

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

КИЧАК Володимир Ярославович

**Комп'ютерно-інтегрована система контролю
метеопараметрів аеропорту / Computer-integrated system
for monitoring airport meteorological parameters**

спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи АКІТм - 21
В.Я Кичак

Науковий керівник
к.т.н., доцент І.Р.Пітух

Кваліфікаційну роботу допущено
до захисту:

« ____ » _____ 2024 р.

Завідувач кафедри

_____ А.І.Сегін

ТЕРНОПІЛЬ – 2024

Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Освітній ступінь "магістр"
спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка
освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри СКС

_____ А.І.Сегін
“ ____ ” _____ 20__ р.

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

КИЧАК Володимир Ярославович

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи

Комп'ютерно-інтегрована система контролю метеопараметрів аеропорту /
Computer-integrated system for monitoring airport meteorological parameters.

керівник роботи к.т.н., доцент І.Р. Пітух
затверджені наказом по університету від 12 грудня 2023 р. № 753

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи

15 листопада 2024р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи:

1. Інфраструктура аеропорту та функції основних центрів.
2. Структура метеорологічної служби аеропорту.
3. Метеорологічні параметри, що впливають на організацію авіаційної навігації.
4. Джерела отримання даних та обладнання систем метеомоніторингу.

4. Основні питання, які потрібно розробити

1. Аналіз інфраструктури аеропорту та організації руху в повітряному просторі.
2. Обґрунтування вибору компонентів та проектування комп'ютерно-інтегрованої системи.
3. Реалізація комп'ютерно-інтегрованої системи контролю метеопараметрів аеропорту.

5. Перелік графічного матеріалу у роботі

1. Структурна схема.
2. Функціональна схема.
3. Схема принципова електрична.
4. Алгоритм роботи комп'ютерно-інтегрованої системи.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	І.Р. Пітух к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		
2	І.Р. Пітух к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		
3	І.Р. Пітух к.т.н., доцент, доцент кафедри СКС		

7. Дата видачі завдання 12 грудня 2023р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз інфраструктури аеропорту та організації руху в повітряному просторі	12.2023р. – 02.2024р.	
2	Обґрунтування вибору компонентів та проектування комп’ютерно-інтегрованої системи	03.2024р. – 06.2024р.	
3	Реалізація комп’ютерно-інтегрованої системи контролю метеопараметрів аеропорту	07.2024р. – 11.2024р.	

Студент

(підпис)

В.Я. Кичак

Керівник роботи

(підпис)

к.т.н., доцент І.Р. Пітух

АНОТАЦІЯ

Кичак В.Я. Комп'ютерно-інтегрована система контролю метеопараметрів аеропорту. – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю спеціальність: 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка», освітньо-професійна програма. – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль, 2024.

У роботі проаналізовано інфраструктуру аеропорту, структуру та функції метеорологічної служби; визначено ключові параметри, моніторинг яких забезпечує безпеку та ефективність авіаційного руху; досліджено джерела отримання інформації та обладнання систем метеорологічного моніторингу; розроблено структурну та принципову електричну схему проекрованої комп'ютерно-інтегрованої системи; розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення роботи проекрованої системи. Запропоновано підвищення точності та надійності контролю метеопараметрів з врахуванням вимог до надійності та безпеки передачі даних.

ANNOTATION

Kychak, V.Ya. Computer-integrated system for monitoring airport meteorological parameters. - Manuscript.

Doctoral studies for the education level «Master» with the title 174 «Automation, computer-integrated technologies and robotics». – West Ukrainian National University, Ternopil, 2024.

The work analyzes the infrastructure of the airport, the structure and functions of the meteorological service; identifies key parameters whose monitoring ensures the safety and efficiency of aviation traffic; investigates sources of information and equipment of the meteorological monitoring system; develops the structural and electrical schematic design of the proposed computer-integrated system; and develops the algorithmic and software components for the operation of the proposed system. It is proposed to enhance the accuracy and reliability of meteorological parameter monitoring, taking into account the requirements for data transmission reliability and security.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	6
ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ ІНФРАСТРУКТУРИ АЕРОПОРТУ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ РУХУ В ПОВІТРЯНОМУ ПРОСТОРІ.....	9
1.1 Структура аеропорту та функції основних центрів.....	9
1.2 Аналіз роботи метеорологічної служби аеропорту.....	15
1.3 Метеорологічні параметри, які контролюються в аеропортах, та їх вплив на польоти.....	18
2. ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КОМПОНЕНТІВ ТА ПРОЕКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ.....	24
2.1 Дослідження джерел отримання метеоданих.....	24
2.2 Розробка архітектури проєктованої системи.....	28
2.3 Обґрунтування вибору компонентів для реалізації системи.....	31
2.3.1 Канали передачі даних.....	31
2.3.2 Пристрої обміну інформації.....	37
2.3.3 Мікроконтролер.....	39
2.3.4 Алгоритми передачі даних.....	41
2.3.5 Блок датчиків.....	43
3. РЕАЛІЗАЦІЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ МЕТЕОПАРАМЕТРІВ АЕРОПОРТУ.....	45
3.1 Розробка функціональної схеми.....	45
3.2 Розробка схеми принципової електричної.....	49
3.3 Розробка алгоритму роботи.....	50
3.4 Розробка програмного забезпечення.....	52
ВИСНОВКИ.....	59
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60
ДОДАТОК А Схема електрична принципова.....	63
ДОДАТОК Б Блок-схема алгоритму роботи клієнтської частини.....	64

ДОДАТОК В Блок-схема алгоритму роботи серверної частини.....	65
ДОДАТОК Г Лістинг програмного забезпечення.....	66
ДОДАТОК Д Копії публікацій.....	78

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

АД - авіадиспетчер;
БД - бази даних;
ДП - диспетчерський пункт;
ЗПС - злітно-посадкова смуга;
КІС - комп'ютерно-інтегрована система;
МП - метеорологічні параметри;
МРС - метеорологічна радіолокаційна станція;
МСА - метеорологічна служба аеропорту;
МЦ - метеорологічний центр;
ОГ - оперативні групи;
ПЗ - програмне забезпечення;
ПС - повітряне судно;
РМС - регіональна метеорологічна станція;
СММ - система метеорологічного моніторингу;
ЦМС - цивільна метеорологічна станція.

ВСТУП

Актуальність теми. Метеорологічні умови безпосередньо впливають на зліт, посадку та інші етапи польотів, тому своєчасне та точне визначення параметрів, таких як вітер, температура, атмосферний тиск, вологість, видимість, наявність опадів тощо, є необхідним для безпечного функціонування авіаційних систем [1-4]. Будь-які неточності або затримки в отриманні цих даних можуть спричинити аварійні ситуації, порушення графіків польотів або навіть нещасні випадки.

Актуальність цієї теми обумовлена зростанням вимог до точності та швидкості обробки метеорологічної інформації, що вимагає застосування сучасних технологій для інтеграції та автоматизації процесу контролю. Комп'ютерно-інтегровані системи (KIS) дозволяють не лише автоматично збирати, аналізувати та передавати метеодані, але й інтегрувати їх із іншими системами аеропорту, такими як навігаційні й диспетчерські, забезпечуючи високий рівень координації.

У зв'язку з цим, розробка ефективної KIS контролю метеопараметрів (МП) є важливою умовою підвищення рівня безпеки польотів та ефективності функціонування аеропортів, що є ключовими завданнями сучасної авіації.

Мета роботи: розробка KIS контролю метеорологічних параметрів аеропорту, яка забезпечить отримання, передачу, обробку та аналіз даних в режимі реального часу для підвищення ефективності та безпеки авіаційних операцій, враховуючи специфічні вимоги до точності, надійності та швидкості обміну інформацією.

Для досягнення мети роботи необхідно виконати такі завдання:

1. Проаналізувати структуру аеропорту та функції основних центрів забезпечення польотів, зокрема метеорологічної служби аеропорту.
2. Визначити основні метеопараметри, що впливають на організацію та безпеку руху.

3. Дослідити існуючі системи моніторингу метеопараметрів та їх компоненти.

4. Обґрунтувати вибір компонентів для реалізації КІС контролю метеорологічних параметрів.

5. Розробити КІС з урахуванням вимог до надійності та безпеки передачі даних.

Об'єкт дослідження: КІС контролю метеорологічних параметрів аеропорту.

Предмет дослідження: процеси та методи автоматизації контролю метеопараметрів в аеропортах.

Наукова новизна отриманих результатів. Запропонована КІС контролю МП аеропорту забезпечує безперервний моніторинг параметрів та інтеграцію отриманих даних у різні процеси і застосування. Запропоноване рішення сприяє підвищенню точності прогнозування погодних умов і забезпечує інтеграцію новітніх технологій в управлінні авіаційною безпекою.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані результати можуть слугувати основою для подальших досліджень у галузі автоматизації аеропортів та вдосконалення систем контролю безпеки в авіації.

Апробація.

1. Манжула В., Кичак В., Стефурак Н. Комп'ютерно-інтегрована система моніторингу та контролю параметрів навколишнього середовища / Збірник матеріалів проблемно-наукової міжгалузевої конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ - 2024), Тернопіль, 2024. - с. 40-44.

2. Кичак В., Давлетова А. Комп'ютерно-інтегрована система моніторингу метеопараметрів аеропорту / Збірник матеріалів науково-практичного симпозиуму «Технології Інтернету речей: системи та рішення» (TIP CT - 2024), Тернопіль, 2024. - с. 23-27

1. АНАЛІЗ ІНФРАСТРУКТУРИ АЕРОПОРТУ ТА ОРГАНІЗАЦІЇ РУХУ В ПОВІТРЯНОМУ ПРОСТОРІ

1.1 Структура аеропорту та функції основних центрів

Аеропорт є особливою екосистемою, що включає ряд пов'язаних систем і процесів (рисунок 1.1) [4]. Організація роботи від зльоту до посадки повітряного судна (ПС) відбувається завдяки чітким процедурам передачі інформації між ними. Їх взаємодія забезпечує злагоджену роботу аеропорту та безпеку польотів, а відхилення від необхідної продуктивності в будь-якій з систем може призвести до збоїв у роботі [4].

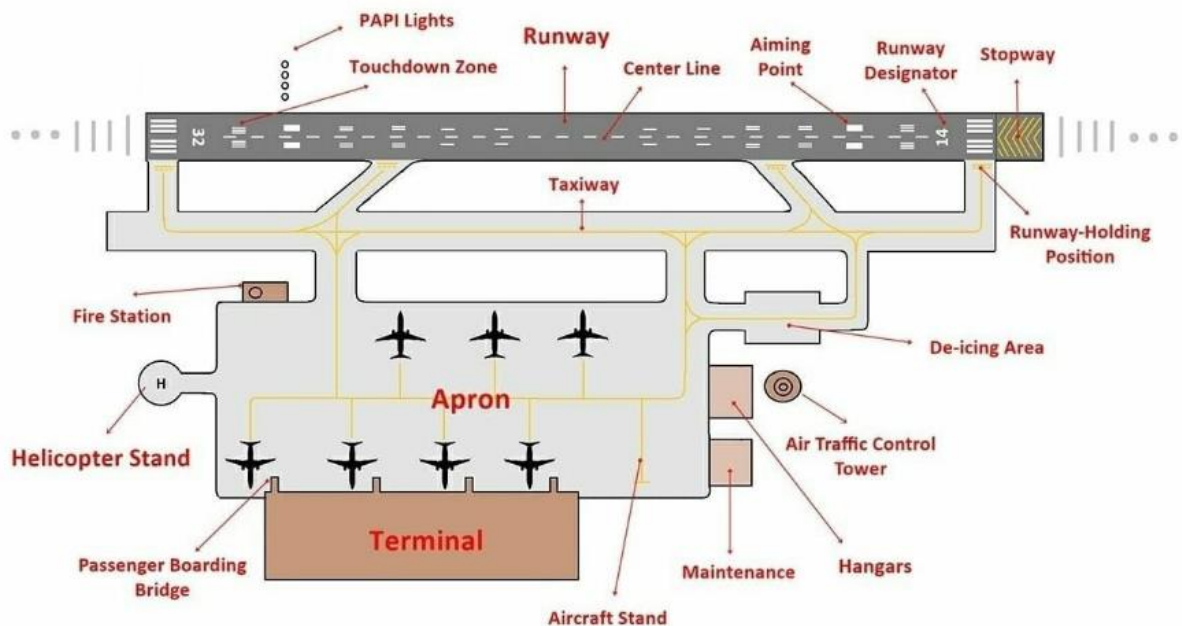


Рисунок 1.1 - Структура аеропорту

Кожен центр та служба аеропорту виконує свою чітко визначену функцію [3-5]. Наприклад служба організації повітряного руху відповідає за керування польотами в зоні аеропорту. Диспетчери контролюють рух ПС під час рулювання, зльоту, заходу на посадку та під час виконання польоту на маршруті. Основними диспетчерськими пунктами (ДП) є:

- диспетчери рулювання керують пересуванням літаків по руліжних

доріжках від стоянки до злітно-посадкової смуги (ЗПС) (рисунк 1.2). Вони відповідають за безпеку наземного руху, включаючи транспортні засоби та іншу техніку.

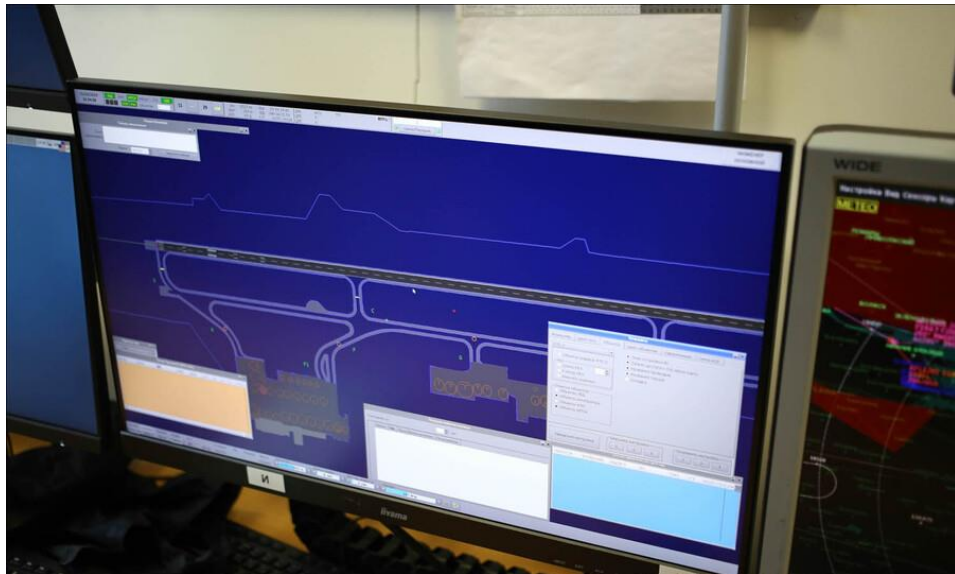


Рисунок 1.2 - ДП рулювання

— диспетчери зльоту/посадки контролюють зліт і посадку на ЗПС, надають дозволи на зліт і перевіряють, чи смуга (рисунк 1.3).



Рисунок 1.3 - ДП зльоту/посадки

— диспетчери підходу (рисунк 1.4) керують повітряними суднами під час наближення до аеропорту та на початковому етапі відходу після зльоту.



Рисунок 1.4 - ДП підходу

— диспетчер польоту на маршруті (рисунок 1.5) відповідають за контроль літака на повітряній трасі до передачі його іншому ДП під час польоту.



Рисунок 1.5 - ДП польоту

Авіадиспетчери відіграють ключову роль в авіаційній галузі, забезпечуючи безпеку та відповідність польотів нормативним вимогам. Виконувати обов'язки вони можуть з будь-якого місця, за умови доступу до необхідного програмного забезпечення (ПЗ) та інструментів. Вони тісно співпрацюють з льотними екіпажами та іншими авіаційними спеціалістами, забезпечуючи своєчасне комунікаційне обслуговування та готовність польоту.

Служба авіаційної безпеки (рисунок 1.6) забезпечує безпеку пасажирів, екіпажу та об'єктів аеропорту, відповідає за контроль багажу і пасажирів щодо наявності небезпечних предметів, попередження терористичних актів, реагування на потенційні загрози та ін.



Рисунок 1.6 - Служба авіаційної безпеки

Служба технічного обслуговування ПС виконує обслуговування, заправку, усуває можливі несправності та забезпечує готовність літаків до польоту. У разі виявлення проблем, які можуть загрожувати безпеці польотів, літак може бути затриманий для проведення ремонту.

Метеорологічна служба аеропорту (МСА) (рисунок 1.7) відповідає за збір, аналіз і надання метеорологічної інформації екіпажам літаків і диспетчерам. Вона надає дані про погодні ситуацію, що має важливе значення для забезпечення безпеки руху, приземлення та зльоту ПС.

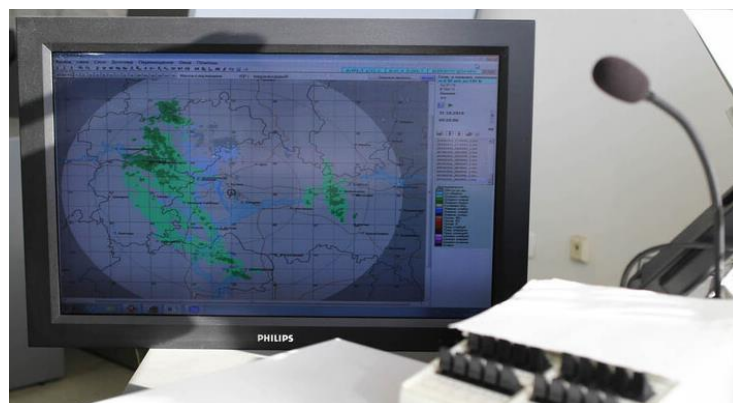
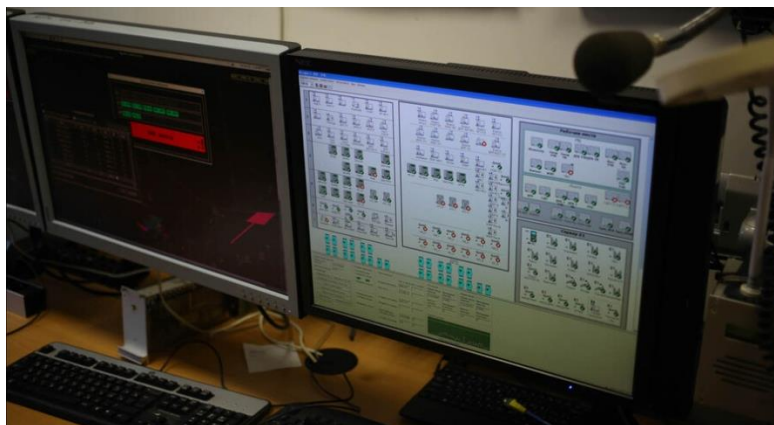


Рисунок 1.7 - Метеослужба

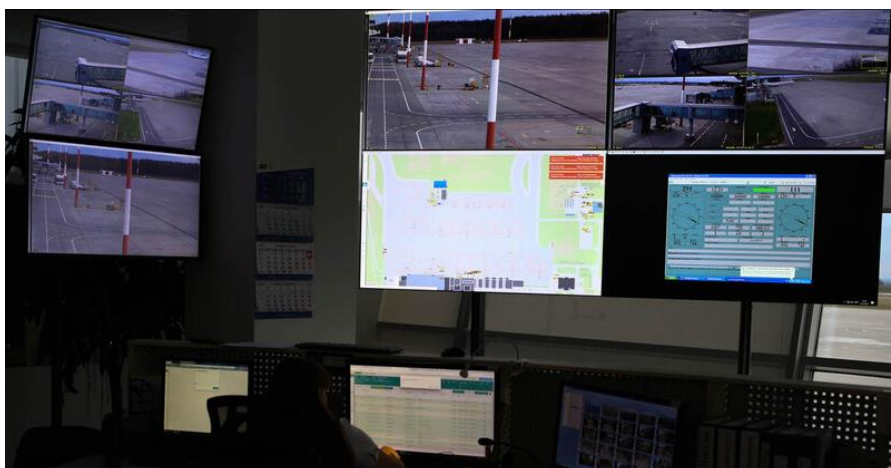
Пожежно-рятувальна служба аеропорту забезпечує негайне реагування на аварійні ситуації, такі як пожежі або інші інциденти на борту або на землі. Ця служба повинна діяти максимально оперативно, особливо в разі екстреної посадки або аварійної ситуації на злітно-посадковій смугі.

Радіоінженерна служба (рисунк 1.8) забезпечує належну роботу всіх радіо- та навігаційних систем аеропорту, постійний зв'язок між літаками та ДП, а також коректну роботу навігаційного обладнання, яке допомагає повітряним суднам орієнтуватися в повітрі та здійснювати посадку.



Рисунк 1.8 - Радіоінженерна служба

Основним центром координації діяльності всіх служб аеропорту є центр керування аеропортом (рисунк 1.9). Тут збирається інформація з усіх служб: диспетчерської, метеорологічної, інженерно-технічної тощо. Центр також відповідає за управління кризовими ситуаціями, такими як екстрені посадки або технічні несправності.



Рисунк 1.9 - Центр керування аеропортом

Служба авіадиспетчерів (АД) є ключовим елементом аеропорту, забезпечуючи управління рухом літаків на всіх етапах польоту - від рулювання зльоту до заходу на посадку. Для виконання своїх функцій АД використовує складні програмні інструменти, що дозволяють контролювати погоду, відслідковувати рейси, керувати розкладом і забезпечувати оперативний зв'язок із пілоти та технічними службами. Усі дані об'єднуються у випуск польоту, який враховує не лише основний маршрут, а й альтернативні варіанти для безпечного завершення рейсу.

Типова робоча станція АД (рисунок 1.10), як правило, обладнана чотирма моніторами для виконання основних обов'язків, що включають аналіз погодних умов, контроль характеристик літака, розрахунок потреби в паливі та підготовку планів польотів.

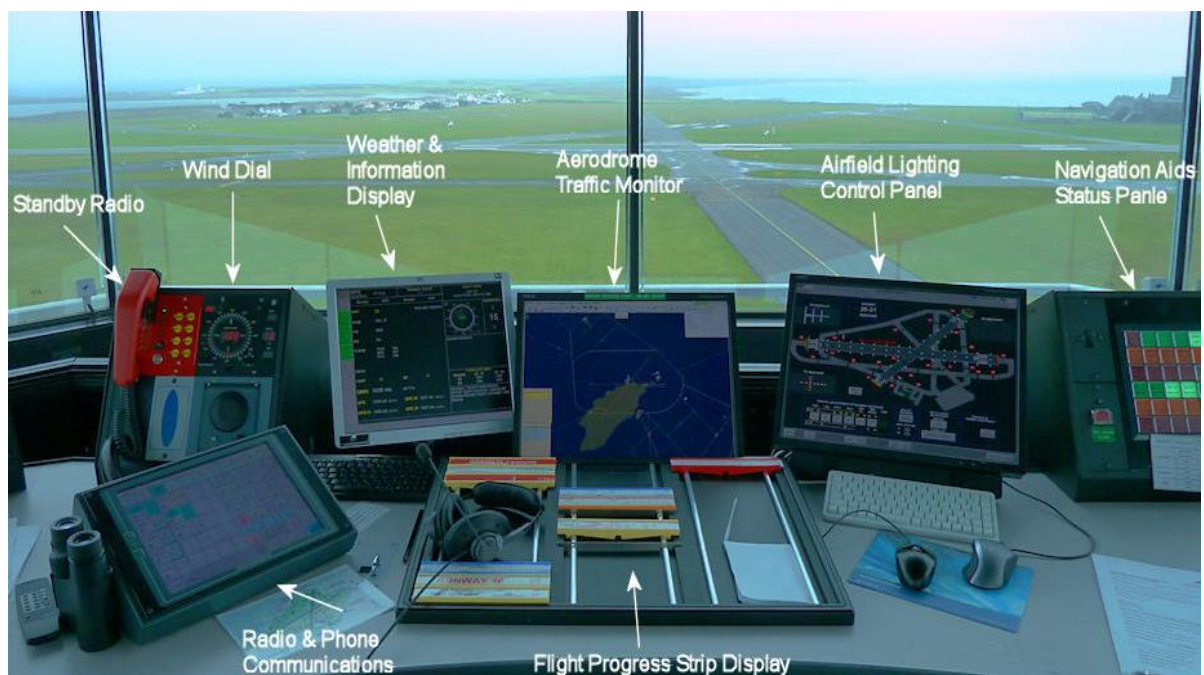


Рисунок 1.10 - Робоче місце АД

Один з екранів використовується для моніторингу погодних умов, інші для роботи з ПЗ для випуску рейсів, перегляду розкладу та відстеження всіх літаків. Один монітор підключений до телефонної системи, що забезпечує швидкий зв'язок із пілоти, зовнішніми станціями та технічною командою для оперативного вирішення задач.

Проведений аналіз показав, що для ефективної та безпечної організації авіап перевезень ключовим фактором є отримання метеорологічної інформації в режимі реального часу. Оперативний доступ до точних даних про погодні ситуацію дозволяє своєчасно приймати рішення щодо безпеки польотів, планування маршрутів, організації наземних операцій та управління авіатрафіком. Відсутність, затримка або недостовірність таких даних може призвести до порушень в роботі аеропорту чи серйозних інцидентів, знижуючи ефективність функціонування та підвищуючи ризики для авіаційної діяльності.

1.2 Аналіз роботи метеорологічної служби аеропорту

Погода є важливою частиною авіації. У будь-який момент часу в небі перебувають тисячі літаків, які реалізують перевезення пасажирів і вантажів до місця призначення. Інформація про погоду допомагає пілотам і авіакомпаніям планувати польоти, щоб ефективно використовувати повітряний простір і ресурси, використовуючи сприятливі умови та уникаючи потенційно небезпечної погоди. За моніторинг, аналіз і передачу метеорологічних параметрів (МП), що є критично важливими для безпеки польотів, відповідає МСА.

Безпосереднє метеорологічне забезпечення здійснюють МСА, до яких належать: метеорологічні центри (МЦ); цивільні метеостанції (ЦМС), регіональні метеорологічні станції (РМС) із синоптичною частиною, оперативні групи (ОГ), розміщені в аеропортах та на аеродромах. На рисунку 1.11 наведено приклад побудови структури МСА.

Основною з перерахованих структур є МЦ, який забезпечує екіпажі ПС та працівників аеродромних служб необхідною метеорологічною інформацією у повному обсязі. ОГ розташовані в аеропортах та на аеродромах не мають синоптичної групи, технік-метеоролог отримує від закріпленого за аеродромом МЦ або РМС прогнози погоди. МСА

взаємодіють із національними (НМЦ) та міжнародними центрами (ММЦ) для отримання прогнозів щодо погодних умов, особливо при глобальних чи особливих явищах, таких як вулканічний попіл або тропічні циклони. Крім цього, МСА отримують МП від мережі метеорологічних радіолокаційних станцій (МРС).

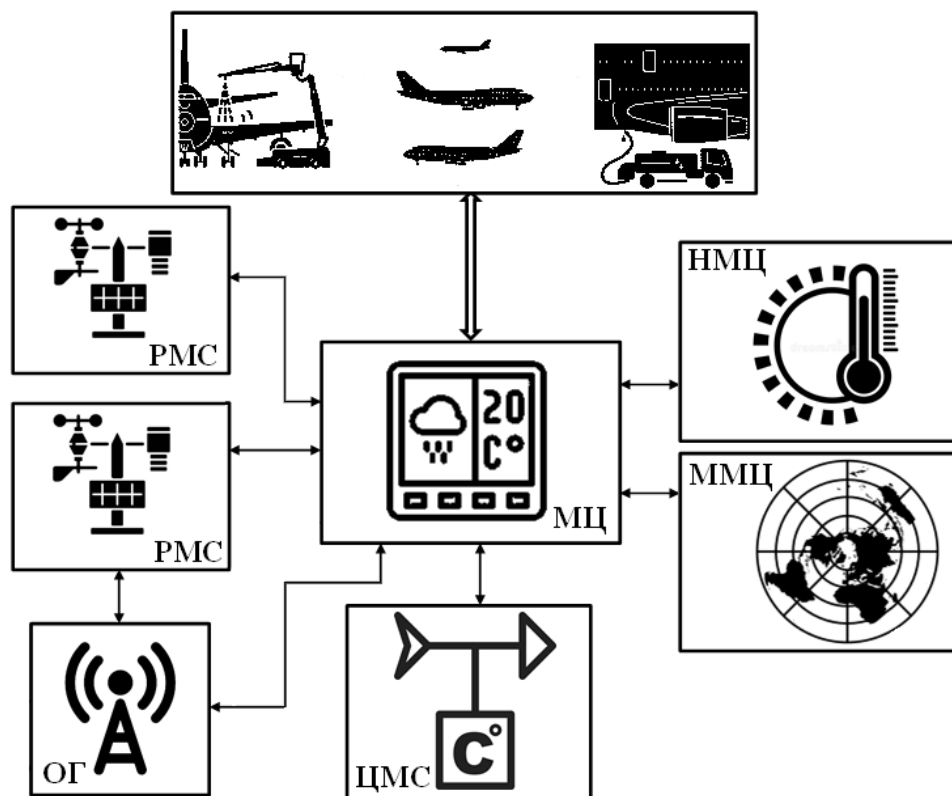


Рисунок 1.11 - Структура МСА

Процес передачі МП включає кілька етапів і різних учасників. Першим етапом є збір метеоданих. Для цього використовуються різні МРС, які включають анемометри для визначення швидкості вітру, барометри, термометри, гігromетри для вимірювання атмосферного тиску, температури, вологості повітря та інші пристрої. Карта аеропорту, на якій показано приклад розташування МРС (кружечки) та буїв (квадрати) наведена на рисунку 1.12 [6].

Для моніторингу опадів, гроз та турбулентності використовуються радарні системи. Для оцінки загальної метеорологічної ситуації та виявлення погодних фронтів також використовуються супутникові зображення.



Рисунок 1.12 - Приклад розміщення метеостанцій

На наступному етапі відбувається обробка зібраних даних. Отримані показники аналізуються з метою оцінки поточних умов та прогнозування можливих погодних змін. Для цього використовується спеціалізоване ПЗ, що дозволяє моделювати погодні умови. Після аналізу даних формуються регулярні метеорологічні звіти, які містять ключову інформацію про стан погоди. Знання фактичних і прогнозованих погодних умов дозволяє пілотам і АД ухвалювати рішення щодо безпеки польотів.

Передача даних є наступним етапом роботи МСА. Звіти передаються ДП аеропорту, зокрема службі управління повітряним рухом, що ухвалює рішення щодо зльоту та посадки ПС, а також забезпечують безпеку під час польотів. Дана інформація передається й іншим службам аеропорту, які можуть вплинути на обслуговування літаків, наприклад, наземним службам обслуговування, службам безпеки та пасажирським службам. Пілоти отримують актуальну інформацію про метеоситуацію на маршруті та в аеропорту призначення за допомогою веб-сервісів або за допомогою радіозв'язку під час брифінгів з АД, звітів інших пілотів, супутникових та метеорологічних зображень та власних спостережень [7].

1.3 Метеорологічні параметри, які контролюються в аеропортах, та їхній вплив на польоти

Для забезпечення безпеки польотів необхідним є точний та постійний моніторинг ряду ключових МП, що впливають на зліт, посадку, навігацію, а також на загальну ефективність польотів.

Швидкість та напрям вітру є важливими для визначення безпечних умов для зльоту та посадки ПС (рисунок 1.13) [8].

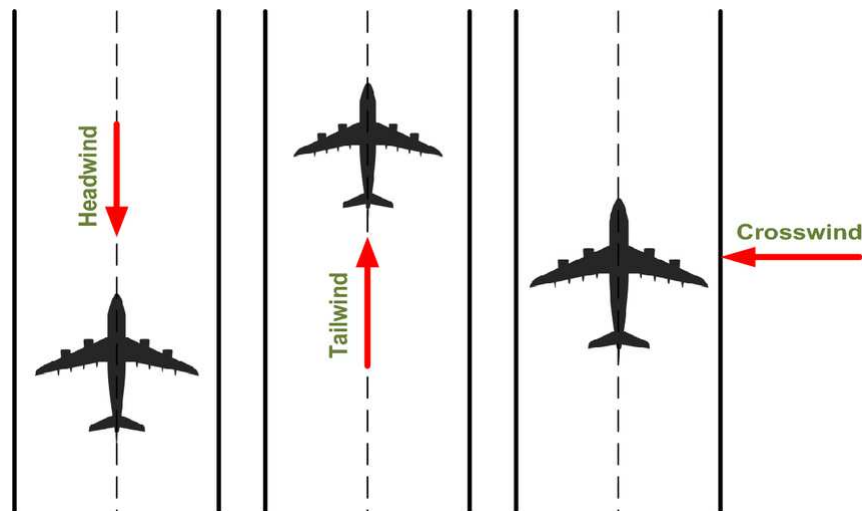


Рисунок 1.13 - Напрямок вітру

Даний МП може ускладнити керування літаком, особливо на етапах зльоту і посадки, коли аеродинамічна стабільність є найбільш вразливою.

Сильний бічний вітер може спричинити проблеми зі стабільністю ПС, що вимагає від пілотів корекції курсу під час посадки. Попутний чи зустрічний вітер може впливати на розгін або гальмування літака на ЗПС. Наприклад, занадто сильний попутний вітер може ускладнити посадку та призвести до виходу за межі ЗПС. Кожне повітряне судно має свої граничні значення для даного МП при яких політ може бути безпечним. Якщо швидкість вітру перевищує допустимі межі, зліт або посадка можуть бути відкладені.

Атмосферний тиск важливий для налаштування приладів ПС, таких як альтиметри, що використовуються для визначення висоти. Даний показник

впливає на щільність повітря, що впливає на підйомну силу крила та роботу двигунів.

Зниження атмосферного тиску на землі може означати погіршення погодних умов, таких як зниження видимості або наявність опадів. Низький тиск, зокрема в гірських аеропортах, знижує підйомну силу, що може вимагати більшої злітної дистанції. Зміни тиску також можуть свідчити про наближення шторму чи інших погодних явищ. Пілотам необхідно коригувати показники висотоміра відповідно до поточного тиску, щоб правильно оцінити висоту над рівнем моря.

На аеродинамічні властивості літака та роботу двигунів ПС впливає також температура повітря (рисунок 1.14) [9].

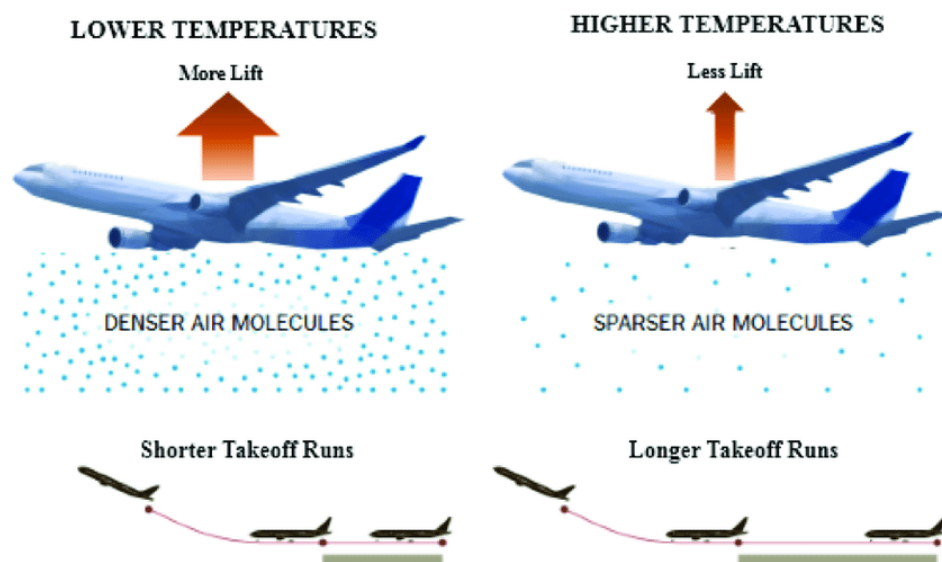


Рисунок 1.14 - Вплив температури повітря на аеродинамічні показники

Висока температура зменшує щільність повітря, що може погіршити підйомну силу і знизити ефективність двигунів, збільшуючи дистанцію для зльоту. Також висока температура може вплинути на роботу двигунів і систем охолодження. Теплі повітряні маси можуть створювати підйомні термічні потоки, які впливають на контроль курсу літака. Низька температура може призводити до обмерзання, що є небезпечним для ПС.

Вологість повітря впливає на роботу двигунів, зменшуючи їх ефективність, і може сприяти утворенню туману або обмерзання. Туман

значно знижує видимість, що ускладнює як зліт, так і посадку.

Видимість є одним із самих важливих факторів безпеки під час зльоту та посадки (рисунок 1.15). Знижена видимість через туман, дощ, сніг або пил може ускладнити злітно-посадкові операції і знизити здатність екіпажу візуально оцінювати навколишні умови.



Рисунок 1.15 - Вертикальна видимість

Існують певні категорії посадки (Cat I - III), що визначають мінімальні показники видимості. В таких ситуаціях екіпажам ПС доступні системи посадки за приладами, що працюють за двома різними принципами:

- система точної посадки ILS -базується на інформації від наземних пристроїв в аеропорту, локалізатора та глісади;
- супутникової системи посадки (RNP), якщо в аеропорту немає додаткового обладнання, а обладнання на борту літака використовує для посадки сигнали супутників.

Видимість можуть знижувати опади, що ускладнює навігацію та контроль курсу. В таких умовах використовуються прилади для вимірювання глісади, які допомагають підтримувати правильну висоту та курс під час заходу на посадку. Також опади змінюють характеристики ЗПС, наприклад роблять її слизькою, що впливає на можливість гальмування. Сніг і лід можуть призвести до обмерзання літака, що суттєво знижує його аеродинамічні характеристики та безпеку польоту. Утворення льоду на крилі літака (рисунок 1.16) є дуже небезпечним, оскільки під час польоту він

збільшує масу ПС та змінює поверхню крил, викликаючи зменшення підйомної сили. У деяких особливих випадках це може спричинити повну зупинку [10].



Рисунок 1.16 - Утворення льоду

Обмерзання відбувається при наявності хмар та низьких температур під час набору висоти, зниження та крейсерської фази польоту. Переважна більшість літаків обладнані системою запобігання ожеледі, що дозволяє вирішити проблему утворення помірною льоду.

Дощ збільшує ризик ковзання літака при посадці або під час гальмування на мокрій ЗПС. Град може пошкодити поверхні ПС, системи керування та датчики. Грози часто супроводжуються турбулентністю, зсувом вітру, сильними опадами і блискавками. Літаки уникають польотів через грозові фронти, оскільки це може спричинити пошкодження або навіть відмову авіоніки та інших систем.

Турбулентність та зсув вітру можуть бути небезпечними через різкі зміни напрямку вітру на різних висотах та можуть викликати втрату контролю над літаком і стати причиною аварій [11].

Турбулентність виникає в зонах сильних вітрових потоків або біля гір. Вона може призвести до нестабільності ПС під час зльоту або заходу на посадку (рисунок 1.17).

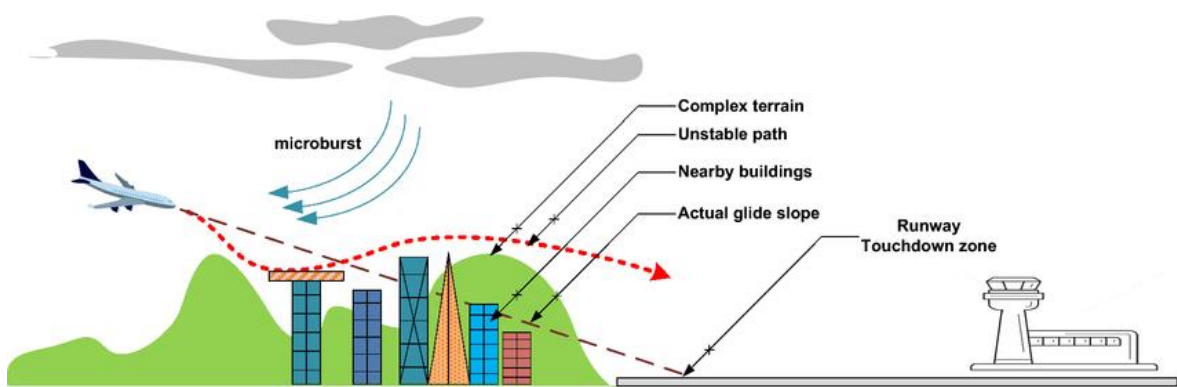


Рисунок 1.17 - Турбулентність

Раптові зміни напрямку та сили вітру, особливо під час підходу до ЗПС, є однією із найбільш небезпечних метеорологічних умов для зльоту та посадки (рисунок 1.18) [12].

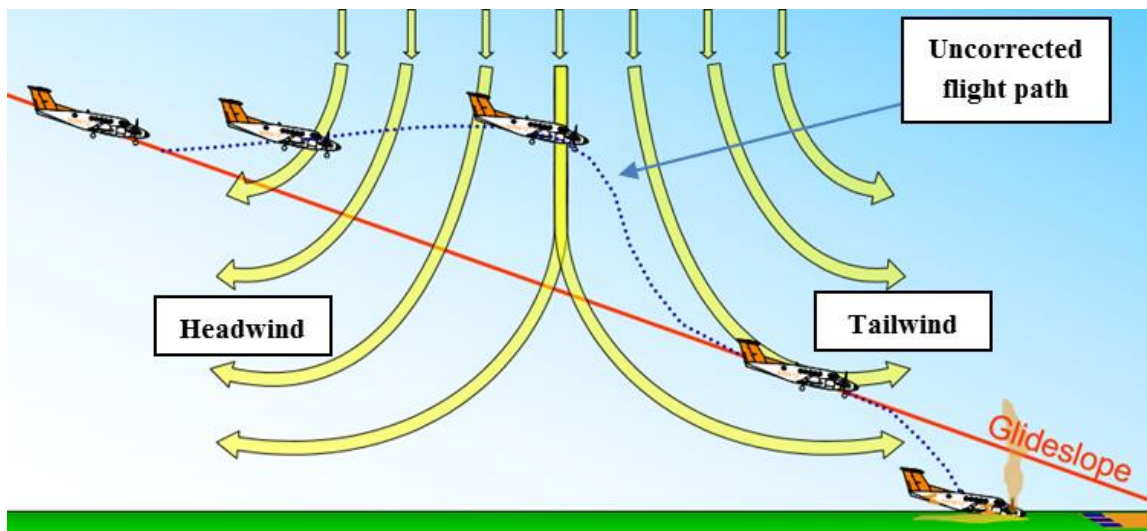


Рисунок 1.18 - Вплив зсуву вітру на ПС

Кожен із розглянутих МП має важливе значення для забезпечення безпеки польотів. Існують суворі процедури та обмеження для злетів і посадок у несприятливих умовах. Наприклад визначені межі для мінімальної видимості, нижче яких зліт або посадка заборонені. Якщо бічний або попутний вітер перевищують допустимі межі для конкретного типу літака, зліт та посадка можуть бути відкладені. За умов сильних опадів або льоду ЗПС повинна бути очищена і оброблена для забезпечення безпеки руху, що дозволяє мінімізувати ризики для екіпажу та пасажирів ПС.

Сучасні системи контролю МП забезпечують оперативний збір, обробку та надання цих даних екіпажам ПС та авіадиспетчерам для прийняття важливих рішень, що стосуються зльоту, посадки та маршруту польоту.

2. ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ КОМПОНЕНТІВ ТА ПРОЕКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИСТЕМИ

2.1 Дослідження джерел отримання метеоданих

Оснащення аеропортів метеорологічним обладнанням залежить від ряду факторів, зокрема таких як щільність польотів, погода, географічне положення та ін. Проте існує два типи систем метеорологічного моніторингу (СММ) які використовуються на практиці, зокрема автоматизовані та ручні [13, 14].

МП часто передаються у форматі METAR - метеорологічні звіти, які містять інформацію про поточні погодні умови та TAF - прогнози погоди на визначений час [15]. Ці звіти є стандартом в авіації і широко використовуються АД та пілоти. Метеорологічні дані передаються через спеціалізовані канали зв'язку, що забезпечують їх швидку та надійну передачу.

Автоматизована СММ включає зовнішні компоненти (рисунк 2.1) - датчики, які розміщені безпосередньо на аеродромах, вздовж ЗПС для вимірювання та збору даних про погодні явища у районі аеропорту.

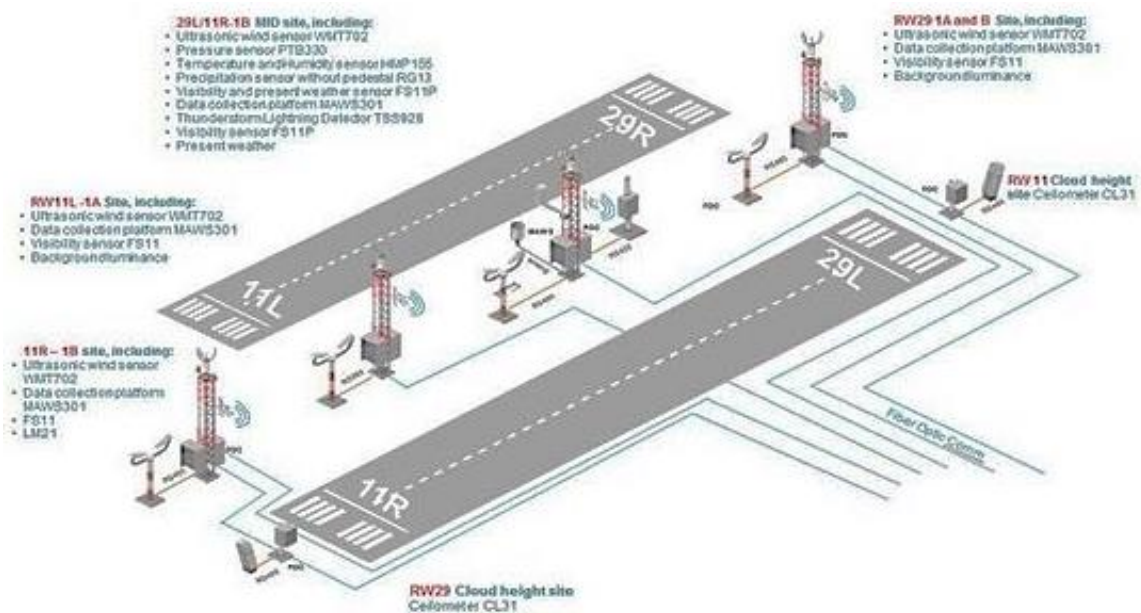


Рисунок 2.1 - Зовнішні компоненти автоматизованої СММ

Внутрішні компоненти СММ (рисунк 2.2) включають робочі станції, серверні системи, бази даних (БД) та спеціалізоване ПЗ, що забезпечують збір та обробку даних, що отримані від зовнішнішнього обладнання, щоб надати інформацію про погоду в районі аеропорту. Для безпеки польотів необхідна правильна інтерпретація даних та подальша адаптація до відповідних погодних явищ і відхилень від стандартних умов.

Рисунок 2.2 - Внутрішні компоненти автоматизованої СММ

Внутрішні компоненти СММ забезпечують автоматичне вимірювання МП та інших даних за допомогою ПЗ та генерацію авіаційних прогнозів погоди. Вони допомагають пілотам, авіаційному персоналу та іншим користувачам аеропорту безпечно здійснювати зліт і посадку, надаючи безперервну інформацію в режимі реального часу. Автоматична СММ забезпечує сповіщення про помилки та відключені датчики.

Поширеними типами обладнання що використовуються в СММ є автоматичні метеостанції, що складається з набору датчиків, які вимірюють такі параметри, як температура, вологість, атмосферний тиск, швидкість і напрям вітру. Датчики встановлюються у стаціонарний прилад, а дані записуються та передаються через систему збору даних (рисунк 2.3) [16].

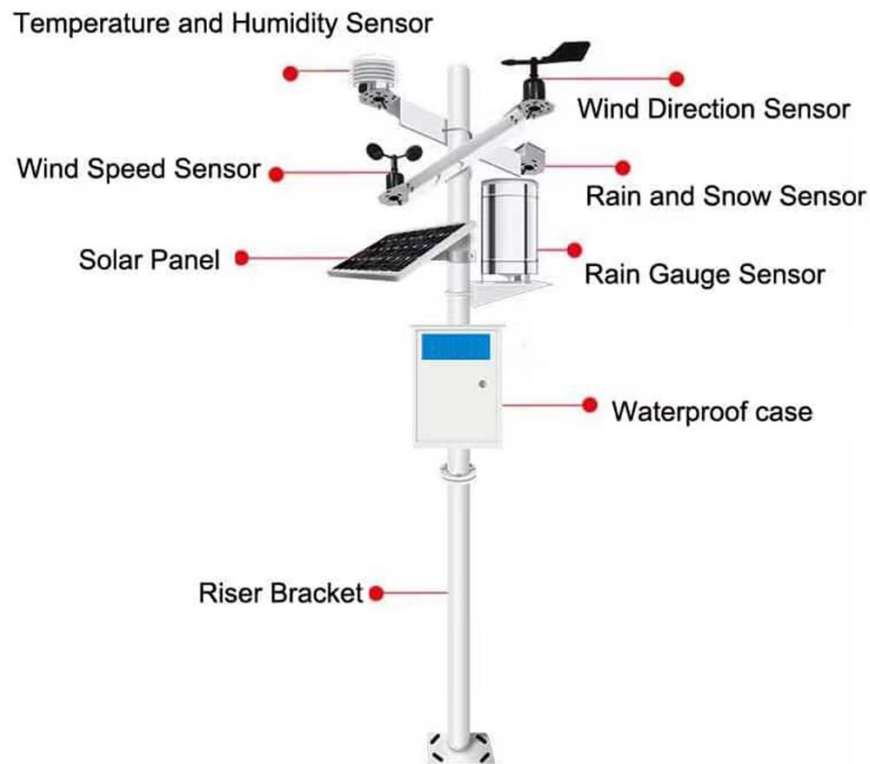


Рисунок 2.3 - Метеорологічне обладнання

Базовими приладами, які використовуються є [16-17]:

- вимірювачі напрямку та швидкості вітру;
- системи оповіщення про зсув вітру на низькому рівні розміщуються поблизу ЗПС;
- системи спостереження за верхнім шаром повітря для виявлення хмар і напрямку їх руху, гроз та інших погодних явищ у їх діапазоні;
- вимірювачі атмосферного тиску, температури та відносної вологості, видимості тощо;
- метеорологічні радары використовуються для фіксації опадів, хмарних утворень і штормової активності. Виявлення погодних явищ відбувається за рахунок випромінювання радіохвиль та приймання відбитих сигналів які допомагають визначити наявність опадів та їх інтенсивність;
- детектор блискавки використовується для виявлення та відстеження активності розряду блискавки, надаючи попередження та прогнози щодо грозової активності в прилеглих районах.

МСА отримує дані з різних джерел для забезпечення повної та актуальної інформації про погодні умови. Зокрема, МП надходять як від обладнання, розміщеного безпосередньо в зоні аеропорту, так і від ЦМС які надають інформацію про погодні умови у ширшому регіоні. Крім того, важливу роль відіграють дані про глобальні погодні явища, які метеослужба отримує від національних та міжнародних метеорологічних організацій.

На практиці для цього часто використовуються спеціалізовані веб-ресурси [18, 19], що дозволяють МСА отримувати оперативну інформацію в режимі реального часу. Такі ресурси забезпечують доступ до глобальних мереж метеоспостережень, супутникових даних та прогнозів, що допомагає швидко реагувати на зміни погонних умов та коригувати свої плани для безпеки польотів (рисунки 2.4-2.5) [19].

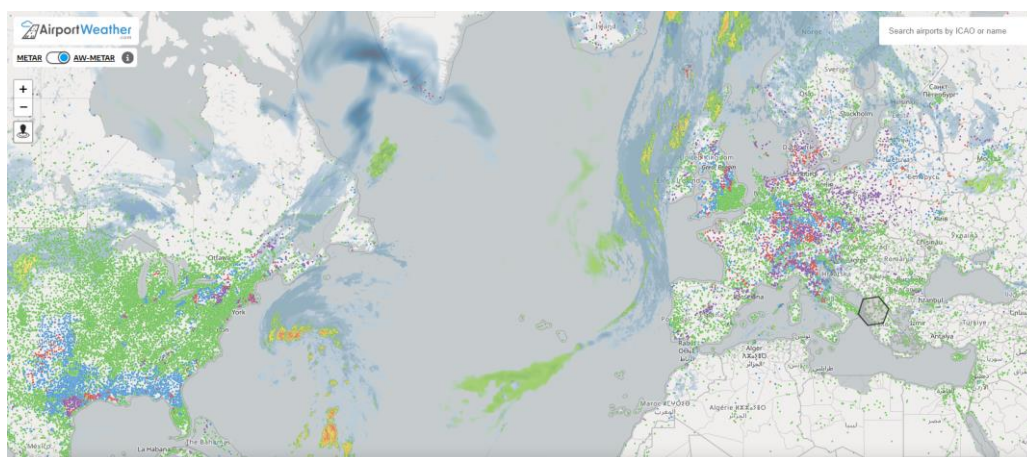


Рисунок 2.4 - Приклад відображення метеорологічних даних

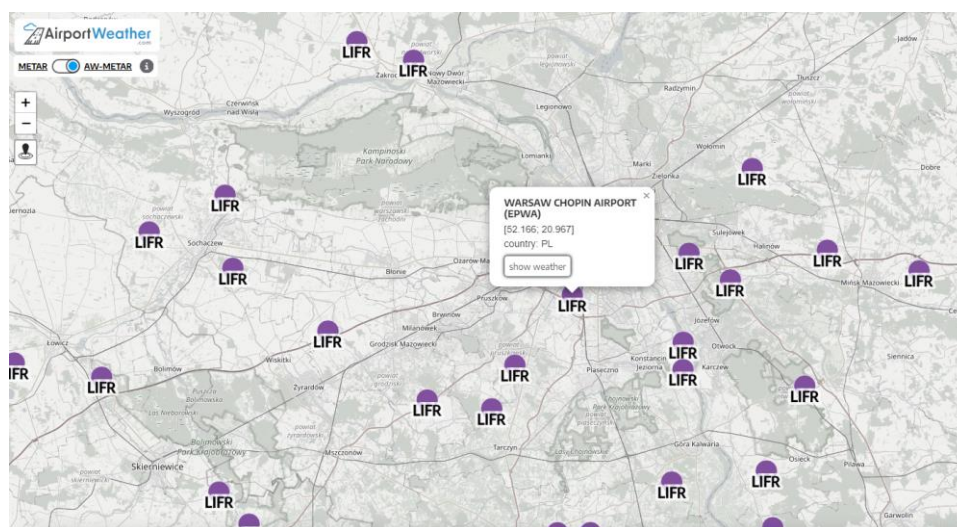
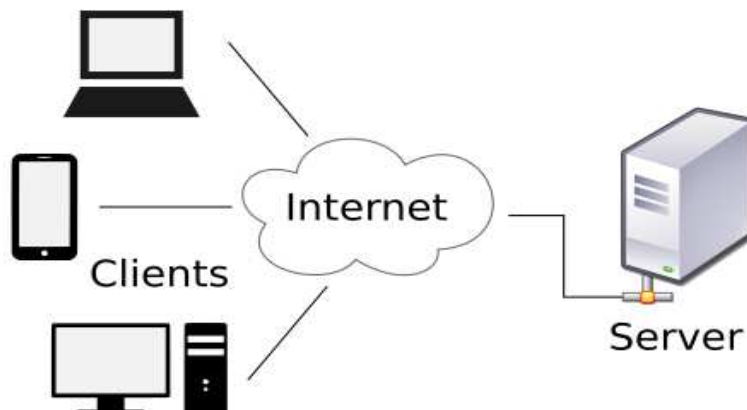


Рисунок 2.5 - Приклад даних відображення метеорологічних даних

інформації в реальному часі. В якості серверів може використовуватися спеціалізоване обладнання, наприклад, для обробки даних метеостанцій або зберігання архівної інформації, що дозволить легко розширювати систему та інтегрувати нові функції без зміни клієнтської частини.



Риунок 2.7 - Загальна структура клієнт-серверної архітектури

Можливе використання кількох серверів, кожен з яких відповідає за конкретні функції, такі як зберігання даних, обробка запитів або аналітика. Наприклад, один сервер може бути спеціалізований на зборі та зберіганні даних з датчиків, а інший - на обробці аналітичних запитів для прогнозування погоди.

Оскільки в такій архітектурі сервери централізовано управляють ресурсами, оновлення та підтримка можуть виконуватися без перерв у роботі, що забезпечить безперервність функціонування аеропорту.

Використання шифрування даних між клієнтами та серверами забезпечує конфіденційність інформації, що передається, та захист від можливих загроз. Захист даних під час передачі між АД, пілотами, та серверами дозволить забезпечити захист чутливих даних від перехоплення та підвищити безпеку інформації, яка використовується для управління аеропортом.

Така архітектура підтримує широке коло комунікаційних протоколів, наприклад, HTTP для веб-сервісів або MQTT для обміну даними з IoT-пристроями, що дозволяє забезпечити гнучкість у налаштуванні обміну

даними між компонентами системи.

Запропонована архітектура КІС контролю МП наведена на рисунку 2.8.

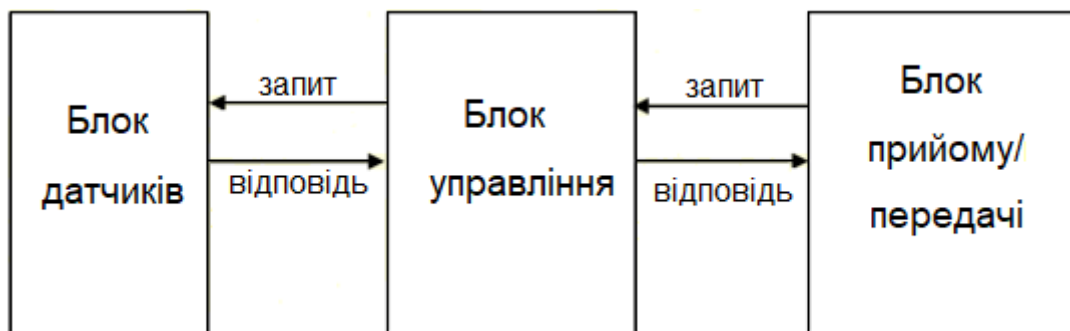


Рисунок 2.8 - Архітектура проектованої системи

Проектована система включає компоненти, які взаємодіють один з одним для забезпечення ефективної передачі даних між модулями збору та прийому:

1. Блок вимірювання МП.
2. Блок управління, зокрема мікроконтролер (MCU), індикатори та кнопки керування.
3. Пристрої обміну та обробки інформації та канали передачі даних.
4. Спеціалізоване ПЗ.

Основою блоку управління є MCU, який відповідає за збір даних з датчиків. Він зберігає отриману інформацію у власному буфері та ініціює передачу даних. MCU також генерує інформаційний сигнал, тривалість якого становить 40мкс, та сигнал синхронізації тривалістю 10мкс. Він передає дані з максимальною швидкістю 20 000 біт/с. Для цього на його виході формуються трирівневі сигнали, які містять як інформацію, так і послідовність синхронізації. Це забезпечує надійність та точність передачі.

ПЗ забезпечує координацію передачі даних. Воно чергує передачу інформаційних сигналів та сигналів синхронізації, що забезпечує правильне кодування даних для передачі через СОМ-порт. Наприклад, логічне «1» передається як байт «00000010», а логічне «0» - як байт «00000001».

На вході блоку прийому/передачі формується аналогічний трирівневий сигнал для коректної обробки даних. Він відповідає за прийом інформації та

подальшу обробку сигналів, отриманих з MCU. Після кожного запису байта даних надсилаються біти синхронізації, які допомагають підтримувати синхронізацію між передавачем і приймачем, що забезпечує точність та коректність передачі.

Проектована система забезпечує виконання наступних функцій:

- автоматичне вимірювання основних МП у режимі реального часу;
- можливість ручного введення метеорологічних даних;
- обробка результатів автоматичних вимірювань та даних, введених вручну;
- обчислення розрахункових значень МП;
- автоматичне формування погодних звітів та їх передача через комунікаційні канали та на інформаційні панелі;
- реєстрація та архівація вимірюваних, обчислених, введених даних чи переданої метеоінформації.

2.3 Обґрунтування вибору компонентів для реалізації системи

2.3.1 Канали передачі даних

Організація роботи аеропорту відбувається завдяки чітким процедурам передачі інформації службами з обміном даними через чітко регламентовані канали (рисунок 2.9). Комунікація між елементами, як правило, може бути реалізована за допомогою таких типів з'єднань як;

- UTP з підтримкою PoE (Power over Ethernet) для підключення IP-камер і забезпечення їх живленням, а також для передачі даних від цих камер;
- оптоволоконний кабель для передачі великих обсягів даних на більші відстані між ключовими вузлами, такими як СММ, ДП, станція пожежної безпеки, ЗПС і контрольна вежа;
- WiFi для безпроводної передачі даних на невеликих відстанях, наприклад для доступу до систем моніторингу через мобільні або портативні

пристрої.

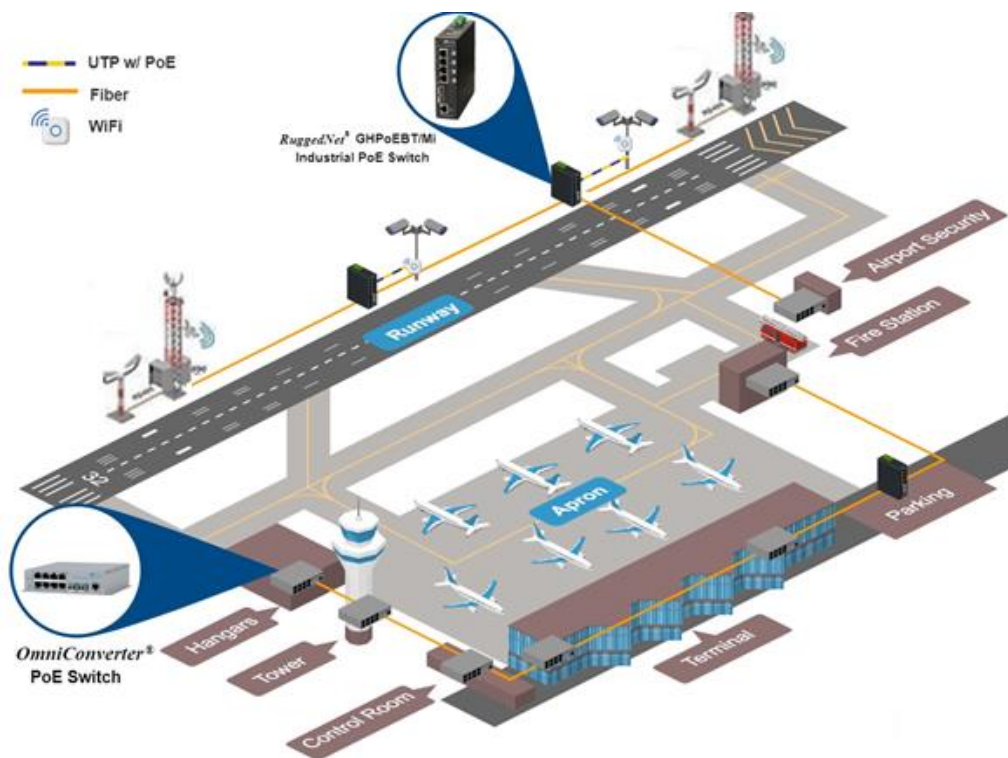


Рисунок 2.9 - Комунікаційні канали

Для реалізації проекрованої КІС, важливо розглянути канали зв'язку, які дозволять забезпечити отримання інформації СММ від датчиків для подальшої обробки [20-22].

Аналогові канали (рисунок 2.10) використовуються для передачі безперервних сигналів, які надходять від традиційних аналогових датчиків. Така інформація передається у вигляді електричних сигналів, які відображають фізичні величини МП, наприклад, температуру, тиск або швидкість вітру. Передача таких сигналів може здійснюватися через різні фізичні середовища, наприклад мідні кабелі чи коаксіальні лінії. На етапі обробки аналогові сигнали перетворюються у цифрові для подальшої обробки та зберігання.

Аналогова передача має певні недоліки, зокрема обмеження у дальності передачі та схильності до втрат сигналу через електромагнітні завади. Проте вона залишається актуальною, особливо для простих та малозатратних систем.

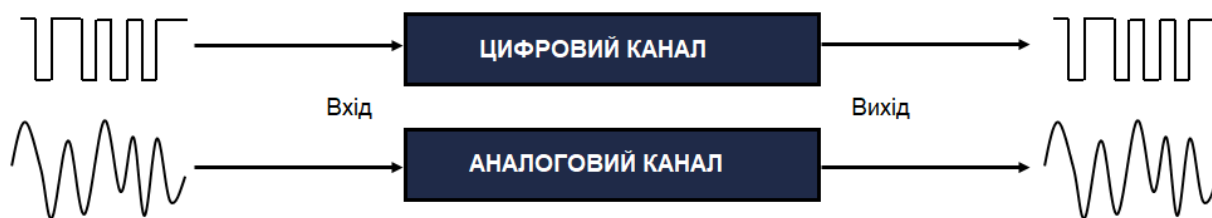


Рисунок 2.10 - Приклад аналогових та цифрових сигналів

Цифрова передача даних (рисунок 2.10) є більш поширеною та ефективною в сучасних СММ. Використовуються такі комунікаційні протоколи і стандарти, як RS-485, Modbus, CAN, Ethernet або безпроводні технології Wi-Fi, Zigbee, LoRa, 5G. Цифрові датчики генерують дані безпосередньо у двійковому форматі які передаються через послідовні або паралельні канали зв'язку. Такі канали зв'язку використовуватися для віддалених точок моніторингу, що забезпечує гнучкість і зниження витрат на прокладання кабелів.

Перевагами цифрових каналів є їх можливість забезпечувати високу точність передачі, стійкість до перешкод і зручність інтеграції з комп'ютерними системами, а також можливість збору, обробки та аналізу даних у реальному часі.

Аналогова та цифрова передача даних мають суттєві відмінності, і важливо розуміти процес переходу між ними. Передача даних здійснюється за допомогою методів комутації ліній, повідомлень і пакетів, причому вибір методу залежить від характеру даних і пропускної здатності каналу [20].

Аналогові пристрої обмежені за пропускною здатністю і схильні до накопичення шумів під час передачі. Сигнал слабшає та погіршується при проходженні через мережу, що призводить до зростання рівня помилок, особливо після підсилення сигналу, який також підсилює шум. Цифрова передача, на відміну від аналогової, використовує дискретні імпульси (біти) для передачі інформації, що робить сигнал більш стійким до шумів і дозволяє забезпечувати вищу швидкість передачі даних. Цифрові системи забезпечують кращу якість сигналу та підтримують розширення мереж для

зростаючої кількості користувачів.

Щоб об'єднати різні типи каналів передачі, використовуються перетворювачі [21]:

- аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) для переведення аналогових сигналів у цифровий формат (рисунок 2.11). Наприклад, такі пристрої можуть перетворювати сигнал від датчика температури в цифровий код, який легко передається і обробляється системами моніторингу.

- цифро-аналогові перетворювачі (ЦАП) - використовуються для зворотного процесу перетворення.



Рисунок 2.7 - Класифікація АЦП

Класифікація АЦП ґрунтується на певному параметрі, що визначає, як аналогове значення, що перетворюється в цифрове. Перетворення значень вибірки сигналу в цифрові еквіваленти здійснюється через процеси квантування та кодування, що можуть бути реалізовані за допомогою послідовних, паралельних або послідовно-паралельних методів для наближення цифрового еквівалента перетвореного значення.

Безпроводні технології передачі інформації [22], наприклад WPAN, дозволяють забезпечити з'єднання пристроїв на невеликій відстані (до 10 м). Однією з широко використовуваних технологій WPAN є Bluetooth, що працює з частотою 2,4 ГГц і забезпечує швидкість до 720 Кбіт/с, з

перспективою збільшення до 10 Мбіт/с. Bluetooth не потребує прямої видимості між пристроями та здатний передавати дані через фізичні бар'єри. Wi-Fi використовуються для широкосмугового доступу, хоча мають певні обмеження, такі як залежність від погодних умов та вразливість до безпекових загроз.

На рисунку 2.12 наведено класифікацію та характеристики безпроводних мереж.

WPAN	WLAN	WMAN
Технологія Bluetooth	Технологія Wi-Fi	Технологія WiMAX
802.15.1 до 1 Мбіт/с 2,4 ГГц R<10м	802.11b до 11 Мбіт/с 2,4 ГГц WEP R<3000м	802.16e WiMAX до 40 Мбіт/с 2,3/3,6 ГГц R 5-30км DES3
802.15.3 до 55 Мбіт/с 2,4 ГГц R<100м AES128	802.11g до 54 Мбіт/с 2,4 ГГц WPA2 R<300м	802.16m WiMAX2 до 100 Мбіт/с R 5-30км DES3
	802.11a до 54 Мбіт/с 5 ГГц WEP R<300м	802.16e WiMAX3 до 1 Гбіт/с R 5-30км DES3
802.15.4 понад 250 Мбіт/с 2,4 ГГц R<10м AES128	802.11n до 540 Мбіт/с 5 ГГц WEP, WPA, WPA2 R<300м	LTE Advanced / WiMAX LTE до 100 Мбіт/с R 5-30км DES3

Рисунок 2.12 - Безпроводні мережі передачі даних

Переважаюю безпроводних мереж є широке застосування завдяки простоті розгортання. Проте, вони мають ряд недоліків. Зокрема такі мережі характеризуються ризиками перехоплення даних і несанкціонованого доступу, що вимагає додаткових заходів захисту [23,24]. Якість зв'язку залежить від кліматичних умов, перешкод від інших пристроїв, фізичних бар'єрів та ін. WPAN і Wi-Fi мають обмежений радіус дії. Використання неліцензійного спектру 2,4 ГГц, який часто зайнятий іншими пристроями, може призводити до виникнення завад. Технології Bluetooth, мають обмежену швидкість передачі даних, що не підходить для високошвидкісного обміну великими обсягами інформації.

Для ефективної організації збору та передачі метеоданих, важливо

вибрати безпроводну мережу, яка забезпечить надійний і безпечний обмін інформацією. Для цього на практиці використовуються протоколи безпеки, основні з яких наведені на рисунку 2.13 [23].

	WEP	WPA	WPA2	WPA3
Опис	забезпечення провідної конфіденційності в безпроводному режимі	базується на 802.11i без потреби в новому обладнанні	віс обов'язкові функції 802.11i та нове обладнання	призначений для підвищення безпеки безпроводних мереж
Позначення	RC4	TKIP+RC4	CCMP/AES	GCMP-256
Автентифікація	WEP Open WEP Shared	WPA+PSK WPA-Enterprise	WPA2-Personal WPA2-Enterprise	WPA3-Personal WPA3-Enterprise
Щифрування	CRC-32	MIC-аналоги	CBC-MAC	BIP-GMAC-256
Управління ключами	відсутнє	4-стороннє рукописання	4-стороннє рукописання	ECC Діффі-Хелмана Алгоритм цифрового підпису ECC

Рисунок 2.13 - Типи протоколів безпеки безпроводних мереж

Для організації загального доступу до середовища передачі даних у безпроводних мережах важливо, щоб вузли передавали дані лише, тоді коли середовище вільне. Це дозволить уникнути конфліктів у передачі та забезпечить стабільний зв'язок між сенсорами СММ. Для цього використовуються наступні режими роботи:

- режим інфраструктури - коли кожен клієнт підключається через центральну точку доступу, що спрощує автентифікацію та безпеку;
- ad-hoc режим - коли клієнти спілкуються безпосередньо один з одним без центрального пристрою, що ускладнює забезпечення безпеки, оскільки кожен вузол відповідає за свою автентифікацію.

Проблема захисту інформації може бути вирішена шляхом використання криптографії, зокрема набору методів для перетворення даних з метою приховування їх змісту. Це дозволить забезпечити конфіденційність, цілісність даних та анонімність учасників у відкритих мережах. Криптографічна система (рисунки 2.14) включає алгоритми, протоколи та процедури для формування і використання криптографічних ключів.



Рисунок 2.14 - Узагальнена схема криптосистеми

Криптографічні алгоритми є математичними функціями для шифрування та розшифрування даних. Сучасна криптографія використовує ключі, що є секретним параметром, який визначає конкретне перетворення, для забезпечення безпеки.

2.3.2 Пристрої обміну інформації

Для організації обміну даними між модулями приймання МП за допомогою радіоканалів система повинна легко інтегруватися у існуючі інформаційні системи. Частота передачі даних повинна складати понад 500МГц, що є важливим для швидкої передачі. Виходячи із цього, для реалізації СММ обрано частоту 700 МГц. КІС повинна підтримувати живлення від зовнішнього джерела до 5В та 30 mA в режимі передавання, що дозволить забезпечити стабільну роботу.

Оскільки, у проектованій системі використовуватиметься один канал зв'язку, повинна забезпечуватися можливість прийому та передачі даних у напівдуплексному режимі, що дозволить ефективно взаємодіяти між модулями без необхідності постійного переключення режимів.

Відповідно до визначених вимог, було обрано пристрій XE1201A від компанії Xemics [24]. Це напівдуплексний передавач FSK, що працює в оптимізованому діапазоні частот ISM 433 МГц та в діапазонах 300-500 МГц. Для модуляції використовується безперервна фаза, а також двохрівнева частотна зміна (CPFSK).

Архітектура модуля (рисунок 2.15) з прямим перетворенням (zero-IF) дозволяє реалізувати чіп-канальний фільтр.

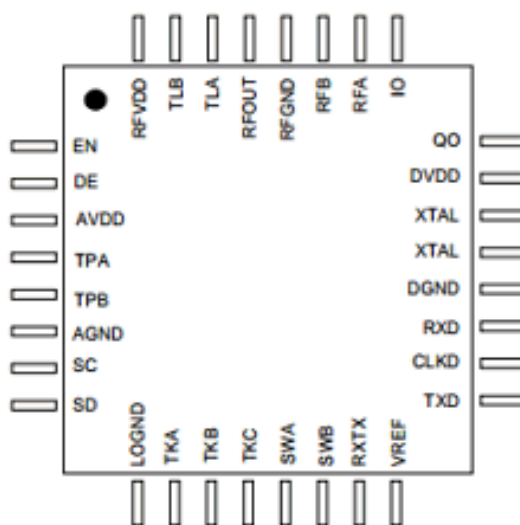


Рисунок 2.15 - Модуль XE1201A

Пристрій XE1201A включає бітовий синхронізатор, що забезпечує безбитковий зв'язок даних із синхронізованими годинниками, що дозволяє MCU зчитувати дані з низькою вартістю та складністю. Рівень переданої потужності може контролюватися через шину. XE1201A відповідає стандарту I-ETS300-220 і доступний у пакеті TQFP32.

Управління XE1201A здійснюється за допомогою послідовної шини MCU, що обробляє три сигнали: SD (Serial Data), SC (Serial Clock) та DE (Data Enable). Резервний потік 16 біт подається в внутрішній регістр (SD - pin 8) з найбільш значущим бітом (MSB) на першій позиції та зміщується під час переходу від низького до високого значення годинника (SC - pin 7).

Програмування активується через Data Enable pin (DE - pin 2), який повинен бути встановлений на нуль перед передачею даних. Перехід від низького до високого значення DE перевіряє заповненість регістра. Дані зберігаються під час наявності напруги живлення (Vdd).

Характеристики пристрою наведені в таблиці 2.1

Таблиця 2.1 - Технічні характеристики ХЕ1201А

Характеристика	Показник
Напруга живлення	2,4 В
Споживання струму в режимах прийому/передачі	до 6/8 мА
Потужність передавача	20 мВт
Температурний діапазон роботи	-55 до +99 °С
Частотний діапазон передачі даних	400 - 700 МГц
Швидкість передачі даних	до 64 Кбіт/с

2.3.3 Мікроконтролер

MCU р CY8C29466-24PХІ компанії Cypress (рисунок 2.16) є програмованим контролером, використання якого дозволяє замінити використання кількох системних компонентів, що базуються на традиційних MCU, в одному пристрої.

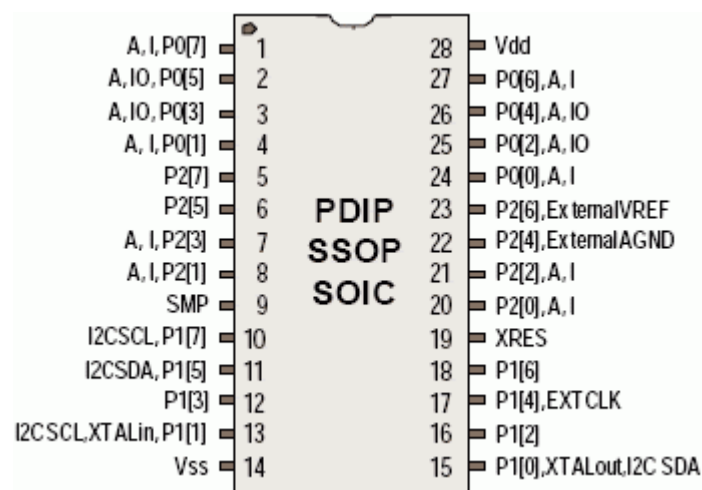


Рисунок 2.16 - Мікроконтролер CY8C29466I

MCU оснащений 16 цифровими блоками PSoC, що забезпечують від 8 до 32 бітових таймерів і лічильників, 8- і 16-бітні модулятори ширини імпульсу (PWM), модулі циклічного контролю надмірності (CRC) та псевдослучайної послідовності (PRS), а також до чотирьох повнодуплексних універсальних асинхронних приймачів-передавачів (UART) і майстер-

програвач кількох серійних периферійних інтерфейсів (SPI).

Основні характеристики CY8C29466-24PXI:

- потужний архітектурний процесор;
- низьке споживання енергії при високій швидкості та індикація точності напруги на чіпі, налаштовуване низьковольтне детектування;
- точна програмована частота синхронізації;
- гнучка пам'ять на чіпі та емуляція EEPROM
- гнучкі режими захисту;
- таймери для режиму сну;
- інтегрований контрольний контур.

Архітектура CY8C29466-24PXI (рисунок 2.17) є реалізацією компонентів на кристалі, включаючи ядро AVR 8-bit, пам'ять програм та даних на кристалі, периферійні пристрої та шини, які забезпечують з'єднання між зазначеними компонентами.

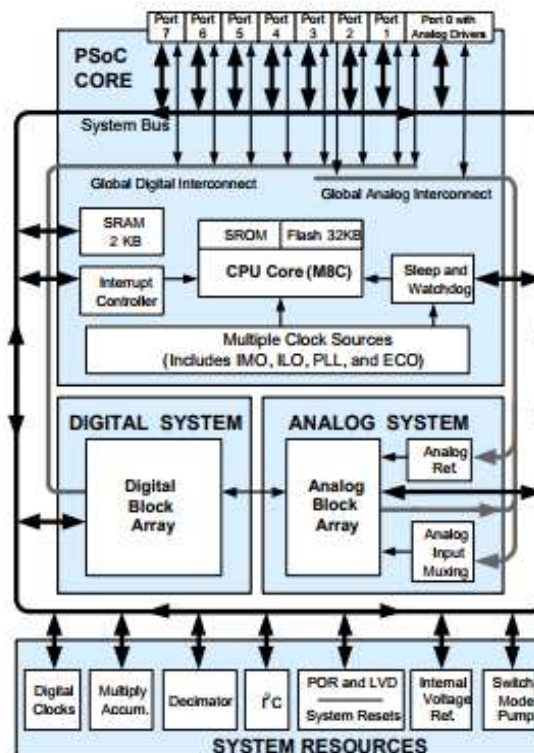


Рисунок 2.17 - Архітектура CY8C29466-24PXI

Ядро процесора складається з кількох незалежних функціональних вузлів: арифметичного логічного блоку з власним набором регістрів,

керуючого пристрою, що забезпечує паралельну та незалежну роботу, блоку генерації адреси, пристрою керування, пристроїв обробки біт і системи налагодження. MCU оснащений USB-інтерфейсом. Деякі пристрої можуть не мати зовнішнього інтерфейсу шини. Незалежно від дизайну, всі периферійні пристрої взаємодіють із ядром через інтерфейс IP-BUS, що з'єднує два адресні автобуси CDBR і CDBW, а також XDB2, з двосторонніми автобусами відповідних периферійних пристроїв або інтерфейсів шини.

2.3.4 Алгоритми передачі даних

COM-порт, зазвичай реалізований за стандартом RS-232, є простим послідовним протоколом. Його основні недоліки включають низьку швидкість та відсутність можливості ідентифікації підключених пристроїв. Протокол USB забезпечує ідентифікацію пристроїв та підтримує вищі швидкості передачі даних. Для проектованої системи вимоги до передавачів:

- сигнал без навантаження: -0,5 ... +5,5 В.
- при струмі 14 мА: не нижче +2,4 В.
- швидкість наростання/спаду: від 0,05 до 0,4 В/нс.

Вимоги для пристроїв приймання сигналів:

- граничні амплітудні рівні: від -2,0 до +7,0 В.
- межі спрацювання: VIN не більше ніж 2,0 В, VIL не нижче 0,8 В.
- вхідна ємність: до 50 пФ.

Для підключення принтерів використовується стандарт IEEE 1284, з типовими роз'ємами А (DB-25) і В (Centronics-36). У розробці планується використання роз'єму типу А (DB-25).

Основними режимами роботи COM-порту є наступні:

- Compatibility Mode - однонаправлене виведення даних по протоколу Centronics, що відповідає розповсюдженому порту SPP;
- Nibble Mode - введенняд байту у два цикли по 4 біти з використанням ліній стану;
- Byte Mode - введення цілого байту за допомогою ліній даних;

- EPP (Enhanced Parallel Port) Mode - забезпечує двонаправлений обмін інформацією з генерацією керуючих сигналів апаратно;
- ECP (Extended Capability Port) Mode - реалізує двонаправлений обмін з можливостями апаратного стиснення і використання FIFO-буферів.

Для організації прийому та передачі даних необхідним є виконання певних умов, зокрема двонаправлений обмін, функції, пов'язані з обробкою даних, повинні бути реалізовані на апаратному рівні, щоб забезпечувати високу швидкість та надійність. Важливим є те, щоб керуючі сигнали генерувалися як програмно, так і апаратно, для забезпечення адаптації системи до різних умов, а також цикли читання та запису повинні мати можливість чергуватися в довільному порядку, для забезпечення гнучкості та ефективності обробки даних.

COM-порти, зазвичай, використовуються для підключення послідовних пристроїв і можуть передавати один біт одночасно. Вони ідентифікуються на ПК як COM-порти (COM1, COM2 і т.д.). Вони взаємодіють з інтегральною схемою, яка містить регістри для налаштування швидкості передачі та конфігурацій. Наприклад, COM1 має адреси вводу-виведення від 0x3F8 до 0x3FF. Алгоритми читання даних включає кроки:

- встановлення низького рівня сигналу SelectIn# (CR3) для переходу в режим читання;
- очікування підтвердження від периферійного пристрою через вхід Bysy (SR7);
- поступлення синхронізуючого сигналу (високий рівень) від Paper Out (SR5);
- зчитування даних з SR7;
- підготовка до прийому наступного біту.

Алгоритми для запису виконуються наступним чином:

- встановлення високого рівня сигналу SelectInt# (CR3) для переходу в режим запису;
- запис байту, що символізує передачу даних;

- встановлення високого рівня сигналу CR3 для підтвердження;
- затримка (10 мкс) для підтримки сигналу;
- встановлення низького рівня сигналу CR3 для завершення підтвердження.

2.3.5 Блок датчиків

Блок датчиків служить для автоматичного вимірювання основних МП, необхідних для моніторингу погодних умов, збору даних в режимі реального часу, а також передачі отриманої інформації для подальшого аналізу та формування звітів. Даний блок (рисунок 2.15) складається зі стійки, на якій розміщені основні та резервні блоки живлення, перетворювачі послідовних інтерфейсів, маршрутизатори, два джерела безперебійного живлення.

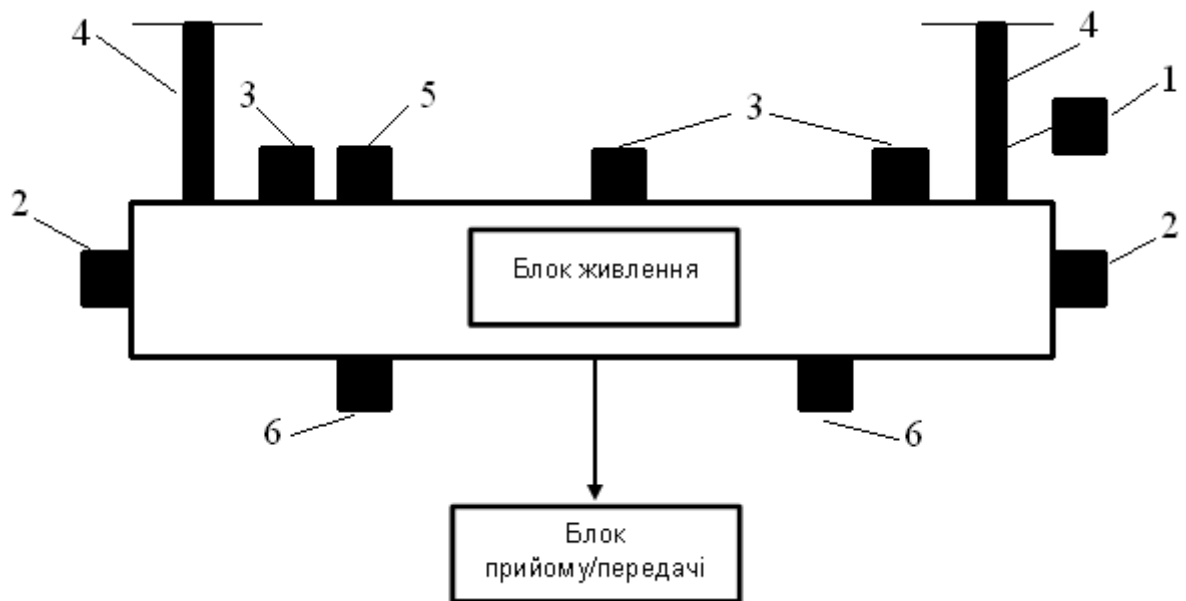


Рисунок 2.15 - Загальний вигляд блоку датчиків

До складу блоку датчиків можуть входити входять пристрої для вимірювання різних МП, наприклад:

- вологості і температури повітря та ґрунту (1);
- датчики хмарності (2);
- дальності видимості (3);

- швидкості та напрямку вітру (4);
- яскравості, радіаційного фону, тощо (5);
- цифрові барометри (6).

Датчики підключаються до контролера через стандартний інтерфейс. До блоку можуть входити засоби для відображення метеорологічної інформації, підключені до центрального пристрою керування через інтерфейси з можливістю використання схем підключення «зірка» або «кільце» та забезпечувати резервування всіх вимірювальних елементів у складі системи.

3. РЕАЛІЗАЦІЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНОЇ СИТЕМИ КОНТРОЛЮ МЕТЕОПАРАМЕТРІВ АЕРОПОРТУ

3.1 Розробка функціональної схеми

КІС контролю МП аеропорту (рисунок 3.1) реалізована з використанням сучасної елементної бази та має модульну організацію. Система є автономною, її компоненти встановлюється на відкритій місцевості, і забезпечує моніторинг в реальному режимі часу метеорологічної ситуації на локальній території.

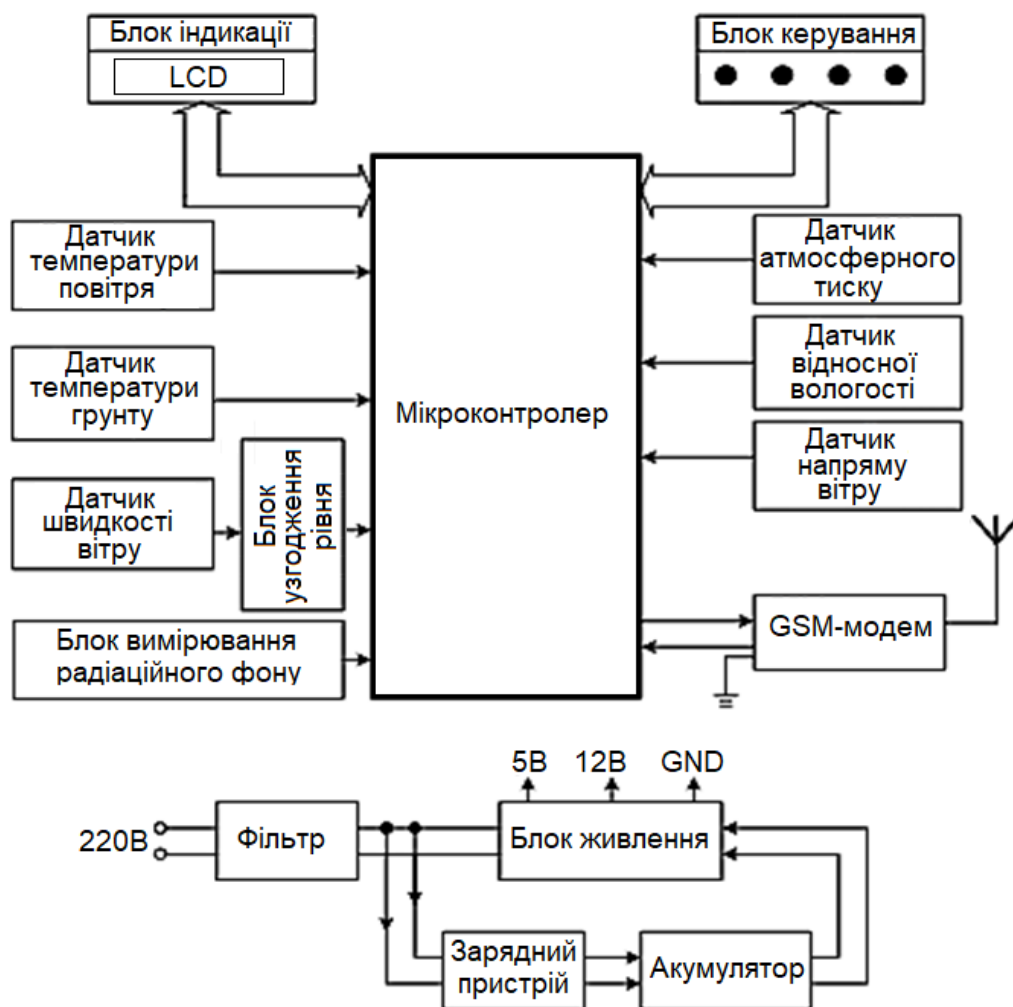


Рисунок 3.1 - Функціональна схема

Проектована система забезпечує вимірювання, опрацювання та передачу МП, а отримані показники про стан довкілля зберігаються в БД.

Функціональна схема складається з аналогової і цифрової частин. Аналогова частина включає датчики для вимірювання МП, зокрема температури і вологості, швидкості й напрямку вітру, тощо, а також модулі для вирівнювання рівнів сигналів, що передаються. Ці модулі призначені для приведення рівня сигналу датчиків до вимог MCU за формою і амплітудою. Цифрова частина включає MCU, датчики з цифровими виходами, інтерфейси зв'язку, кнопки керування, індикатори, блок передачі даних та ін.

Функція керування роботою КІС та її модулів забезпечується MCU, який є програмованою системою на кристалі та містить усі необхідні модулі для обробки і передачі даних. Він виконує вимірювання, розрахунки, обробку і передачу інформації через COM-порт або GSM-модем.

Блок індикації використовується для відображення значення вимірювань МП, з одиницями вимірювання, а також індикації режиму роботи КІС. Блок керування призначений для налаштування системи в незалежному режимі роботи, тобто без зовнішнього втручання. Він реалізує зв'язок MCU та оператора. Блок містить такі кнопки управління: меню, регулювання значення параметра «+» або «-» та введення даних.

GSM-модем використовується для передачі інформації щодо вимірювань МП на віддалений сервер. Для чого його зовнішні роз'єми можуть підключатися до SIM-карти, антени, постійну напругу від 12В-блоку живлення, MCU через послідовний COM-порт.

Блок живлення оснащений мережевим фільтром стабілізує живлення +5 В, +12 В усім елементів системи. В якості альтернативного джерела живлення використовується зарядний пристрій та акумулятор.

Основні функції, виконання яких забезпечує проєктована КІС:

- функціонування в повністю автоматичному режимі, що мінімізує необхідність втручання персоналу;
- автоматизований збір та первинна обробка вимірювальної інформації, що стосується умов експлуатації аеропорту;
- передавання отриманих даних на сервер в автоматичному режимі

або передача за запитом диспетчера;

- прийом і виконання команд, що надходять з сервера, зокрема щодо налаштування режимів вимірювань, синхронізації часу, включення/вимикання системи, калібрування датчиків тощо;
- створення локальної БД з основними МП за певний період, з автоматичним оновленням новими даними;
- можливості використання отриманої інформації в прогнозуванні погодних умов в аеропорту, що допомагає вчасно планувати злітно-посадкові операції, підготовку ЗПС та інші ключові процеси.

Завдяки модульній архітектурі, КІС легко адаптується до змін у вимогах аеропорту, дозволяючи додавати нові датчики і вдосконалювати алгоритми для контролю МП, що є особливо важливим для динамічного середовища, де вимоги до моніторингу можуть змінюватися залежно від сезонів, інфраструктурних оновлень тощо.

Апаратно-програмне забезпечення КІС здійснює обробку інформації з різних сенсорів. Отримана інформація проходить обробку та передається на центральний сервер МСА, де здійснюється накопичення й обробка даних для подальшого формування звітів про поточні метеорологічні умови та моніторинг стану аеропортової інфраструктури.

Технічні характеристики КІС контролю МП аеропорту з урахуванням специфічних вимог авіації:

- Швидкість вітру:
 - границі вимірювання швидкості повітряних потоків: 0,5-75 м/с;
 - поріг чутливості: не більше 0,5 м/с для забезпечення точності виявлення низькошвидкісних потоків;
 - допустима основна похибка вимірювання: $\pm(0,5 + 0,03V)$, де V - виміряна швидкість вітру, для більшої точності в межах критичних швидкостей.
- Напрямок вітру:
 - межі вимірювань складають 360°;

- точність вимірювання: $\pm 3^\circ$ для зменшення невизначеності в напрямку вітру, що є критичним для заходу на посадку.
- Відносна вологість повітря, %:
 - для температур $> 0^\circ\text{C}$: $\pm 2\%$ від 20% до 80% $\pm 4\%$ в границях 0-20% і 80-100%;
 - для температури $< 0^\circ\text{C}$: $\pm 4\%$ від 20 до 80% і $\pm 8\%$ в межах 0-20% і 80-100%.
- Температура повітря, $^\circ\text{C}$:
 - Інтервал вимірювання: від -55°C до $+85^\circ\text{C}$;
 - відхилення вимірювання: $\pm 0,3^\circ\text{C}$ з межами -20°C до $+50^\circ\text{C}$ для точного прогнозування зледеніння.
- Атмосферний тиск, кПа:
 - діапазон вимірювання: 30-110 кПа;
 - похибка: 1% для швидкого виявлення змін атмосферного тиску, які можуть вплинути на аеронавігацію.
- вимірювання рівнів β - та γ - випромінювання, мкЗв/год:
 - діапазон вимірювання: 0,1 - 1000 мкЗв/год (мікрозіверт на годину);
 - похибка вимірювання: зазвичай становить близько $\pm 15\%$.
 - чутливість: дозволяє фіксувати інтенсивність випромінювання в межах від природного фону до небезпечних рівнів для оперативного контролю.
- Дальність видимості, м:
 - діапазон вимірювання: від 10 м до 20 км;
 - чутливість: здатність вимірювати з точністю до 10 м для низької видимості в умовах туману.
- Хмарність: оцінка висоти нижньої границі хмар та кількість шарів хмар з точністю до 100 м.
- Яскравість: вимірювання: 0-100 000 люкс для визначення освітлення злітно-посадкових смуг.

Наведені технічні характеристики забезпечують високий рівень точності й надійності вимірювань, що є важливим для безпеки польотів та оперативної роботи аеропортових служб.

3.2 Розробка схеми принципової електричної

Для проектування КІС контролю МП аеропорту використано трирівневу архітектуру. На низовому рівні розміщені датчики температури, вологості та інших параметрів, які генерують електричні сигнали у відповідь на зміну середовища. Ці сигнали надходять до схеми узгодження рівнів, яка забезпечує їх адаптацію для подальшого перетворення. АЦП виконує дискретизацію сигналів і передає цифрові дані на системну шину за запитом процесора. До системної шини підключені також ПЗП для зберігання програми, ОЗП для тимчасового зберігання даних, процесор для обробки інформації та модулі виведення, наприклад індикатори, LCD-дисплей 2x16.

Запропонована КІС є багатофункціональною, що дозволяє легко змінювати кількість підключених датчиків та конфігурацію модулів відповідно до потреб аеропорту. В додатку А наведено схему електричну принципову КІС.

Для підтримки точності вимірювань, лінійності показників і відповідності вимірюваних показників (напруга-струм) додатково введено коригувальні схеми вмикання активних елементів для датчиків температури та вологості, що стабілізують їх параметри. Забезпечення живлення система реалізовано за допомогою джерела з діапазоном напруги 8-24 В і струмом понад 100 мА. MCU CY8C29466-24PVXI обробляє дані, виконує обчислення та передає результати СОМ-портом з використанням перетворювача MAX-232. Дані з датчиків зчитуються через порти P0[3] і P0[5] та за допомогою вбудованих АЦП перетворюються. Для того, щоб змінити параметри роботи та відображення інформації передбачений блок керування з кнопками. Для вимірювання МП використовуються наступні датчики:

1. Температура повітря: DS18B20 Dallas Semiconductor - цифровий термометр, його роздільна здатність становить 9-12 біт, а діапазон вимірювань і їх точність відповідає вимогам до проекрованої системи. Для роботи необхідне живлення 3,0-5,5 В, зі струмом 1,5 мА. Час вимірювання буде залежати від того, якої розрядності обрано режим роботи, наприклад для 12 розрядів максимальний час складе 750 мс.

2. Вологість повітря: HIH-4030 Honeywell з лінійним виходом, діапазоном вимірювань 0-100% відносної вологості, точністю $\pm 2\%$. Напруга живлення датчика 4-5,8 В, граничні робочі температури до 85°C.

3. Швидкість і напрямок вітру: прилад фірми Young з діапазоном вихідної напруги 0-5 В, оберти якого конвертуються у імпульси, за допомогою вбудованого потенціометра визначається кут повороту. Вимірювання відбувається в межах, що відповідають сформульованим вимогам до КІС, а їх похибка не перевищує $\pm 0,3$.

4. Атмосферний тиск: BMP180 Bosch з діапазоном вимірювань: 300-1100 гПа, точністю ± 1 гПа.

5. Яскравість (освітленість): BH1750 ROHM діапазон вимірювань 1-65535 лк (люкс), точність $\pm 20\%$.

6. Дальність видимості: MFR-7 Aeroqual, що вимірює видимість на основі аналізу мутності повітря.

7. Хмарність: CM-11 Davis Instruments, дозволяє визначити щільність та тип хмарності, може надавати дані про висоту хмар.

3.3 Розробка алгоритму роботи проекрованої системи

Для реалізації КІС обрано клієнт-серверну архітектуру, де може бути реалізована взаємодія веб-браузер та веб-сервера. Як приклад браузера можна розглянути тонкий клієнт. Основна функція якого полягає в тому, щоб зосередитися на сервері, тоді як браузер відображає інформацію, що завантажується з сервера, і передає її користувачеві. Перевагою такого

підходу є незалежність клієнта від конкретної операційної системи.

В додатку Б наведено блок-схему роботи клієнтської частини КІС контролю МП аеропорту, що включає:

- відкривання веб-браузера - оператор відкриває веб-браузер;
- введення URL - оператор вводить URL сервера, на якому розміщено веб-додаток для моніторингу МП аеропорту. Це може бути адреса локального сервера або хостингу;
- відправка запиту - браузер формує HTTP-запит до веб-сервера, запитуючи актуальні дані про МП, такі як температура, атмосферний тиск, сила та напрямок вітру;
- отримання відповіді - сервер обробляє запит та формує відповідь, повертаючи HTML-сторінку або інший формат контенту (наприклад, JSON), що містить дані про погодні умови;
- відображення контенту - браузер отримує та відображає інформацію на екрані. Оператор може бачити графіки, таблиці та показники МП у реальному часі, що допомагає приймати рішення щодо управління авіаперевезеннями;
- інтерактивність - оператор взаємодіє з елементами веб-сторінки, такими як кнопки для оновлення даних, фільтри для вибору певних МП або часових проміжків, а також форми для введення додаткових запитів, наприклад, детальний звіт.
- повторення запитів - отримання нових даних в певному інтервалі або через зміни в погоді або у випадку надзвичайних ситуацій, браузер може надсилати нові запити до сервера для отримання актуальної інформації. Це може відбуватися автоматично, наприклад, через AJAX, або вручну, коли оператор натискає кнопку «Оновити».

В додатку В наведено блок-схему алгоритму роботи серверної частини КІС контролю МП, що включає кроки:

- запуск сервера, наприклад на базі Arduino, при цьому активуються необхідні компоненти та налаштування для прийому запитів від клієнтів;

- перехід у стан очікування запитів;
- прийом HTTP-запиту на отримання актуальних МП;
- обробка запиту, що включає:
 - визначення типу запиту шляхом аналізу запиту (GET, POST тощо) для правильної його обробки;
 - збір необхідної інформації - у випадку запиту на отримання даних, сервер взаємодіє з БД або іншими джерелами інформації, щоб зібрати актуальні МП;
 - формування відповіді, що містить зібрану інформацію, яка може бути у форматі HTML, JSON або іншому, відповідно до запиту;
 - надвиправлення відповіді - сформований звіт відправляється назад до клієнта, наприклад, якщо це HTML-сторінка, вона буде відображена у веб-браузері, або ж, якщо це JSON, вона буде оброблена для подальшого використання;
 - закриття з'єднання з клієнтом після відправлення відповіді, у випадку, якщо сервер підключений до кількох клієнтів, він переходить у стан очікування нових запитів.

3.4 Розробка програмного забезпечення

Для керування системою приймання та опрацювання МП реалізовано ПЗ для MCU CY8C29466-24PXL. Дане ПЗ, додаток Г, створене на мові Java в середовищі Borland JBuilder X. Основні функції програми включають:

- опитування датчиків для збору параметрів;
- опрацювання результатів вимірювань і їх відображення;
- передавання даних для подальшого аналізу.

MCU використовує 14-бітний АЦП для точного вимірювання аналогових сигналів з датчиків, що задовольняє технічні вимоги системи. Запит на вимірювання надсилається у вигляді текстового запиту з часовими позначками та індикацією команди.

Формат запиту має наступний вигляд:

[kk cc:ss DD/MM/YY ?],

де:

- *kk* - номер команди;
- *cc:ss* - час;
- *DD/MM/YY* - дата;
- *?* - позначка запиту.

Відповідь також є текстовим повідомленням, яке містить параметри вимірювань, що було передано, у форматі:

[pp cc:ss DD/MM/YY MP = nnnn.nn ... MP = nnnn.nn vvvv !],

де:

- *pp* - стан датчиків;
- *MP* - позначення параметра, наприклад, *t* для температури тощо;
- *nnnn.nn* - значення параметра;
- *vvvv* - контрольна сума CRC;
- *!* - позначка відповіді.

Після ввімкнення системи користувач може обрати канал для передавання даних, наприклад провідний зв'язок через COM-порт чи безпроводний через GSM-модем.

Графічний інтерфейс, розроблений для керування KIC, підтримує підключення до COM-порту для коротких відстаней або через GSM-модем для віддаленого моніторингу. Вхідні дані надходять через COM-порт, утворюючи інформаційний пакет певної структури.

Після запуску програми відкривається головне вікно (рисунк 3.7), яке містить усі необхідні елементи для управління та відображення отриманих параметрів, що полегшує процес моніторингу та дозволяє користувачам швидко отримати актуальні дані.

Вхідна інформація за допомогою ПЗ завантажуються із файлів, що містять опис модулів для збору МП, дані внутрішніх адрес та тестові послідовності, для імітації сигналів - відповідей COM-портів для того, щоб

перевірити функціонування модулів. Крім текстового файлу вхідні дані можуть бути представлені у графічному форматі. Вихідними даними програми є отримана інформація від моніторингових модулів; у разі виникнення помилок буде виведено сповіщення з детальною інформацією про них. Вихідні дані можуть зберігатися у вигляді серійних об'єктів з метою їх подальшої обробки та використання.

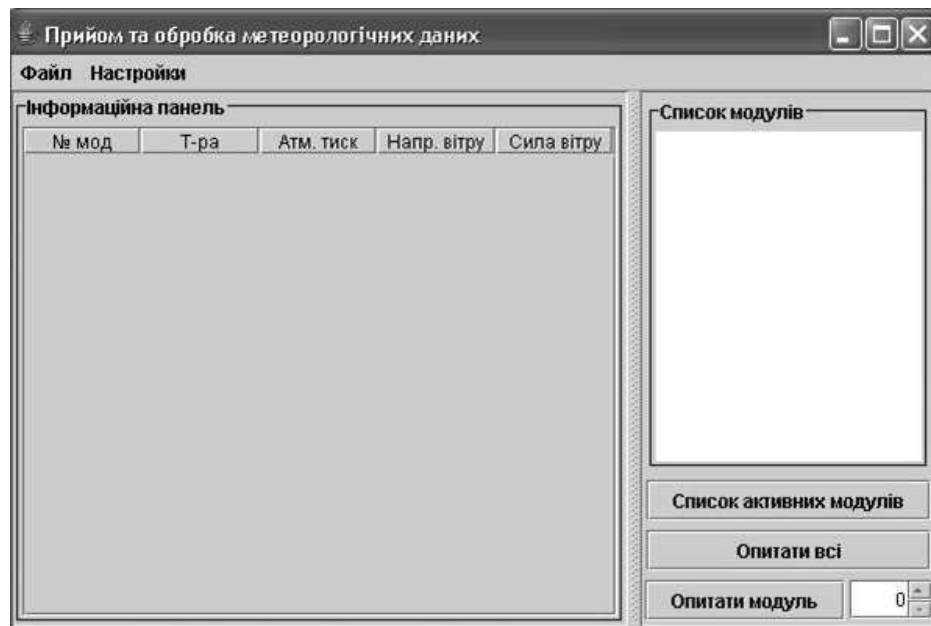


Рисунок 3.7 - Головне меню

При натисканні кнопки «Список активних модулів» завантажується список модулів з файлу `Modules.properties`, який можна оновлювати навіть під час роботи ПЗ. При повторному натисканні кнопки «Активні модулі» програма знову зчитує файл і відображає нові модулі, якщо вони були додані або змінені.

Список модулів містить унікальний номер модуля збору МП, який відповідає його внутрішньому коду, а також опис модуля, який може містити додаткову текстову інформацію для зручності. Для подальшої взаємодії користувач може натиснути кнопку «Опитати модуль» і вказати потрібний номер (рисунок 3.8). При опитуванні модуля можливі такі помилки:

- вказаний модуль відсутній у списку модулів;
- модуль не відповідає на запит;

- надісланий і отриманий номери модуля не збігаються;
- помилка контрольної суми (виникла помилка під час передачі даних).

Інформаційна панель				
№ мод	Т-ра (°C)	Тиск(мм.рт.ст.)	Напр. вітру	Сила вітру(м/с)
2	-6.0	613	30	7.8

Рисунок 3.8 - Результат опитування модуля

ПЗ включає набір необхідних бібліотек, які розширюють її функціонал і додають додаткові можливості. Для доступу до бібліотеки слід обрати її з меню, після чого вона компілюється і додає нові оператори для виконання специфічних функцій.

ПЗ КІС забезпечує роботу в інтерактивному режимі, який дозволяє здійснювати налаштування характеристик вимірювань МП та зміну інтервалів між вимірюваннями дистанційно. Також забезпечена можливість отримання інформації стосовно роботи кожного сенсора в зручному для форматі. У штатному режимі кожен блок вимірювання може декілька разів за добу надсилати запити, а отримані дані автоматично надходять до центрального вузла без втручання оператора. У такому випадку система самостійно порівнюватиме отриману інформацію щодо МП з сенсорів з наперед налаштованими граничними значеннями та здійснювати передачу відповідних сповіщень до центрального терміналу. Такий підхід дозволяє забезпечити ефективний контроль МП.

Після того, як відбувся запуск системи на мониторі оператора відобразатиметься головне вікно, де розміщені необхідні елементи для роботи з ПЗ КІС. В результаті натискання елемента «Список активних модулів» завантажиться перелік модулів, що містить файл Modules.properties, що будуть взаємодіяти з системою. Важливо зазначити, що нові модулі можна завантажувати навіть під час роботи програми; для цього достатньо знову натиснути кнопку «Список активних модулів», і система прочитає

файл, відобразивши нові модулі (якщо відбулися зміни). Перелік доступних модулів включає такі параметри як номери, як правило від відповідають внутрішньому коду кожного модуля, та текстову інформацію, що описує модуль, наприклад місце розміщення.

Для передачі даних у системі використовуються контакти роз'єму паралельного порту, які відповідають за виведення даних: DR0 використовується для передавання сигналу логічного нуля «0», DR1 - логічної одиниці «1», CR2 - логічний сигнал «синхронізації».

Перед початком передачі інформації у ініціюючому методі `inicialData()` відбувається створення екземпляра класу передавача:

```
transmitter = Transmitter.getInstance();  
transmitter.setOut(out);  
transmitter.setOwner(this);
```

Передача даних ініціюється при виклику методу `askModule()`. У процесі передавання інформації ПЗ виконує такі кроки:

1. Встановлення високого рівня сигналу `SelectIn# (CR3)`, що забезпечує переключення порту в режим записування даних. Цей сигнал також поступає на вхід передавача RX/TX, активуючи його у режим передавання даних за допомогою методу `set_PrintSelect(«1»)`.

2. Відбувається запис у COM-порт байту `00000001`, який відповідає передачі «0», чи передачі «1» шляхом запису `00000010`, що генерує сигнали на виходах DR0 або DR1 (виконання `this.getOut().write(b_01)`) відповідно.

3. Виконується програмна затримка на 50 мс, щоб підтримувати необхідний рівень сигналу DR0 або DR1 відповідно `Thread.sys_sleep(0,50000)`.

4. Повторне встановлення високого рівня сигналу `SelectIn#` для того, щоб підтвердити передачу наступного біту даних, тобто виконання методу `set_InSelect(«1»)`.

5. Затримка на 15 мс щоб підтримувати рівень сигналу `Thread.sys_sleep(0, 15000)`.

6. Встановлення низького рівня сигналу `SelectIn#` для того, щоб завершити передачу.

7. Встановлення низького рівня сигналу `SelectIn#` дозволяє переключити порт в режим зчитування даних. Цей сигнал також подається на вхід приймача `RX/TX`, активуючи режим приймання даних (метод `setPrinterSelect(«0»)`).

Дані поступають на роз'єми паралельного порту ПК (`SR7 - Bysy`, `SR5 - P_Out`), які є частиною порту 5-біт для введення сигналів станів принтера. Дані з цих контактів можуть бути зчитані за допомогою ПЗ використовуючи методи `isBysy()` та `isP_Out()`, які повертають логічні значення залежно від рівня сигналу, який поступає, відповідно високий або низький. Для прийому даних метод `inicialData()` запускає окремий потік, який стежить за змінами рівнів сигналів на роз'ємах паралельного порту.

У класі `Sys_Receiver` метод `run()` запускає циклічне опитування рівня сигналу в роз'ємі `SR5` для перевірки наявності сигналу синхронізації, та викликає для цього метод `isP_Out()`. Якщо метод повертає логічне значення «1», розпочинається процес прийому даних, що включає опитування рівня сигналу, що поступає на роз'єм `SR7` з використанням методу `isBysy()`. Після цього відбувається програмне встановлення низького рівню сигналу синхронізації з використанням `setP_Out(«0»)`.

Аналіз послідовності бітів, що поступають продовжується далі. Якщо в ході прийому буде виявлено послідовність, що включає вісім одиниць підряд, вхідні дані будуть накопичуватися в буфер.

Для інкапсуляції фізичних даних, з якими буде працювати система, створено клас `MP_Data`, який містить поля:

- `module_Numb` - номер модуля;
- `air_Temp` - температура, виміряна модулем;
- `atm_Press` - атмосферний тиск;
- `wind_Pow` - сила вітру;
- `wind_Dir` - напрямок вітру;

- `sum` - контрольна сума для перевірки цілісності отриманої інформації.

Цей клас дозволяє організувати дані про МП у зручному форматі, забезпечуючи легкий доступ до кожного з параметрів і можливість виконання необхідних операцій з даними.

Фізичну модель модуля збору інформації представлено в класі `Module`, який містить такі поля:

- `module_Numb` - номер модуля;
- `module_Descr` - опис модуля, що дозволяє зрозуміти його функціональність;
- `MP_Data` - інформація про погоду, що передається.

У класі `Module` реалізовано методи, які характеризують роботу системи:

- `sendModule_Numb()` - надсилає запит на отримання інформації від датчиків до поточного модуля;
- `createMP_Data(byte receiv_Bytes)` - створює об'єкт класу `MP_Data`, використовуючи параметри, які передані у вигляді набору байтів (`receiv_Bytes`), що є відповіддю поточного модуля на запит від керуючої програми.

Для підвищення функціональності ПЗ розроблено набір утилітарних класів у пакеті `util`, які надаватимуть допоміжні функції під час виконання програми, покращуючи її ефективність і організованість.

ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної роботи розроблено КІС контролю МП аеропорту, яка забезпечує автоматизований збір і обробку даних у режимі реального часу, підвищуючи точність, надійність та швидкість обміну інформацією для суттєвого покращення процесу прийняття рішень.

1. Проведено аналіз структури аеропорту, розглянуто функціональні особливості основних центрів управління, зокрема ДП, що відповідають за організацію авіанавігації. Отримані дані забезпечили зрозуміння розподілу обов'язків та взаємодії між службами, що забезпечують обслуговування польотів. Визначено важливість отримання даних щодо метеорологічної ситуації в режимі реального часу.

2. Проаналізовано роботу МСА та її роль у забезпеченні безпеки польотів, що дозволило визначити ключові МП, моніторинг яких дозволяє підвищити точність прогнозування погодних умов. Це безпосередньо впливає на прийняття рішень АД для безпеки авіаційного руху. Оперативна реакція на зміни метеоситуації забезпечує безпеку авіаційних операцій та дозволяє оцінити ризики, пов'язані із погодними умовами, та їх вплив на безпеку польотів.

3. Досліджено існуючі системи моніторингу метеорологічних параметрів та їх компоненти. Розглянуто різні джерела отримання метеорологічних даних, що забезпечують надійність і точність інформації та гарантують доступ до актуальних даних, підвищуючи ефективність системи.

4. Розроблено архітектуру проекрованої КІС, що дозволило визначити склад і функції основних блоків та їх взаємодію. Обґрунтовано вибір компонентів системи, зокрема блоків вимірювання МП, управління, пристроїв та каналів обміну та обробки інформації.

5. Реалізовано КІС з урахуванням вимог до надійності та безпеки передачі даних. Розроблено функціональну та електричну принципову схеми. Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення проекрованої КІС.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Chynoranský J., Jarošová M. (2022). Influence of meteorological conditions on aircraft take - off and landing. 65-69. 10.26552/pas.Z.2022.1.11.
2. Sanz Á., Cano J., Fernández B. (2021). Impact of Weather Conditions on Airport Arrival Delay and Throughput. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 1024. 012107. 10.1088/1757-899X/1024/1/012107.
3. Airports. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.radarmeteo.com/en/industries/airport-weather-services/>
4. ATC - Air Traffic Controller: The Indispensable Linchpins of Aviation Safety. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.aviationfile.com/air-traffic-controller/>
5. The Joint Responsibility of Flight: A Closer Look at the Role of a Dispatcher. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://airwis.blog/2022/04/18/the-joint-responsibility-of-flight-a-closer-look-at-the-role-of-a-dispatcher/>
6. Chan P.W. , Hon K., Robinson P., Kosiba K., Wurman J., Li, Q. (2021). Analysis and numerical simulation of a waterspout at the Hong Kong International Airport. Meteorologische Zeitschrift. 30. 10.1127/metz/2021/1078.
7. Aviation Weather Information: How do Pilots Get It?. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://pilotteacher.com/aviation-weather-information-how-do-pilots-get-it/>
8. Khattak A., Chan P.W., Chen F., Peng H. (2023). Assessing wind field characteristics along the airport runway glide slope: an explainable boosting machine-assisted wind tunnel study. Scientific Reports. 13. 10.1038/s41598-023-36495-5.
9. Qian J., Miao S., Tapper N., Xie J., Ingleton G. (2020). Investigation on Airport Landscape Cooling Associated with Irrigation: A Case Study of Adelaide Airport, Australia. Sustainability. 12. 8123. 10.3390/su12198123.
10. Meteorological Hazards For An Aircraft. [Електронний ресурс].-

Режим доступу: <https://havkar.com/en/blog/view/meteorological-hazards-for-an-aircraft/101>

11. Turbulence and Wind Shear. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://community.wmo.int/en/activity-areas/aviation/hazards/turbulence>

12. Meteorology: Top notch aviation weather services for Hong Kong. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.internationalairportreview.com/article/21758/meteorology-top-notch-aviation-weather-services-for-hong-kong/>

13. Introduction of airport meteorological equipment system. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://vatm.vn/introduction-of-airport-meteorological-equipment-system-dt246.html>

14. Meteorological Service for International Air Navigation. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.icao.int/airnavigation/IMP/Documents/Annex%203%20-%2075.pdf>

15. How Do Pilots Interpret Weather Reports?. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://simpleflying.com/how-pilots-interpret-weather-reports/>

16. Weather Monitoring Equipment: Types, Functions, and Value. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.niubol.com/Product-knowledge/Weather-monitoring-equipment.html>

17. Which Meteorological Instruments Do Airports Have At Their Disposal? [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://simpleflying.com/airport-meteorological-instruments-guide/>

18. Aviation Weather Center. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://aviationweather.gov/>

19. Airport Weather. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://airportweather.com/>

20. Попов А.О. Теорія сигналів.- Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. - 268 с.

21. Тарновський М.Г. Аналогові та аналого-цифрові пристрої. / М.Г. Тарновський, Л.В. Крупельницький. - Вінниця: ВНТУ, 2022. - 88 с.

22. Alomari S., Putra S., Taghizadeh A. (2011). A comprehensive study of wireless communication technology for the future mobile devices. European Journal of Scientific Research. 60. 583-591.

23. Безпека WiFi: історія небезпеки WEP, WPA і WPA2. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://e-server.com.ua/uk/poradi/bezpeka-wifi-istoriia-nebezpeki-wep-wpa-i-wpa2>

24. Модуль XE1201A XEMICS TQFP-32 Processors / Microcontrollers. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <http://www.chipdocs.com/datasheets/datasheet-pdf/Xemics/XE1201.html>

25. Мікроконтролер CY8C29466-24PXI фірми Cypress. [Електронний ресурс].- Режим доступу: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/468022/CYPRESS/CY8C29466-12PVXET.html>