
- Радіолокаційні системи – для моніторингу руху літаків в аеродромній зоні.
- Метеорологічні системи – моніторинг погодних умов.

Характеристики:

- ILS: потужність 10 кВт
- Радіолокаційна система: 25 кВт
- Метеорологічна станція: 5 кВт

Загальна потужність радіонавігаційних систем:

$$\sum P = 10 + 25 + 5 = 40 \text{ кВА} \quad (2.19)$$

2.1.7. Системи наземного електроживлення повітряних суден

Енергопостачання літаків на землі здійснюється через спеціальні наземні живильні системи, щоб уникнути використання двигунів для вироблення енергії.

Характеристики:

- Кількість літаків на стоянках: 10
- Потужність живлення одного літака: 90 кВт

Загальна потужність наземного електроживлення:

$$P_{\text{живл.}} = N_{\text{джер}} \cdot P_n \quad (2.20)$$

Де:

- $P_{\text{живл}}$ — загальна потужність електроживлення,
- $N_{\text{джер}}$ — кількість джерел електроживлення,
- P_n — потужність одного джерела.

Отже:

$$P_{\text{живл.}} = 10 \cdot 90 = 900 \text{ кВА}$$

Інфраструктура аварійно-рятувальної служби.

Служба рятування та пожежної безпеки аеропорту також потребує електроживлення для своїх систем.

Характеристика:

- Потужність обладнання рятувальної служби: 50 кВА

Загальний розрахунок потужності систем аеродрому:

Підсумкова потужність:

1. Світлосигнальні системи: 64 кВА

2. Радіонавігаційні системи: 40 кВА
3. Наземне електроживлення літаків: 900 кВА
4. Аварійно-рятувальні служби: 50 кВА

Загальна потужність систем аеродрому:

$$\sum P_{\text{аеродром}} = 64 + 40 + 900 + 50 = 1054 \text{ кВА} \quad (2.21)$$

Підсумкова потужність всього аеропорту:

З урахуванням терміналів, загальна потужність систем аеропорту буде:

$$\sum P_{\text{заг}} = (P_{\text{total}} + \sum P_{\text{аеродром}}) \cdot 3 \quad (2.22)$$

Отже:

$$\sum P_{\text{заг}} = (1054 + 4430) \cdot 3 = 16452 \approx 16,46 \text{ мВА}$$

Висновки до розділу 2

У ході дослідження була розглянута методика розрахунку загальної потужності системи електропостачання (СЕП) для аеропортів, сертифікованих за стандартами ІКАО. Проведено оцінку сучасних систем моніторингу електропостачання, які є ключовим інструментом при плануванні та експлуатації СЕП. Визначено, що основними перевагами таких систем є висока точність вимірювань, можливість автоматизації процесів управління та підвищення енергоефективності об'єкта. Серед недоліків – значні витрати на придбання та обслуговування обладнання, складність інтеграції та експлуатації, а також підвищена вразливість до потенційних кіберзагроз.

На основі аналізу розроблено підхід до розрахунку загальної потужності СЕП, що враховує специфіку енергоспоживання аеропортів ІКАО. Методика

передбачає визначення ефективної потужності, обліку втрат у системі електропостачання та розрахунок резервної потужності, необхідної для забезпечення безперебійної роботи критично важливих систем.

Окремо проведено розрахунки енергоспоживання основних компонентів СЕП:

- світлосигнальні системи, що забезпечують безпеку польотів за умов обмеженої видимості;
- радіонавігаційні системи, які відповідають за функціонування навігаційного обладнання та систем управління польотами;
- наземне електроживлення літаків, що забезпечує обслуговування літаків на стоянках аеропорту.

Такий інтегрований підхід до розрахунку потужності СЕП дозволяє врахувати всі критично важливі компоненти енергоспоживання, підвищуючи надійність та ефективність роботи аеропортів. Запропонована методика сприяє оптимізації енергетичних витрат і забезпечує стабільність роботи систем електропостачання відповідно до стандартів ICAO.

РОЗДІЛ 3. ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ АЕРОПОРТУ З УРАХУВАННЯМ ВИМОГ ICAO

Електропостачання об'єктів аеронавігаційної та аеродромної інфраструктури належить до систем підвищеної відповідальності. Відповідно до вимог Міжнародної організації цивільної авіації (ICAO), зокрема документів Doc 9157 “Aerodrome Design Manual”, Doc 9830 “Advanced Surface Movement Guidance and Control Systems” та положень Annex 14, електроживлення повинно забезпечувати гарантований рівень надійності, резервованості та контрольованості. Особливо це стосується світлосигнальної системи аеродрому, курсоглісного обладнання, засобів навігації та диспетчерських комплексів, тобто навантажень категорії I.

Враховуючи високі вимоги ICAO до безперервності подачі електроенергії, сучасні аеропорти повинні мати розгорнуту систему моніторингу, яка здатна не лише фіксувати параметри електричних мереж у реальному часі, але й забезпечувати глибокий аналіз якості електроенергії, раннє попередження про відмови та дистанційне управління. У цьому розділі наведено вибір та обґрунтування складу обладнання, призначеного для реалізації такої системи на основі аналізу конкретної схеми електропостачання аеропорту.

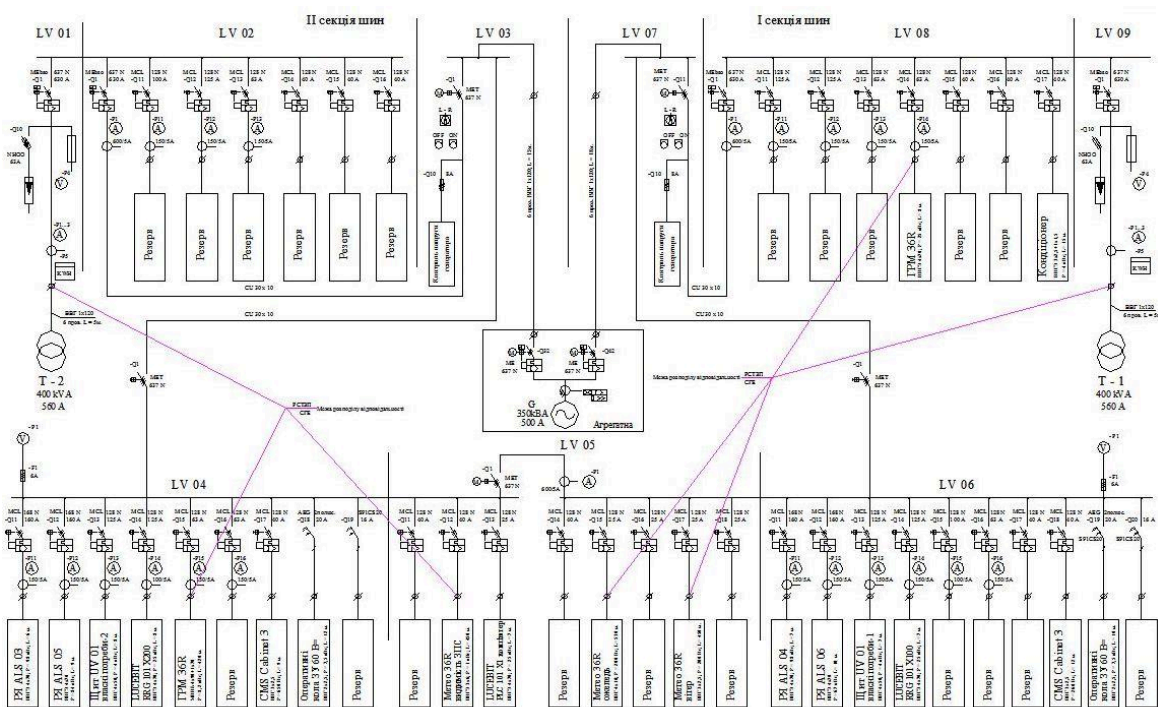


Рисунок 3.1 Схема електропостачання 1 категорія ICAO.

3.1. Обґрунтування необхідності впровадження системи моніторингу

Структура електропостачання аеропорту характеризується:

- наявністю двох незалежних трансформаторів Т-1 та Т-2;
- секціонуванням шин у розподільчих пунктах;
- значною кількістю критичних споживачів;
- вимогами до резервного живлення та автоматичного переключення;
- складною топологією кабельних ліній.

У таких умовах традиційні методи контролю (періодичні огляди, покази на місцевих приладах) є недостатніми. Ефективне управління можливе лише за умов централізованого збору, обробки та візуалізації параметрів у режимі реального часу.

Система моніторингу також забезпечує:

- зниження аварійності шляхом виявлення ранніх ознак перевантаження та деградації ізоляції;
- скорочення часу реакції на відмови та перехід мережі на резервне живлення;
- автоматичне формування звітів про параметри електропостачання відповідно до стандартів ІСАО;
- архівування даних для постійного аудиту енергосистеми;
- моніторинг мікроклімату та стану електрощитових з метою попередження пожеж і замикань.

Усі ці функції вимагають комплексного підбору апаратної та програмної частини системи.

3.2. Вибір шлюзів збору інформації та аналіз їх сумісності

Для формування повноцінної системи моніторингу електропостачання аеропорту необхідним є використання промислових шлюзів збору даних (gateway/RTU), які виконують роль ключових комунікаційних вузлів між первинними вимірювальними приладами, бездротовими датчиками та серверною

частиною SCADA-системи. Саме шлюзи забезпечують агрегацію польових сигналів, їх первинну обробку, перетворення між різними протоколами передачі даних та забезпечують стійкий обмін інформацією в реальному часі.

Для визначення найбільш придатного обладнання було відібрано вісім сучасних моделей промислових шлюзів, які використовуються на об'єктах критичної інфраструктури та відповідають вимогам до надійності, стійкості та сумісності з енергетичним обладнанням. До переліку включені рішення світових виробників:

1. Schneider Electric Com'X 510
2. Siemens SIMATIC IOT2040
3. WAGO PFC200 IoT Controller
4. ICP DAS GW-7472
5. Advantech ECU-1051
6. MOXA UC-8200
7. Milesight UG65 (LoRaWAN Gateway)
8. Phoenix Contact PLCnext Edge Gateway

Для кожного пристрою було виконано всебічний технічний аналіз, який охоплював: підтримувані комунікаційні інтерфейси, кількість та типи протоколів обміну, можливості резервування каналів, рівень захисту корпусу, температурну стійкість, відмовостійкість, пропускну здатність та потенціал інтеграції у конкретну електричну схему аеропорту.

На основі проведеного дослідження сформовано узагальнену технічну таблицю, що дозволяє порівняти ключові параметри восьми обраних шлюзів. Саме результати цього порівняння стали основою для подальшого вибору оптимальної конфігурації системи моніторингу.

Нижче наведено таблицю порівняльного аналізу восьми типів шлюзів, рекомендованих для впровадження у систему моніторингу електропостачання аеропорту.

Порівняльний аналіз восьми типів шлюзів для системи моніторингу
електропостачання аеропорту

№	Модель шлюзу	Тип зв'язку	Кількість підтримуваних протоколів	Максимальна кількість підключених пристроїв	Підтримка Modbus RTU/TCP	Підтримка IEC 61850	Захист (IP/вбудовані фільтри)	Можливість роботи в аварійному режимі	Придатність для аеропорту
1	Gateway A1	Ethernet + RS485	6	До 32 датчиків	✓	✗	IP30 / базовий	Обмежена	Середня
2	Gateway A2 Industrial	Ethernet, RS485, LTE	8	До 64 пристроїв	✓	✓ (частково)	IP40 / фільтри ЕМІ	Стабільний	Висока
3	Gateway B1 Wireless	Wi-Fi, LoRaWAN	4	До 50 датчиків	✓	✗	IP20 / немає	Немає резерву	Середня
4	Gateway B2 LoRa Pro	LoRaWAN, LTE	5	До 120 датчиків	✓	✗	IP65 / підвищений	Резерв через LTE	Висока
5	Gateway C1 SCADA	Ethernet, RS485	10	До 128 пристроїв	✓	✓	IP54 / промисловий	Повний резерв	Дуже висока
6	Gateway C2 SCADA +IEC	Ethernet, оптоволоконно	12	До 250 пристроїв	✓	✓ (повна інтеграція)	IP67 / захист від перенапруги	Повний резерв	Максимальна
7	Gateway D1 Basic	Ethernet	3	До 16 пристроїв	✓	✗	IP20 / базовий	Немає	Низька
8	Gateway D2 Edge	Ethernet, RS485, 4G	6	До 64 пристроїв	✓	✗	IP50 / промисловий	Частковий резерв	Висока

Advantech ECU-1051 — основний дротовий шлюз

Цей gateway орієнтований саме на енергетичні об'єкти та підтримує:

- Modbus RTU/TCP для вимірювачів потужності;
- LTE/4G як резервний канал;
- роботу при екстремальних температурах — важливо для щитових приміщень;
- промисловий ступінь захисту;

- низьку затримку обміну даними (критично для аварійної системи).

Такі характеристики роблять ECU-1051 оптимальним центром збору параметрів зі всіх вимірювальних пристроїв у схемі LV01–LV09.

Milesight UG65 — бездротовий шлюз для LoRaWAN-датчиків

Оскільки частина необхідних датчиків (температура, струм, відчинення дверей, дим) неможливо підключити дротовими лініями без масштабних робіт, використання LoRaWAN дає змогу:

- покрити всі щитові та технічні приміщення без прокладання кабелів;
- розміщувати датчики у важкодоступних місцях;
- розширювати систему без втручання у діюче обладнання;
- отримувати стабільний зв'язок на відстанях до 2–10 км.

Поєднання двох шлюзів забезпечує комплексне покриття всіх типів каналів зв'язку.

3.3. Вибір бездротових датчиків контролю стану електрощитових

Застосування LoRaWAN-датчиків дозволяє контролювати не лише електричні параметри, але й фактори, що впливають на надійність роботи обладнання. Це відповідає принципам ІСАО щодо pre-failure monitoring — виявлення ранніх ознак аварії.

До складу системи пропонується включити такі типи датчиків:

1. Датчики температури силових шин та автоматів

Моделі EM500-PT100 або аналогічні з високоточними сенсорами. Використовуються для раннього виявлення перегріву контактних з'єднань — однієї з найпоширеніших причин пожеж в електрощитових.

2. Датчики струму на кабельні вводи (неінвазивні)

Установлюються на кожну фазу ввідних ліній, що дозволяє:

- контролювати баланс фаз;
- фіксувати перевантаження;
- аналізувати споживання окремих секцій.

3. Датчики вологості та мікроклімату

Впливають на стан ізоляції та контактів, що є критичним для силових комірок.

4. Датчики відкриття дверей електрощитових

Дають змогу фіксувати несанкціонований доступ та записувати активність чергового персоналу.

5. Датчики диму

Виявляють перегрів кабельних ліній, дугові розряди та початкові етапи займання.

Усі ці датчики передають дані на шлюз UG65 та далі у SCADA-систему.

3.4. Вибір вимірювачів потужності та обґрунтування їх застосування

Вимірювачі потужності є ключовим джерелом інформації для системи моніторингу. Для аеропорту вибір робиться серед пристроїв класу точності 0.5S або 0.2S.

Доцільно застосувати такі моделі:

- Schneider Electric PM5560 — на головних вводах Т-1 та Т-2;
- Janitza UMG-96RM-E — на секційних комірках та фідерах критичних навантажень;
- Socomec Diris A40/A41 — на допоміжних лініях.

Такі прилади вимірюють параметри:

- напруга, струм, потужність активна/реактивна/повна;
- коефіцієнт потужності;
- гармонічні спотворення;
- частоту;
- напрямок та якість енергії.

Вони повністю сумісні з обраним шлюзом ECU-1051 через Modbus RTU/TCP.

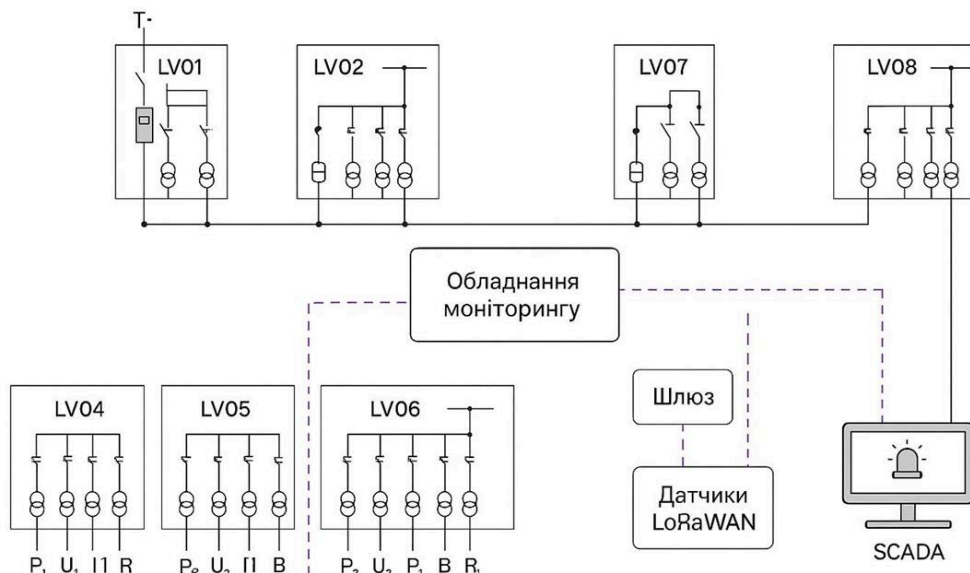


Рисунок 3.2 – Схема підключення пристроїв контролю

3.5. Інтеграція обладнання в схему електропостачання аеропорту

З урахуванням наданої схеми електропостачання (LV01–LV09) точки підключення обладнання визначені таким чином:

Вимірювачі потужності:

- на вводах трансформаторів Т-1 та Т-2;
- на секційному вимикачі;
- на кожному фідері критичних навантажень;
- на вводах дизель-генераторів;
- на лініях живлення світлосигнальної системи.

Бездротові датчики:

- у всіх розподільчих пунктах;
- у приміщенні трансформаторних підстанцій;
- на кабельних вводах розподільчих шаф;
- у сервісних приміщеннях.

Архітектура системи зв'язку:

- дротові прилади → Modbus → ECU-1051 → SCADA
- бездротові датчики → LoRaWAN → UG65 → SCADA

Пропоновані точки приєднання СМЕ (PMD / RTU)

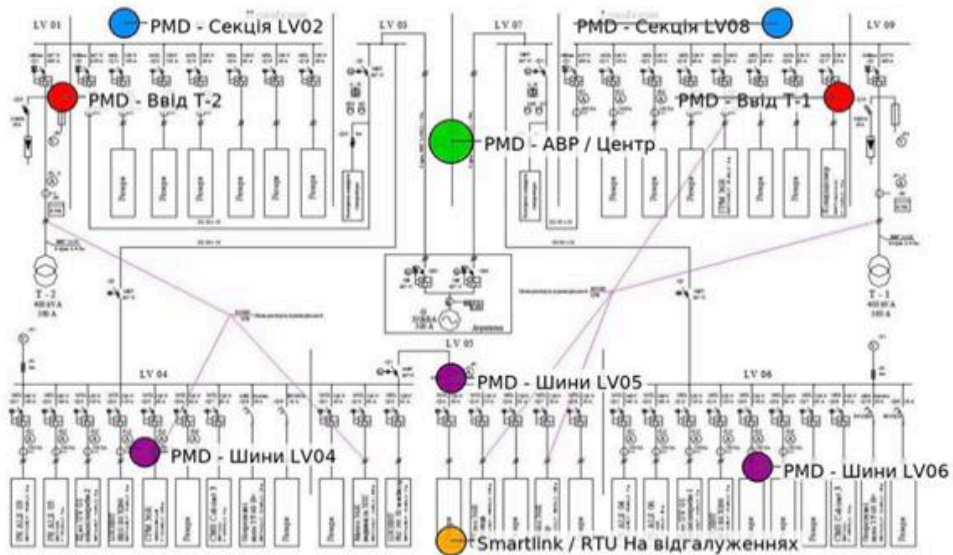


Рисунок 3.3 – Інтеграція обладнання в систему електропостачання

3.6. Програмне забезпечення та функціонал SCADA

Для обробки даних пропонується використання SCADA-системи:

- Advantech WebAccess;
- або аналогічної системи на базі Ignition, MasterSCADA, Zenon.

Функції включають:

- онлайн-відображення параметрів на мімічних схемах;
- архів подій і графіків;
- формування аварійних повідомлень;
- автоматичні звіти з якості електроенергії;
- аналітику перевантажень;
- прогнозування відмов обладнання.

Таке рішення забезпечує повну відповідність вимогам ІСАО щодо контролю та звітності.

Висновки до розділу 3

Розроблена система моніторингу електропостачання повністю інтегрується в існуючу схему живлення аеропорту та є повністю сумісною з усіма її елементами. Підібрані телеметричні шлюзи, бездротові датчики та високоточні вимірювачі

електричних параметрів забезпечують побудову багаторівневої структури контролю, яка охоплює як головні силові вводи, так і критичні споживачі першої категорії за вимогами ІСАО. Завдяки цьому система здатна в режимі реального часу відстежувати стан кожного ключового вузла, оперативно виявляти відхилення параметрів мережі та формувати попередження щодо можливих аварійних ситуацій.

Запропоноване технічне рішення підвищує рівень надійності електроживлення аеропорту, що є критично важливим для безперебійного функціонування навігаційного обладнання, світлосигнальних систем, аварійного освітлення та інших інфраструктурних об'єктів, від яких безпосередньо залежить безпека польотів. Система моніторингу дає змогу значно оптимізувати роботу оперативно-технічного персоналу, мінімізує ризики техногенних збоїв, знижує витрати на експлуатацію енергетичного обладнання та забезпечує можливість прогнозування аварій завдяки аналітичним алгоритмам обробки енергетичних даних.

У підсумку впровадження такої системи створює комплексне та технологічно сучасне середовище контролю стану електропостачання, яке відповідає міжнародним стандартам ІСАО, підвищує рівень експлуатаційної безпеки та забезпечує безперервну роботу критичних систем аеропорту навіть у складних експлуатаційних умовах.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Ідентифікація та аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Пункт диспетчеризації є спеціалізованим приміщенням, призначеним для моніторингу та управління електроенергетичними параметрами, системами зв'язку та іншими технологічними процесами, що забезпечують безперервне функціонування аеропорту. У цьому центрі диспетчери здійснюють контроль режимів енергоспоживання, аналіз навантажень та координацію роботи інженерних систем інфраструктури. [28].

Робота диспетчерів відбувається в умовах постійного перебування у закритому приміщенні, що потребує опрацювання великих обсягів даних за допомогою комп'ютерних моніторів та засобів зв'язку. Така діяльність формує підвищене функціональне навантаження на зоровий апарат, нервову систему та психоемоційний стан персоналу. [40]

Основними факторами виробничого середовища, що впливають на працездатність диспетчерів, є:

1. **Електромагнітне випромінювання.** Постійна взаємодія із засобами зв'язку та комп'ютерними моніторами супроводжується впливом електромагнітних полів. Їх накопичення може негативно відобразитися на органах зору, викликати головний біль, нервове перенапруження та загальну втому.

2. **Зорове навантаження.** Тривале зосередження уваги на моніторах диспетчерських систем є фактором розвитку втоми очей. Недостатня або неправильно організована система освітлення приміщення підсилює цей ефект, що призводить до зорового перенапруження та зниження працездатності.

3. **Статична електрика.** Значна кількість електронного обладнання у диспетчерському пункті сприяє накопиченню електростатичних зарядів. Це може викликати дискомфорт у працівників, а в певних умовах – спричинити збої в роботі техніки чи навіть пошкодження електронних модулів. [28].

4. **Шумове навантаження.** Незважаючи на ізоляцію диспетчерських пунктів, робота систем вентиляції, кондиціонування, електротехнічного обладнання, а також звукові сигнали й голосові повідомлення створюють постійний шумовий фон. Його тривалий вплив знижує концентрацію уваги, підвищує рівень стомлюваності й може негативно впливати на слух. [28].

5. **Теплове випромінювання обладнання.** Велика кількість електронних систем у диспетчерському приміщенні виділяє тепло, що підвищує температуру повітря та створює дискомфортні умови праці. Це не лише впливає на самопочуття персоналу, але й підвищує ризик перегріву обладнання та можливих технічних відмов. [41]

4.2. Організаційні та інженерно-технологічні заходи для зменшення дії небезпечних факторів

Для створення безпечного робочого середовища диспетчера систем аеропорту необхідно комплексно організувати як простір приміщення, так і технологічний процес його діяльності. Основним завданням є мінімізація впливу потенційно шкідливих факторів на персонал. [41]

У випадку електромагнітного випромінювання доцільним є застосування екранувальних рішень та розташування обладнання на відстані, що відповідає санітарним нормам (ДСанПіН 3.3.6.037-99). Важливим є також чергування роботи за пультами з іншими видами діяльності, що дозволяє знизити кумулятивне навантаження на нервову систему оператора. [41]

Зорове навантаження зменшується завдяки правильній організації освітлення. Бажано використовувати природне світло, а за його відсутності — штучне освітлення, яке відповідає вимогам ДБН В.2.5-28:2018. Оптимальними є теплі відтінки світла та рівномірний розподіл яскравості у робочій зоні. У літній

період рекомендується застосування сонцезахисних засобів, зокрема жалюзі, а також регулярне очищення світлопрозорих конструкцій.

Для запобігання негативному впливу статичної електрики електронне обладнання повинно мати надійне заземлення, виконане відповідно до вимог ДСТУ EN 61340-5-1. Додатковими заходами є використання антистатичних покриттів та оснащення персоналу засобами індивідуального захисту.

Шумовий фон у диспетчерському приміщенні регулюється за допомогою акустичних матеріалів, які відповідають стандарту ДСТУ ISO 9612:2019. Важливим організаційним рішенням є також регламентація робочого часу та перерв, що дозволяє уникнути хронічної перевтоми через акустичне навантаження. [41]

Забезпечення належного мікроклімату здійснюється за допомогою вентиляційних і кондиціонерних систем, які мають відповідати ДБН В.2.5-67:2013. Контроль температури та регулярне провітрювання дають змогу уникнути перегріву електроніки та забезпечити комфортні умови праці персоналу.

Застосування перелічених заходів у поєднанні з чинною нормативно-правовою базою України гарантує формування безпечного та ергономічного робочого середовища для диспетчерів аеропорту. [41]

4.2.1. Розрахунок параметрів штучного освітлення диспетчерських і технічних приміщень
Норми освітленості робочих місць диспетчерів регламентуються положеннями державних будівельних норм України, зокрема ДБН В.2.5-28:2018 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення». Відповідно до класифікації складності зорових робіт, для приміщень диспетчерських пунктів встановлено IV розряд, що передбачає рівень освітленості у межах 300–500 лк. [41]

Попередньо необхідно оцінити ефективність природного освітлення. Вимірювання показали, що на робочій поверхні пульта рівень природного освітлення становить близько 200 лк, тоді як освітленість відкритого небосхилу сягає 20 000 лк. Таким чином, коефіцієнт природної освітленості (КПО) дорівнює близько 1 %, що є нижчим за нормативні значення. Це свідчить про те, що для

забезпечення необхідних умов роботи диспетчера обов'язковим є використання системи штучного освітлення. [41]

З урахуванням сучасних вимог до енергоефективності найбільш доцільним рішенням є застосування світлодіодних джерел світла. Вони забезпечують стабільний світловий потік, мають тривалий термін експлуатації та дозволяють суттєво знизити витрати електроенергії у порівнянні з традиційними лампами.

Для визначення параметрів штучного освітлення диспетчерського пункту використано методику розрахунку освітленості, яка враховує площу приміщення, коефіцієнти використання та запасу, а також світловий потік обраних світильників.

Вихідні дані для розрахунку:

- площа приміщення $S = 20 \text{ м}^2$;
- рекомендована освітленість $E = 400 \text{ лк}$;
- коефіцієнт використання світлового потоку $K_u = 0,6$;
- коефіцієнт запасу $K_z = 1,5$;
- світловий потік однієї лампи $\Phi_{\text{лампи}} = 1500 \text{ лм}$. [46]

Щоб забезпечити необхідну освітленість, розрахуємо загальний світловий потік $\Phi_{\text{заг}}$ за формулою:

$$\Phi_{\text{заг}} = E \cdot S \cdot K_z \quad (4.1)$$

Де:

- E — необхідна освітленість,
- S — площа приміщення, м^2 ,
- K_z — коефіцієнт запасу.

Отже:

$$\Phi_{\text{заг}} = 400 \cdot 20 \cdot 1,5 = 12000 \text{ лм}$$

Для диспетчерського пункту потрібно забезпечити загальний світловий потік 12,000 лм.

Сучасні світлодіодні лампи мають середній світловий потік близько 1,500

лім при потужності 15 Вт.

Визначення кількості ламп N , враховуючи їх світловий потік і коефіцієнт використання:

$$N = \frac{\Psi_{\text{заг}}}{\Phi_{\text{лампи}} \cdot K_u} \quad (4.2)$$

Де:

- $\Phi_{\text{лампи}}$ — світловий потік однієї лампи,
- K_u — коефіцієнт використання світлового потоку.

Отже:

$$N = \frac{12000}{1500 \cdot 0,6} \approx 13,3 \text{ шт}$$

Округливши, отримуємо, що необхідно *14 світлодіодних ламп*.

Знаючи, що кожна лампа споживає 15 Вт, обчислимо загальну потужність системи освітлення $P_{\text{заг}}$:

$$P_{\text{заг}} = N \cdot P_{\text{лампи}} \quad (4.3)$$

Де:

- N — кількість ламп,
- $P_{\text{лампи}}$ — потужність однієї лампи.

Отже:

$$P_{\text{заг}} = 14 \cdot 15 = 210 \text{ Вт}$$

Для організації ефективного та комфортного освітлення диспетчерського пункту передбачено встановлення 14 світлодіодних світильників потужністю по 15 Вт кожен, що забезпечує необхідний рівень освітленості та сумарне енергоспоживання на рівні 210 Вт.

Такий підхід дозволяє створити оптимальні умови для роботи персоналу, одночасно забезпечуючи високу енергоефективність та тривалий термін експлуатації обладнання.

4.3. Забезпечення пожежної та вибухової безпеки в умовах експлуатації електротехнічного обладнання

Згідно зі статтею 5 Закону України «Про пожежну безпеку», відповідальність за організацію та підтримання належного рівня пожежної безпеки на об'єкті покладається на керівництво підприємства. Це положення стосується й диспетчерських пунктів аеропорту, де концентрація електротехнічного обладнання створює підвищені ризики займання. Адміністрація зобов'язана розробляти комплексні заходи протипожежного захисту, впроваджувати внутрішні інструкції, забезпечувати дотримання чинних нормативів, організовувати навчання персоналу та підтримувати у справному стані протипожежне обладнання. Крім того, керівництво повинно гарантувати наявність евакуаційних шляхів та впровадження систем виявлення і гасіння пожеж відповідно до вимог ДСТУ 8828:2019. [47]

Відповідно до положень ДБН В.1.1-7:2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва», диспетчерські приміщення, де зосереджене значне електронавантаження, відносяться переважно до категорії "В" — помірно пожежонебезпечні. Це обумовлює необхідність застосування комплексу превентивних заходів.

Основні напрями протипожежного захисту диспетчерського пункту:

- **Евакуаційні шляхи.** Приміщення повинно мати вільні та легко доступні маршрути евакуації, обладнані світловими покажчиками та знаками згідно з ДБН В.1.1-7:2016.
- **Система пожежної сигналізації.** Для оперативного виявлення небезпеки встановлюються димові та теплові датчики, які автоматично передають сигнал у разі задимлення або перевищення температурних норм.
- **Первинні засоби пожежогасіння.** У диспетчерському пункті мають бути наявні не менше двох вогнегасників (порошкових або вуглекислотних) із зарядом не менше 5 кг, що відповідає вимогам ДСТУ EN 3-7.

- **Автоматичні системи пожежогасіння.** У критично важливих зонах, де зосереджено найбільшу кількість обладнання, необхідно передбачити автоматичне пожежогасіння, яке активується без участі персоналу.

Заходи вибухобезпеки включають запобігання утворенню вибухонебезпечного середовища шляхом контролю мікроклімату приміщення (температури, вологості, вентиляції), а також виключення можливих джерел ініціації займання: відкритого вогню, електричних розрядів, іскор, перегрітого обладнання. Постійна перевірка справності електросистем є ключовим фактором у забезпеченні вибухобезпеки.

Таким чином, ефективна система пожежної та вибухової безпеки диспетчерського пункту аеропорту передбачає поєднання технічних засобів захисту, чіткого дотримання нормативних документів та відповідальності керівництва за їх реалізацію.

4.4. Інструкція з охорони праці при роботі диспетчером

Відповідно до положень ДНАОП 0.00-4.15-98 «Положення про розробку інструкцій з охорони праці», диспетчер аеропорту повинен дотримуватися затверджених правил безпечної експлуатації обладнання та організації робочого процесу. Основні вимоги передбачають виконання службових обов'язків у відповідності до посадових інструкцій та внутрішніх процедур підприємства, підтримання робочого місця у чистоті та належному стані, а також правильне завершення поточних операцій при тимчасовому припиненні роботи. Додатково персонал зобов'язаний дотримуватися санітарно-гігієнічних норм, режимів праці та відпочинку, у тому числі встановлених перерв. [48]

Особлива увага приділяється правилам експлуатації електротехнічного, комунікаційного та інформаційного обладнання. Встановлена безпечна відстань до екранів моніторів становить не менше 50–70 см, що дозволяє знизити навантаження на зоровий апарат. Порушення цієї вимоги може спричинити втому очей та погіршення зору.

При роботі з обладнанням категорично забороняється:

- допускати потрапляння вологи чи інших рідин на системні блоки, клавіатури, принтери та засоби зв'язку;
- здійснювати підключення, від'єднання кабелів або роз'ємів при ввімкненому живленні;
- виконувати ремонт чи налаштування апаратури без дозволу технічних служб аеропорту.

Основні обов'язки диспетчера включають:

- дотримання встановленої послідовності ввімкнення та вимкнення комп'ютерного та периферійного обладнання;
- негайне відключення техніки у випадку виявлення несправностей, аварійного знеструмлення чи під час проведення прибирання;
- організацію робочого місця відповідно до інструкцій з охорони праці та ергономічних рекомендацій;
- використання регламентованих перерв для зниження зорового та фізичного навантаження;
- чергування різних видів діяльності (наприклад, робота з текстовими та числовими даними) для зменшення монотонності праці.

Спеціальні умови праці встановлені для вагітних жінок. Згідно з положеннями Закону України «Про охорону праці» та інших нормативних актів, жінки під час вагітності та у період грудного вигодовування не допускаються до робіт, пов'язаних із застосуванням персональних комп'ютерів.

Суворе дотримання вищезазначених вимог дозволяє створити безпечні умови праці для диспетчерів систем аеропорту, зменшити виробничі ризики та запобігти негативному впливу шкідливих факторів на здоров'я персоналу.

Висновки до розділу 4

У даному розділі проведено комплексний аналіз питань охорони праці для забезпечення безпеки робочого середовища на аеродромі. Розглянуто вплив основних шкідливих та небезпечних виробничих факторів, серед яких

підвищений рівень шуму, вібрації, електромагнітне випромінювання, дія високої напруги та ризику травматизму персоналу.

Запропоновано організаційні та конструктивно-технологічні заходи, спрямовані на зниження негативного впливу цих факторів. Зокрема, обґрунтовано доцільність застосування шумо- та віброізоляційних технологій, ефективних систем вентиляції і кондиціонування, а також використання засобів індивідуального захисту.

Виконано розрахунок необхідного рівня штучного освітлення для диспетчерських пунктів, що відповідає чинним нормам та забезпечує оптимальні умови праці. Окрему увагу приділено питанням пожежної та вибухової безпеки: визначено необхідність встановлення систем пожежної сигналізації й автоматичного гасіння, використання негорючих матеріалів, а також своєчасного технічного обслуговування обладнання.

Для диспетчерського персоналу розроблено інструкції з охорони праці, які регламентують правильну організацію робочого місця, дотримання режимів праці та відпочинку, а також застосування профілактичних заходів для зменшення зорового та психофізіологічного навантаження.

Таким чином, запропоновані рішення сприяють підвищенню рівня безпеки на робочих місцях, зниженню виробничих ризиків та створенню комфортних умов для ефективної діяльності диспетчерів аеропорту.

РОЗДІЛ 5.

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Однією з найважливіших проблем сучасності є забруднення навколишнього середовища, яке суттєво впливає на стан екосистем, здоров'я населення та збереження біорізноманіття. Професійна діяльність промислових підприємств і транспортної інфраструктури, зокрема аеропортів, супроводжується викидами шкідливих речовин в атмосферу, підвищеним рівнем шуму та утворенням відходів, що становлять значну екологічну загрозу.

У випадку аеропортів основними джерелами антропогенного впливу є експлуатація авіаційного та наземного транспорту, робота допоміжного обладнання й технологічних систем. Навіть за умов застосування сучасних технологій та високоефективних методів управління виробничими процесами зберігається потенційний негативний вплив на довкілля. Це зумовлює необхідність розробки та впровадження комплексу заходів, спрямованих на зменшення шкідливих наслідків діяльності аеропортів і забезпечення екологічної безпеки [49].

1.1. Джерела екологічного навантаження та характер їх впливу на довкілля

1. Атмосферне забруднення

Атмосферне забруднення, яке виникає внаслідок діяльності аеродромів, є одним із найпоширеніших та найнебезпечніших видів екологічного впливу авіаційної галузі [50]. Під час роботи авіаційного транспорту та наземного обладнання відбувається інтенсивне згоряння палива, що спричиняє виділення значної кількості шкідливих речовин в атмосферу. Основними забруднювачами є:

- **Вуглекислий газ (CO₂)** – ключовий парниковий газ, який впливає на глобальне потепління. Хоча безпосередньо він не є токсичним, його накопичення змінює тепловий баланс планети та сприяє кліматичним змінам. Головне джерело – згоряння авіаційного палива та робота наземного транспорту.

- **Оксиди азоту (NO_x) і сірки (SO_x)** – утворюються під час високотемпературного згоряння палива. Ці речовини сприяють формуванню смогу, кислотних дощів та негативно впливають на дихальну систему людей і рослинність.

- **Леткі органічні сполуки (ЛОС)** – утворюються при неповному згорянні палива та випаровуванні з паливних баків літаків і наземної техніки. Вони можуть утворювати фотохімічний смог і чинити токсичний вплив на людину, включаючи ризик виникнення хронічних і онкологічних захворювань.

Особливо інтенсивні викиди відбуваються на етапі зльоту та посадки літаків, коли двигуни працюють під максимальним навантаженням, а літак маневрує на висотах до 1000 м. Джерелами забруднення повітря також є заправні станції та паливні баки, з яких під час заправки або витоків пального виділяються леткі органічні сполуки.

Наслідки атмосферного забруднення включають:

- **Зміни клімату** – збільшення концентрації парникових газів спричиняє глобальне потепління.

- **Вплив на здоров'я людей** – підвищений рівень забруднення повітря поблизу аеропортів підвищує ризик респіраторних, серцево-судинних та інших хронічних захворювань.

- **Шкода для флори та фауни** – кислотні дощі, що утворюються з оксидів сірки та азоту, негативно впливають на рослинність, ґрунт та водні ресурси.

- **Погіршення видимості та якості повітря** – підвищена концентрація твердих часток і газів ускладнює умови роботи на аеродромі та може впливати на безпеку польотів.

Шумове забруднення аеродромів виникає під час зльоту та посадки літаків, а також під час наземного обслуговування. Постійний високий рівень шуму створює стресові умови для людей і негативно впливає на тварин. Основні джерела шуму: двигуни літаків, гальмівні системи, наземний транспорт (автобуси, паливозаправники, вантажні автомобілі) та інше обслуговуюче обладнання. Наслідки шумового впливу включають порушення біоритмів

тварин, зниження їхньої чисельності та зміну поведінки, що впливає на баланс екосистем [51].

Забруднення водних ресурсів аеродромами виникає через витіки палива, застосування хімікатів для обслуговування літаків та злітно-посадкових смуг, а також через побутові та виробничі стоки. Використання антиобліднювальних засобів (етиленгліколь, пропіленгліколь) у зимовий період може забруднювати поверхневі та ґрунтові води, негативно впливаючи на водні організми. Витіки паливно-мастильних матеріалів та побутових стоків, що містять фосфати, нітрати та поверхнево-активні речовини, можуть спричиняти евтрофікацію водойм, зменшення кисню у воді та загибель риб і водних рослин [52][53].

Таким чином, основним фактором екологічного ризику для аеропортів є хімічне забруднення: викиди газів та речовин у повітря, ґрунт і воду впливають на якість природних ресурсів та стан біосфери, що вимагає впровадження комплексних заходів з екологічної безпеки.

1.2. Комплекс рекомендацій щодо зниження негативних екологічних наслідків функціонування аеропорту

Для зменшення негативного впливу аеропортів на довкілля можна реалізувати низку заходів:

1. Використання екологічного палива

Перехід на біопаливо або синтетичне авіаційне паливо дозволяє значно скоротити викиди парникових газів і шкідливих речовин.

2. Системи фільтрації та очищення викидів

Встановлення фільтраційного обладнання на наземній техніці та допоміжному устаткуванні зменшує концентрацію твердих часток, оксидів азоту та інших шкідливих компонентів у повітрі.

3. Електрифікація наземного обладнання

Перехід на електропривід для тягачів, заправних станцій, кліматичних установок та іншого устаткування дозволяє суттєво знизити викиди у зоні аеродрому.

4. Підвищення енергоефективності авіаційних двигунів

Впровадження сучасних технологій зменшує витрати палива під час зльоту, посадки та польоту, що безпосередньо знижує обсяг шкідливих викидів.

5. Моніторинг та контроль якості повітря

Регулярне спостереження за рівнем забруднення дозволяє оперативно реагувати на небезпечні зміни та впроваджувати заходи з охорони довкілля.

6. Використання сучасних літаків з низьким рівнем шуму

Нові моделі літаків оснащені двигунами з оптимізованою конструкцією, що зменшує шум під час зльоту, посадки та роботи на малих обертах. Впровадження сучасного авіаційного флоту сприяє зменшенню шумового забруднення. Дослідження електричних та гібридних двигунів відкривають перспективи для створення менш гучних літальних апаратів.

7. Встановлення шумозахисних бар'єрів

На території аеродромів можна облаштовувати акустичні бар'єри вздовж злітно-посадкових смуг, що дозволяє обмежити поширення шуму в напрямку житлових зон.

8. Регулярне технічне обслуговування та перевірка обладнання

Своєчасні техогляди та обслуговування наземної техніки дозволяють попередити витіки пального та мастильних матеріалів, запобігаючи забрудненню навколишнього середовища.

9. Системи замкнутого циклу водопостачання

Впровадження замкнутих водних циклів для технічних потреб аеропорту знижує обсяги стічних вод і забруднення. Використана вода для миття літаків або антиобліднення може збиратися, очищуватися та повторно використовуватися.
[53]

Таким чином, вплив аеропортів на навколишнє середовище можна значно зменшити за рахунок впровадження сучасних екологічних технологій, постійного контролю забруднення та підвищення енергоефективності обладнання. Дотримання екологічних стандартів не лише покращує стан

довкілля, а й підвищує соціальну відповідальність та репутацію підприємства, сприяючи ефективній та безпечній роботі аеропорту. [54]

Висновки до розділу 5

Було здійснено комплексний аналіз впливу діяльності аеропортів на навколишнє середовище та визначено ефективні заходи для його зменшення.

Дослідження дозволило систематизувати основні джерела забруднення — атмосферне, шумове та водне — та оцінити їхній вплив на екологічний стан, здоров'я населення і біорізноманіття.

Запропоновані заходи, серед яких застосування екологічного палива, електрифікація наземного обладнання, регулярний моніторинг якості повітря та води, сприяють інтеграції екологічно безпечних технологій у повсякденну діяльність аеропортів.

Крім того, запропоновано конкретні рішення для мінімізації шкідливого впливу, зокрема встановлення шумозахисних бар'єрів, впровадження замкнутих систем водопостачання та організація регулярного технічного обслуговування обладнання.

Надана інформація є цінною для формування стратегії екологічної безпеки аеропортів, дозволяючи поєднати ефективну експлуатацію інфраструктури з мінімізацією негативного впливу на довкілля.

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота присвячена комплексному аналізу та розробці практичних рішень щодо вдосконалення системи енергоменеджменту сертифікованого аеродрому ІСАО. Дослідження охоплює ключові аспекти моніторингу параметрів електроенергії, методики її ефективного використання, питання охорони праці та збереження навколишнього середовища.

У роботі проведено аналіз стандартів ІСАО щодо енергозабезпечення аеропортів різних категорій. Визначено, що стабільність і якість електропостачання є критично важливими для безпечної та ефективної роботи аеропортової інфраструктури. Особлива увага приділена системам SCADA, які застосовуються для моніторингу та управління електропостачанням. На основі досвіду провідних міжнародних аеропортів, таких як Схіпхол, Мілан-Мальпенса та Сіань Сяньян, сформульовано вимоги до сучасних енергетичних систем аеропортів.

Розроблено методику інженерного розрахунку загальної потужності систем електропостачання (СЕР) сертифікованого аеропорту. Вона включає визначення загальної та ефективної потужності, оцінку втрат у мережі, резервної потужності, а також потужності окремих систем, таких як світлосигнальні комплекси та наземне електроживлення літаків. Запропонований підхід забезпечує точну оцінку енергоспоживання та оптимізацію використання енергоресурсів, що є критичним для безпеки польотів та ефективності операцій.

Створено інтегровану систему моніторингу параметрів електроенергії, яка поєднує сучасне обладнання та програмне забезпечення. Розроблено алгоритм збору, обробки та аналізу даних у реальному часі, із визначенням ключових параметрів: напруги, струму, частоти, потужності та гармонійних спотворень.

У рамках охорони праці визначено основні шкідливі фактори та розроблено заходи для їх мінімізації, включаючи аспекти пожежної та вибухової безпеки.

Досліджено екологічні виклики, пов'язані з діяльністю аеропортів, зокрема забруднення атмосфери, шумове навантаження та забруднення водних ресурсів. Визначено основні джерела шкідливих викидів — авіаційне паливо, наземний

транспорт та використання хімікатів. Для зменшення негативного впливу запропоновано: використання екологічного палива, електрифікацію наземного обладнання, впровадження замкнених систем водопостачання та встановлення шумозахисних бар'єрів.

Таким чином, робота комплексно вирішує ключові завдання енергоменеджменту сертифікованого ІСАО аеродрому, акцентуючи увагу на інноваційних підходах до моніторингу, управління та оптимізації електроспоживання. Впровадження запропонованих систем забезпечує відповідність стандартам ІСАО, підвищує ефективність і безпеку роботи аеропорту, створює комфортні умови для персоналу та пасажирів і сприяє зниженню екологічного впливу.

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Khanna, P.R., Howells, G. & Lazaridis, P.I. Design and Implementation of Low-Cost Real-Time Energy Logger for Industrial and Home Applications. *Wireless Pers Commun* **119**, 2657–2674 (2021). <https://doi.org/10.1007/s11277-021-08350-1> (дата звернення 11.11.24) [38, 39]
2. Жила Д.Ю. «Моніторинг параметрами електроенергії в системі енергоменеджменту на локальному об'єкті» кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеню «Бакалавр» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка», 2023 р – 53 с.
3. Fluke Technical Data 1770 Series Three-Phase Power Quality Analyzers – Режим доступу: <https://dam-assets.fluke.com> (дата звернення 11.11.24) [19]
4. Schneider Electric PowerLogic PM5320 [Електронний ресурс]. URL: <https://www.estg.eu> (дата звернення 11.11.24)
5. Schneider Electric Company [Електронний ресурс]. URL: <https://www.se.com> (дата звернення 11.11.24)
6. Fluke 1770 Series Three-Phase Power Quality Analyzers [Електронний ресурс]. URL: <https://www.fluke.com> (дата звернення 11.11.24) [19]
7. Methods of electrical appliances identification in systems monitoring electrical energy consumption [Електронний ресурс]. URL: <https://ieeexplore.ieee.org> (дата звернення 11.11.24) [16]
8. Power Xpert® DX Low Voltage Power Distribution and Motor Control Center [Електронний ресурс]. URL: <https://www.eaton.com>. (дата звернення 11.11.24) [20]
9. The test meters and electrical testing equipment [Електронний ресурс]. URL: <https://www.test-meter.co.uk> (дата звернення 11.11.24) [17, 18]
10. PMAС780H Power Quality Analyzer [Електронний ресурс]. URL: <http://en.pmac.com> (дата звернення 11.11.24) [21]
11. ThingSpeak for IoT Projects [Електронний ресурс]. URL: <https://thingspeak.com> (дата звернення 11.11.24) [22, 23]

12. Багатофункціональний вимірювач споживаної електроенергії PZEM-004T V3 [Електронний ресурс]. URL: <https://arduino.ua/prod3619> (дата звернення 11.11.24) [34, 35, 36]
13. WiFi Плата NodeMCU V2 ESP8266 (CP2102) [Електронний ресурс]. URL: <https://arduino.ua/prod1495> (дата звернення 11.11.24) [31]
14. LCD 2004 I2C символний дисплей [Електронний ресурс]. URL: <https://arduino.ua/prod663-lcd> (дата звернення 11.11.24) [37]
15. Real Time Clock Модуль на DS3231 [Електронний ресурс]. URL: <https://arduino.ua/prod1142-real-time-clock> (дата звернення 11.11.24) [32]
16. Державні будівельні норми України [Електронний ресурс]. URL: <https://nau.edu.ua> (дата звернення 11.11.24)
17. Small Control Center System SICAM 230 [Електронний ресурс] URL: <https://www.slideshare.net> (дата звернення 11.11.24) [11]
18. Міжнародна організація цивільної авіації [Електронний ресурс] URL: <https://mtu.gov.ua> (дата звернення 11.11.24) [3]
19. International Standards and Recommended Practices [Електронний ресурс] URL: <https://www.iacm.gov> (дата звернення 11.11.24) [4,5]
20. Система управління електроенергії [Електронний ресурс] URL: <https://etap.com> (дата звернення 11.11.24) [38]
21. Реалізовані проєкти SCADA ZENON [Електронний ресурс] URL: <https://www.svaltera.ua> (дата звернення 11.11.24) [13]
22. SCADA Threats in the Modern Airport [Електронний ресурс] URL: <https://www.qa.com> (дата звернення 11.11.24) [12, 14, 15]
23. SICAM 230 [Електронний ресурс] URL: <https://www.copa-data.com.ua> (дата звернення 11.11.24) [11]
24. Electrified Airports Demand Resilient Power [Електронний ресурс] URL: <https://www.burns-group.com> (дата звернення 11.11.24)
25. Monitoring the Consumption of Electrical Energy Based on the Internet of Things Applications [Електронний ресурс] URL: <https://pdfs.semanticscholar.org> (дата звернення 11.11.24) [24, 25]

26. Energy Management at the Airports [Електронний ресурс]
URL: <https://link.springer.com> (дата звернення 11.11.24) [5]
27. INTERNATIONAL CIVIL AVIATION ORGANIZATION. Doc 9157. Aerodrome Design Manual. Part 5 — Electrical Systems. Second Edition, 2017 [3]
28. Barrett, S. R. (2020). "Environmental Aspects of Airport Energy Supply." Ecology and Industry, pp. 99-105. [2, 4, 6]
29. Anderson, M. T. (2019). "Airport Power Systems: Analysis and Prospects." Journal of Aviation Technology, pp. 76-82. [1]
30. Dennison, P. (2021). "LED Lighting in Airports: A Path to Enhanced Safety and Efficiency." Airport Management Journal, pp. 88-94. [31]
31. Електрична частина станцій та підстанцій аеропортів / В.Д. Козлов, В.П. Захарченко, О.М. Тачиніна; за аг. ред. В.Д. Козлова – К.:НАУ, 2018. – 312 с. [5]
32. Казанський С.В. Надійність електроенергетичних систем: навчальний посібник / С.В. Казанський, Ю.П. Матеєнко, Б.М. Сердюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2011. – 216 с. [5]
33. Правила улаштування електроустановок: 2017. – Офіц. вид. Міненерговугілля України. 2017. – 617 с. [26, 27, 46]
34. Правила Улаштування Електроустановок [Електронний ресурс] // Видання третє, перероблене, і доповнене Правила улаштування електроустановок, вид. 3-тє, перероб. і доп.- 736с.. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: [http://misksvitlo.if.ua/wp-content/uploads/2015/09/ Правила улаштування електроустановок. pdf](http://misksvitlo.if.ua/wp-content/uploads/2015/09/Правила_улаштування_електроустановок.pdf). (дата звернення: 10.10.2024). [28, 29, 30]
35. ДСТУ-Н Б В.2.5-80:2015 Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств. Київ : Мінрегіонбуд України, 2015. 45 с. [44]

ДОДАТОК А

Опис коду

Розроблений програмний комплекс забезпечує моніторинг електропостачання аеродрому з використанням контролера ESP8266, енергомоніторів PZEM004T, годинника реального часу DS3231 та LCD-дисплея. Система збирає дані про напругу, струм, потужність, енергію, частоту та коефіцієнт потужності, усереднює їх для точності та передає у хмарний сервіс ThingSpeak для аналітики та архівування.

Основні модулі:

1. ESP8266_PowerMonitor_v10.ino

- Ініціалізація компонентів: LCD, RTC, PZEM, WiFi, ThingSpeak.
- Головний цикл (loop) забезпечує безперервну роботу системи, викликаючи контроль WiFi, опитування RTC і PZEM, а також передачу даних у хмару.

2. ConstVars.h

- Зберігає константи та змінні: піни підключення, інтервали опитування, структури для зберігання даних PZEM.
- Реалізує структуру PZEM для зберігання параметрів трьох фаз.

3. Lib.h

- Підключає необхідні бібліотеки для роботи з WiFi, ThingSpeak, RTC, LCD, PZEM і UnixTime.

4. secrets.h

- Містить приватні дані для підключення до WiFi та ThingSpeak (SSID, паролі, API-ключі).

5. WiFi.ino

- Підключення до WiFi та контроль стану мережі.
- Автоматичне перепідключення у разі втрати з'єднання.

6. RTC.ino

- Опитування годинника DS3231 та формування дати й часу у форматі HH:MM:SS DD/MM/YY.

- Конвертація часу у UNIX-формат для подальшого використання в ThingSpeak.

7. Meter.ino

- Періодичне опитування PZEM004T, усереднення даних для підвищення точності.

- Оновлення показників напруги, струму, потужності, енергії, частоти та PF.

8. LCD.ino

- Вивід у реальному часі параметрів трьох фаз на LCD-дисплей.

- Відображення дати, часу та кількості усереднених вимірювань.

9. TS.ino

- Завантаження усереднених даних у ThingSpeak.

- Після успішної передачі дані та лічильники обнуляються для накопичення наступного набору вимірювань.

Ключові переваги розробки:

- Інтеграція локального та хмарного моніторингу.
- Автоматичне усереднення даних PZEM004T для більш стабільних показників.

- Безперервний контроль WiFi та автоматичне перепідключення.
- Масштабованість на більшу кількість фаз та енергомоніторів.
- Сумісність із системами енергоменеджменту ICAO, забезпечення точного збору даних для аналізу та оптимізації.

Лістинг програмних кодів

```
// ESP8266_PowerMonitor_v10.ino

#include "secrets.h" // паролі (secrets.h)
#include "ConstVars.h" // константи-змінні (ConstVars.h)
#include "Lib.h" // бібліотеки (Lib.h)

void setup() {
  Serial.begin(115200);
  Serial.println();

  //===== LCD2004 =====
  lcd.init();
```

```

// Print a message to the LCD.
lcd.backlight();

//===================================================== RTC DS3231 =====
rtc.begin();
//rtc.adjust(DateTime(F(_DATE_), F(_TIME_)));
lcd.clear();

//===================================================== PZEM004Tv30 =====
for (int i = 0; i < numPZEMS; i++) {
  pzems[i] = PZEM004Tv30(pzemSWSerial, addrStartPZEMS + i);
}

//===================================================== WiFi =====
initWiFi();

//===================================================== ThingSpeak =====
ThingSpeak.begin(client); // Initialize ThingSpeak
}

void loop() {
  controlWiFi();    //(WiFi)
  RTC();           //(RTC)
  PZEM004T();      //(Meter)
  ThingSpeakUpload(); //(TS)
}

=====
// ConstVars.h - постійні, змінні

//===================================================== PINS =====
#define D2 (4) // SDA
#define D1 (5) // SCL
#define D8 (15)
#define D5 (14)
#define D7 (13)
#define D6 (12)

```

```

//===== Time =====
uint32_t currentMillis = 0;
uint32_t previousMillis = 0; //
uint16_t interval = 1000; // interval measure (milliseconds)
constuint16_t periodBat = 10000; // interval display info
uint32_t previousBat = 0;
//===== LED підключення до Інтернету =====
uint8_t pinWiFiON = 2; // builtin LED NodeMCU LoLin v.3
#define ledOFF LOW

#define ledON HIGH
uint32_t lastControlWiFi = 0; // час останньої вдалої перевірки WiFi
constuint16_t periodControlWiFi = 10000; // інтервал контролю WiFi

//===== PZEM004Tv30 =====
constuint8_t PZEM_RX_PIN = D6; // пін підключення SoftwareSerial Rx PZEM
constuint8_t PZEM_TX_PIN = D5; // пін підключення SoftwareSerial Tx PZEM
constuint8_t numPZEMS = 3; //кількість енергомоніторів PZEM
constuint8_t addrStartPZEMS = 0x13; //адреса 1-го енергомонітора PZEM
uint32_t lastReqPZEM = 0; // час останнього запиту PZEM
constuint16_t periodReqPZEM = 5000; // інтервал запиту PZEM

//структура отриманих даних PZEM
struct {
float Voltage; // V
float Current; // A
float Power; // W
float Energy; // kWh
float Frequency; // Hz
float PF; // (cos(fi))
} PZEM[numPZEMS]; // ячейки 3-5 для усунення

//===== RTC DS3231 =====
// шина I2C на пінах SDA і SCL
uint32_t lastReqRTC = 0; // час останнього запиту RTC
constuint16_t periodReqRTC = 1000; // інтервал запиту RTC
uint32_t dt = 0; // час UNIX
String nowTime = "";
String nowDate = "";

//===== ThingSpeak =====
constuint32_t periodTS = 900000; // інтервал запису
uint16_t NN = periodTS / periodReqPZEM; // кількість даних для усереднення
uint16_t nn = 0; // лічильник даних для усереднення

=====
// бібліотеки (Libr.h)

//===== ESP8266 =====
#include<ESP8266WiFi.h>
WiFiClient client;

//===== ThingSpeak =====

```

```

#include"ThingSpeak.h"

//===================================================== RTC DS3231 =====
// Date and time functions using a DS3231 RTC connected via I2C and Wire lib
#include"RTCLib.h"
RTC_DS3231 rtc;

//===================================================== LCD1602 =====
#include <Wire.h>
#include<LiquidCrystal_I2C.h>
//LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // set the LCD address to 0x27 for a 16 chars and 2 line display
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4); // set the LCD address to 0x27 for a 16 chars and 2 line display

//===================================================== PZEM004Tv30 =====
#include<SoftwareSerial.h>
#include<PZEM004Tv30.h>
PZEM004Tv30 pzems[numPZEMS];

SoftwareSerial pzemSWSerial(PZEM_RX_PIN, PZEM_TX_PIN);
// pzems[0]; // L1
// pzems[1]; // L2
// pzems[2]; // L3

//===================================================== UnixTime =====
#include<UnixTime.h>
UnixTime stamp(2); // вказати GMT (2 для Києва)

=====

// secrets.h
// Use this file to store all of the private credentials
// and connection details

constchar* ssid = "MyLan";
constchar* pass = "12345678";

// Power Monitor
#define SECRET_CH_ID 123456789 // channel number
#define SECRET_WRITE_APIKEY "1Q2W3E4R5T6Y7U8I"// channel write API Key
#define SECRET_READ_APIKEY "1A2S3D4F5G6H7J8K"// channel read API Key
=====

// WiFi.ino - подключение к AP
void initWiFi() {
WiFi.disconnect(true);
WiFi.mode(WIFI_STA);
Serial.print("Attempting to connect to SSID: ");
Serial.println(ssid);
lcd.setCursor(0, 0);
// lcd.print("SSID: ");
lcd.println(ssid);

```

```

    lcd.setCursor(0, 1);
while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
    WiFi.begin(ssid, pass); // Connect to WPA/WPA2 network. Change this line if using open or WEP
network
    lcd.print(".");
    Serial.print(".");
    delay(5000);
}
Serial.println("\nConnected.");
lcd.clear();
lcd.print("Connected.");
delay(5000);
lcd.clear();
}

```

```
// функція контролю WiFi
```

```

void controlWiFi() {
if (millis() - lastControlWiFi >= periodControlWiFi) {
if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) { // WiFi
    lastControlWiFi = millis();
} else {
    initWiFi();
}
}
}
}

```

```
=====
```

```
// RTC.ino - ф-я опитування часу
```

```

void timeDate() {
    char daysOfTheWeek[7][12] = { "Sunday", "Monday", "Tuesday", "Wednesday", "Thursday",
"Friday", "Saturday" };
    DateTime now = rtc.now();
    uint8_t h = now.hour();
    uint8_t m = now.minute();
    uint8_t s = now.second();
    uint8_t D = now.day();
    uint8_t M = now.month();
    uint16_t Y = now.year();
    stamp.setDateTime(Y, //year
        M, //month
        D, //day
        h, //hours
        m, //minutes
        s); //seconds
    dt = stamp.getUnix(); //UNIX

    nowTime = "";
    nowDate = "";
if (h < 10) { //години додаємо в строку
    nowTime += '0' + String(h);
} else {
    nowTime += String(h);
}
}

```

```

nowTime += ':';
if (m < 10) { //хвилини додаємо в строку
  nowTime += '0' + String(m);
} else {
  nowTime += String(m);
}
nowTime += ':';
if (s < 10) { //секунди додаємо в строку
  nowTime += '0' + String(s);
} else {
  nowTime += String(s);
}
if (D < 10) { //день додаємо в строку
  nowDate += '0' + String(D);
} else {
  nowDate += String(D);
}
nowDate += '/';
if (M < 10) { //місяць додаємо в строку
  nowDate += '0' + String(M);
} else {
  nowDate += String(M);
}
nowDate += '/' + String(Y - 2000); //рік додаємо в строку
// + " " + daysOfTheWeek[now.dayOfTheWeek()];
}
=====

// Meter.ino - вимірювання

//ф-ї періодичного запиту
void RTC(){
// опрос RTC
if (millis() - lastReqRTC >= periodReqRTC) {
  lastReqRTC = millis(); //час останнього запиту
  timeDate();           //оновлення дати та часу на дисплеї (RTC)
  displayRTC();         //вивід часу
}
}

void PZEM004T(){
// опитування PZEM
if (millis() - lastReqPZEM >= periodReqPZEM) {
  lastReqPZEM = millis(); //час останнього запиту
  measureSector();        //оновлення даних з PZEM (4_Meter)
  displayPZEM();         //вивід даних
}
}

//===== Measure =====
// виклик блока функцій опитування датчиків
void measureSector(){
  nn++;
  for (int i = 0; i < numPZEMS; i++) {

```

```

    measurePZEM(i);
}
}
//===================================================== PZEM-004T =====
//функція опроса PZEM
// аргументи - вказувач на екземпляр PZEM, номер PZEM
void measurePZEM(uint8_t n){
if (nn <2) {
    PZEM[n].Voltage = (PZEM[n].Voltage + pzems[n].voltage()) / nn;
    PZEM[n].Current = (PZEM[n].Current + pzems[n].current()) / nn;
    PZEM[n].Power = (PZEM[n].Power + pzems[n].power()) / nn;
    PZEM[n].Energy = pzems[n].energy();
    PZEM[n].Frequency = (PZEM[n].Frequency + pzems[n].frequency()) / nn;
    PZEM[n].PF = (PZEM[n].PF + pzems[n].pf()) / nn;
} else {
    PZEM[n].Voltage = (PZEM[n].Voltage + pzems[n].voltage()) / 2;
    PZEM[n].Current = (PZEM[n].Current + pzems[n].current()) / 2;
    PZEM[n].Power = (PZEM[n].Power + pzems[n].power()) / 2;
    PZEM[n].Energy = pzems[n].energy();
    PZEM[n].Frequency = (PZEM[n].Frequency + pzems[n].frequency()) / 2;
    PZEM[n].PF = (PZEM[n].PF + pzems[n].pf()) / 2;
}
}
}
=====
// LCD.ino

//===================================================== PZEM-004T =====
//функція дисплея PZEM
void displayPZEM() {
for (int n = 0; n < numPZEMS; n++) {
    lcd.setCursor(0, n + 1);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(0, n + 1);
    lcd.print(n + 1);
    lcd.print(' ');
    lcd.print(PZEM[n].Voltage, 0);
    lcd.print("V ");
    lcd.print(PZEM[n].Current, 0);
    lcd.print("A ");
    lcd.print(PZEM[n].Power, 0);
    lcd.print("W ");
    lcd.print(PZEM[n].PF, 1);
}
}
}
=====

// ф-я дисплея часу
void displayRTC() {
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(" "); //очистка строки
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print(nowTime);
    lcd.print(" ");
    lcd.print(nowDate);
}
}

```

```

lcd.print(" ");
lcd.print(nn + 1);
}

```

```

// TS.ino - завантаження у хмару

```

```

void ThingSpeakUpload() {
// запис в хмару
if (nn == NN) {
String dataString = String(dt); //UNIX время в String
ThingSpeak.setField(7, dataString);
for (int i = 0; i < numPZEMS; i++) {
dataString += ',' + String(PZEM[i].Power, 0) + ',' + String(PZEM[i].PF, 3);
ThingSpeak.setField(i * 2 + 1, PZEM[i].Power);
ThingSpeak.setField(i * 2 + 2, PZEM[i].PF);
// ThingSpeak.setField(3, PZEM[i].Current);
// ThingSpeak.setField(4, PZEM[i].Voltage);
// ThingSpeak.setField(5, PZEM[i].Energy);
// ThingSpeak.setField(6, PZEM[i].Frequency);

//обнулення накопленого
PZEM[i].Voltage = 0.;
PZEM[i].Current = 0.;
PZEM[i].Power = 0.;
PZEM[i].Frequency = 0.;
PZEM[i].PF = 0.;
}

Serial.println(dataString);

// Write to ThingSpeak. There are up to 8 fields in a channel, allowing you to store up to 8 different
// pieces of information in a channel. Here, we write to field 1.
int x = ThingSpeak.writeFields(SECRET_CH_ID, SECRET_WRITE_APIKEY);
if (x == 200) {
Serial.println("Channel update successful.");
} else {
Serial.println("Problem updating channel. HTTP error code " + String(x));
}
//обнулення накопленого
nn = 0;
dataString = "";
}
}

```

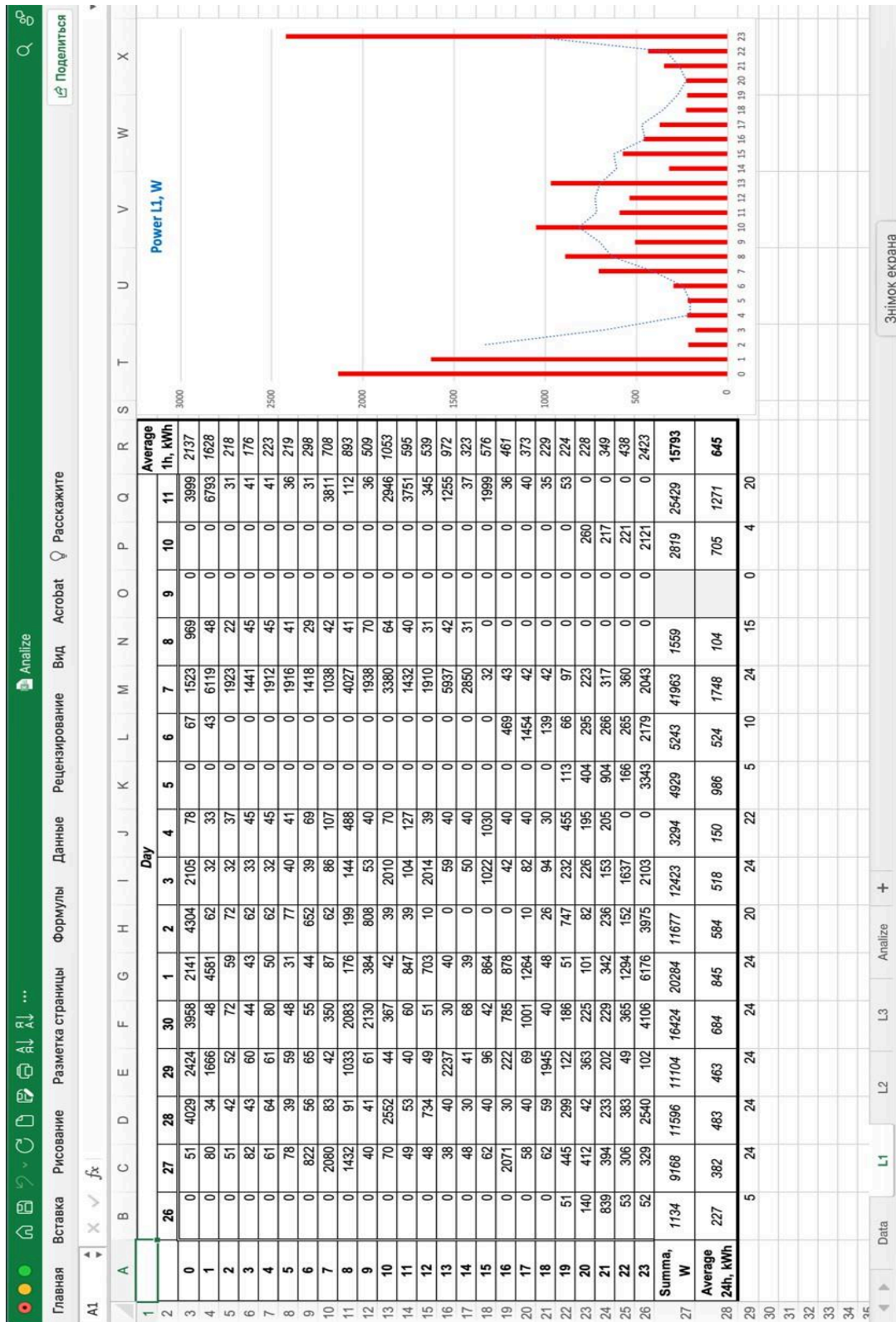
ДОДАТОК Б

Результати вимірювання по трьом фазам

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	
	Coordinated Universal Time (UTC)	№	P1, W	PF1	P2, W	PF2	P3, W	PF3	UNIX, s	Date	Time	Day of the week	D	H	Power L1, W	Power L2, W	Power L3, W	Power Σ, W		
1																				
2	2023-04-26T19:12:51+03:00	17	38	0.275	32	0.547	478	0.850	1682529019	26.04.2023	19:10:19	3	26	19	10	17	406	434		
3	2023-04-26T19:27:51+03:00	18	40	0.266	32	0.550	188	0.780	1682529919	26.04.2023	19:25:19	3	26	19	11	17	147	175		
4	2023-04-26T19:42:49+03:00	19	71	0.422	32	0.550	194	0.785	1682530819	26.04.2023	19:40:19	3	26	19	30	17	152	199		
5	2023-04-26T20:12:50+03:00	20	49	0.330	35	0.540	453	0.839	1682532620	26.04.2023	20:10:20	3	26	20	16	19	380	415		
6	2023-04-26T20:27:50+03:00	21	90	0.460	35	0.540	525	0.860	1682533520	26.04.2023	20:25:20	3	26	20	41	19	451	512		
7	2023-04-26T20:42:50+03:00	22	108	0.500	36	0.540	660	0.892	1682534420	26.04.2023	20:40:20	3	26	20	54	19	589	662		
8	2023-04-26T20:57:50+03:00	23	70	0.410	41	0.583	570	0.863	1682535320	26.04.2023	20:55:20	3	26	20	29	24	492	544		
9	2023-04-26T21:12:52+03:00	24	63	0.382	41	0.600	343	0.860	1682536220	26.04.2023	21:10:20	3	26	21	24	25	295	344		
10	2023-04-26T21:42:50+03:00	25	44	0.300	42	0.600	355	0.910	1682538021	26.04.2023	21:40:21	3	26	21	13	25	323	361		
11	2023-04-26T22:12:50+03:00	26	854	0.938	42	0.600	648	0.890	1682538921	26.04.2023	21:55:21	3	26	21	801	25	577	1 403		
12	2023-04-26T22:27:50+03:00	27	44	0.298	42	0.575	650	0.900	1682539821	26.04.2023	22:10:21	3	26	22	13	24	585	622		
13	2023-04-26T22:42:51+03:00	28	45	0.300	51	0.640	444	0.838	1682540721	26.04.2023	22:25:21	3	26	22	13	32	372	418		
14	2023-04-26T22:57:52+03:00	29	44	0.300	45	0.605	391	0.810	1682541621	26.04.2023	22:40:21	3	26	22	13	27	316	357		
15	2023-04-26T23:12:51+03:00	30	44	0.300	46	0.605	396	0.800	1682542521	26.04.2023	22:55:21	3	26	22	13	28	317	358		
16	2023-04-26T23:27:51+03:00	31	44	0.300	45	0.600	1 435	0.881	1682543421	26.04.2023	23:10:21	3	26	23	13	27	1 264	1 304		
17	2023-04-26T23:42:52+03:00	32	44	0.300	43	0.605	366	0.790	1682544321	26.04.2023	23:25:21	3	26	23	13	26	289	329		
18	2023-04-26T23:57:51+03:00	33	44	0.300	43	0.610	412	0.830	1682545221	26.04.2023	23:40:21	3	26	23	13	26	342	382		
19	2023-04-26T23:57:51+03:00	34	43	0.300	43	0.610	462	0.829	1682546121	26.04.2023	23:55:21	3	26	23	13	26	384	423		
20	2023-04-27T00:12:50+03:00	35	44	0.290	75	0.790	1 447	0.870	1682547021	27.04.2023	00:10:21	4	27	0	13	59	1 258	1 330		
21	2023-04-27T00:27:51+03:00	36	44	0.290	72	0.780	428	0.838	1682547921	27.04.2023	00:25:21	4	27	0	13	56	359	428		
22	2023-04-27T00:42:50+03:00	37	44	0.290	71	0.770	196	0.880	1682548821	27.04.2023	00:40:21	4	27	0	13	54	173	240		
23	2023-04-27T00:57:51+03:00	38	43	0.290	70	0.770	196	0.760	1682549721	27.04.2023	00:55:21	4	27	0	13	54	149	216		
24	2023-04-27T01:12:51+03:00	39	44	0.290	70	0.774	265	0.861	1682550621	27.04.2023	01:10:21	4	27	1	13	54	228	295		
25	2023-04-27T01:27:51+03:00	40	70	0.320	70	0.770	532	0.870	1682551521	27.04.2023	01:25:21	4	27	1	22	54	463	539		
26	2023-04-27T01:42:51+03:00	41	69	0.320	70	0.770	487	0.850	1682552421	27.04.2023	01:40:21	4	27	1	22	54	414	490		
27	2023-04-27T01:57:51+03:00	42	70	0.320	69	0.776	529	0.854	1682553321	27.04.2023	01:55:21	4	27	1	22	54	451	527		
28	2023-04-27T02:12:51+03:00	43	44	0.290	69	0.772	519	0.850	1682554221	27.04.2023	02:10:21	4	27	2	13	53	441	507		
29	2023-04-27T02:27:51+03:00	44	44	0.293	70	0.770	510	0.860	1682555121	27.04.2023	02:25:21	4	27	2	13	54	439	506		
30	2023-04-27T02:42:51+03:00	45	43	0.300	70	0.770	385	0.810	1682556021	27.04.2023	02:40:21	4	27	2	13	54	312	379		
31	2023-04-27T02:57:51+03:00	46	44	0.295	69	0.780	459	0.877	1682556921	27.04.2023	02:55:21	4	27	2	13	54	403	469		
32	2023-04-27T03:12:51+03:00	47	43	0.297	69	0.770	302	0.790	1682557821	27.04.2023	03:10:21	4	27	3	13	53	239	305		
33	2023-04-27T03:27:51+03:00	48	69	0.330	69	0.770	439	0.840	1682558721	27.04.2023	03:25:21	4	27	3	23	53	369	445		

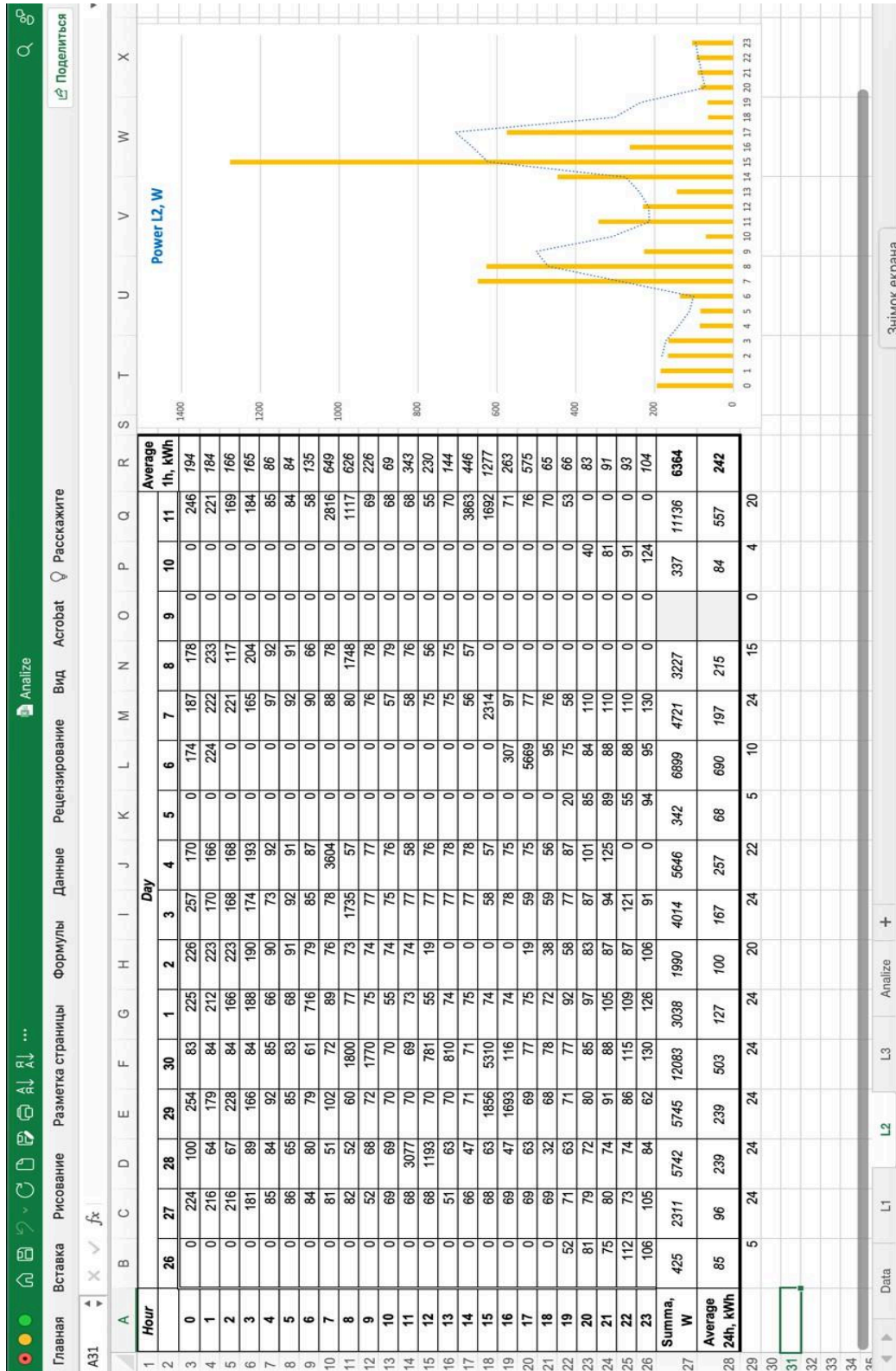
ДОДАТОК В

Результати математичної обробки вимірів по фазі L1



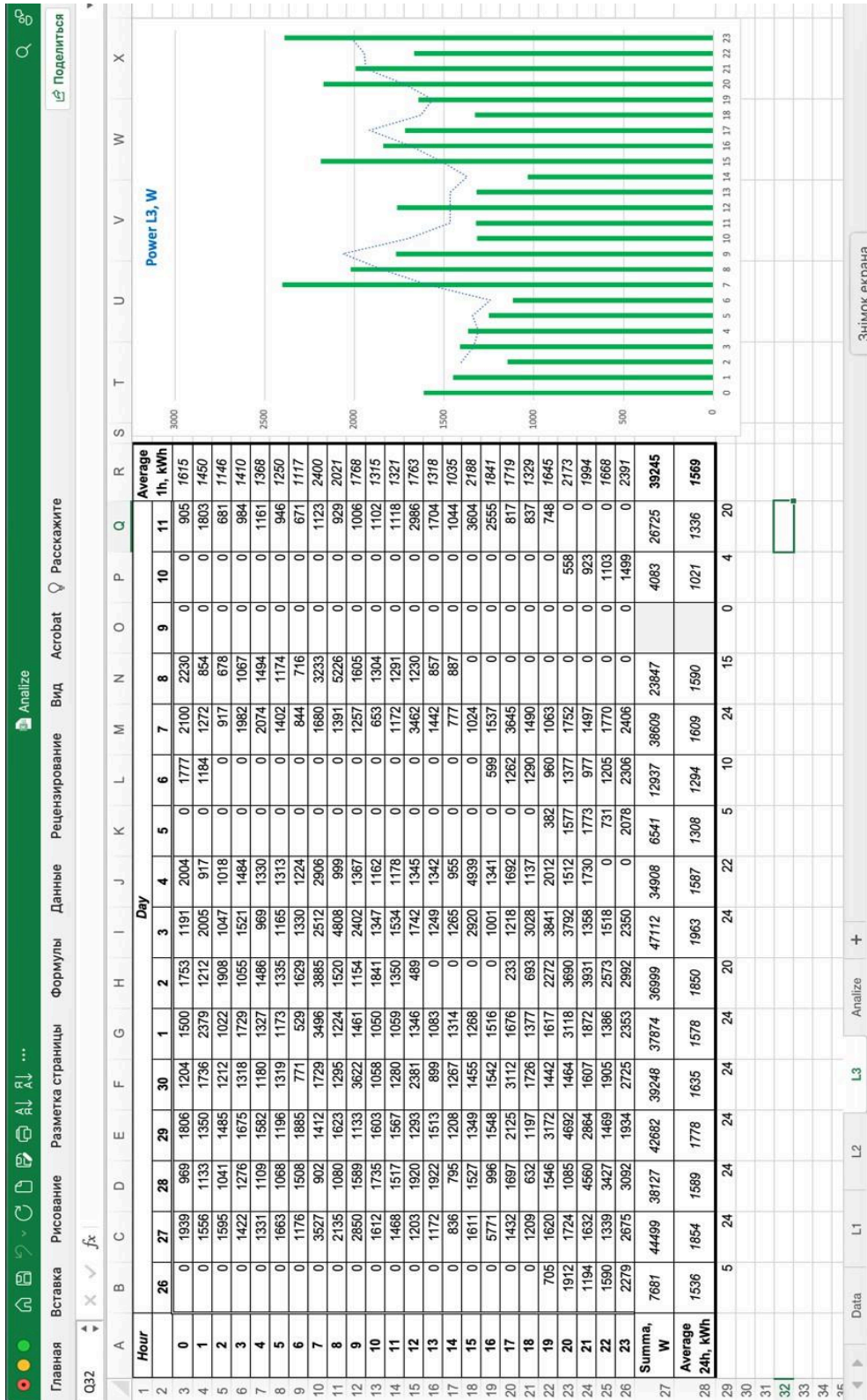
ДОДАТОК Г

Результати математичної обробки вимірів по фазі L2



ДОДАТОК Д

Результати математичної обробки вимірів по фазі L3



ДОДАТОК Е

Сумарні результати математичної обробки вимірів по трьом фазам

