DOI: 10.18372/2310-5461.66.20334
УДК 656.71.628.984(045)

С. С. Ільєнко**,** канд. техн. наук, доцент
Державний університет «Київський авіаційний інститут
https://orcid.org/0000-0002-0437-0995
e–mail: serhii.ilienko@npp.kai.edu.ua;

А. В. Ільєнко**,** канд. техн. наук, доцент
Державний університет «Київський авіаційний інститут»
https://orcid.org/0000-0001-8565-1117
e–mail: anna.ilienko@npp.kai.edu.ua;

С. В. Єнчев**,** д-р. техн. наук, професор
Державний університет «Київський авіаційний інститут»
https://orcid.org/0000-0001-6994-9378
e–mail: serhii.yenchev@npp.kai.edu.ua;

В. В. Тихонов**,** канд. техн. наук, доцент
Державний університет «Київський авіаційний інститут»
https://orcid.org/0000-0002-1579-5243
e–mail: viktor.tykhonov@npp.kai.edu.ua;

Д. Ю. Жила
Державний університет «Київський авіаційний інститут»
https://orcid.org/0009-0001-8031-9999
e–mail: 5428390@stud.nau.edu.ua

ЕФЕКТИВНІСТЬ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОПОТОКАМИ ТА МОНІТОРИНГ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТІВ АЕРОДРОМІВ СЕРТИФІКОВАНИХ ІСАО

Вступ

Глобальним критерієм функціонування цивільної авіації на міжнародному рівні є підтримка необхідного ІСАО (International Civil Aviation Organization) рівня безпеки і регулярності польотів повітряних суден (ПС). Однією з ланок у ланцюгу функціонування міжнародних аеропортів є забезпечення безпеки та регулярності польотів ПС на рівні якісного електропостачання та енергоефективного управління енергопотоками аеродромних електрифікованих систем. Саме до аеродромних електрифікованих систем висуваються жорсткі вимоги щодо їх електропостачання. Тому робота систем електропостачання (СЕП) аеродромів, сертифікованих ІСАО під пильним контролем не тільки державних органів сертифікацій (Державіаслужба України), а й міжнародних органів забезпечення безпеки польотів. Моніторинг та управління енергопотоками СЕП сертифікованих аеродромів здатні забезпечити не тільки якісне розуміння щодо електроспоживання аеродромним обладнанням, а й вплинути на його енергоефективність. Але необхідною та достатньою умовою такої діяльності є врахування всіх необхідних вимог нормативно-технічної документації (державних та міжнародних) щодо якості постачання електроенергії, надійності систем та обладнання (та безпеки його експлуатації). Використання сучасних SCADA-систем для моніторингу та управління параметрами СЕП дозволяє забезпечити високий рівень автоматизації та ефективності управління енергетичною інфраструктурою сертифікованого аеродрому. Це сприяє не тільки підвищенню надійності роботи СЕП, але й дозволяє оптимізувати витрати на електроенергію та обслуговування

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Електроприймачі за надійністю, що влаштовує СЕП сертифікованого аеродрому, відносять до І категорії. Згідно ПУЕ (пункт 1.2.17) [1] у складі електроприймачів І категорії виділяється особлива група електроприймачів, безперебійна робота яких є необхідною для безаварійної зупинки виробництва з метою запобігання загрозі життю людей, вибухам, пожежам і пошкодженням високовартісного основного обладнання, втраті важливої інформації.

© С. С. Ільєнко, А. В. Ільєнко, С. В. Єнчев та інші, 2025

Аеродромна інфраструктура забезпечення безпеки польотів живиться відповідно вимог I категорії особливої групи. Пункт 1.2.18 ПУЕ [1] наголошує, що електроприймачі I категорії треба забезпечувати електроенергією від двох незалежних взаєморезервуючих джерел живлення, і перерву їх електропостачання в разі порушення електропостачання від одного з джерел живлення можна допускати лише на час автоматичного відновлення живлення. Також слід зазначити, що Правила сертифікації цивільних аеродромів України [2] розробляються та затверджуються уповноваженим органом з урахуванням вимог Додатка 14 (Annex 14 "Aerodromes") ICAO.

Для електропостачання особливої групи електроприймачів I категорії має передбачатися додаткове живлення від третього незалежного взаєморезервуючого джерела живлення. ICAO регламентує норми щодо енергопостачання аеропортів (аеродромів в їх складі) (рис. 1) опсані в кількох ключових документах і розділах, які регламентують дизайн, операційну безпеку та технічну інфраструктуру аеродромів: Це НТД від ICAO: Annex 14 "Aerodromes", Doc 9157 (Розділи № 4, № 5), Doc. 9328, Doc 9137 (розділ № 8) [3–6]. За етапу проектування СЕП сертифікованого ICAO аеродрому, необхідно врахувати і інші енергооб'єкти, котрі живляться з одного і того ж джерела.

Перемикання джерел живлення потрібно здійснювати за мінімально короткий час, та намагатись не змінювати режим роботи обладнання споживачів. Час між повним відключенням первинного джерела та відновленням роботи у штатному режимі має бути строго регламентованим відповідними нормативно-технічними документами (табл. 1).

Також слід відмітити, що різноманітність споживачів типового сертифікованого аеродрому вказує на той факт, що споживачі є не тільки силовими лінійними елементами (споживається активна потужність), а й присутня достатня кількість силових напівпровідникових споживачів із значною кількістю споживачів генерування реактивної потужності (транзистори, тиристори, індуктивні котушки, конденсатори, тощо).

Якщо розглядати показники якості електроенергії (ПЯЕ), які не можна оминути під час забезпечення збору інформації щодо моніторингу параметрів електроенергії, слід зазначити, що саме такі напівпровідникові споживачі здатні спричиняти достатні неточності в даних та спотворення електроенергії. Якісний моніторинг не можливо забезпечити без реалізації точного визначення рівня спотворень електроенергії. Ця задача реалізується необхідним забезпеченням засобів вимірювальної техніки (ЗВТ), що мають можливість вимірювати всі параметри та виокремлювати їх по джерелах. До таких ЗВТ виносяться досить жорсткі вимоги як зі сторони точності і правильності вимірювання так і в напрямку електробезпеки та електричної сумісності.

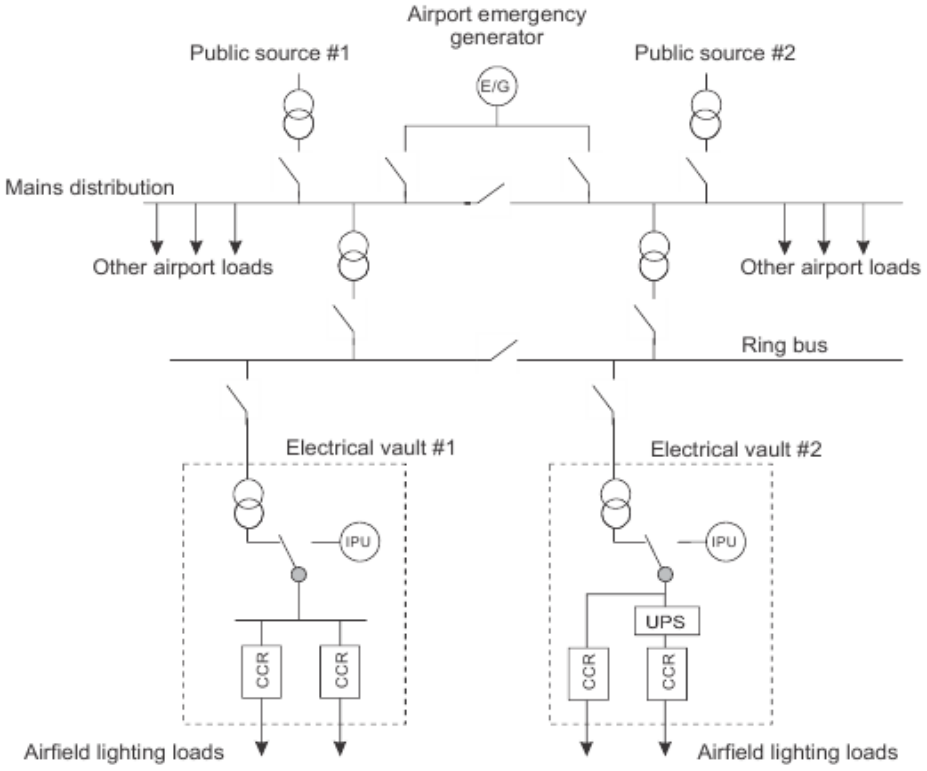


Рис. 1. Живлення аеропорту згідно ICAO Part 5. Doc 9157 (Aerodrome Design Manual) [5]

© С. С. Ільєнко, А. В. Ільєнко, С. В. Єнчев та інші, 2025

Таблиця 1

Максимальний час перемикання на резервне джерело живлення згідно ICAO Part 5. Doc 9157 (Aerodrome Design Manual) [5]

Об'єкт (електроприймач)	ЗПС I категорії ICAO		ЗПС II та III категорії ICAO	
	Категорія елетропостачання	Допустимий час перерви, с	Категорія електропостачання	Допустимий час перерви, с
ССО: • для забезпечення зльоту та посадки; • для забезпечення руління по аеродрому: – бокові вогні РД та некеровані знаки; – керовані знаки, стоп-вогні, осьові вогні РД. Загороджувальні вогні аеродромних перешкод	ОГ I – I	15 15 – 60	ОГ I ОГ I	1 15 1 60
ОСП	I	60	I	60
РТО: КРМ ГРМ: – внутрішній МРМ; – ближній МРМ; – дальній МРМ	 I I - I I	 30 30 - 60 60	 ОГ ОГ I I I	 0 0 1 1 10
Метеорогогічне обладнання	I	60	I	60
Радіоцентри: ПРЦ ПрРЦ	 I I	 60 60	 I I	 30 30

Ряд вітчизняних та зарубіжних публікацій [7-12] присвячені сучасним тенденціям аналізу обробки та підвищенню якості електроенергії з урахуванням впровадження в об'єкти критичної інфраструктури SCADA-технологій, технології Micro Grid, інтернету речей, систем електропостачання відновлювальної енергетики (сонце, вітер) тощо. Тому однією з задач, що потрібно вирішити для якісного моніторингу параметрів споживання електроенергії в умовах експлуатації сертифікованого ICAO аеродрому є вибір необхідних аналізаторів якості електроенергії, створення необхідних для таких задач методів та ЗВТ. Це дозволять визначати вплив окремих джерел на усталені в мережі ПЯЕ, а також визначити можливість проведення порівняльного аналізу існуючих. Враховуючи те, що якість електроенергії є комплексним значенням, в яке входить велика кількість величин, методи їхнього визначення також повинні бути визначені з урахуванням поставленого завдання.

Аналізатори якості параметрів електроенергії щодо вимог до ЗВТ щодо задач моніторингу параметрів якості електроенергії в системах електропостачання, повинні відповідати таким основним НТД (стандартам) [13–17]:

– СОУ-Н ЕЕ40.1-37471933-55:2011. Методика вимірювання якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення;

– ДСТУ EN 50160:2014 та його оновлена версія ДСТУ EN 50160:2023. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності;

– ДСТУ EN 62586-2:2018 Вимірювання якості електроенергії в системах електроживлення;

– ДСТУ EN 61000-4-30:2022. Електромагнітна сумісність (EMC);

– ДСТУ EN 50160:2023. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загальної призначеності (EN 50160:2022, IDT).

Метою статті є створення загальних підходів щодо обґрунтування та впровадження енергоефективних рішень для моніторингу та управління параметрами електроенергії в сертифікованому ICAO аеродромі на основі SCADA-технологій з метою підвищення надійності електропостачання та скорочення часу реагування на аварійні ситуації.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науково- практичними завданнями

Сучасний сертифікований згідно ICAO аеродром є об'єктом критичної інфраструктури з відповідними вимогами щодо забезпечення функціонування електротехнічних систем забезпечення безпеки польотів відповідно до категорійності ICAO. В сучасних умовах експлуатації інфра-

© С. С. Ільєнко, А. В. Ільєнко, С. В. Єнчев та інші, 2025

структурних об'єктів типового сертифікованого ІСАО аеродрому необхідним аспектом енергоефективної експлуатації такої СЕП передбачає наявність сучасних систем моніторингу та управління параметрами електроенергії, що споживають такі об'єкти.

Аеродромні електроспоживачі різноманітні, злітно-посадкові смуги (ЗПС) можуть бути в межах від 2 до 4 км в довжину, а це передбачає досить складне забезпечення моніторингу та ефективного управління енергопотоками сертифікованого аеродрому. Основними електроспоживачами сертифікованого аеродрому є (рис. 2 та табл. 2):

– система радіотехнічного обладнання (РТО);

– система світлотехнічного обладнання (ССО);

– система аеродромного метеорологічного обладнання (МО).

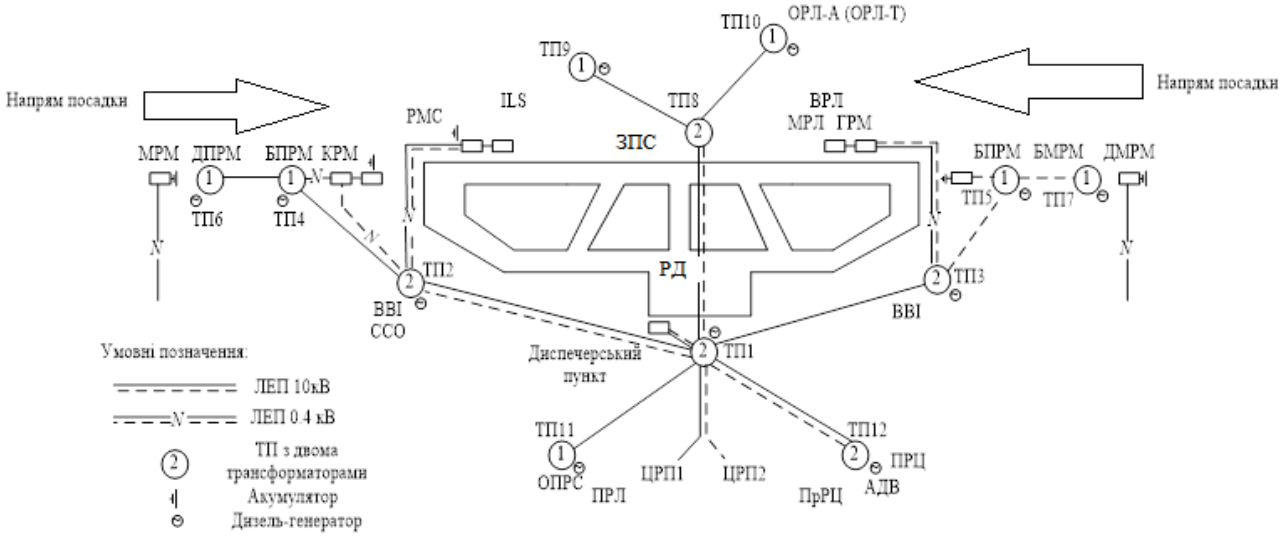


Рис. 2. Типове територіальне розміщення та способи електроживлення аеродромних систем та інфраструктурних об'єктів сертифікованого ІСАО аеродрому

Таблиця 2

Умовні скорочення та позначення до рис. 2

МРМ – маркерний радіомаяк	ПРЦ – прийомний радіоцентр
БПРМ – ближній приводний радіомаркерний пункт	ЛЕП – лінія електропередач (в тому числі кабельна)
ВВІ – вогні високої інтенсивності	ТП – трансформаторна підстанція
ССО – світлосигнальне обладнання	КРМ – курсовий радіомаяк
ОРЛ-А (ОРЛ-Т) – оглядовий радіолокатор аеродромний (трасовий)	ILS – наземне обладнання системи посадки метрового діапазону хвиль
РМС – радіомаякова система	ВРЛ – вторинний радіолокатор
МРЛ – метеорологічний радіолокатор	ГРМ – глісадний радіомаяк
БМРМ – ближній маркерний радіомаяк	ДМРМ – дальній маркерний радіомаяк
ОПРС - окрема приводна радіостанція	ПРЛ – посадочний радіолокатор
ЦРП – центральний розподільчий пристрій	ПрРЦ – передавальний радіоцентр
АДВ – аеродромна диспетчерська вишка	ПРЛ – посадочний радіолокатор
ДПРМ – дальній привідний радіомаркерний пункт	РД – руліжні доріжки ЗПС – злітно-посадкова смуга

Загальна схема роботи системи та обладнання РМС радіотехнічного обладнання показана на рис. 3. Склад електроспоживачів РТО серифікованого аеродрому: привідні аеродромні радіостанції; автоматичний радіопеленгатор; радіотехнічна система ближньої навігації; радіомаякова система інструментального заходу ПС на посадку (РМС) (дециметрового та/або метрового діапазонів радіохвиль – ILS); маркерні радіомаяки (курсовий радіомаяк, глісадний радіомаяк, дальній, середній та ближній маркерні радіомаяки; радіолокаційна система посадки (аеродромний оглядовий, вторинний та посадковий радіолокатори); радіолокаційні станції; обладнання пунктів управління повітряним рухом у районі аеродрому; обладнання електрозв'язку; обладнання об'єктивного контролю.

© С. С. Ільєнко, А. В. Ільєнко, С. В. Єнчев та інші, 2025

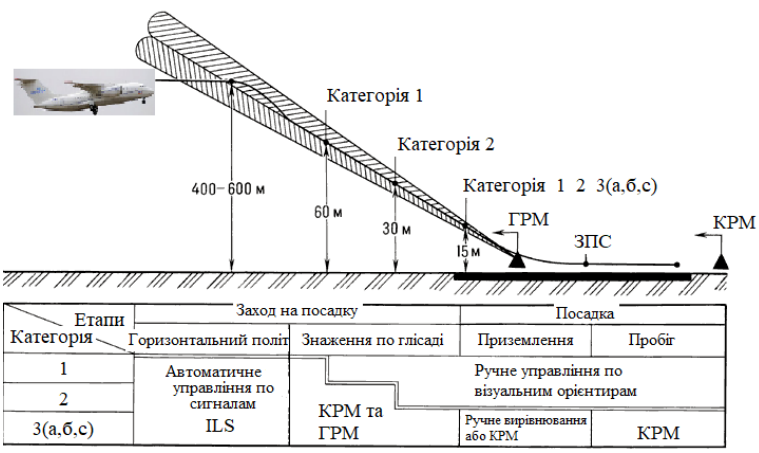


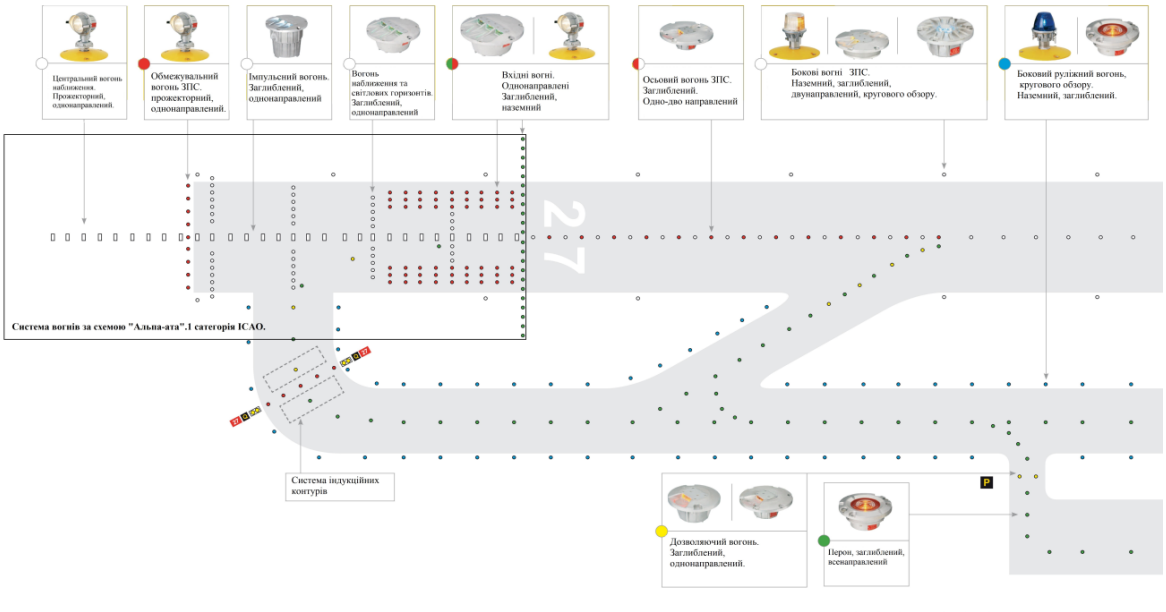
Рис. 3. Загальна схема роботи системи та обладнання РМС радіотехнічного обладнання типового сертифікованого ІСАО аеродрому

Типова світлосигнальна система сертифікованого аеродрому та його обладнання показана на рис. 4. В межах однієї ЗПС з різних заходів на посадку може бути реалізовано дві конструктивно різні схеми ССО, що відповідають своїй категорії ІСАО. Типовий склад електроспоживачів світлосигнальної системи аеродрому, сертифікованого по одній з категорій ІСАО:

– підсистеми ССО на ЗПС та РД;

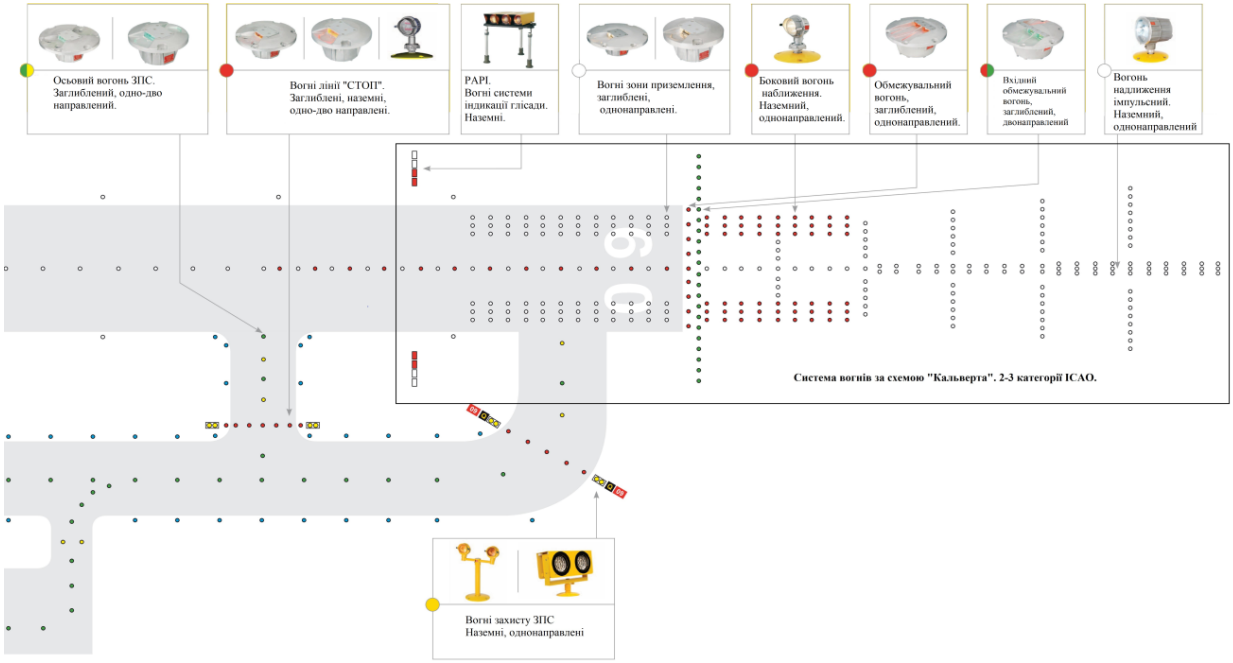
– підсистеми ССО до ЗПС по курсу посадки не менше ніж за 900 м до її торця;

– СЕП будівель з відповідним обладнанням силового та дистанційного управління (регулятори яскравості, ТП, органи управління, тощо).



а

© С. С. Ільєнко, А. В. Ільєнко, С. В. Єнчев та інші, 2025



б

Рис. 4. Типова світлосигнальна система сертифікованого аеродрому та його обладнання:
а – з одного заходу 3 категорія; *б* – з іншого – 1 категорія ІСАО)

Метеорологічне обладнання типового сертифікованого ІСАО аеродрому [4] представимо на прикладі автоматизованої системи вимірювання дальності видимості (RVR) за допомогою приладів (рис. 5.)

Системи вимірювання RVR за допомогою приладів можуть відрізнятися за складністю – від простих систем з одним приладом до досконалих, повністю автоматизованих систем з двома, трьома чи чотирма приладами на кожній ЗПС. Розраховані значення RVR відтворюються у цифровому вигляді на дисплеях різних станцій, включаючи індикатори, встановлені у відповідних пунктах обслуговування повітряного руху. Ці дисплеї можуть бути автономними, або використовуватися для відображення. Покажемо компоненти електрифікованої автоматизованої системи вимірювання RVR:

– трансмісометр або вимірювач прямого розсіювання;

– датчик яскравості фону;

– реєстратор RVR (спеціально виділена або у складі комплексної системи спостережень);

– засоби введення значень сили світла.

Виходячи з загального аналізу експлуатаційних характеристик СЕП типового сертифікованого ІСАО аеродрому актуальним та практичним рішенням щодо оптимізації завдань впровадження енергоефективних рішень для моніторингу та управління параметрами електроенергії в сертифікованому ІСАО аеродромі авторами визначено використання ефективних рішень на основі SCADA-технологій (SCADA – Supervisory Control And Data Acquisition). Це забезпечить ефективне підвищення надійності електропостачання та сприятиме значному скороченню часу реагування на аварійні ситуації. Основні технічні підходи застосування SCADA-технологій включають:

– застосування сучасних комп'ютерних засобів для автоматизації збору даних та управління енергетичними потоками та параметрами;

– використання симуляційних та математичних моделей для прогнозування та оптимізації енергоспоживання, з урахуванням специфіки роботи аеродрому та різноманітних енергооб’єктів на його території;

– впровадження інструментів для автоматичного фіксування та аналізу великих обсягів даних щодо якості параметрів.

© С. С. Ільєнко, А. В. Ільєнко, С. В. Єнчев та інші, 2025

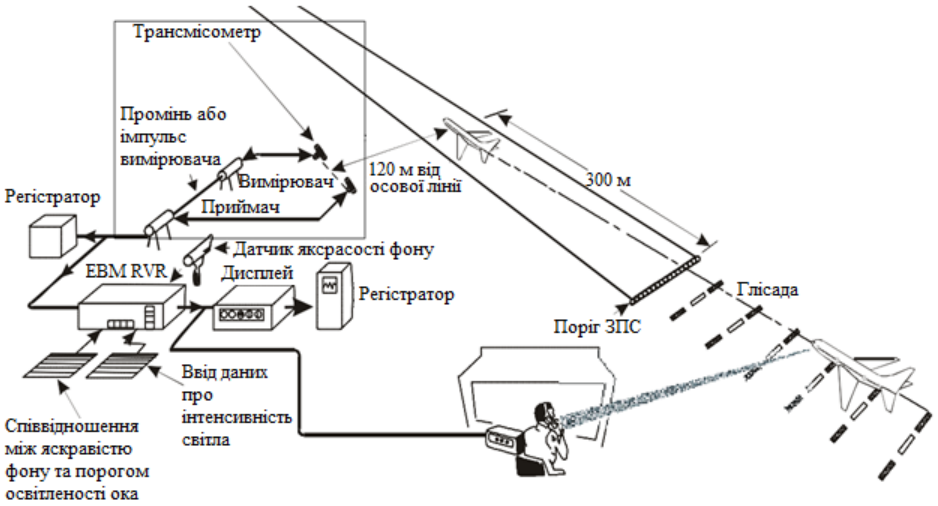


Рис. 5. Автоматизована система виміру дальності видимості RVR

Виклад основного матеріалу

Енергоефективні рішення для моніторингу та управління параметрами електроенергії в сертифікованому ICAO аеродромі визначено впроваджувати на основі SCADA-технологій. SCADA, це програмно-апаратний комплекс, який забезпечує контроль, управління та збір даних у реальному часі для моніторингу та управління різними процесами, що має на меті забезпечення безперервної роботи та автоматизації об'єктів, а також реалізує можливість отримання оператором аналіз інформації щодо технологічних процесів.

Архітектура SCADA містить такі компоненти:

– промислові контролери (PLC або RTU) для збереження та передачі даних про стан необхідних параметрів та обладнання;

– інтерфейси людина-машина (HMI) для спостереження про значення необхідних даних та корекції в реальному часовому проміжку;

– програмне забезпечення для збору, зберігання та обробки даних щодо необхідних параметрів.

Наведемо приклад використання SCADA технологій в аеропорту м Сіань, КНР:

– Код IATA (International Air Transport Association): XIY;

– Код ICAO (International Civil Aviation Organization): ZLXY;

– Клас аеродрому: 4F, що відповідає вимогам для обслуговування далекомагістральних літаків, таких як Airbus A380 та Boeing 747;

– ЗПС 05L/23R та 05R/23L, довжина яких становить 3800 метрів кожна, покриття асфальтобетонне.

Це найбільший аеропорт в північно-західній частині Китаю, та 8-ий по всій КНР. В своєму підпорядкуванні має 3 термінали, що дозволяє приймати більш як 30 мільйонів пасажирів в рік. Обидві ЗПС оснащені системою інструментальної посадки ILS категорії IIIB, яка дозволяє здійснювати посадки в умовах складних метеоумов. В аеропорту м. Сіань реалізована HMI/SCADA-система з найменш енергозатратним та надійним в своїй роботі модулем управління використанням енергоресурсів, та інтегровано програмне забезпечення (ПЗ) від ICONICS, GENESIS64 з вбудованими модулями. Основні компоненти HMI/SCADA-системи, застосовані в аеропорті м Сіань показані в табл. 3.

Загальні дані щодо потужності аеродромних споживачів електроенергії СЕП показані в табл. 4.

Методичні основи вибору та впровадження SCADA-системи в сертифікований ICAO аеродром в умовах України

1. Інженерний розрахунок загальної потужності СЕП аеродромних споживачів електроенергії в залежності від кількості обладнання, потужності його споживання та категорованості ICAO, що досить суттєво змінюється від підвищення категорії та модернізації ЗПС (або вводу нових ЗПС).

Таблиця 3

Основні компоненти SCADA-системи, застосовані в аеропорті м. Сіань, КНР

Компонент/обладнання	Опис та функціонал
GENESIS64	Сучасний графічний інструмент візуалізації даних HMI/SCADA GraphWorX64 та геоінформаційна система SCADA EarthWorX.
WebHMI	Програмне забезпечення для автоматизації в реальному часі на основі Web-технологій.
Hyper Historian	Високошвидкісний та надійний сервер для зберігання даних.
AnalytiX	Аналітичний інструмент, ПЗ для діагностики обладнання Facility AnalytiX та покращене ПЗ для управління енергоспоживанням Energy AnalytiX.

© С. С. Ільєнко, А. В. Ільєнко, С. В. Єнчев та інші, 2025

Таблиця 4

Загальні дані щодо потужності СЕП аеродромних споживачів електроенергії

ТП/ЦРП в межах аеродрому	Споживачі системи РТО	Споживачі ССО	Споживачі системи метеоро обладнання
ЦРП1 ЦРП2 ТП1 ТП2 ТП3 ТП4 ТП5 ТП6 ТП7 ТП8 ТП9 ТП11 Опційно ТП12…ТП15	– привідні аеродромні радіостанції; – автоматичний радіопеленгатор; – радіотехнічна система ближньої навігації; – радіомаякова система РМС (ILS); – маркерні радіомаяки (курсовий, глісадний, дальній, середній та ближній); – радіолокаційна система посадки (аеродромний оглядовий, вторинний та посадковий радіолокатори); радіолокаційні станції; обладнання пунктів управління повітряним рухом у районі аеродрому; – обладнання електрозв'язку; – обладнання об'єктивного контролю	Підсистеми ССО на ЗПС та РД; – підсистеми ССО до ЗПС по курсу посадки не менше ніж за 900 м до її торця; – споживачі будівель з відповідним обладнанням силового та дистанційного управління (регулятори яскравості, органи управління, тощо)	Автоматизованої системи вимірювання дальності видимості: – трансмісометр або вимірювач прямого розсіювання; – датчик яскравості фону; – реєстратор RVR; – засоби введення значень сили світла. Метеорогічне обладнання визначення температури, тиску над рівнем моря, швидкості вітру, зсуву вітру, тощо
Загальна потужність, кВА	Загальна потужність в межах 30-50 кВА	Загальна потужність в межах 60-120 кВА	Загальна потужність в межах 10-20 кВА
Потрібно враховуівти під час розрахунку, кВА	Наземне електроживлення ПС в межах стоянок аеродрому в межах 600-900 кВА; Аварійно-рятувальні служби в межах 40-60 кВА; Опційне обладнання, що характерне регіональному розміщенню аеродрому, висотності, кліматичним зонам, тощо		

2. Вибір необхідного обладнання та розробка системи моніторингу параметрів електроенергії. Покажемо приклад вибору універсального модулю моніторингу параметрів електропостачання під конкретну ТП з параметрами 0.4 кВ. Реалізація етапу вибору обладнання побудована з урахуванням досвіду українського виробника AUTOSCADA. Система побудована на базі відкритої архітектури, що дозволяє інтегрувати її з різними типами обладнання, базами даних та промисловими протоколами для автоматизації та моніторингу промислових процесів. SCADA-система TRACE MODE є модульною (рис. 6) забезпечує моніторинг та опрацювання інформації в реальному часі.

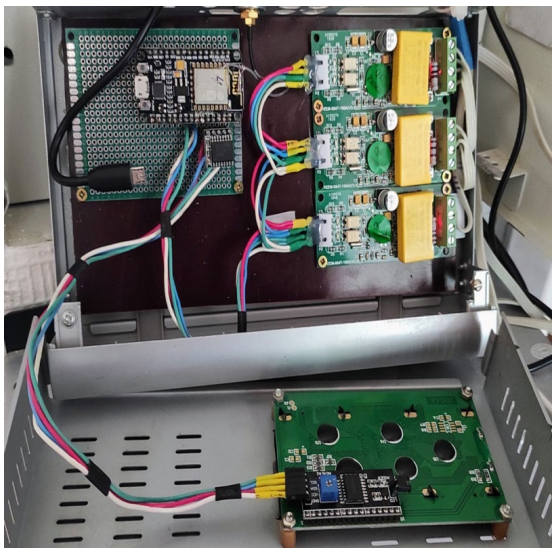


Рис. 6. Універсальний модуль моніторингу параметрів електропостачання у зборі, реалізований AUTOSCADA

© С. С. Ільєнко, А. В. Ільєнко, С. В. Єнчев та інші, 2025

Складові універсального модулю:

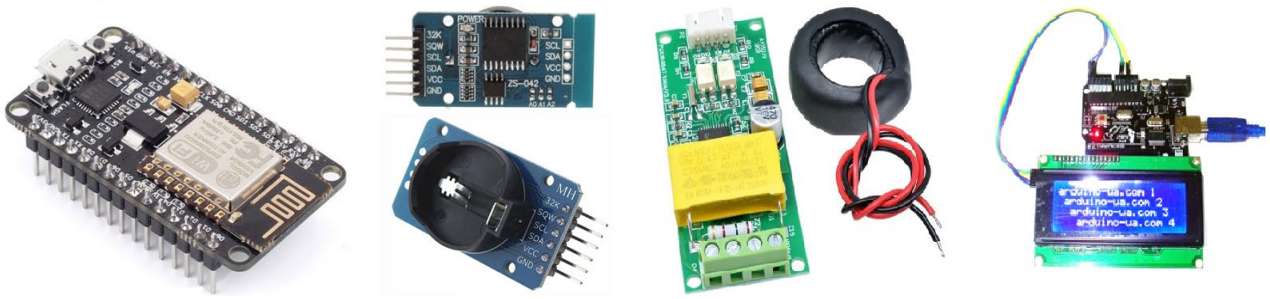
– чіп ESP8266 (версія ESP12E), є UART-WiFi модулем з ультра низьким споживанням (рис. 7, *а*);

– модуль годинника реального часу (RTC) побудований на мікросхемі DS3231 (рис. 7, *б*);

– модуль вимірювання параметрів споживання змінного струму PZEM-004T 100A V3.0 (рис. 7, *в*);

– LCD екран 20 символів 4 рядки з керуванням по шині I2C (TWI, IIC), що дуже зручно при нестачі вільних виводів на Arduino (рис. 7, *г*).

3. Розробка ПЗ роботи системи моніторингу параметрів електроенергії.



а *б* *в* *г*

Рис. 7. Складові універсального модулю моніторингу параметрів електропостачання СЕП від AUTOSCADA

Алгоритм роботи програмного забезпечення роботи системи моніторингу параметрів електропостачання СЕП від AUTOSCADA показаний на рис. 8.

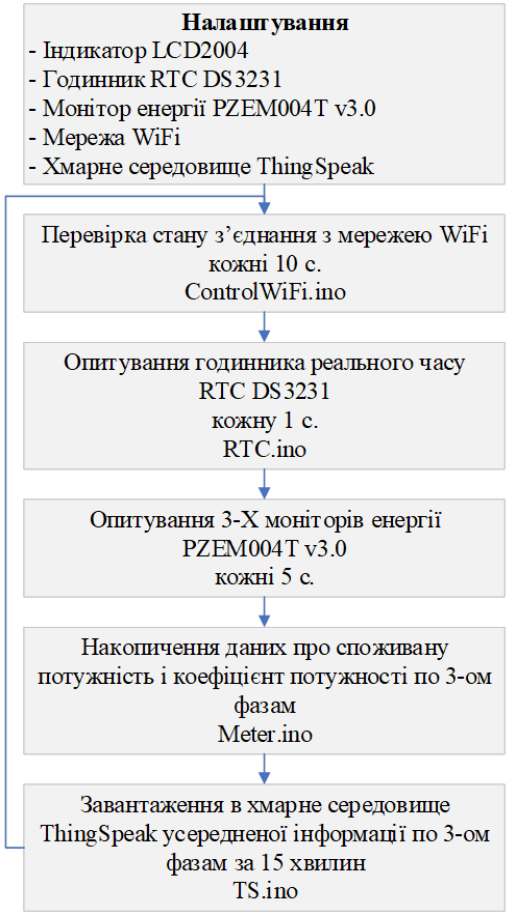


Рис. 8. Алгоритм роботи програмного забезпечення роботи системи моніторингу параметрів електропостачання СЕП від AUTOSCADA

Робота ПЗ базується на такому алгоритмі:

– перевірка стану з'єднання з мережею WiFi. Універсальний модуль перевіряє з'єднання з інтернетом кожні 10 секунд. За це відповідає файл ControlWiFi.ino, а саме код який здійснює перевірку і повторне під'єднання до мережі. Програма продовжує працювати у випадку втрати з'єднання з WiFi мережею, але інформація буде втрачена;

– опитування годинника реального часу. Код, який міститься в файлі RTC.ino, проводить опиту-

© С. С. Ільєнко, А. В. Ільєнко, С. В. Єнчев та інші, 2025

вання годинника RTC DS3231 та зберігає його в змінній, що дозволяє контролювати часові проміжки для аналізу даних;

– опитування 3-х моніторів енергії PZEM004T v3.0. Мікроконтролер проводить опитування модуля вимірювання параметрів споживання змінного струму PZEM-004TV3.0 кожні 5 секунд. Вони дозволяють вимірювати різні параметри: струм, напругу, потужність, частоту, коефіцієнт потужності. На базі цих даних можна контролювати стан навантаження в мережі;

– накопичення даних про споживану потужність і коефіцієнт потужності по 3-ом фазам. Монітор енергії отримує дані від трансформатора струму і датчика змінної напруги, опитування проводяться кожні 5 секунд (12 вимірів за хвилину). Дані зберігаються в локальній пам'яті. Код міститься у файлі Meter.ino;

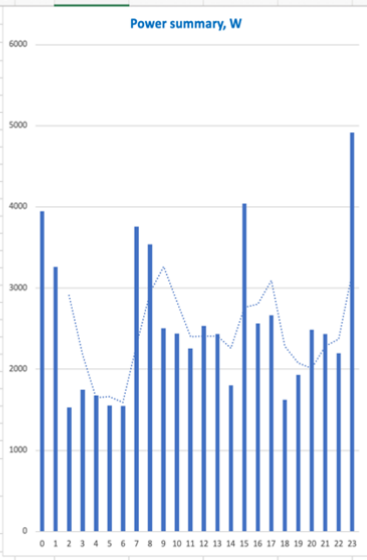
– завантаження в хмарне середовище Thing Speak усередненої інформації по 3-ом фазам за 15 хвилин (12 вимірів × 15 хвилин = 180 вимірів).

4. Вибір необхідної кількості модулів та інтеграція їх до ТП, що розташовані на території сертифікованого аеродрому, та налаштування роботи загальної системи моніторингу.

5. Збір інформації певного формату (рис. 9) з подальшим аналізом даних щодо ефективності розподілу та управління енергопотоками сертифікованого аеродрому.

U32

Hour	Day																Average
	26	27	28	29	30	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1h, kWh
0	0	2213	5099	4484	5244	3865	6284	3553	2252	0	2017	3810	3378	0	0	5150	3946
1	0	1852	1230	3195	1867	7172	1497	2206	1117	0	1451	7612	1136	0	0	8817	3263
2	0	1862	1151	1765	1368	1247	2202	1247	1223	0	0	3061	817	0	0	882	1530
3	0	1685	1408	1900	1446	1959	1308	1727	1722	0	0	3589	1315	0	0	1208	1752
4	0	1478	1256	1735	1345	1443	1637	1074	1466	0	0	4083	1631	0	0	1288	1676
5	0	1827	1171	1340	1451	1272	1503	1297	1445	0	0	3409	1305	0	0	1067	1553
6	0	2082	1645	2030	887	1289	2360	1454	1379	0	0	2352	811	0	0	760	1550
7	0	5689	1036	1556	2151	3672	4023	2675	6617	0	0	2806	3353	0	0	7751	3757
8	0	3649	1224	2716	5179	1477	1793	6686	1544	0	0	5497	7016	0	0	2158	3540
9	0	2942	1698	1265	7522	1920	2036	2532	1483	0	0	3271	1752	0	0	1111	2503
10	0	1751	4356	1716	1495	1147	1953	3432	1309	0	0	4091	1447	0	0	4116	2438
11	0	1585	4647	1677	1410	1979	1463	1714	1363	0	0	2662	1407	0	0	4938	2259
12	0	1320	3847	1412	3213	2104	517	3834	1461	0	0	5447	1317	0	0	3386	2532
13	0	1262	2026	3820	1738	1197	0	1386	1460	0	0	7455	974	0	0	3029	2435
14	0	950	872	1320	1406	1428	0	1391	1073	0	0	3683	975	0	0	4945	1804
15	0	1740	1630	3301	6807	2206	0	4000	6025	0	0	3370	0	0	0	7295	4042
16	0	7911	1073	3463	2444	2468	0	1120	1456	0	1375	1676	0	0	0	2662	2565
17	0	1560	1799	2264	4190	3015	262	1359	1807	0	8385	3764	0	0	0	932	2667
18	0	1340	723	3210	1844	1497	757	3180	1223	0	1524	1608	0	0	0	942	1623
19	808	2136	1908	3365	1705	1759	3077	4150	2554	515	1102	1217	0	0	0	854	1935
20	2133	2215	1199	5134	1774	3317	3855	4105	1808	2065	1757	2085	0	0	858	0	2485
21	2108	2107	4867	3157	1924	2320	4254	1605	2060	2766	1331	1924	0	0	1221	0	2434
22	1755	1718	3883	1604	2385	2788	2812	3276	0	953	1558	2241	0	0	1415	0	2199
23	2437	3108	5716	2098	6961	8655	7073	4544	0	5514	4580	4580	0	0	3745	0	4918
Summa, W	9241	55979	55465	59531	67756	61196	50666	63550	43847	11813	25079	85293	28633		7239	63290	61403
Average 24h, kWh	1848	2332	2311	2480	2823	2550	2533	2648	1993	2363	2508	3554	1909		1810	3165	2455
	5	24	24	24	24	24	20	24	22	5	10	24	15	0	4	20	



Data L1 L2 L3 Analize + Знімок екрана

Рис. 9. Приклад обробки результатів за допомогою спеціалізованого ПЗ вимірів необхідних параметрів заданих SCADA-системою TRACE MODE за вказаний період

Висновки

Запропоновані універсальні рішення для моніторингу та управління параметрами електроенергії в сертифікованому ІСАО аеродромі на базі SCADA-системи TRACE MODE в умовах України, що досить суттєво змінюється від підвищення категорії ІСАО та модернізації ЗПС (або вводу нових ЗПС). Представлені методичні основи вибору та впровадження SCADA-системи AUTOSCADA.

Визначено ряд переваг та можливостей реалізації такої SCADA-системи, а саме:

1. Універсальність та масштабованість:

– підтримка до 64 000 точок введення/виведення для моніторингу та керування технологічними процесами;

– підтримка різних промислових протоколів, таких як OPC (OLE for Process Control) та GSM, для передачі даних через віддалені пристрої;

– можливість працювати на різних платформах: від локальних комп'ютерів до серверів з підтримкою веб-інтерфейсів та хмарних рішень.

2. Модульність:

– універсальний модуль моніторингу МРВ (Монітор Реального Часу) і МРВ+ модулі забезпечують архівування, збір даних і відображення в реальному часі. Модулі можуть налаштовуватися під конкретні задачі виробництва, зокрема для збору та зберігання великих обсягів даних, з подальшою аналітикою;

– додаткові модулі включають підтримку віддалених робочих місць, шаблонів документуван-

© С. С. Ільєнко, А. В. Ільєнко, С. В. Єнчев та інші, 2025

ня, резервування даних, інтеграції з базами даних ODBC та інше.

3. Широка функціональність:

– система надає гнучкі засоби архівування, можливість створення звітів, управління тривогами і попередження про аварійні ситуації;

– підтримка GSM та GPRS технологій дозволяє відправляти повідомлення або керувати процесами дистанційно через SMS або мобільний інтернет;

– автоматизоване управління та віддалений моніторинг з веб-інтерфейсом забезпечують користувачам доступ до даних з будь-якої точки світу, що є важливим для великих виробництв або віддалених об'єктів.

4. Здатність до Інтеграції:

– SCADA-системи TRACE MODE підтримує інтеграцію з іншими системами керування, такими як ERP або MES (Manufacturing Execution Systems), що дозволяє забезпечити повну автоматизацію виробничого процесу;

– можливе підключення до різних промислових контролерів (PLC) і систем, які використовують стандартизовані протоколи передачі даних.

ЛІТЕРАТУРА

[1] Правила улаштування електроустановок: 2017 : офіц. вид. Київ : Міненерговугілля України, 2017. 617 с.

[2] Наказ № 536 від 01.04.2021. Про затвердження Авіаційних правил України «Правила сертифікації цивільних аеродромів України» (із змін., внесеними згідно з Наказом Державної авіаційної служби № 619 від 06.10.2023)

[3] International Civil Aviation Organization. Doc 9157. Aerodrome Design Manual. Part 5. – Electrical Systems. 2nd ed. Montréal : ICAO, 2017.

[4] International Civil Aviation Organization. Doc 9328-EN. Manual of Runway Visual Range Observing and Reporting Practices. 3rd ed. Montréal : ICAO, 2005.

[5] International Civil Aviation Organization. Doc 9157. Aerodrome Design Manual. Part 4, Visual Aids. 5th ed. Montréal : ICAO, 2021.

[6] International Civil Aviation Organization. Doc 9137. Airport Services Manual. Part 8, Airport Operational Services. Montréal : ICAO, 2012.

[7] Грицак Р., Яворський А. Огляд сучасного стану законодавчого регулювання, технологій та засобів вимірювальної техніки у сфері вимірювання якості електричної енергії. *Measuring and computing devices in technological processes*, (4). С. 251–264.

[8] Сінчук І. О. Контроль якості електричної енергії в аспекті впровадження технології Micro Grid. *Науковий журнал «Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки»*, Том 34 (73) № 2, 2023. С. 288–292.

[9] Alcayde A., Montoya F. G., Arrabal-Campos F. M., González J., Ortiz A., & Baños R. Understanding Power Quality using IoT-based Smart Analyzers and Advanced Software Tools. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, (19), 2021.P. 356–361.

[10] Badar J., Ali S., Munir H. M., Bhan V., Bukhari S. S. H. & Ro J. S. Reconfigurable power quality analyzer applied to hardware-in-loop test bench. *Energies*, 14(16), 2021, p. 5134.

[11] Alcayde A., Montoya F. G., Arrabal-Campos F. M., González J., Ortiz A. & Baños R. Understanding Power Quality using IoT-based Smart Analyzers and Advanced Software Tools. *Renewable Energy and Power Quality Journal*, (19), 2021, p. 356–361.

[12] Gada S., Fekik A., Mahdal M., Vaidyanathan S., Maidi A. & Bouhedda A. Improving power quality in grid-connected photovoltaic systems: A comparative analysis of model predictive control in three-level and two-level inverters. *Sensors*, 23(18), 2023, p. 7901.

[13] Методика вимірювання якості електричної енергії в системах електропостачання загального призначення : СОУ-Н ЕЕ40.1-37471933-55:2011. Київ : Міненерговугілля України, 2012.

[14] ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення (EN 50160:2010, IDT) [Чинний від 2014-05-20]. Вид. офіц. Київ, 2018. (Інформація та документація).

[15] ДСТУ EN 62586-2:2018. Вимірювання якості електроенергії в системах електроживлення. Частина 2. Функційні випробування та вимоги щодо невизначеності (EN 62586-2:2017, IDT; IEC 62586-2:2017, IDT) [Чинний від 2018-08-02]. Вид. офіц. Київ, 2018. (Інформація та документація).

[16] ДСТУ EN 61000-4-30:2022. Електромагнітна сумісність (EMC). Частина 4-30. Методи випробування та вимірювання. Методи вимірювання якості електроенергії (EN 61000-4-30:2015, IDT) [Чинний від 2022-12-28]. Вид. офіц. Київ, 2022. (Інформація та документація).

[17] ДСТУ EN 50160:2023. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення (EN 50160:2022, IDT) [Чинний від 2023-12-04]. Вид. офіц. Київ, 2023. (Інформація та документація).

© С. С. Ільєнко, А. В. Ільєнко, С. В. Єнчев та інші, 2025

Ільєнко С. С., Ільєнко А. В., Єнчев С. В., Тихонов В. В., Жила Д. Ю.

ЕФЕКТИВНІСТЬ УПРАВЛІННЯ ЕНЕРГОПОТОКАМИ ТА МОНІТОРИНГ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ В ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТІВ АЕРОДРОМІВ СЕРТИФІКОВАНИХ ІСАО

Враховуючи різноманітність аеродромних електроспоживачів та специфіку їх електропостачання визначено, що системи електропостачання аеродромів сертифікуються згідно вимог державних органів сертифікації України та вимог і рекомендованої практики ІСАО. Моніторинг та управління енергопотоками в системі електропостачання сертифікованих аеродромів забезпечують якісне розуміння щодо електроспоживання аеродромним обладнанням та впливають на його енергоефективність. Використання сучасних SCADA-систем для моніторингу та управління параметрами СЕП забезпечує необхідний рівень автоматизації та ефективності управління енергетичною інфраструктурою сертифікованого аеродрому.

Запропоновано універсальні рішення для моніторингу та управління параметрами електроенергії в сертифікованому ІСАО аеродромі на базі SCADA-системи TRACE MODE в умовах України.

Представлені методичні основи вибору та впровадження SCADA-системи AUTOSCADA. Визначено ряд переваг та можливостей реалізації такої SCADA-системи. Обґрунтовано необхідність забезпечення автоматизованого управління та віддаленого моніторингу з веб-інтерфейсом та *підтримкою інтеграції з іншими системами керування, такими як ERP або MES (Manufacturing Execution Systems), що дозволить забезпечити повну автоматизацію виробничого процесу. Ефективність управління енергопотоками досягається за рахунок використання універсального модулю моніторингу МРВ (Монітор Реального Часу) та МРВ+ модулів архівування, збору даних та відображення в реальному часі необхідної інформації. Модулі налаштовуються на необхідні задачі з забезпеченням гнучких засобів та способів зберігання та обробки інформації про параметри електроенергії, попередження про аварійні ситуації, тощо. Запропоновано використання підтримки GSM та GPRS для ефективного керування процесами дистанційно через SMS або мобільний інтернет.*

Ключові слова: Моніторинг, управління, система електропостачання, ІСАО, безпека польотів, аеродром, SCADA-система, злітно-посадкова смуга, радіотехнічне обладнання, світлосигнальне обладнання, метеорологічне обладнання, електроприймачі 1 категорії особливої групи.

Ilienko S., Ilienko A., Yenchev S., Tykhonov V., Zhyla D.

EFFICIENCY OF POWER FLOW MANAGEMENT AND MONITORING OF POWER SUPPLY PARAMETERS IN ELECTRICAL SYSTEMS OF FLIGHT SAFETY OF AIRPORTS CERTIFIED BY ICAO

Taking into account the diversity of airfield power consumers and the specifics of their power supply, it has been determined that airfield power supply systems are certified in accordance with the requirements of state certification bodies of Ukraine and the requirements and recommended practices of ICAO. Monitoring and management of power flows in the power supply system of certified airfields provide a qualitative understanding of the power consumption of airfield equipment and affect its energy efficiency. The use of modern SCADA systems for monitoring and managing the parameters of the EES provides the necessary level of automation and efficiency of management of the energy infrastructure of a certified airfield.

Universal solutions for monitoring and managing electricity parameters at an ICAO-certified airfield based on the TRACE MODE SCADA system in Ukrainian conditions are proposed.

Methodological bases for selecting and implementing the AUTOSCADA SCADA system are presented. A number of advantages and possibilities for implementing such a SCADA system are identified. The need for automated control and remote monitoring with a web interface and support for integration with other control systems, such as ERP or MES (Manufacturing Execution Systems), is substantiated, which will allow for full automation of the production process. The efficiency of energy flow management is achieved through the use of the universal monitoring module MRV (Real Time Monitor) and MRV+ modules for archiving, data collection and real-time display of the necessary information. The modules are configured for the necessary tasks with the provision of flexible means and methods for storing and processing information on electricity parameters, warning about emergency situations, etc. The use of GSM and GPRS support is proposed for effective process management remotely via SMS or mobile Internet.

Keywords: Monitoring, control, power supply system, ICAO, flight safety, airfield, SCADA system, runway, radio equipment, light signal equipment, meteorological equipment, electrical receivers of the 1st category of the special group.

Стаття надійшла до редакції 18.04.2025 р.
Прийнято до друку 11.06.2025 р.

© С. С. Ільєнко, А. В. Ільєнко, С. В. Єнчев та інші, 2025