

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра аеронавігаційних систем

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри

_____ Ларін В.Ю.

«__» _____ 2020р.

ДИПЛОМНА РОБОТА
(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

Тема: «Використання літака у якості мобільного датчика для одержання оперативної метеоінформації»

Виконавець:

Рябцев Д.О.

Керівник:

Богуненко М.М.

Нормоконтролер:

Аргунов Г.Ф.

Київ 2020

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	Error! Bookmark not defined.
ВСТУП	4
1. АНАЛІЗ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ НА БОРТУ ЛІТАКА	5
1.2. Метеорологічні датчики, які встановленні на повітряному кораблі. ..	6
1.3. Передача тропосферних метеорологічних даних з повітряного судна (TAMDAR)	11
1.4. Аналіз передачі метеорологічної інформації використовуючи лінії передачі даних “повітря-земля”.	13
1.5. Висновки до розділу 1	22
2. АНАЛІЗ ВПЛИВУ НЕБЕЗПЕЧНИХ МЕТЕОЯВИЩ НА ВИКОНАННЯ ПОЛЬОТУ	23
2.1 Вплив вітру на виконання польоту.....	23
2.2. Обледеніння та вплив на льотні характеристики	25
2.4. Польоти в зоні підвищеної електричної активності	28
2.5. Польоти в умовах низької видимості	29
2.6. Польоти в умовах турбулентності	30
2.7. Вплив вулканічного попелу на виконання польоту	31
2.8. Висновки до розділу №2	34
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ПК В ЯКОСТІ ПЕРЕДАЧА МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ.....	35
3.1 Створення алгоритму збору метеорологічних даних для використання ПК в цілях мобільного передачі.....	35
3.2. Дослідження використання систем бортового спостереження для збору оперативної метеорологічної інформації в світі	37
3.3 Оцінка використання систем збору метеорологічних даних з ПК за останні 10 років	45
3.4 Аналіз використання системи бортового метеорологічного спостереження.	46
3.5 Аналіз стану атмосфери на основі збору оперативної метеорологічної інформації з ПК.....	48
3.6. Вплив прогнозу точності вітру та температури на планування польоту	49

3.7. Дослідження використання бортових радарів літаку для виявлення ураганів	50
3.8. Висновки до розділу 3	55
4. ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ розширення бази спостереження за рахунок датчиків на борту літака	56
4.1. Можливості збору інформації для використання ПК в якості передача оперативної метеорологічної інформації	56
4.2. Системи зв'язку для передачі оперативної метеорологічної інформації	57
4.3. Вимоги до передачі повідомлень	58
4.4. Оцінка переваг використання системи метеорологічного спостереження	59
4.5. Оцінка витрат на впровадження програми AMDAR	61
4.7. Повітряні кораблі, які використані в якості метеорологічної розвідки	63
4.8.3 Вплив точності TAMDAR на чисельний прогноз погоди	77
4.9. Висновки до розділу № 4	82
Висновки	83
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	84
Додаток А.....	Error! Bookmark not defined.

ВСТУП

На сьогоднішній день сучасний літак обладнаний багатьма датчиками, що здатні визначити стан атмосфери та здатні дану інформацію передавати на наземні станції, що дає змогу розширенню бази спостереження, за рахунок датчиків, розміщених на борту літака.

Актуальність даної теми дослідити використання датчиків на літаку для передачі метеорологічної інформації та як саме бортові метеорологічні спостереження впливають на точність глобального прогнозу.

Тому метою роботи є дослідити можливість розміщення бази спостереження за рахунок датчиків, що використовуються в літаках.

Для дослідження було проаналізовано, які саме основні системи використовуються в наш час. Також було проведено дослідження використання різних систем в світі та використання їх протягом останніх 10 років. Під час виконання роботи було проведено дослідження кількості польотів в світі на бортові спостереження, що дало змогу зрозуміти важність використання літака в якості мобільного датчика.

1. АНАЛІЗ СИСТЕМ СПОСТЕРЕЖЕННЯ НА БОРТУ ЛІТАКА

1.1. Системи спостереження, які встановлені на борту літака

Сучасні обладнання та датчики встановлені на комерційних літаках дозволяють досліджувати явища та процеси в атмосфері. Аналізуючи документ ВМО № 8. Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений [2], основними системами, які дозволяють досліджувати ці явища в атмосфері є:

- AMDAR (Aircraft metrological data relay)-Система передачі метеорологічних даних з ПК
- TAMDAR (Tropospheric Airborne Meteorological Data Reporting) - Передача тропосферних метеорологічних даних з літаків
- ADS-C(Automatic dependent surveillance-contract) – автоматичне залежне спостереження режим контракт
- EHS (Enhanced Surveillance) - розширене спостереження режим-S

Згідно аналізу документів Doc. ICAO 8896 Руководство по авиационной метеорологии та ВМО № 8. Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений, основною та надійною системою в наш час являє собою система AMDAR, що є системою метеорологічних спостережень Всесвітньої метеорологічної організації, яка дозволяє проводити повністю автоматизований збір і передачу метеорологічних спостережень з борту комерційних ВС.

Повітряні судна, обладнані складними навігаційними та іншими зондувальними системами, мають право експлуатувати AMDAR і інші літакові системи спостережень.

Навігаційні системи повітряного судна надають дані, які стосуються місця положення повітряного судна, прискорення і орієнтації. А також є датчики для вимірювання швидкості повітряного потоку, температури і тиску повітря. Бортові комп'ютери для управління польотом і навігаційні системи, безперервно обробляють дані і передають в кабіну екіпажу. У системах

спостережень, ці данні проходять подальшу обробку і автоматично вводяться в систему зв'язку повітряного судна для передачі даних на землю.

1.2. Метеорологічні датчики, які встановлені на повітряному кораблі.

1.2.1. Приймач повного та статичного тиску повітря

Згідно аналізу документа ВМО № 8. Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений основными датчиками, що встановлюються на борту є приймач повного і статичного тиску. У польоті зустрічний потік повітря, набігаючи на приймач тисків, гальмується. Його відносна швидкість стає рівною нулю. В цьому випадку кінетична енергія частинок повітря переходить в потенційну і в приймачі створюється надлишковий тиск повітря, яке прийнято називати динамічним тиском повітря.

Статичний тиск повітря прийнято називати тиск незворушного повітря. Так як приймач повного і статичного тиску розміщується в незворушному потоці повітря поза прикордонного шару повітряного судна і вимірює загальний тиск (статистичний тиск плюс повний або динамічний тиск). Отже, датчики можуть вимірювати тиск незворушного навколишнього повітря. Статичний тиск вимірюється через отвори, розташовані в бічній частині корпусу повітряного судна.

На кінцевому етапі данні надходять в систему обробки даних про параметри атмосфери. Маючи ці данні, система обробки даних про параметри атмосфери розраховує барометричну висоту, статичну температуру і число Маха. [2]

1.2.2. Спосіб визначення барометричної висоти

На основі міжнародної стандартної атмосфери дані вимірювання статичного тиску зазвичай перетворюються в ADC (Air Data Computer) в еквівалентну висоту. При температурі в 15 °С і тиску над середнім рівнем моря в 1013,25 гПа, температура з висотою зменшується на 6,5 °С на кожен кілометр

до висоти в 11 км або 36 089 футів. В шарі від 11 до 20 км температура залишається постійною і рівною $-56,5$ °C. [2]

При умовах барометричної висоти рівною або менше 11 км або 36 089 футів, можна розрахувати статичний тиск маючи формулу

$$p_{st} = 1013,25 \times (1 - 6,8756 \times H_p)^{5,2559} \quad (1.1)$$

де p_{st} -статичний тиск, H_p -барометрична висота

При умовах барометричної висоти більше 11 км або 36 089 футів, можна розрахувати статичний тиск маючи формулу

$$p_{st} = 226,32 \times e^{\frac{36089 - H_p}{20806}}, \quad (1.2)$$

або

$$H_p = 36089 - 20806 \times \ln\left(\frac{p_{st}}{226,32}\right) \quad (1.3)$$

де p_{st} -статичний тиск, H_p -барометрична висота.

Отже, маючи формули (1.1-1.3) можемо розрахувати статичний тиск, знаючи барометричну висоту при умовах якщо відмітка шкали висотоміра на повітряному судні (нульове вихідне значення) встановлена за стандартом ІКАО для тиску, приведенного до середнього рівня моря 1013,25 гПа і, за умови, що значення статичного тиску в бортовому програмному забезпеченні було скориговано тільки для ефектів аеродинамічного походження. [2]

1.2.3. Спосіб визначення температури повітря

Для вимірювання статичної температури використовується датчик повної температури який розміщується в незворушному повітряному потоці. Більшість повітряних суден, обладнано датчиками термометрами контактного типу.

Чутливий елемент датчика являє собою термометр опору. Захисний кожух оберігає чутливий елемент від попадання хмарних крапель і опадів. Важлива термодинамічна частина захисного корпусу призначена для забезпечення майже повного адіабатичного перетворення кінетичної енергії прийнятого повітря у внутрішню енергію. Швидкість повітряного потоку повинна бути знижена до мінімального значення в датчику, у цьому місці потік повітря, що

вступає в контакт з чутливим елементом, повинен бути вільний від теплообміну з внутрішніми стінками.

В результаті, теплообмін зі стінкою підтримується на досить низькому рівні для підтримки точності вимірювань. Значення температури, вимірюване таким датчиком, близьке до теоретичного значення, яке було б отримано при ідеальному адіабатичному стисненні незворушного потоку повітря в точці загальмованого потоку.[2]

1.2.4. Спосіб визначення швидкості та напрямлення вітру

Для визначення вимірювань швидкості та напрямлення вітру, зазвичай використовують такі системи як:

- Дані літакової навігаційної системи
- Комплект радіонавігаційного обладнання
- Інерційна система
- Магнітний компас
- Системи вимірювання швидкості повітряного потоку
- Комп'ютер обробки даних про параметри атмосфери
- Система глобального позиціонування
- Систему вимірювання повного і статичного тисків
- Датчик виміру навколишньої температури

Комбінація таких систем дозволяє визначити точні дані про вітер, а також визначити з високою точністю швидкість літака, а саме швидкість відносно землі, швидкість потоку повітря відносно літака. [2]

Швидкість відносно землі в ранніх версіях систем AMDAR розраховувалася за даними від інерційних навігаційних систем без підтримки з боку наземних навігаційних засобів або систем глобального позиціонування.

Але з появою сучасних навігаційних систем та обладнань, точність та якість отримання оперативних даних покращилась. [2]

1.2.5. Система для вимірювання вологості та стан атмосфери

Система зондування водяної пари (WVSS-II) задовольняє вимогливі потреби в зборі метеорологічних даних верхніх шарів атмосфери з комерційних літаків, забезпечуючи точні дані про атмосферну водяну пару з надзвичайно низькою кількістю операцій, що призводить до надійної підтримки прогнозу погоди і авіаційних операцій.

WVSS-II використовує технологію TDLAS (Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy) і міжнародно визнані стандарти для забезпечення збору метеорологічних даних з комерційних повітряних суден на підтримку глобальної програми AMDAR ВМО, підвищення ефективності метеорологічних операцій та авіаційної метеорологічної підтримки. Для дослідницьких застосувань в галузі атмосферних і авіаційних наук WVSS-II також надає спрощені інтерфейси установки і збору даних.

Система зондування водяної пари (WVSS-II) - найбільш широко використовується для вимірювання вологості під час бортового спостереження за станом атмосфери. Принцип роботи WVSS-II полягає у використанні спеціального методу відносно вузького діапазону поглинання в інфрачервоному регіоні спектру водяної пари. [2]

Інтенсивність випромінювання на детекторі визначається згідно закону Бера, за формулою (1,4)

$$I = I_0 \times e^{-kx\rho_w} \quad (1.4)$$

де I - отриманий сигнал, I_0 - переданий сигнал, k -коефіцієнт пом'якшення, x - довжина шляху випромінювання, ρ_w - щільність водяної пари.

Вимірювання місцевого тиску і температури дозволяють цій системі враховувати щільність сухого повітря. Метод який використовується для відображення величини абсолютної вологості має назву метод $2f$. Суть цього методу полягає в тому, що апаратне забезпечення системи перетворює сигнал $2f$ разом з одночасними температурними і вимірювальними даними тиску у

відповідний кінцевий параметр, а саме співвідношення компонентів водяної парової суміші визначається за формулою (1.5)

$$m = \frac{\rho_w}{\rho_d} \quad (1,5)$$

де m – співвідношення парової суміші, ρ_w - щільність водяної пари, ρ_d - щільність сухого повітря.

Отримане значення коефіцієнта змішування підходить для надання інформації, не враховуючи місцевого тиску і температури. Ця інформація корисна для використання в числових атмосферних моделях, які використовують конкретні дані про вологість.

1.2.6. Спосіб визначення турбулентності

Спосіб визначення інтенсивності турбулентності полягає у визначення вертикальне перевантаження, використовуючи інерційну систему зворотного відліку. Отже, дані про перевантаження ПК виражаються в одиницях прискорення вільного падіння. Однак інтенсивність турбулентності, що впливає на політ літака, залежить в основному від швидкості повітря, маси літака, висоти і характеру самої турбулентності. [2]

У зв'язку з цим інформація про турбулентність, що передається з літака, розраховується по максимальному значенні перевантаження, данні яких виведенні в табл 1.1

Таблиця 1.1 – Визначення категорії турбулентності по значенню максимального перевантаження

Категорія турбулентності	Максимальне значення перевантаження
Відсутня	до 0,15g
Легка	від 0,15g до 0,5g
Помірна	від 0,5g до 1g
Сильна	більше 1g

В даний час майже 1300 літаків повідомляють про EDR (eddy dissipation rate) по всьому світу, в середньому близько 96 000 повідомлень на день. Програмне забезпечення EDR тепер працює на літаках B737NG, B767-300/400, B777, B787, A319, A320, A321 і A330.

1.2.6.1 Розрахункова ефективна швидкість вертикального пориву вітру

Ще однією характеристикою турбулентності є прогнозований ефективний вертикальний порив вітру (DEVG), який визначається як миттєва швидкість вертикального пориву вітру, що в проекції напрямом середнього горизонтального вітру створює спостережуване перевантаження літака. Ефективна швидкість пориву вітру не залежить від типу повітряного судна, так як вплив пориву вітру на літак залежить від його маси.

Для розрахунків ефективної швидкості вертикального пориву вітру використовується формула (1,6).

$$U_{de} = \frac{A_m \Delta_n}{V_c} \quad (1,6)$$

де U_{de} - розрахункова ефективна швидкість вертикального пориву вітру; Δ_n - модуль максимального збільшення

перевантаження повітряного судна від $1g$ в одиницях g ; m – загальна вага повітряного судна; V_c - індикаторна повітряна швидкість в момент максимального прискорення; A -параметр, що залежить від типу літака, а саме його маси, висоти польоту, числа Маха.

Якщо говорити про похибки розрахунків, що визначають величину U_{de} , то при горизонтальному польоті, для кожного параметра похибка становить не більше 3%, але в умовах сильної турбулентності похибка може досягнути до 10-12%.

1.3. Передача тропосферних метеорологічних даних з повітряного судна (TAMDAR)

1.3.1. Загальний аналіз системи TAMDAR

Проаналізувавши документ ВМО № 8 “Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений”, Система TAMDAR (Tropospheric Airborne Meteorological Data Reporting) розроблена сумісно з міжнародною системою AMDAR і працює оперативно на літаках цивільної авіації США з грудня 2004 року, також ця система була розроблена відповідно до вимог ВМО, NASA і NOAA USA.

Особливістю системи TAMDAR є його експлуатація у комерційних цілях, яка виробляє і продає метеорологічні дані, отримані, в основному, з незалежного від літака вимірювального і комунікаційного датчика. [2]

Показники датчиків виробляються через задані інтервали тиску (10 гПа) на режимах набору висоти і зниження і через задані проміжки часу (1 хв) на режимі горизонтального польоту. Система включає багатофункціональний датчик, встановлений на передньому краї крила літака, і мікропроцесор, який обробляє сигнали і передає їх в точку обробки і розподілу даних, розташовану на землі.

Невід'ємною частиною є також супутникова система GPS, яка працює в режимі реального часу і забезпечує зв'язування просторових даних.

Система TAMDAR розроблена для використання в комерційних цілях, так як ця система розробляє та продає метеорологічні дані, які отримані від незалежного від літака вимірюваного та комунікаційного датчика.

Якщо TAMDAR порівняти з системою AMDAR WMO, то система експлуатується на літаках регіональних авіакомпаній, так як польоти регіональних літаках виконуються:

- 1) в віддалених та різних місцях
- 2) є менш тривалими, завдяки чому отримують більшу кількість добових вертикальних профілів і забезпечується можливість залишатися в прикордонному шарі протягом більш тривалих періодів часу.

TAMDAR є повністю функціональною і регулярно експлуатується на висоті понад 40 000 футів. ПК, на яких, встановлюється цей датчик, у багатьох випадках літають на крейсерському режимі на висоті нижче 25 000 футів.

TAMDAR збирає дані з вимірювань відносної вологості, тиску, температури, потоку повітря, обледеніння та турбулентності, а також відповідних даних про час і геометричні висоти, про які повідомляє вбудована система GPS(Global Positioning System). Ці дані передаються через супутник в режимі реального часу до наземного мережевого операційного центру, де контроль якості здійснюється в процесі обробки перед його розповсюдженням. Кість отриманих даних про вологість та температуру аналогічно радіозонду. Дані про вітер розраховуються аналогічно до моделі способу отримання даних про потік повітря AMDAR, використовуючи курс, справжню повітряну швидкість літака і вектор наземного шляху, який повідомляється всередині блоку GPS(Global Positioning System). [2]

1.3.2. Ефективність експлуатації системи TAMDAR в умовах обледеніння

На відміну від системи AMDAR, система TAMDAR містить а собі датчики обледеніння та точки роси. Датчик обледеніння виявляє наявність льоду товщиною не менше 0,5 мм. З моменту появи льоду до повного його зникнення датчики температури і вологості не працюють. Темпи зростання не відображені в цих даних. Таким чином, не тільки немає даних про інтенсивність обледеніння, але також немає даних про температуру і вологість в період обледеніння. Це означає що використання системи TAMDAR, не є таким ефективним в деяких випадках.

1.4. Аналіз передачі метеорологічної інформації використовуючи лінії передач даних “повітря-земля”.

Аналіз документів Doc. ICAO 8896 “Руководство по авиационной метеорологии”, ВМО № 8. “Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений”, Doc. ICAO Приложение 3 “Метеорологическое

обеспечение международной аэронавигации”, показав що існує ще два способи бортового спостереження.

Перший спосіб є лінія передач даних “повітря-земля”, даний вид спостереження відноситься для застосування регулярних спостережень, так і до спеціальних, і інших нерегулярних спостережень.

Другий спосіб є голосовий зв'язок, він використовується в тих випадках, коли не забезпечується лінія передач даних “повітря-земля”, або її використання неціле образне.

При використанні лінії передачі даних "повітря – земля", автоматичного залежного спостереження (ADS) або режиму S вторинного оглядового радіолокатора (ВОРЛ) автоматичні регулярні спостереження проводяться кожні 15 хв на етапі польоту по маршруту і кожні 30 с на етапі набору висоти протягом перших 10 хв польоту. [1]

Якщо ПК, не оснащено обладнанням лінії передачі даних "повітря-земля", то ПК звільняються від проведення регулярних спостережень з борту ПК.

При використанні лінії передачі даних "повітря-земля" проводяться регулярні донесення метеорологічної інформації з борту повітряного судна див табл 1.2

Таблиця 1.2.- Метеорологічна інформація регулярних донесень доставлена по лінії передач даних "повітря – земля"

Без використання ADS і ВОРЛ с режимом S	З використання ADS і ВОРЛ с режимом S
Температура повітря Направлення вітру Швидкість вітру Турбулентність Обледеніння ПК Вологість(якщо є данні)	Направлення вітру Швидкість вітру Показник якості даних про вітер Температура повітря Турбулентність (якщо є данні) Обледеніння ПК

Інформація про стан літака, що передається вниз на наземні приймачі через режим-S включає такі параметри, як положення літака, швидкість, експлуатаційні параметри та метеорологічні дані.

Спостереження за вітром і температурою також можна отримати зі спостережень, зібраних для цілей управління повітряним рухом з використанням передових спостереження (EHS) в S режимі. EHS просить кожен літак надати конкретну інформацію з частотним циклом 4-20 с, в залежності від завдань. У призначеному повітряному просторі всі літаки зобов'язані відповідати на запит радара EHS, що працює в S-режимі.[2]

1.4.1. Метод отримання даних про температуру з використанням ADS-B

ADS-B регулярно передає дані, що містять тип ПК, ідентифікатор повітряного судна, барометричну висоту, різницю між висотою глобальної навігаційної супутникової системи (GNSS) і барометричною висотою, шляхову швидкість і положення літака. ОПР може запросити у повітряного судна велику кількість інших значень, використовуючи систему Mode-S. найбільш часто запитувана інформація включає інформацію про істинну повітряну швидкість, число Маха (M) і магнітний курс.

Більшість літаків вимірюють істинний курс за допомогою GNSS, що забезпечує істинну висоту і місце розташування. Прилади вимірюють тиск, температуру і зазначену повітряну швидкість, які використовуються на борту для визначення барометричної висоти, числа Маха і істинної повітряної швидкості.[15]

Оскільки число Маха обчислюється на борту літака, що використовує справжню повітряну швидкість і температуру, тому формула(1.6), описує отримання даних про температуру.[15]

$$T = \left(\frac{V_{TAS}}{38.975M} \right)^2 \quad (1.6)$$

де T -являє собою температуру в градусах Кельвіна, V_{TAS} - є істинною повітряною швидкістю в вузлах і 38,975 - є коефіцієнт включення відношення питомих теплоємностей. Ця температура являє собою майже миттєву температуру в місці знаходження літака. Похибка вимірювання температури оцінюється в $\pm 3-5$ К.[15]

Гіпсометричне рівняння пов'язує температуру шару в Кельвінах зі зміною тиску шару повітря в атмосфері товщиною в метрах на величину.

$$\Delta_{z,g} = \bar{T} \ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right)R \quad (1.7)$$

де $\Delta_{z,g}$ – різниця товщини шару повітря в атмосфері відносно тиску повіря, g -прискорення вільного падіння, p_1 -тиск внизу повітряного шару, p_2 -тиск вгорі повітряного шару, і R -питома газова постійна повітря.

Рівняння (1.7) можна переписати в наступний вигляд.

$$\bar{T} = \frac{\Delta_{z,g}}{\ln\left(\frac{p_1}{p_2}\right)R} \quad (1.8)$$

Таким чином, якщо літак змінює висоту GNSS і зміна тиску також відомо, то можна знайти середню температуру шару. Якщо це виявляється за допомогою параметрів з повідомлень ADS-B, це буде називатися температурою шару, отриманої з ADS-B.

Тиск можна пов'язати з барометричною висотою в метрах, посилаючись на міжнародний стандарт атмосфери з рівняння (1.9)

$$p = p_0 \left(1 - 0.0065 \frac{h_p}{T_0}\right)^{5.2561} \quad (1.9)$$

де p – тиск повітря, p_0 - очікуваний тиск на поверхню 1013,25 гПа, T_0 - розрахункова температура поверхні 288,15 К, h_p - барометрична висота. Літаки повідомляють свою висоту по GNSS як різницю (a) з барометричною висотою. Отже, різницю в істинній висоті між двома звітами з борту можна визначити по формулі (1.10).

$$\Delta_z = (h_{p_1} + a_1) - (h_{p_2} + a_2) \quad (1.10)$$

Де Δ_z -різниця в істинній висоті між двома звітами, h_{p_1} - барометрична висота першого звіту, h_{p_2} - барометрична висота другого звіту, a_1 - поправка по абсолютній висоті для першого звіту, a_2 - поправка по абсолютній висоті по другому звіту.

Якщо рівняння (1.9) і (1.10) підставити в (1.8), то отримаємо

$$\bar{T} = \frac{[(h_{p_1} + a_1) - (h_{p_2} + a_2)]g}{\left\{ \ln \left[p_0 \left(1 - 0.0065 \frac{h_{p_1}}{T_0} \right) \right] - \ln \left[p_0 \left(1 - 0.0065 \frac{h_{p_2}}{T_0} \right) \right] \right\}} \quad (1.11)$$

Дві пари з двох змінних у формулі (1.11), барометрична висота і поправка на барометричну висоту повідомляються літаком в рамках повідомлень ADS-B.

1.4.2. Критерії, щодо інформації переданої по лінії передач даних «повітря-земля»

При використанні лінії передач даних «повітря-земля» інформація про напрямок вітру, швидкість вітру, якість вітру, температури повітря, турбулентності та вологості, передається відповідно до наступних критеріїв. Напрямок вітру вказується в градусах, округлених до найближчого цілого ступеня. Швидкість вітру вказується в метрах на секунду або округлення вузлів до найближчого 1 м/с (1 вузол). Коли кут крену менше 5° , то показник якості даних про вітер позначається як 0, коли кут крену більше 5° , то показник якості даних про вітер позначається як 1. Температура повітря повідомляється з точністю до найближчої десятої частки градуса Цельсія. [4]

1.4.3. Декодування даних Mode-S ADS-B EHS

Для декодування оперативної метеорологічної інформації отриманої від Mode-S ADS-B EHS, використовується програма decodeADSB, що декодує необроблену вихідну інформацію в читабельний вид.

Вихідні дані програми decodeASDB містить одне повідомлення для кожного рядка, що складається з мітки часу і самого повідомлення, розділеного зірочкою.

Перші два біти повідомлення позначають формат зворотного зв'язку. Інші біти визначають інформацію, визначену форматом зворотного зв'язку. 24-розрядна адреса ІКАО знаходиться в третьому, четвертому і п'ятому байтах. Положення, висота і хвостовий номер літака можна знайти в DF17 і в DF20/21 до BDS6.0 в якості перевірки паритету. Повідомлення BDS4.0, BDS5.0 та BDS6.0, які містять заголовок, повітряну стрілку тощо, містяться у форматі downlink DF20/21. У таблиці 1.2 нижче показано всі формати зворотного зв'язку, розшифровані приймачем Beast. Середня частота виникнення повідомлень, необхідних для вітру і температури (DF17 і DF20/21) становить близько 10% (період 1-29 травня). В принципі, маскувальний фільтр на всіх інших форматах зворотного зв'язку може бути включений без будь-яких проблем, щоб зменшити загальне завантаження даних і час виконання програмного забезпечення decodeADSB. Зверніть увагу, що також можна вимкнути прийом DF0, DF4 і DF5, переключивши дипсвіч всередині приймача Beast.

Таблиця 1.2. - Декодування отриманого повідомлення

DF message	Start character	Description	Processed?
DF0	*00	Shart Air to Air ACAS	No
DF4	*20	Surveillance (Altitude)	No
DF5	*28	Surveillance (Identify)	No
DF11	*5D	Mode S Only All Call	No
DF17	*8D	1090 Extended Squitter	Yes
DF20	*A0	Comm. B Identty	Yes
DF21	*A8	Comm. B Altitude	Yes

Параметри, отримані за допомогою декодуючого програмного забезпечення, перераховані в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3.- Параметри декодування повідомлення

Variable	Description	Source
Time	time in seconds	external time-stamp
date	Date	external time-stamp
acid	Aircraft ID	ADS-B header
tail	Tail number	DF5
Lat	Latitude in degrees	DF17, type 9-18
Lon	Longitude in degrees	DF17, type 9-18
Hmetric	Metric height	DF17, type 9-18
Hfoot	Height in foot	DF17, type 9-18
Hbar	Barometric altitude	DF20/21, BDS 4.0
gsp	Ground speed	DF20/21, BDS 5.0
tan	True airspeed	DF20/21, BDS 5.0
rol	Roll angle	DF20/21, BDS 5.0
bar	Barring	DF20/21, BDS 5.0
Iias	Indicated airspeed	DF20/21, BDS 5.0
ivv	Inertial vertical velocity	DF20/21, BDS 6.0
mhd	Magnetic Heading	DF20/21, BDS 6.0
Mac	Mach Number	DF20/21, BDS 6.0

Дані, отримані з повідомлень DF20 /21, необхідні для отримання метеорологічної інформації про вітер і температуру. Однак ці повідомлення будуть передаватися тільки в залежності від наземного считування і як такі можуть бути прийняті тільки в тих районах світу, де ці типи повідомлень запитуються наземним радаром. Самі повідомлення не мають ніякої унікальності ідентифікатори для визначення їх змісту, тільки опитуючий радарний вузол знає, яка інформація була запитана. Тому було необхідно забезпечити програмне забезпечення decodeADSB деякими перевітками, щоб визначити, який тип реєстра BDS включений в повідомлення DF.

1.4.4. Мережа збору даних

В даний час на ринку є безліч комерційних готових приймачів Mode-S. Залежно від їх передбачуваного використання, починаючи від авіаційних коригувальників до аеропортів і професійних організацій УПР, ці приймачі мають різні технічні характеристики і, отже, також різні ціни.

Аналізуючи теоретичну інформацію можна запропонувати недорогий приймач режим-S Beast1. Цей приймач відповідав нашим загальним вимогам до даних і показав багатообіцяючі результати щодо придушення перешкод і можливостей декодування. Важливим міркуванням при використанні низькошвидкісного приймача було те, що на цьому етапі вважалося більш важливим зробити хороше доказ концепції, а не будувати операційну виробничу ланцюжок з максимальною продуктивністю. Важливо відзначити, що існує активна спільнота, яка все ще вдосконалює алгоритми декодування Beast і випускає нові версії прошивки. Beast Mode-S може використовуватися з різними УВЧ-антенами. Використовується антена WiMo GP1090, яка коштує близько 80 євро. Через відносно короткий кабель, який використовувався в установці, попередній підсилювач не був потрібний для досягнення розумного діапазону, і тому установка складалася тільки з приймача Beastreceiver, антени і звичайного настільного ПК.

Приймач Beast ADS-B режиму S є високо продуктивний 1090 МГц Режим-S і Режим-A/C приймач та декодер. Приймач був побудований на існуючій концепції miniADS-B, але з поліпшеною електронікою для поліпшення шуму і чутливості. Внутрішній процесор на основі FPGA регенерує отриманий сигнал і виявляє преамбулу імпульсів. Згодом три рамкові декодери подбають про фактичну розшифровку отриманих імпульсів, або відкидають їх, якщо вони занадто галасливі. Компонент серійного конструктора кадрів потім переформатує отримані дані в гексумп, додає спеціальні символи, які ідентифікують формат кадру, і, нарешті, передає його як RS232 з початком і зупинкою до пристрою інтерфейсу. У більшості випадків це буде послідовний

FT232R до USB конвертер. За бажанням пристрій Lantronix Xport (Ethernet) або ПРИСТРІЙ BTM-222 (Bluetooth) може стати доданим на нижній стороні Режим-S Beast. У режимі USB швидкість передачі даних Звіра становить 1MBit/s.

1.4.5. Аналіз координація передача метеорологічної інформації

Органи обслуговування повітряного руху отримуючи метеорологічну інформація від ADS-C, негайно надсилають блоки головного повідомлення ADS-C та метеорологічну інформацію, а також інформація про реєстрацію повітряних суден у світові центри зональних прогнозів.[4]

Органи обслуговування повітряного руху при отриманні спеціальних повідомлень с борта ПК по через лінії передач даних негайно відправляють повідомлення метеорологічному органу та в світові центри зональних прогнозів.

Отримані донесення с борта літака в СЦЗП, далі поширюються в якості вихідних метеорологічних даних. Вихідні метеорологічні дані зазвичай розповсюджуються по глобальній системі телезв'язку Всесвітньої метеорологічної Організації.[4]

1.5. Висновки до розділу 1

Проаналізувавши міжнародні документи, було з'ясовано що в наш час, маючи на борту літака такі обладнання як, приймач повного та статичного тиску повітря, датчик повної температури, комплект радіонавігаційного обладнання, система зондування водяної пари, надають широкий вибір даних для передач оперативної метеорологічної інформації.

Також, в наш час існує багато систем для передач оперативної метеорологічної інформації, але як показав аналіз міжнародних документів основною системою є AMDAR яка визначається в ВМО в якості системи для задоволення метеорологічних потреб, пов'язаних з повідомленням метеорологічних даних з платформи, розташованої на повітряному судні.

Експлуатація систем AMDAR здійснюється членами ВМО в рамках угоди про співпрацю з авіакомпаніями-партнерами, і отримані таким чином дані передаються в глобальну систему телезв'язку ВМО.

Наступною системою є TAMDAR, яка розроблена сумісно з міжнародною системою AMDAR. Але експлуатація системи TAMDAR використовується тільки у комерційних цілях, так як система здатна виробляти метеорологічні дані.

На відміну від систем AMDAR та TAMDAR, для передач оперативної метеорологічної інформації використовують автоматичне залежне спостереження режим контракт та розширене спостереження режим-S

2. АНАЛІЗ ВПЛИВУ НЕБЕЗПЕЧНИХ МЕТЕОЯВИЩ НА ВИКОНАННЯ ПОЛЬОТУ

2.1 Вплив вітру на виконання польоту

2.1.1. Загальна інформація про вплив вітру на політ

Рух повітряної маси відносно земної поверхні називається вітром, причинами цього є нерівномірний розподіл тиску. Основними характеристиками вітру є швидкість і напрямок, які змінюються з плином часом, висотою та місцем розташуванням.

Для забезпечення покращення злітно-посадкових характеристик, зліт та посадка виконуються проти вітру, але в деяких випадках, неможливо виконати зліт та посадку проти вітру, тому експлуатанти ПК вимушені виконувати зліт та посадку в умовах бокового вітру.

Боковий вітер вважається небезпечним для виконання польоту, адже щоб компенсувати це, потрібно трохи розгорнути літак проти вітру, під так званим кутом знесення, чим сильніше вітер, тим більший кут.

Тому, для кожного літака встановлено максимальний боковий вітер. Наприклад, згідно [5] максимальний боковий вітер для літака АН-24 становить 12 м/с, для Ту-154 — 17 м/с; Ту-134 — 20 м/с. Показники вказані для сухої ЗПС. [8]

Для вирішення проблем, які пов'язані з боковим вітром, сучасні аеродроми обладнанні декількома злітно-посадковими смугами в різних напрямках. Наприклад Міжнародний аеропорт імені Едварда О'Гари, місті Чикаго, США, обладнаний сімома ЗПС, що дає аеропортові велику спроможність у використанні.

2.1.2 Вплив зсув вітра на політ літака

Зміна напрямлення та швидкості вітру називають зсув вітру. Зсув вітру може бути визваний з багатьох причин таких як гроза, мікро пориви, нисходячі потоки холодного повітря, інверсія.

Для розуміння впливу зсуву вітру на політ, треба звернути увагу на принцип польоту літака. На літак діють чотири сили, підйомна сила, що направлена вгору, проти підйомної сили діє сила тяжіння, сила, що діє вперед називається тягою, сила що да. Проти сили тяги називається сила лобового опору за формулою (2.1). Згідно першому закону Ньютона, літак знаходиться в рівновазі, якщо сума всіх сил, що діють в напрямку польоту, повинна дорівнювати сумі всіх сил, що діють у зворотному напрямку.

$$P = X \quad (2.1)$$

де P - сила тяги, X - сила лобового опору.

$$Y = G \quad (2.2)$$

де Y - підйомної сила, G - сила тяжіння.

Під час набору висоти, тяга без прискорення повинна урівноважити додаткову частину ваги за формулою (2.3).

$$P = X + G \cdot \gamma \quad (2.3)$$

Отже з формули (2.3), можна визначити кут набору висоти за формулою(2.4).

$$\gamma = \frac{P-X}{G} \quad (2.4)$$

Таким чином, кут висоти набору безпосередньо залежить від величини сили тяги над лобовим опором і зворотним в залежності від ваги.[11]

Ці формули показують, що підйомна сила і сила лобового опору залежить від кута атаки через коефіцієнт підйомної сили і коефіцієнт лобового опору, квадрата швидкості повітря, а також від того, що сильний вітер впливає як на кут атаки, так і на швидкість повітря, що, в свою чергу, впливає на сили підйому і лобового опору і в кінцевому підсумку порушує баланс польоту літака. [11]

2.1.3. Вплив зсуву вітра на повітряну швидкість літака та кут атаки.

В умовах зсуву вітру, короточасний вплив вітру на політ літака супроводжується зміною повітряної швидкості, що порушує рівновагу сил що

діють на літак, за рахунок зміни підйомної сили та сили лобового опору. Літак рухається в прискореному напрямку, в якому діє рівноважна сила сил і до тих пір, поки баланс сил не буде досягнуто знову. Коли баланс буде відновлено, літак неминуче йде новою траєкторією і, згідно з першим законом Ньютона, залишиться там до тих пір, поки рівновага знову не буде порушена. Літак завжди прагне зайняти шлях польоту, на якому буде досягнуто балансу між силами, що діють на ньому. Іншими словами, зсув вітру змінює шлях польоту літака і вимагає втручання пілота для повернення на потрібну шлях польоту.[11]

За рахунок поздовжньої стійкості літака, змінна кута атаки, визвано низхідними або висхідними потоками, супроводжується подальшим відновленням кута атаки в початкове положення. Низхідний потік призводить до зменшенню кута атаки, що, в свою чергу, зменшує коефіцієнт підйомної сили і порушує баланс сил, що діють на літак. [11]

2.2. Обледеніння та вплив на льотні характеристики

Обледеніння літака вважається небезпечним явищем, яке призводить до:

- а) погіршення аеродинамічних характеристик та його якості крила
- б) погіршення стійкості та керованості
- в) порушення роботи двигуна, навігаційних пристроїв та радіозв'язок

Обледеніння виникає головним чином при зіткненні літака з переохолодженими водяними краплями хмар і опадів і їх подальшому замерзанні. Товщина льоду на деяких деталях літака може досягати 10 см і більше. Характер відкладення льоду в польоті, його форма, структура, інтенсивність утворення визначаються розмірами і концентрацією крапель, а також процесами теплообміну поверхні обмерзання. Чим дрібніше краплі і чим нижче швидкість польоту, тим легше краплі захоплюються потоком повітря, що обтікає літак, і тим менша їх частка стикається з літаком. Чим вище температура повітря і швидкість потоку, тим товщина льоду однорідна і

прозора, тому поверхня більш нерівна і горбиста, що призводить до помітного погіршення умов обтікання його поверхні. [8]

Частини літака, які частіше піддаються обледенінню:

- а) передні кромки крила і оперення
- б) вхідні забірники двигуна
- в) лопаті та обтічники вінта турбовінтових та турбовінтеляторних двигунів
- г) радіолокаційні та навігаційні антени
- д) датчики пілотажно-навігаційних пристроїв

Обледеніння крила і оперення має великий вплив на льотні характеристики, стійкість і керованість літака. Поява нерівності на поверхні носової частини профілю істотно впливають на підйомну силу і опір крила. Приріст опору літака при обледенінні крила і оперення становить до 70...80%. У випадку обледеніння, значно знижується коефіцієнт підйомної сили, тому і значно знижується якість крила. Критичний кут атаки зменшується на 6° - 8° , що призводить до зниженню максимального значення коефіцієнта підйомної сили в 1,5-1,8 рази. Зниження коефіцієнта підйомної сили призводить до зриву потоку повітря на менших швидкостях, що призводить до польотів на більших швидкостях. Обледеніння вінта призводить до зменшення ККД на 12-16% і зменшенню швидкості польоту на 20-30 км /год.

Утворення льоду на вхідному забірнику двигуна створює значний нерівномірний потік повітря при вході в двигун, що може призвести до зниження тяги і стійкості компресора двигуна.[9]

Також обледеніння може привести до ускладнення керованості літака, за рахунок обледеніння передкрилків, елеронів, руля направлення, руля висоти.[9]

2.3. Вплив опадів на польоти літаків

Облогові опади зазвичай випадають з фронтальних шарувато-дощових хмар, а взимку нерідко і для високошаруватих хмар. Ширина зон опадів досягає від десятків до сотень кілометрів, довжина - від сотень до тисяч кілометрів.

Досить значна протяжність зон облогових опадів і велика тривалість опадів примушують передбачати їх дію на підготовку і виконання польотів. [8]

Польоти при облогових опадах сильно ускладнюють поганою видимістю. При слабкому облоговому снігу дальність видимості зазвичай не перевищує 1-2 км, а при сильному снігу може зменшуватися до декількох десятків метрів. При польоті по ПВП під час снігопаду помітно знижується контрастність всіх предметів на земній поверхні, що істотно ускладнює орієнтування за наземними об'єктами.

Під час облогових опадів та при великих швидкостях польоту, внаслідок тертя крапель і сніжинок об поверхню літака виникають значні потенціали статичної електрики, що призводить до електролізації літака.

При польоті в зоні переохолодженого дощу спостерігається інтенсивне обледеніння ПК.

Причиною зливових опадів є поява внутрішньомасових і фронтальних купчасто-дощових хмар. Особливістю зливових опадів є короткочасність та інтенсивність, що значно зменшує видимість. Зменшення видимості особливо впливають на посадку літаків. Унаслідок утворення плівки води на склі кабіни і заломлення в плівці світлових променів пілот позбавляється можливості точно оцінити висоту літака над ЗПС при приземленні. Це може привести до сильного удару і навіть руйнування частин літака.

Зливові опади порушують нормальне всмоктування повітря і можуть викликати зменшення оборотів компресора реактивного літака.

Найнебезпечнішим із всіх видів опадів є град. Найбільш великий град випадає в зонах холодних фронтів. Зазвичай град триває від 5 до 15 хв. Наслідками граду є механічні пошкодження, на обшивці утворюються вм'ятини, погіршуються аеродинамічні характеристики літака. Може пошкодити скло кабіни.

Пилова буря значно погіршує видимості через перенесення піску і пилу, піднятого з поверхні землі і супроводжується сильним вітром. Пилові бурі

можуть порушити регулярність руху літаків. Вони можуть привести до важких авіаційних подій. Висота пилової хмари нерідко досягає 2 км і більше. У цих випадках Сонця майже не видно, іноді настає повна темнота. Найбільш тривалі періоди нельотної погоди при пилових бурях, коли дальність видимості зменшується до 500 м. Якщо враховувати небезпеку пилових бур для авіації, то проводити посадку літаків в умовах пилової бурі при видимості нижче за мінімум забороняється, а також в тих випадках, коли буря викликає сильну бовтанку.[8]

2.4. Польоти в зоні підвищеної електричної активності

Електризація ПК вважається процес придбання їм електричного заряду при польоті в хмарах і опадах. Основний фізичний механізм цього явища полягає в тому, що, при зіткненні нейтральних частинок хмар або опадів з будь-якою незарядженою поверхнею ПК, ці частинки відлітаючи, забирають заряд одного знака, а ВС отримує заряд, рівний за величиною, але протилежний за знаком.

Найбільш інтенсивна електризація ПК відбувається при польоті в кристалічних хмарах і опадах. Це пояснюється тим, що, поряд із зазначеним механізмом електризації, відбувається додаткова електризація за рахунок баллоєфекта. При зіткненні об поверхню ПК кристали і сніжинки руйнуються, при цьому великі частинки заряджаються одним знаком, а дрібні - іншим. Великі частинки, потрапляючи на поверхню ПК, віддають йому свій заряд, а дрібні - несуться потоком. Зі збільшенням числа частинок величина баллоєфекта в електризації зростає.[8]

Ураження електростатичними розрядами відбувається в хмарах верхнього ярусу, в кучево-дощових, не досягав стадії грози, в слоисто-дощових, слоисто-кучевих і слоистих хмарах.[8]

Температурними умовами для появи електризації ПК є температура повітря від +5 до -10 °С.

Ознаками сильної електризації ПК є:

- а) шум і тріск в навушниках;

- б) хаотичні коливання стрілок радіокомпасів;
- в) іскріння на скляній частині кабіни льотного екіпажу світіння на закінцівках крил, що добре видно в нічний час;
- г) поява сильних радіоперешкод, особливо на середніх або довгих частот;

2.5. Польоти в умовах низької видимості

2.5.1. Туман

Туман – це стан, коли горизонтальна видимість погіршується до значень менше 1000 м. Туман, як і хмари, складається з крапель води, кристалів льоду або їх суміші. Для утворення туману необхідно наявність ядра конденсату та насичення повітря водяною парою біля землі до 100%. Залежно від причини утворення тумани поділяються на радіаційні тумани, адвективні тумани, фронтальні тумани. [8]

Туман серйозно погіршує видимість, іноді до такої міри, що посадка може бути це неможливо. За таких обставин, тільки найбільш обладнані літаки можуть здійснити автоматичну посадку, і тільки на аеродромах з відповідним обладнанням. Навіть маючи технічну можливість виконання автоматичної посадки неможливо.

Крижаний туман має подібні обмеження по видимості, але, на додаток до цього, неочищені руліжки і злітно-посадкові смуги можуть бути покриті тонким шаром льоду. Пілоти можуть отримати помилкове відчуття безпеки при польоті над аеродромом, тому що при погляді прямо вниз, будівлі і злітно-посадкові смуги можуть бути добре видно. Однак при зниженні і перегляду аеродрому під похилим кутом, пілот через туман може дуже швидко втратити всі візуальні орієнтири і опинитися в дуже серйозних труднощах. [8]

2.5.2. Польоти в умовах низької висоти хмар та в умовах поганої видимості

Низька хмарність і погана видимість можна розглядатися як потенційна небезпека. Виконання польоту в умовах низької хмарності та поганої видимості залежить від типу літака, майстерності і досвіду пілота, мети польоту,

виконаного повітряним судном, і навігаційних інструментів, доступних на маршруті і на аеродромах вильоту, призначення, резерву. Тому, низьку хмарність і погану видимість найкраще описувати як значення, що знаходяться нижче оперативних мінімумів літака або льотчика, або обох разом. [8]

Невелика кількість низької хмарності не становлять небезпеки. При збільшенні показника кількості хмарності, ризик для повітряного судна зростає, навіть невеликий клаптик низької хмарності може прикривати маленьку вершину. Погана видимість може спостерігатися на невеликій території у вигляді злив або туманних клаптиків. При цьому пілот може уникнути проблем. Але на жаль, погіршення видимості може бути і часто відбувається на дуже великій площі, і впоратися з цією проблемою набагато складніше.

Якщо висота нижньої межі хмари і видимість опадають нижче допустимих значень, то пілот потрапляє в ситуацію коли не вистачає часу для прийняття рішення. В даній ситуації, можливі різні конфліктні ситуації. Пілоти, які не мають інструментального рейтингу, або летять на погано оснащеному літаку, можуть дезорієнтуватися в поганій видимості або низької хмарності. [8]

Також виникають ситуації, коли підняття туману вводить пілота в оман, так як повідомленні значення видимості оцінюються біля землі, тому пілот, не сприймає видимість так добре, як повідомляється. Коли пілот пролітає над шаром наземного туману, він часто буде бачити далі, ніж повідомлялося про видимість на аеродромі. У цьому випадку пілот може відчувати помилкове відчуття безпеки, і при зниженні через туман раптом виявляється, що видимість значно погіршилася.[8]

2.6. Польоти в умовах турбулентності

Стан атмосфери, в якій спостерігається безладний рух повітря називається турбулентність. Поривчастість вітру, вертикальна передача водяної пари, ядра конденсату та інших частинок матеріалу пов'язані з атмосферною турбулентністю. Турбулентність має значний вплив на поширення звукових і електромагнітних хвиль. [9]

Турбулентний характер повітряних рухів викликається термодинамічними причинами, тому розрізняють термічну і динамічну турбулентність.

Але турбулентність має значний вплив на політ ПК. Під час польоту в турбулентній зоні, при перетині атмосферних вихорів, ПК піддається впливу вертикальних і горизонтальних поривів вітру. Це змінює кут атаки крила і підйомну силу, відбувається тремтіння і вібрація, ПК кидає вгору і вниз, створюється перевантаження, тобто є бовтанка ПК. [9]

При польоті в турбулентній зоні, внаслідок неоднорідного швидкого потоку, що обтікає літак, відбувається порушення рівноваги аеродинамічних сил, що діють на літак.

У зв'язку з цим виникають додаткові прискорення, що викликають шкідливі перевантаження, з'являється бовтанка, яка проявляється у вигляді тряски, частих і дрібних поштовхів, ударів, а також кидків літака, що супроводжується мимовільною втратою або набором висоти на десятки і сотні метрів. Бовтанка - це безладні коливання ПК, що супроводжуються перевантаженням при польоті в турбулентній атмосфері. Інтенсивність бовтанки оцінюється збільшенням перевантаження, вираженим в частках прискорення вільного падіння. Дія перевантаження прискорює зношуваність матеріальної частини, а в тих випадках, коли перевантаження перевищують допустимі, літак може руйнуватися в повітрі. [9]

2.7. Вплив вулканічного попелу на виконання польоту

Всі речовини, що виділяються з вулканів в атмосферу, називаються темфою. Вона складається з фрагментів гірських порід різних розмірів і пилу. Швидкість темфри на виході з вулканів може досягати декількох сотень метрів в секунду. Зазвичай хмара темфри досягає висоти в кілька десятків кілометрів.

Потрапляння повітряних кораблів з хмарами вулканічного попелу відбуваються досить рідка, однак такі інциденти трапляються і можуть бути вкрай небезпечними.

При потраплянні ПК в хмарі вулканічного попелу спостерігається абразивне зношення лобового скла, передних країв крила і посадкових вогнів на повітряному судні, корозія лопаток компресора, блокування систем управління ПК, пошкодження системи відбору та кондиціонування повітря, забруднення масляної системи двигуна. За рахунок потрапляння вулканічного попелу в реактивний двигун, робота двигуна може бути зупинена. [9]

2.8 Тропічні циклони

Циклон або система низького тиску, що виникає над теплою морською поверхнею називають тропічні циклони. Зазвичай вони супроводжуються потужними грозами, випадінням зливових опадів і вітрами штормової сили.[23]

Тропічні циклони отримують свою енергію з вертикальних перепадів температур, симетричні та мають тепле ядро.

Для утворення тропічного циклону, необхідно дотримуватися декількох атмосферних і морських умов. Температура та вологість води океану повинні бути на поверхні 80 ° за Фаренгейтом і теплими на глибину 150 футів, оскільки теплі океанські води підживлюють теплові двигуни тропічних циклонів. Їм також потрібна атмосфера, яка досить швидко охолоджується зі збільшенням висоти, щоб різниця між верхом і дном атмосфери могла створити грозові умови. Також необхідна волога середина тропосфери, оскільки сухе повітря, потрапляючи в грози на середньому рівні, може вбити циркуляцію.

Сила Коріоліса - це очевидна сила, яка відхиляє рух вправо, що йде із північної півкулі, і вліво, що йде з південної півкулі. Сила найбільша на полюсах, а нуль на екваторі, тому шторм повинен бути принаймні в 300 милях від екватора, щоб сила Коріоліса створила спіні. Ця сила змушує урагани в Північній півкулі обертатися проти годинникової стрілки, а в південній - за годинниковою стрілкою. [14]

Низький вертикальний зсув вітру між поверхнею та верхньою тропосферою сприяє грозовому утворенню, яке забезпечує енергію для

тропічних циклонів. Занадто великий зсув вітру порушить або послабить конвекцію.[24]

Зазвичай сезон атлантичний ураганів починається з 1 червня по 30 листопада. У східній частині Тихого океану вона триває з 15 травня по 30 листопада.

Оскільки вони виникають над океаном, де рідко наявні метеорологічні станції, тому спостереження за тропічними циклонами є важким завданням.

Спостереження за тропічним циклоном з поверхні Землі зазвичай можливе лише тоді, коли він проходить над островом або прибережним районом, інколи — з океанського судна. Зазвичай вимірювання реальніші на периферії циклону, де умови менш катастрофічні, але такі вимірювання не дозволяють оцінити реальну силу циклону. Тому під час проходження тропічного циклону сушею групи метеорологів часто вирушають до районів його ймовірного проходження з метою здійснення спостережень якнайближче до центру циклону.

В океані за тропічними циклонами спостерігають за допомогою метеорологічних супутників, здатних отримувати зображення у видимому та інфрачервоному діапазонах, зазвичай з інтервалами 15-30 хвилин. Коли циклон наближається до суші, за ним можна спостерігати за допомогою метеорологічних радарів. За допомогою радарів зручно отримувати інформацію про розташування циклону під час його виходу на сушу та інтенсивність практично у реальному часі, тобто кожні кілька хвилин.[14]

2.9. Висновки до розділу №2

Отже, в розділі №2, було розглянуто питання як небезпечні метеорологічні явища впливають на політ літака.

Явища погоди які зв'язані с вітром, мають значний вплив на злітно посадочні характеристики літака, так як вітер значно впливає на швидкість літака. Особливо небезпечним явищем є зсув вітру, що виводить літак зі стану рівноваги під час польоту.

Ще одне явище що впливає на льотні характеристики літака є обледеніння. В разі обледеніння літака, змінюється форма крила, що веде до зміни полярні крила та зменшення швидкості звалення. Також обледеніння має вплив на роботу двигуна, при високої вологості та мінусової температури повітря можливо обледеніння карбюратора, що приведе до відмови двигуна.

Явища погоди які пов'язані з опадами мають значний вплив не тільки на льотні характеристики літака, але і на видимість від час польоту. В даний час обладнання на літаках та обладнання на аеродромах дозволяє літати в умовах низької видимості, але для цього екіпаж повинен мати певні допуски, щоб літати в таких умовах.

Ще одним небезпечним явищем є потрапляння літака в хмари вулканічного попелу. Потраплянні ПК в хмарі вулканічного попелу пошкоджують системи відбору та кондиціонування повітря, забруднення масляної системи двигуна, що зможуть привести до повного відмови двигуна.

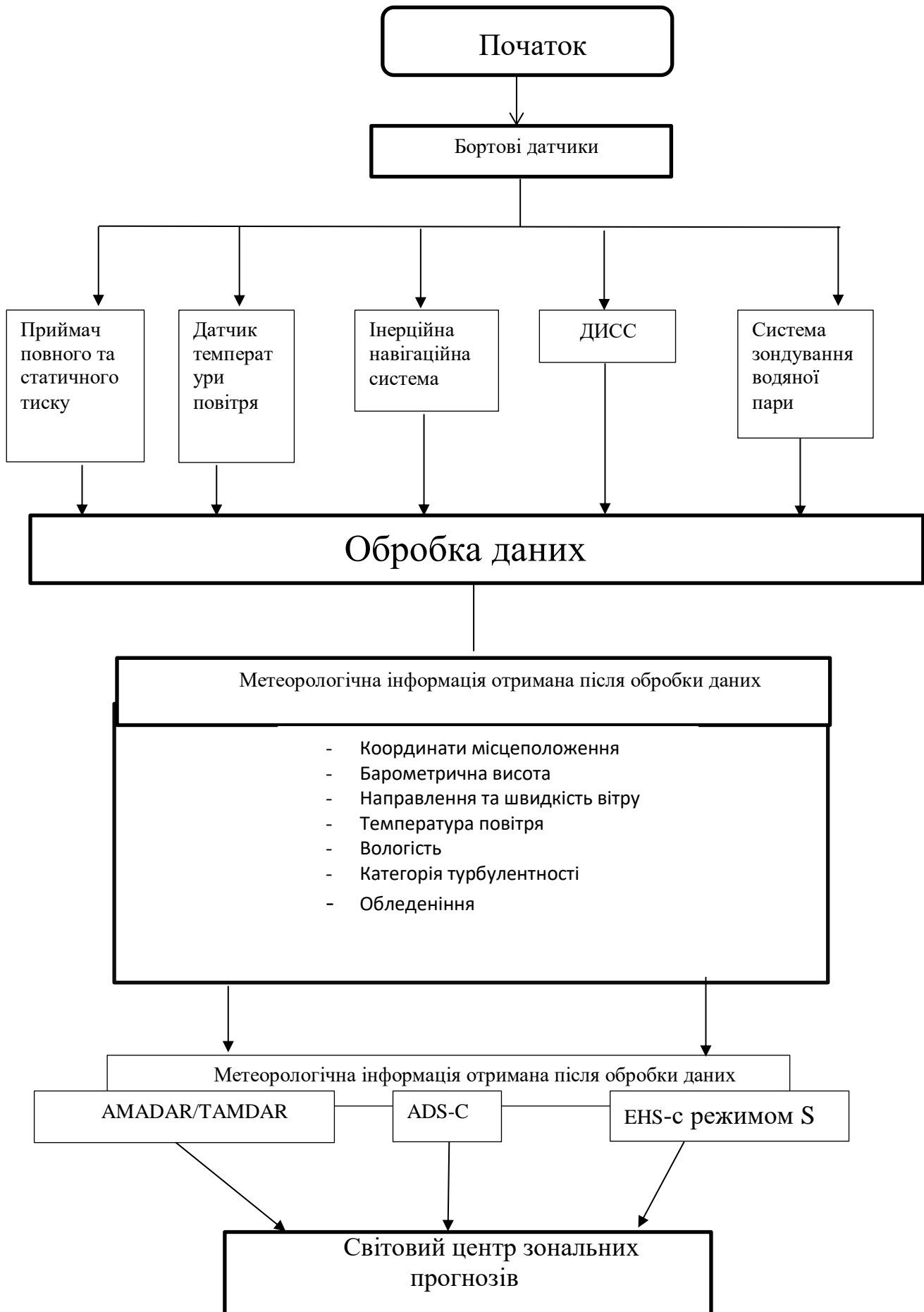
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВИКОРИСТАННЯ ПК В ЯКОСТІ ПЕРЕДАЧА МЕТЕОРОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

3.1 Створення алгоритму збору метеорологічних даних для використання ПК в цілях мобільного передача

На основі аналізу міжнародних документів, було запропоновано створення алгоритму для розуміння принципу збору метеорологічних даних з бортових датчиків на літаку, та передача даних в метеорологічні центри.

Для створення алгоритму на початку ми зібрали датчики на борту для збору відповідної метеорологічної інформації. Наступним етапом створення є оцінка отримання відповідної інформації з бортових датчиків. Дана оцінка показала, що установленні обладнання та датчики на борту, здатні видавати достатньо інформації для метеорологічних служб.

Але для передач метеорологічної інформації існує декілька видів, такі як AMADAR/TAMDAR, ADS-C, EHS-S. Використовуючи види передач, вся інформація подається в світовий центр зональних прогнозів для обробки і передач в метеорологічні центри.



3.2. Дослідження використання систем бортового спостереження для збору оперативної метеорологічної інформації в світі

Для впровадження система AMDAR в усьому світі було впроваджено окремі регіональні програми AMDAR, які відповідають за оперативне впровадження та технічне обслуговування своїх відповідних систем AMDAR у співпраці зі своїми авіакомпаніями-партнерами. Ці оперативні обов'язки включають в себе:

- а) Переговори з авіакомпаніями-партнерами з фундаментальних операційних питань;
- б) Переговори та договірні угоди з постачальниками послуг передачі даних для будь-яких вимог до наземного зв'язку та ретрансляції даних третьою стороною;
- в) Наземний прийом, декодування, контроль якості та архівування даних;
- г) Розробка і функціонування системи менеджменту якості для національної або регіональної програми AMDAR, що включає моніторинг якості даних.

Для проведення досліджень збору метеорологічних даних з борта повітряного корабля, було використано програму AMDAR DEMO display.[17] Програма AMDAR DEMO display дає можливість у реальному часі дослідити збір метеорологічних даних з борту ПК.

1. Запустивши програму, на рис (3.1), відображена ілюстрація збору метеорологічних спостережень у реальному часі в усьому світі. (див рис 3.1.)

Відповідно до зображення 3.1 можна прослідкувати як саме використовується система збору метеорологічних спостережень в світі. Як видно з зображення 3.1 основними регіонами найбільше використовується таких регіонах як Європа, Північна Америка та Схід Азії.

Але для більш детального використання систем спостереження в світі було запропоновано провести дослідження збору різних систем спостережень в усьому світі.

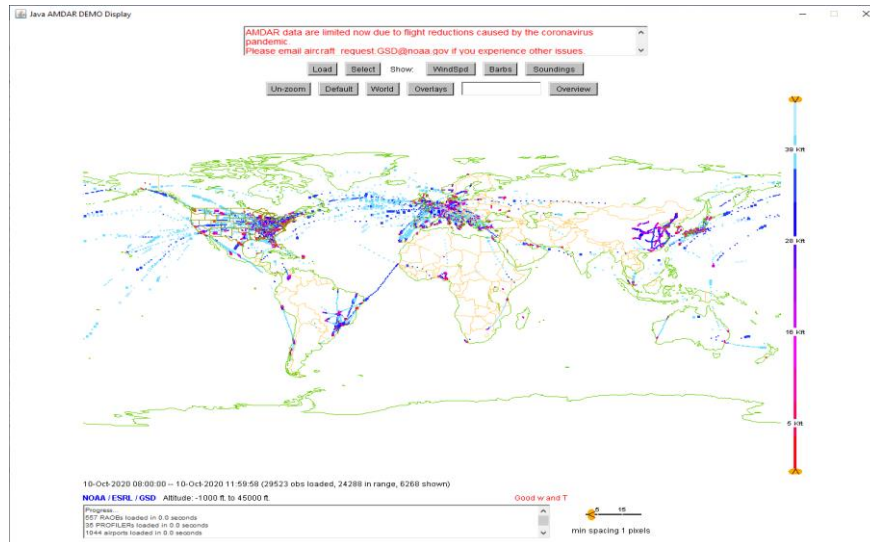


Рисунок 3.1- Збір метеорологічних спостережень в усьому світі

2. Дослідження спостереження передач метеорологічних даних програми E-AMDAR на рис 3.2

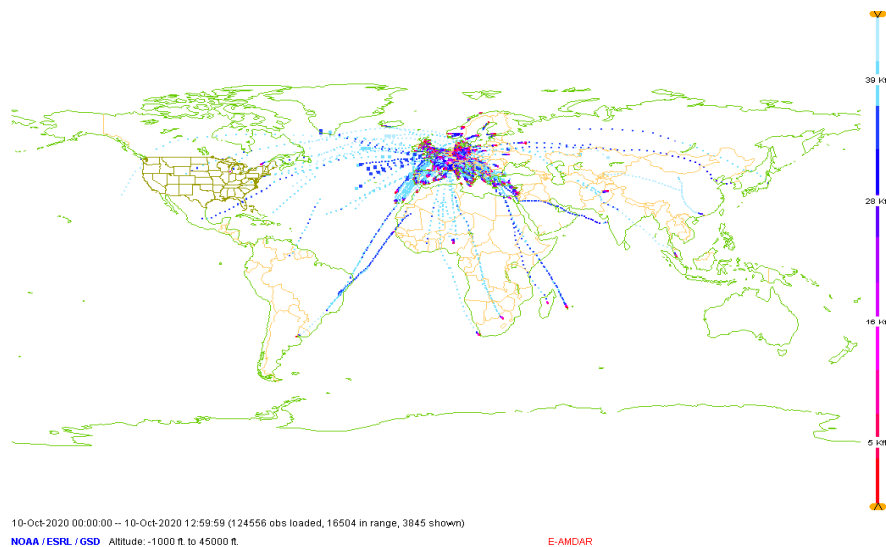


Рисунок 3.2- Збір метеорологічних спостережень відповідно до програми E-AMDAR

E-AMDAR є внеском для EUMETNET (European National Meteorological Services) в систему спостережень за передачею авіаційних метеорологічних даних Всесвітньої Метеорологічної Організації. E-AMDAR полегшує повністю автоматизований збір і передачу метеорологічних спостережень з комерційних

літаків. Ця система експлуатується членами NMHS(National Meteorological and Hydrological Services) та співпраці з авіакомпаніями-партнерами.

E-AMDAR експлуатується 14-ма авіакомпаніями Європи, такі як Air France, Austrian Airways, Blue1, British Airways, EasyJet, Airline Finnair, KLM, Lufthansa Cargo, Lufthansa CityLine, Lufthansa Germanwings, Lufthansa Passage, Novair Scandinavia, Scandinavian Airlines, Thomas Cook.

3. Дослідження спостереження передач метеорологічних даних використовуючи ADS-C

Досліджуючи експлуатацію автоматичного залежного спостереження для передач оперативної метеорологічної інформації, можна замітити, що система ADS-C використовується на океанічних повітряним простором. (див.рис 3.3)

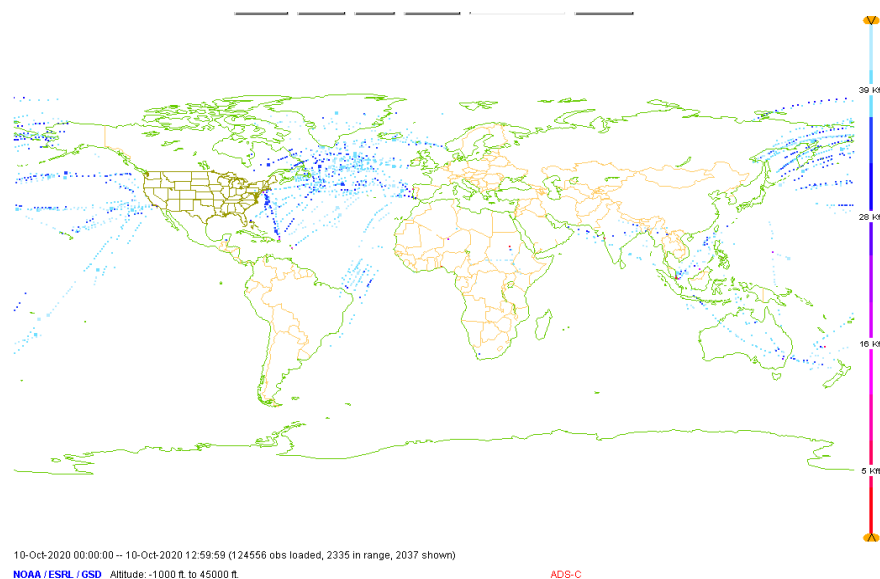


Рисунок 3.3- Збір метеорологічних спостережень відповідно до ADS-C

4. Дослідження спостереження передач метеорологічних даних використовуючи Meteorological Data Collection and Reporting System. (див.рис 3.4)

MDCRS(Meteorological Data Communications and Reporting System) є система передачі метеорологічних даних і звітності, яка створена с Національною метеорологічною службою США (NWS) у співпраці з Федеральним авіаційним управлінням (FAA) і Rockwell Collins / ARINC. Спостереження MDCRS, мають значний позитивний вплив на прогнозування

погоди і данна система приводить до підвищення точності прогнозів погоди як для авіації, так і для широкої громадськості.

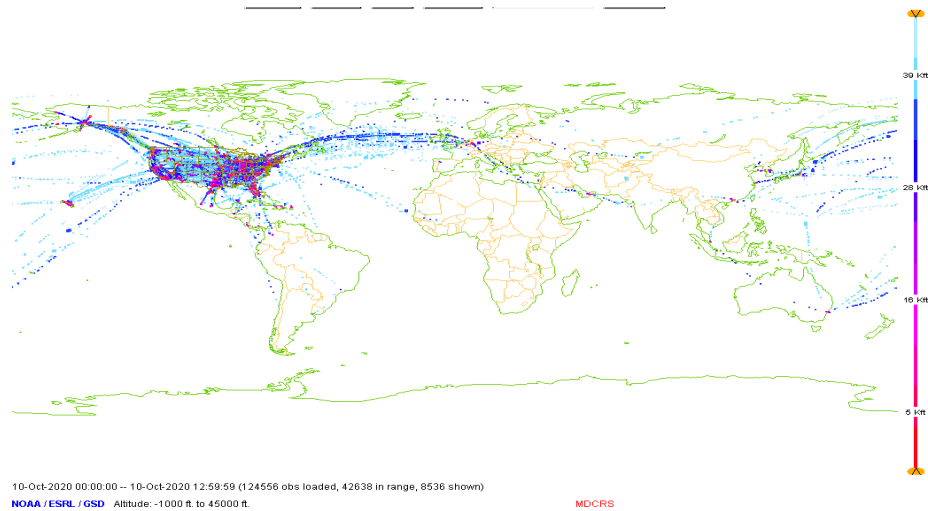


Рисунок 3.4- Збір метеорологічних спостережень відповідно до MDCRS

5. Дослідження спостереження використання передач метеорологічних даних програми GSD. (див.рис 3.5)

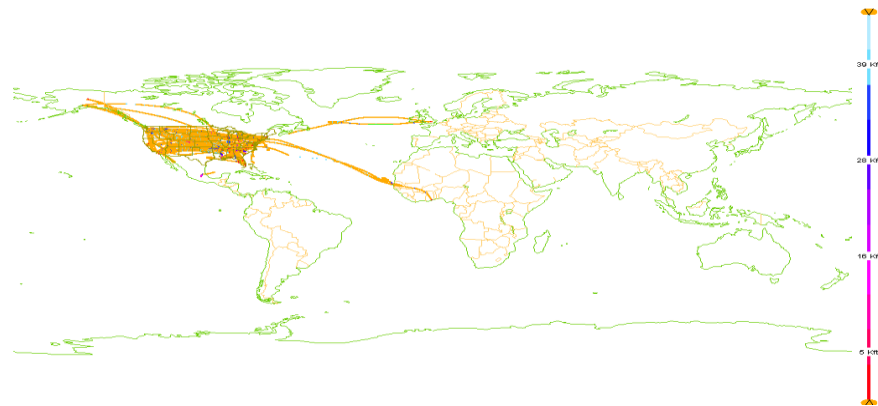


Рисунок 3.5- Збір метеорологічних спостережень відповідно до GSD

GSD (Global system division) – є відділом глобальних систем, та дослідною лабораторією при Управлінні океанічних та атмосферних досліджень NOAA. Дана система збирає метеорологічні данні для спостереження за навколишнім середовищем. На основі збору даних, система виконує прогнозування погоди та небезпечні явища в атмосфері.

6. Дослідження спостереження використання передач метеорологічних даних програми Aeromexico. (див.рис 3.6)

Мексиканська програма AMDAR була нещодавно впроваджена. Зараз виробляє дані про Глобальну телекомунікаційну систему ВМО (GTS) з жовтня 2014 року, забезпечуючи близько 10 000 спостережень за вітрами та температурою у верхньому повітрі на місяць на підтримку Глобальної системи спостережень ВМО (GOS) та World Weather.

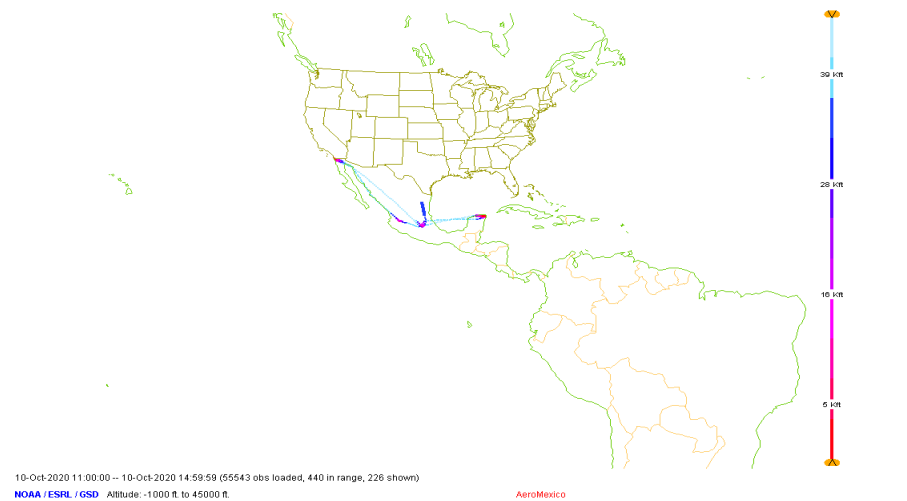


Рисунок 3.6- Збір метеорологічних спостережень відповідно до програми Aeromexico

7. Дослідження спостереження використання передач метеорологічних даних програми Canadian. (див.рис 3.7)

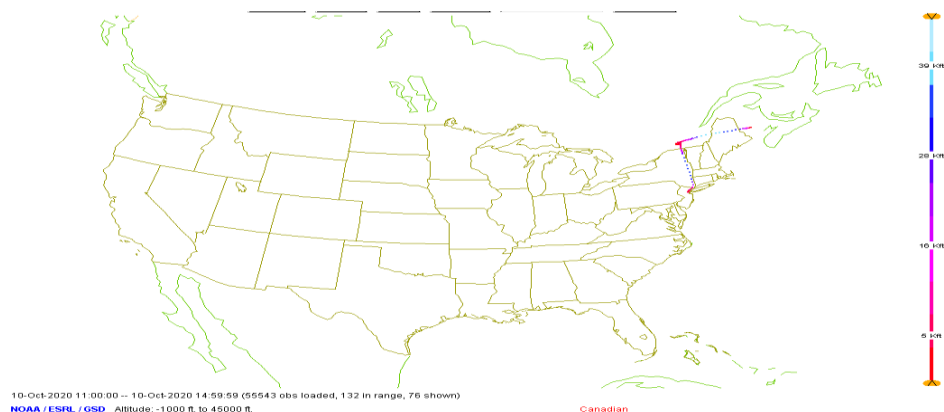


Рисунок 3.7- Збір метеорологічних спостережень відповідно до програми Canadian

Досліджуючи використання Канадської програми Canadian AMDAR, виявлено 55543 спостережень. Канадська програма AMDAR бере участь у модернізації верхніх шарів повітряного простору.

Розробка AMDAR канадською групою з реалізації програми AMDAR не була типовою. Оскільки, Канада почала розробляти свою програму з регіональних авіаперевізників, а це означає, що простих рішень не існувало, оскільки ці перевізники зазвичай експлуатують старі літаки з використанням менш складних датчиків, авіоніки і систем передачі даних, коли такі системи доступні.

В даний час Канада має оперативну програму AMDAR з зростаючим парком до 64 DHC-8 і більше 70 літаків CRJ від Jazz Air, які, повідомлять дійсні дані про температуру і вітер по всій Канаді.

Дані Jazz Air почали поширюватися по GTS і внутрішнім мережам Канади.

Канадські повідомлення AMDAR поширюються канадським метеорологічним центром у вигляді бюлетенів BUFR FM94.

8. Дослідження спостереження використання передач метеорологічних даних програми Japanese (див.рис 3.8)

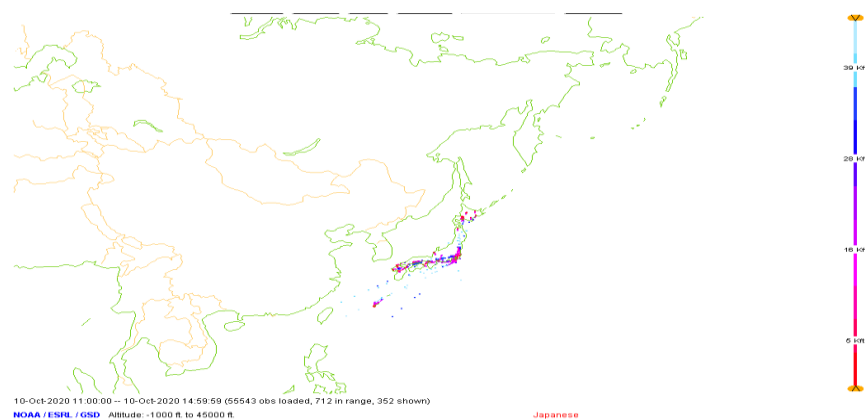


Рисунок 3.8- Збір метеорологічних спостережень відповідно до програми Japanese

Згідно дослідженню використання системи метеорологічного спостереженню Japanese AMDAR, ми спостерігаємо 55543 спостережень.

У 2003 році Японія заснувала свою програму AMDAR. Ця система авіаційних даних спостережень являє собою партнерство між японським метеорологічним агентством, двома японськими авіакомпаніями (ANA, All Nippon Airways і JAL, Japan Airlines) і Японським постачальником послуг передачі даних. Японське метеорологічне агентство продовжує отримувати дані від ПК в районах японського повітряного простору, охоплених системою постачальника послуг передачі даних

9. Схематичне спостереження використання передач метеорологічних даних програми Korean (див.рис 3.9)

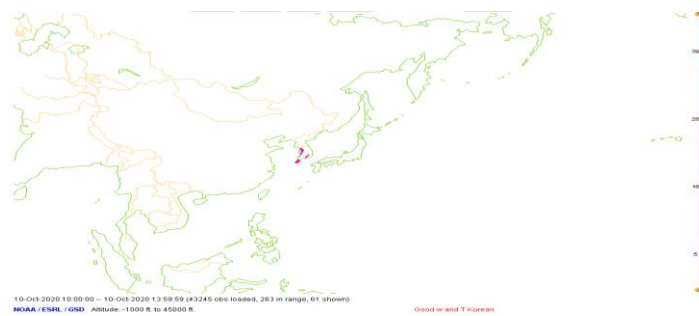


Рисунок 3.9- Збір метеорологічних спостережень відповідно до програми Korean

10. Схематичне спостереження використання передач метеорологічних даних програми Latan (див.рис 3.10)

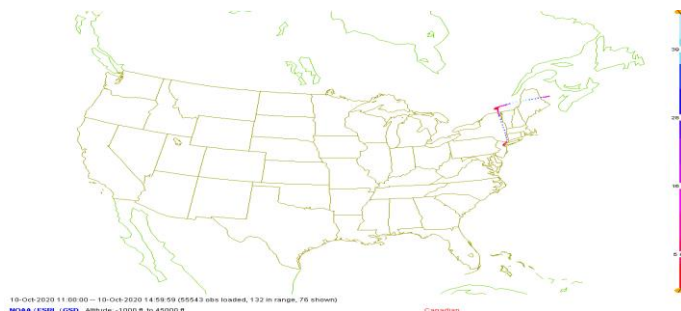


Рисунок 3.10 - Збір метеорологічних спостережень відповідно до програми Latan

11. Спостереження використання збору метеорологічних даних в Україні. (див.рис 3.11)

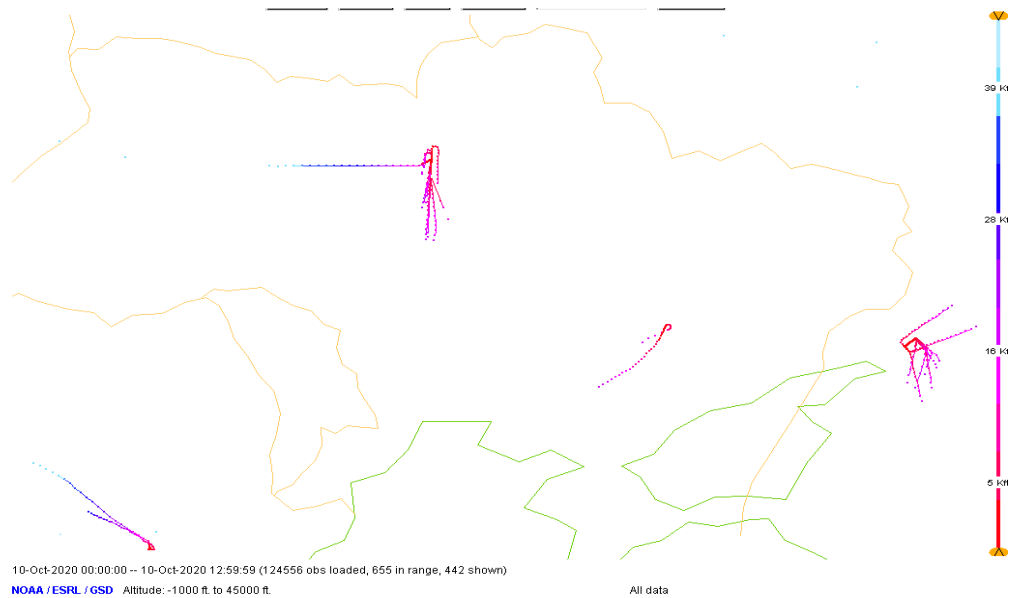


Рисунок 3.11 - Збір метеорологічних спостережень України

12. Аналіз дослідження на основі графіку використання метеорологічного бортового спостереження AMDAR в усьому світі. (див.рис 3.12)

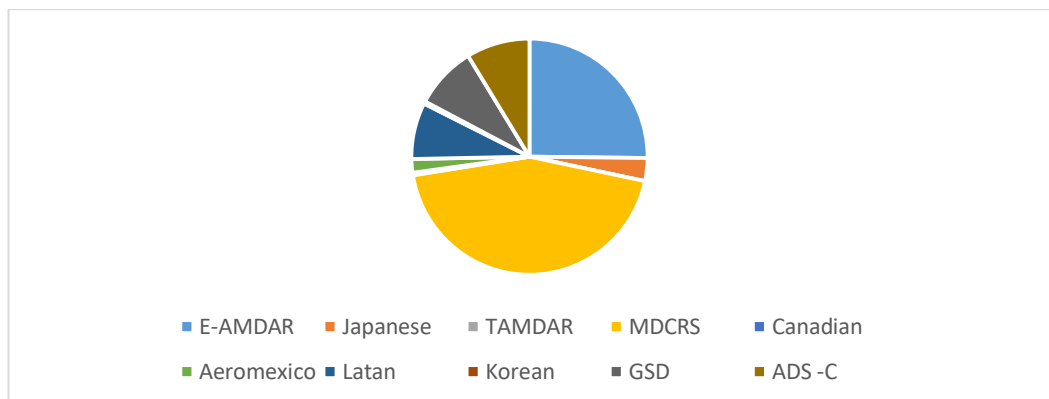


Рис 3.12– Графік використання AMDAR збору метеорологічних даних

Отже, згідно графіку видно, що найпоширеніше всього в світі експлуатується програма MDCRS, наступним по кількості експлуатації займає Європейська програма E-AMDAR. Згідно кругової діаграми можна замітити,

що програми Aeromexico є найменш популярною в світі, так як впровадження нещодавно.

3.3 Оцінка використання систем збору метеорологічних даних з ПК за останні 10 років

Для оцінки використання систем збору метеорологічних даних з ПК за останні 10 років, з періоду 2010 року до 2022 року. Були використані данні з програми AMDAR demo display. [17]

Згідно графіку (див.рис 3.13) можна прослідкувати значне збільшення використання бортових систем метеорологічного спостереження. Порівнюючи результати 2010-го року та результати 2019 року, кількість експлуатантів збільшилась в 3 рази.

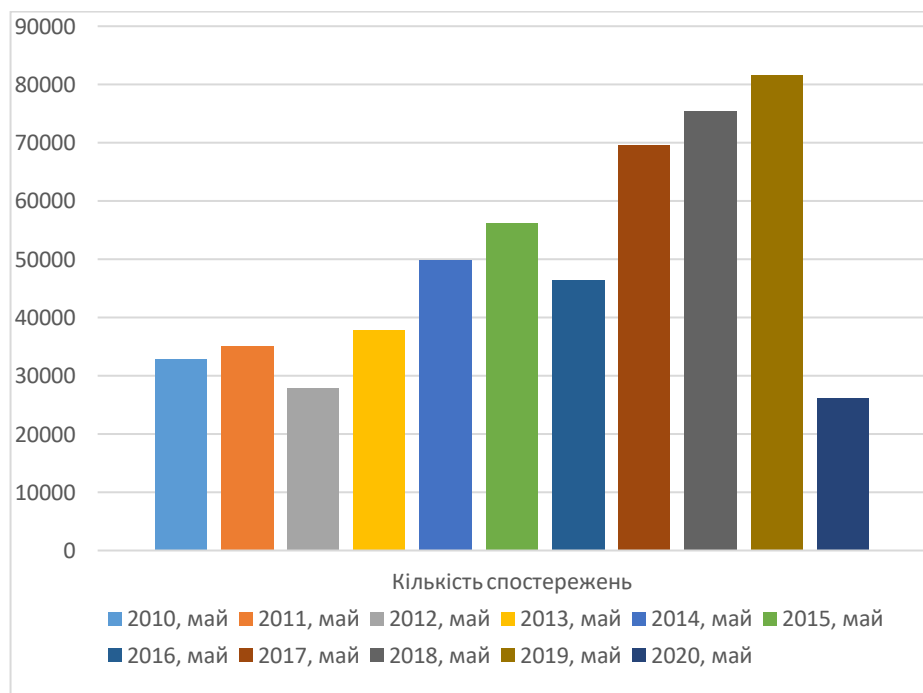


Рис 3.13– Графічний аналіз використання бортових спостережень за останні 10 років

Значне зниження використання систем бортового метеорологічного спостереження відбувається в 2020 році, тому для більш точної оцінки, було проведено ще одна оцінка. Для цього ми провели оцінку щомісячного використання систем бортового метеорологічного спостереження.

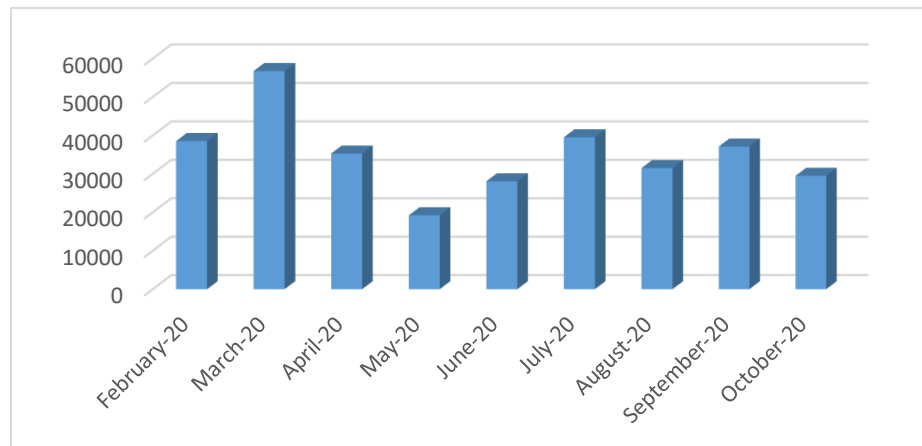


Рис 3.14– Графічний аналіз використання бортових спостережень в 2020 році

Графік кількості місячного спостережень в 2020-му році, значне зменшення кількості спостережень в травні місяці порівняно с березнем. (див.рис 3.14)

3.4 Аналіз використання системи бортового метеорологічного спостереження.

На основі програми AMDAR display було проведено дослідження збору метеорологічних даних. (див.рис 3.15)

1. Збір даних про вітер.

Параметри дослідження №1:

- д) Абсолютна висота: -1000ft – 45000ft
- е) Діапазон швидкості вітру: необмежений

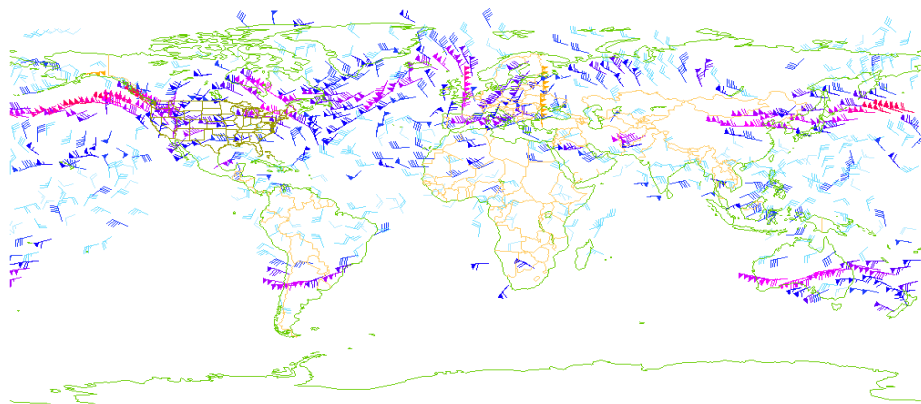


Рис 3.15- Схематичний аналіз збору даних про вітер на основі параметрів

№1

Параметри дослідження №2:

- ж) Абсолютна висота: -1000ft – 45000ft
- з) Діапазон швидкості вітру: менше 120 узлів

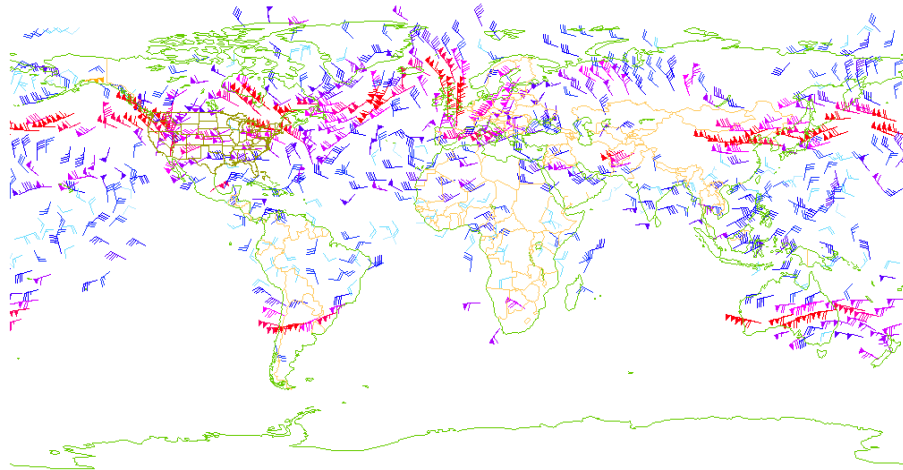


Рис 3.16- Схематичний аналіз збору даних про вітер на основі параметрів №2

Параметри дослідження №3:

- и) Абсолютна висота: -1000ft – 45000ft
- к) Діапазон швидкості вітру: менше 25-45 узлів

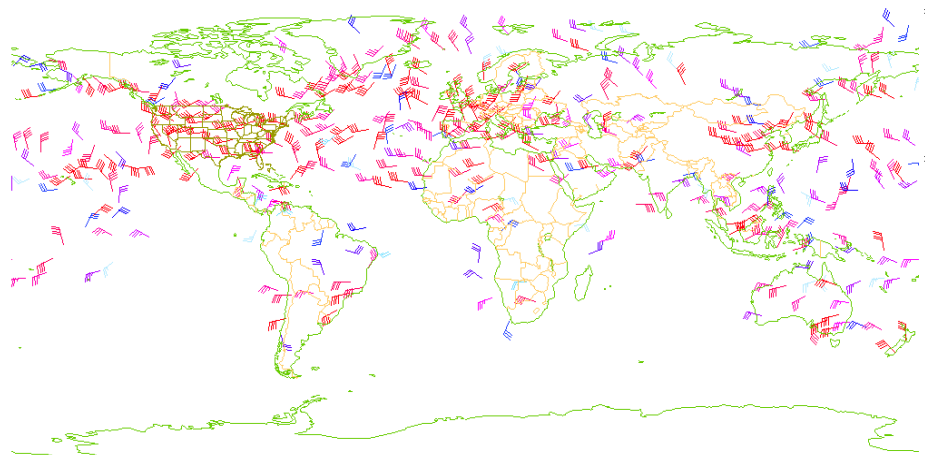


Рис 3.17- Схематичний аналіз збору даних про вітер на основі параметрів №3

3.5 Аналіз стану атмосфери на основі збору оперативної метеорологічної інформації з ПК

Використовуючи програму AMDAR demo display, можна отримати дані. Які надані під час польоту. Згідно додатку А, маючи дані можна проаналізувати стан атмосфери, використовуючи оперативну метеорологічну інформацію с борта літака. (див.рис 3.18)

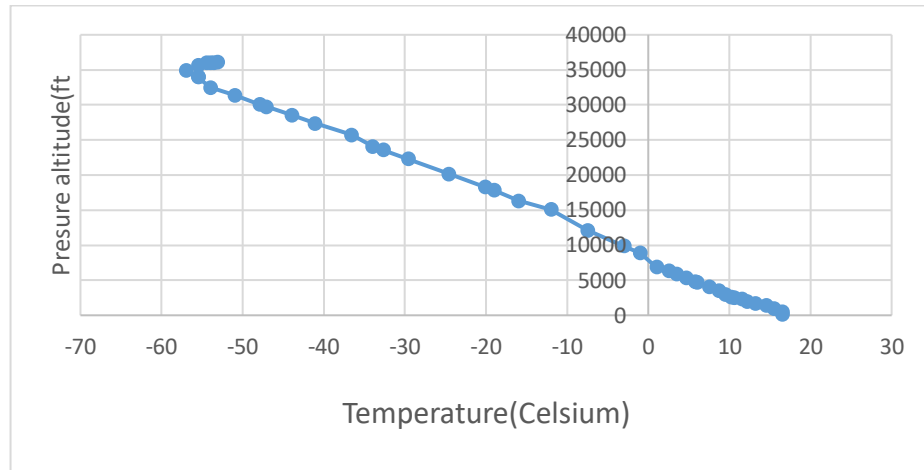


Рис 3.18- Аналіз стану атмосфери використовуючи спостереження з ПК

На рисунку 3.18 Було виконано аналіз стану атмосфери, згідно якого видно, співвідношення температури та барометричних висоти.

Далі ми провели аналіз з графічних зображень отриманих від бортових даних (додаток А).

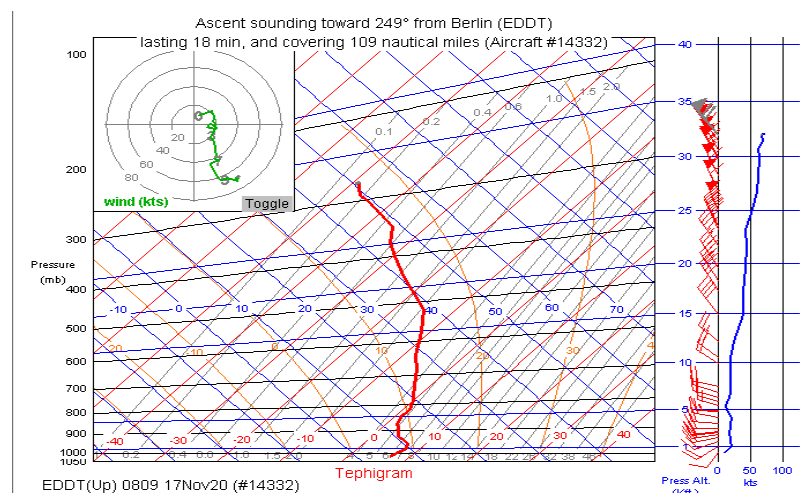


Рис 3.19 – Стан атмосфери отриманих на основі даних від бортового спостереження

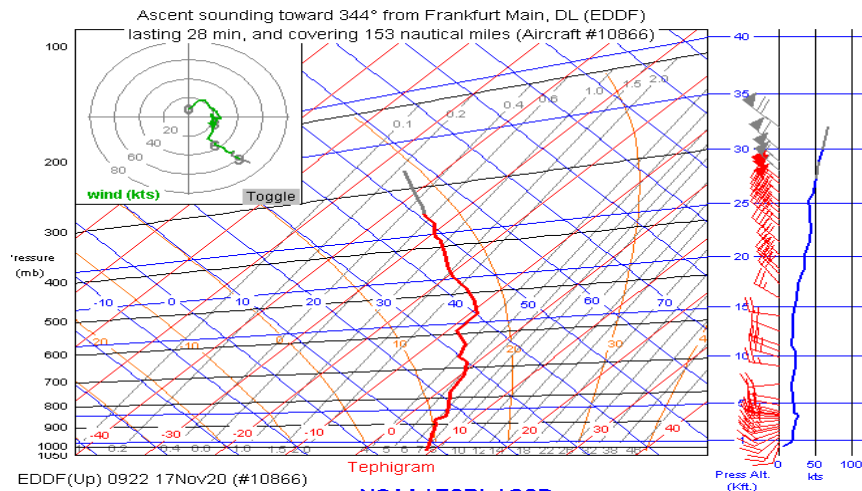


Рис 3.20 – Стан атмосфери отриманих на основі даних від бортового спостереження

Згідно результатів спостережень маємо можливість провести аналіз стану атмосфери опираючись на дані про вітер, барометричний тиск, температуру. Отже це означає, що ПК здатний передавати достатньо оперативної інформації метеорологічним службам для більш точного прогнозу.

3.6. Вплив прогнозу точності вітру та температури на планування польоту

Підвищення точності прогнозу вітру і температури має важливий вплив на розрахунок горіння палива, отже і на кількість палива, завантаженого на ПК.

Для дослідження, було запропоновано, що завдяки наявності бортових метеорологічних даних, і їх використання в системах чисельного прогнозу погоди для створення прогнозованих вітрових полів. Точність виміру параметру вітру було поліпшено на 2 вузлів.

Отже, це означає, що точність параметру вітру полягало в розрахунку різниці витрат палива при виконанні планів польоту з урахуванням і без урахування статистичного впливу складових похибки прогнозу вітру на літак.

Тому, вважається що, під час польоту комерційний повітряний корабель економить 8,4 тони палива, що дорівнює 26.5 тони викиду CO₂. Згідно даних

[13], ціна на авіаційне паливо 1,02 \$/гал, якщо перевести, то це майже 0.3 \$/кг. Отже, маючи точність виміру вітру 2 вузлів, приводить до економії паливо на 2.7 мільйони американських доларів. Розрахунки були зроблені для парку літаків класу Neight, таких як B747-400ER, A380, B777-300ER та A340.

3.7. Дослідження використання бортових радарів літаку для виявлення ураганів

Для дослідження виявлення ураганів, було використано дані з порталу [14]. На прикладі урагану Баррі, який проіснував з 10 лютого по 12 лютого 2019 року, ми розглянемо результати дослідження, з бортового радару та даних зі спутнику для аналізу використання літака в якості метеостанції.

Спостереження з бортового радару ПК на 10 липня 2019 року

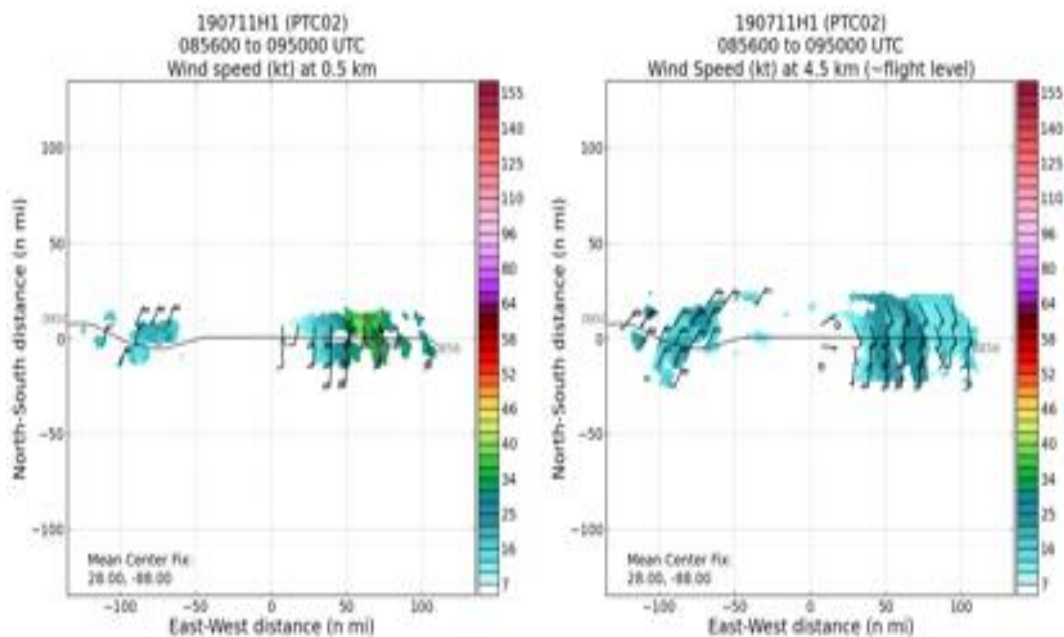


Рис 3.21- Спостереження зробленні в 09:20 годин UTC

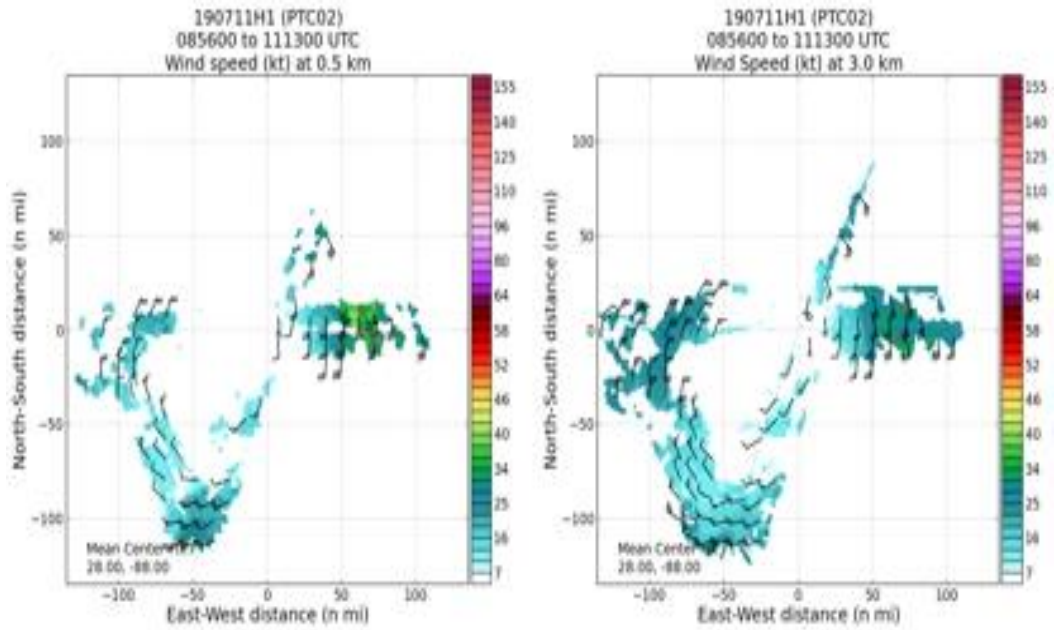


Рис 3.22- Спостереження зроблені в 11:13 годин UTC

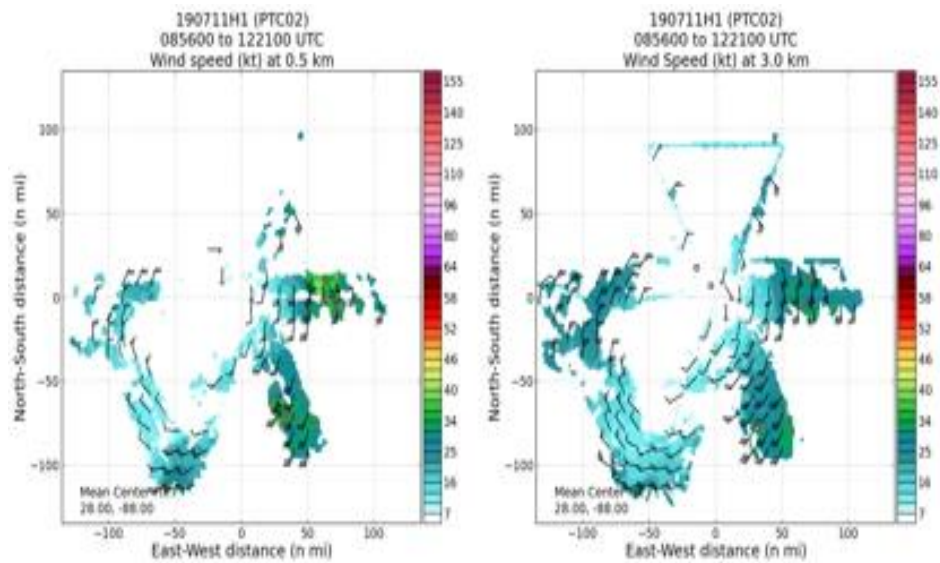


Рис 3.23- Спостереження зроблені в 12:21 годин UTC

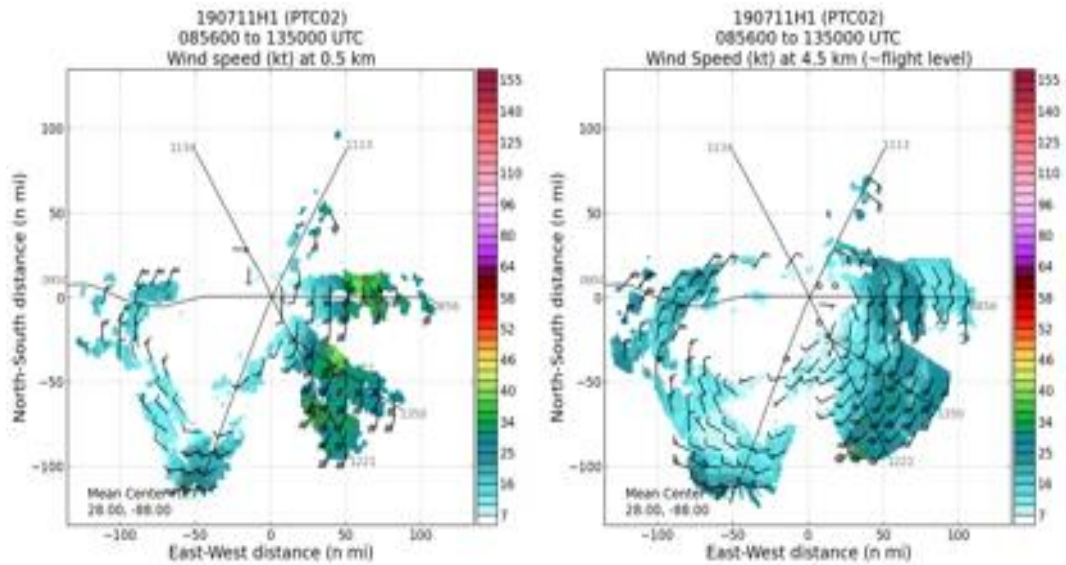


Рис 3.24- Спостереження зроблені в 13:50 годин UTC

Отже, на основі спостережень з бортового радару, є можливість замітити виникнення урагану Бари, тому для більш точної оцінки бортових спостережень було взято спостереження зі спутника. Щоб проаналізувати використання ПК в якості метеорологічної станції. (див рис 3.24)

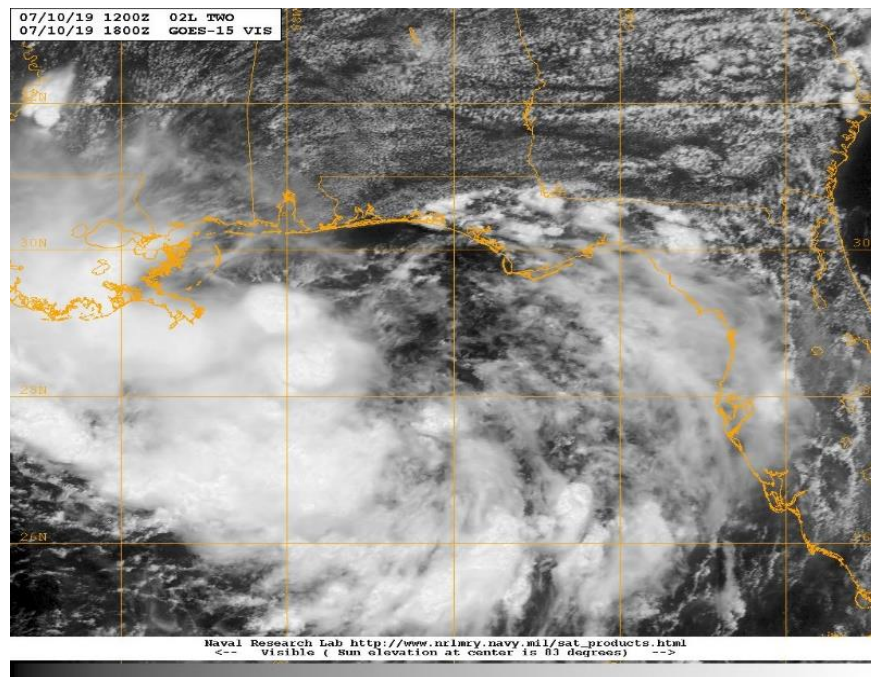


Рис 3.25 - Спутникові спостереження виникнення урагану Бари 10-го

ЛИПНЯ

Для більш детального аналізу спостережень було проведено денний аналіз спостережень. (див рис 3.25)

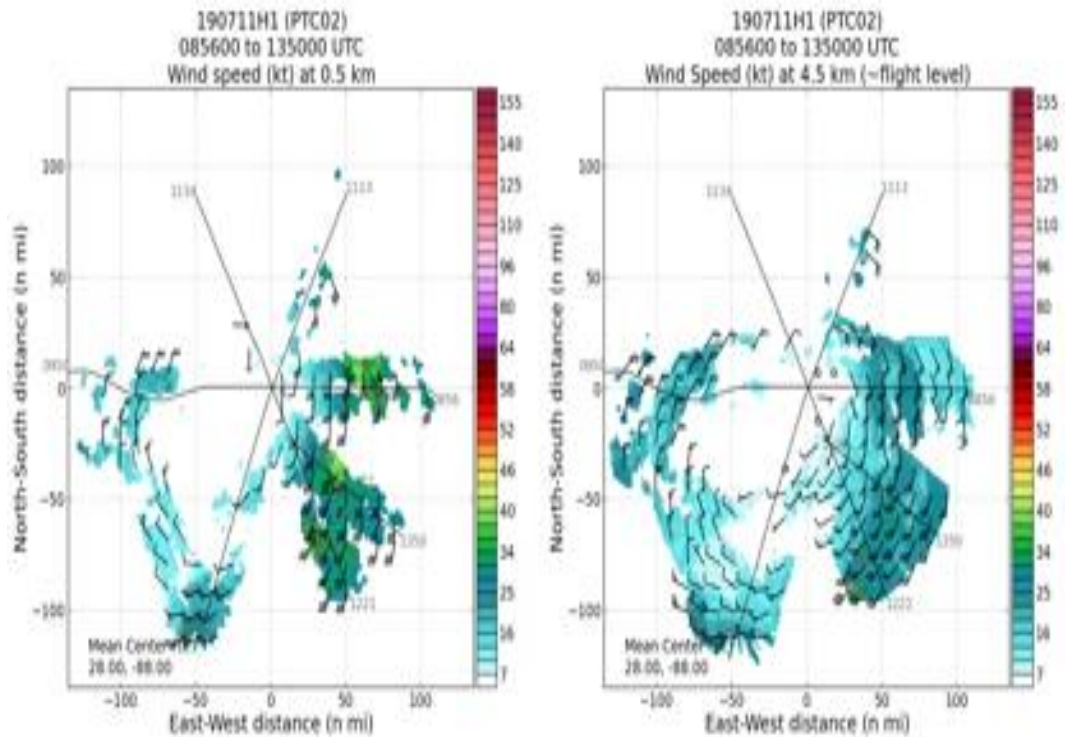


Рис 3.26 - Спостереження зробленні 11 липня 2019 року

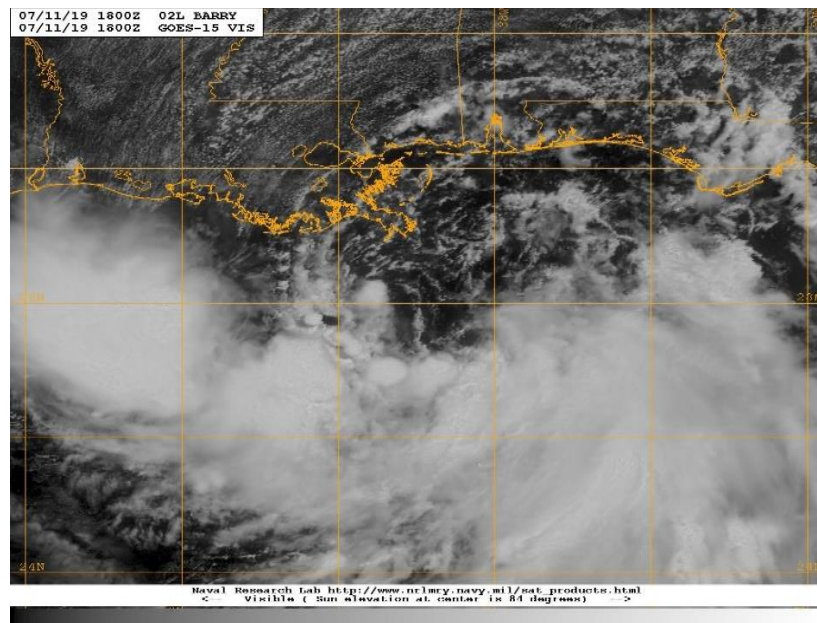


Рис 3.27- Супутникові спостереження виникнення урагану Бари 11-го липня

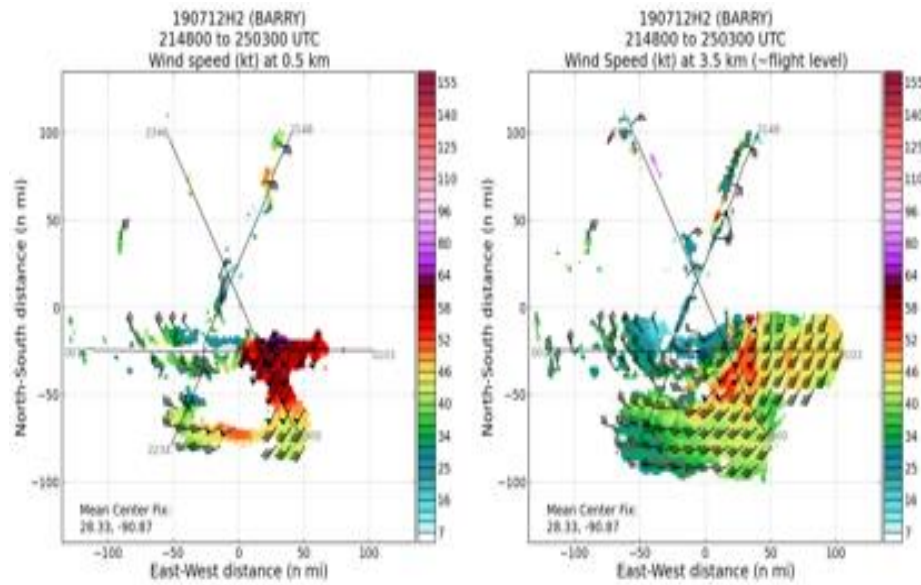


Рис 3.28- Спостереження зробленні 12 липня 2019 року

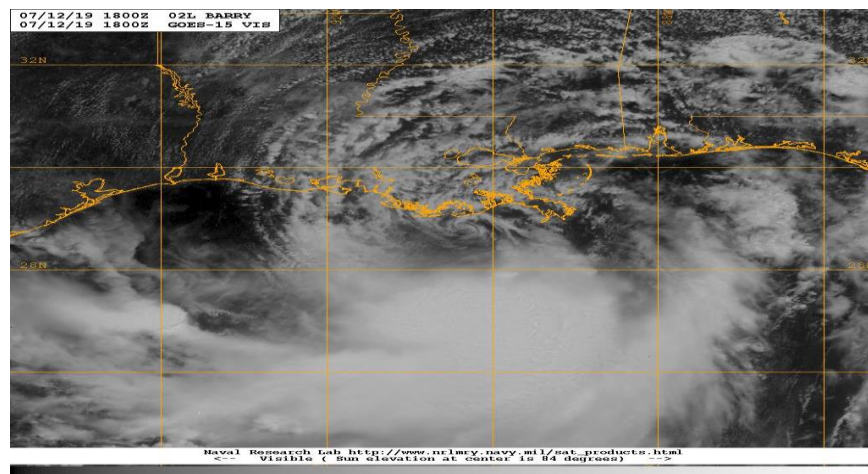


Рис 3.29- Спутникові спостереження виникнення урагану Бари 12-го липня

Отже, якщо глянути на бортові спостереження з ПК та спутникові спостереження, то можна замітити схожість у цих спостережень що дає підтвердження, тому, що літак дає змогу виявленню ураганів, на основі встановленого радіолокатора на ньому.

3.8. Висновки до розділу 3

В практичній частині було запропоновано створення алгоритму передач оперативної інформації для оцінки ПК як мобільного датчика, алгоритм показав, що обладнане ПК відповідними датчиками здатне доносити оперативну метеорологічну інформацію в метеорологічні служби.

Наступним завданням було дослідження використання систем бортового спостереження в усьому світі. Так як, для впровадження системи AMDAR в усьому світі було впроваджено окремі регіональні програми AMDAR, що відповідають за оперативне впровадження та технічне обслуговування систем AMDAR. Для дослідження було використано програму AMDAR DEMO display, що дало змогу виконати відповідні дослідження. Тому, наші дослідження показали, що в найпоширеніше всього в світі експлуатується MDCRS, найменше популярна регіональна програма в світі є AeroMexico.

Також, використовуючи програму AMDAR DEMO display, ми проаналізували збір метеорологічних даних з ПК за останні 10 років. Тому, якщо порівнювати результати 2010-го та 2019-го кількість спостережень збільшилась втричі, але значне зниження можна замітити в 2020 році.

Також, для доповнення було проведено дослідження використання бортових локаторів літака на виявлення ураганів. Порівнюючи с спутниковими даними та даними з бортових локаторів, дало змогу підтвердити спосіб отримання даних про метеорологічну обстановку на основі радіолокатора встановленого на літаку.

4. ОЦІНКА МОЖЛИВОСТЕЙ РОЗШИРЕННЯ БАЗИ СПОСТЕРЕЖЕННЯ ЗА РАХУНОК ДАТЧИКІВ НА БОРТУ ЛІТАКА

4.1. Можливості збору інформації для використання ПК в якості передача оперативної метеорологічної інформації

Згідно [12], проведено дослідження збору оперативної метеорологічної інформації.

Система збору повітряних даних (ADC-Air data computer)надає інформацію такого типу:

- а. Статичний тиск, барометричну висоту
- б. Статичну температуру повітря
- в. Істину повітряну швидкість

Навігаційна система здатна надати інформацію такого типу:

- а. Вертикальне прискорення
- б. Істинний курс польоту
- в. Кут крену
- г. Швидкість руху відносно землі
- д. Істинний слід польоту
- е. Абсолютну висоту отриману від Глобальної супутникової системи навігації
- ж. Місцеположення

При отриманні даних від системи збору повітряних даних та навігаційної системи в бортовий комп'ютер(FMS-Flight management system), то бортовий комп'ютер розраховує наступний тип інформації :

- а. Ідентифікацію літака або польоту
- б. Дата та час польоту
- в. Місцеположення
- г. Абсолютну висоту отриману від Глобальної супутникової системи навігації
- д. Барометричну висоту

- е. Температуру повітря
- ж. Швидкість та напрямлення вітру
- з. Істинний курс польоту
- и. Істину повітряну швидкість польоту
- к. Обледеніння
- л. Використання конфігурації літака

Система зондування водяної пари (WVSS-II) надає такі метеорологічні данні:

- Удільна вологість
- Параметр якості

Система збору даних здійснює автоматизований збір інформації про метеорологічні значення параметрів с бортового комп'ютера та системи зондування водяного пара в заданих точках об'єкта дослідження, та передає обробленні дані через лінії передач даних. [12]

4.2. Системи зв'язку для передачі оперативної метеорологічної інформації

4.2.1. ACARS – основна система зв'язку для передач оперативної метеорологічної інформації

Програмний пакет AMDAR, разом з бортовими датчиками, бортові комп'ютери та системи аеронавігаційного зв'язку, збирають, обробляють, форматують та передають дані на існуючі наземні станції за допомогою супутникових систем, VHF або HF каналів радіозв'язку. Управлінням переходом здійснюється за допомогою системи адресації та звітності повітряних суден (ACARS) або іншої системи звітності.

В даний час система спостереження AMDAR використовує стандарти зв'язку ACARS і протоколи повідомлень для передачі даних AMDAR з літака на землю і для наземної ретрансляції повідомлень. ACARS-це системи адресації та звітності авіаційного зв'язку і являє собою цифрову систему передачі даних

для передачі коротких, відносно простих повідомлень у форматі телекса між повітряними суднами і наземними станціями по радіо або супутнику.

Передаючи дані на наземні станції, дані передаються глобальній мережі Національних метеорологічних служб та іншим авторизованим користувачам.

В даний час AMDAR використовує вільну текстову область, що доступну в повідомленнях ACARS. Це означає що, підтримувати специфікацію форматів повідомлень AMDAR в рамках стандартів ARINC ACARS немає необхідності. Таким чином, існує багато можливих специфікацій формату для метеорологічних повідомлень з літаків за допомогою ACARS. [12]

4.2.2. Вимоги до повідомлень ACARS

Під час використання ACARS формат повідомлення AMDAR прив'язано до протоколу повідомлень ACARS.

Більшість повідомлень ACARS мають лише від 100 до 200 символів. Такі повідомлення складаються з одного блоку передачі від ПК. Один блок ACARS містить не більше 220 символів у тілі повідомлення.

Для передачі повідомлення зі зворотнього зв'язку, який містить більше 220 символів, блок ACARS розділяє повідомлення на кілька блоків, передаючи кожен блок на віддалену наземну станцію.

Повідомлення не може бути більше 16 блоків. Віддалена наземна станція збирає кожен блок, доки не буде отримано повне повідомлення перед обробкою та маршрутизацією повідомлення. ACARS також містить протоколи для підтримки повторної спроби невдалих повідомлень.[12]

4.3. Вимоги до передачі повідомлень

Основними факторами, що впливають на частоту передач повідомлення є:

- a. Метеорологічні спостереження повинні бути наближенні до реального часу, особливо на етапах підйому та зниження, та були доступними для національних метеорологічних та гідрологічних служб.

- б. Витрати на зв'язок, особливо на зв'язок "повітря-земля", є відносно дорогими, і тому ефективність і економічність змісту повідомлень дуже важливі.

Передача повідомлень повинна бути структурована таким чином, щоб спостереження під час підйому і зниження були передані через кожні 15 хвилин в національні метеорологічні та гідрологічні служби.

В ідеальному випадку, повідомлення спостережень на круїзному етапі польоту повинні передаватися в національні метеорологічні та гідрологічні служби за мінімальний термін часу, беручи до уваги витрати на зв'язок, ефективність та інші фактори, такі як наявність ретрансляційних станцій зв'язку.

Повідомлення, що вимагають негайної передачі, наприклад, звіти про події турбулентності, можуть передаватися негайно.

Навіть якщо метод передачі повідомлень підлягає обмеженням розміру повідомлень, як це відбувається для ACARS, а попередньо встановлена кількість спостережень не була відправлена, то повідомлення, що очікують на розгляд, надсилаються негайно, в таких випадках:

- а. При переході з однієї фази польоту в іншу
- б. Звіт про вимкнення через програмне забезпечення.

4.4. Оцінка переваг використання системи метеорологічного спостереження

Зрівнюючи якість даних програми AMDAR, з даними радіозондування, то можна сказати, що вони не відрізняються, а також можуть використовуватися аналогічним чином.

Вплив даних AMDAR на розрахункові моделі чисельного прогнозування погоди отримало кількісну оцінку, що визначила їх значний позитивний ефект і поставивши їх на друге місце після великомасштабних супутникових даних, порівнюючи з впливом інших систем спостережень. [3]

Крім того, в деяких глобальних зонах дані зондування AMDAR є єдиним джерелом докладної інформації про вертикальну структуру атмосфери. Вони надають інформацію високої роздільної здатності, що дозволяє виявити важливі атмосферні явища, які складно виявити за допомогою супутникових даних.

Основною перевагою даних систем бортового метеорологічного спостереження, зокрема для метеорології, полягає в тому, що ці дані отримуються відповідно до конкретних метеорологічних вимог, так що виміряні метеорологічні параметри повідомляються з високою частотою під час зльоту і посадки беруть участь повітряних суден. Це означає, що літак забезпечує метеорологічними даними про стан атмосфери по вертикальній траєкторії, дуже схожий на те, що роблять повітряні кулі, що несуть метеорологічні радіозонди. [3]

Існує три елементи системи спостережень AMDAR, які роблять її особливо цінною:

- а. Точність та якість даних про вітер та температуру даних AMDAR схожі з даними радіозондів
- б. Датчики вимірювання і системи на літаку здатні виміряти точні дані з дуже високою швидкістю або частотою, забезпечуючи тим самим дуже тонку деталізацію вертикальних профілях
- в. Завдяки тому що, літаки приземляють і злітають з аеропортів з великою частотою, данні про вертикальний профіль можу вироблятися принаймні кожні 3-години в багатьох місцях аеропорту.

Маючи такі особливості системи спостереження AMDAR, можна сказати що дані AMDAR є дуже цінні і корисні, а також вони забезпечують значне поліпшення додатків для моніторингу і прогнозування погодних явищ, таких як:

- а. Прогнозування приземного та висотного вітру та температури
- б. Виникнення гроз, місцеположення та інтенсивність

- в. Місцеположення зсуву вітру та його інтенсивність
- г. Хмари нижнього ярусу та їх тривалість
- д. Прогнозування появи туман та тривалість
- е. Турбулентність, місцеположення та тривалість
- ж. Умови які приведуть до обледеніння

4.5. Оцінка витрат на впровадження програми AMDAR

4.5.1 Фактори які впливають на витрати

Для оцінки витрат на впровадження систем бортового метеорологічного спостереження було виведено декілька факторів, які впливають на витрати:

- а. Об'єм та тип даних передані з ПК
- б. Комунікаційна згода, прийнята у співпраці з авіакомпанією
- в. Згода між авіакомпанією і конкретною лінією передач даних

4.5.2. Бортове програмне забезпечення

На даний момент програмне забезпечення вже передбачено для необхідної конфігурації літаків і бортної електроніки, тому вартість розробки може бути невеликою близько \$10 000 або менше.

В залежності від типу повітряного судна та бортної електроніки може знадобитися розробка програмного забезпечення, що може спричинити за собою одноразові витрати приблизно 100 000 американських доларів. Вважається, що чим більше додаткових функцій вам потрібно, тим вище вартість розробки програмного забезпечення.[3]

4.5.3. Оцінка витрат на комунікаційну інфраструктуру

Насамперед витрати на комунікаційні служби залежать від конкретного проект комунікаційної мережі. Обов'язковим для комунікації є установка мережного сервера, що буде працювати в режимі “push and pull”. Затрати на основні засоби, а також на розмірі операційну систему оцінюють від 5 до 10 американських тисяч доларів.[3]

4.5.4. Витрати на процес обробки даних

Основними витратами зв'язаними з розробкою внутрішню системою обробки та управління даними повинна включати такі елементи:

- а. Покупка стандартного програми бази даних, для проведення декодування та збереження даних в базі даних
- б. Для контролю якості вхідних даних і повторного кодування в потрібному форматі для внутрішнього використання потрібен програмний модуль
- в. Витрати на розробку системи оптимізації
- г. Система моніторингу даних

Отже, витрати на розробку систем обробки даних може бути в межі від 20 до 100 тисяч американських доларів.

4.5.5. Операційні витрати

До операційних витрат відносяться витрати на передачу даних та на використання систем повітряного корабля. На даний момент деяким експлуатантам вдалося прийняти рішення про канали зв'язку, які передають дані при о платі менше ніж 0,10 американських доларів за спостереження.

Сума на витрати за використання систем повітряного корабля є відносно невеликою майже 0,5 тисяч американських доларів за кожен ПК в рік. Так як, національні метеорологічні центри домовились виплювати річну або щомісячну оплату за витрати, які пов'язані з обслуговуванням та експлуатацією бортового програмного забезпечення. [3]

4.6. Вплив зниження трафіку на точність прогнозу

Зменшення кількості комерційних рейсів через, пов'язану з пандемією Covid-19 є проблемою для синоптиків. Як відома датчики, комп'ютери та системи зв'язку на борту комерційних літаків автоматично збирають і передають метеорологічні спостереження на наземні станції. Згідно даних ВМО, багатьох частинах світу, зокрема в Європі і США, число спостережень з літаків скоротилося на 50 — 80%.

Вплив зниження трафіку на прогноз дуже помітно в районі 250-200 гПа (висотою близько 11-12 км), висота на якій зосереджено польоти круїзних рейсів комерційних літаків. Виявилося, що найбільший вплив втрата даних з літаків надає на точність прогнозів на найближчі 24 годин, але було також значне зниження точності на найближчі 7 днів.

Найбільший вплив втрати спостережень відбувся в Північній півкулі, як для прогнозування напрямку і сили вітру, так і змін температури. Причина в тому, що саме в цьому регіоні виконується найбільша кількість комерційних рейсів, особливо в США, Європі та Північній Атлантиці.

У порівнянні зі спостереженнями, отриманими за допомогою літаків, точність 12-годинних прогнозів температури в Північній півкулі погіршилася на 9 відсотків.

Щоб спробувати компенсувати нестачу авіаційних спостережень, деякі держави-члени ВМО посилають більше радіозондів на метеорологічних аеростатах для отримання метеорологічних даних.

4.7. Повітряні кораблі, які використані в якості метеорологічної розвідки

4.7.1 Історія зародження ідеї використання ПК в якості дослідницької станції

Все почалося в 1943 році, коли два пілоти армійського повітряного корпусу кинули виклик один одному, щоб пролетіти через ураган. 27 липня 1943 Майор А.Джо Дакворт летів на гвинтомоторному одномоторному Північноамериканському тренажері АТ-6 "техасець" в епіцентр урагану. Того дня майор Дакворт двічі літав в епіцентр шторму, один раз зі штурманом і ще раз з офіцером-метеорологом. Зазвичай вважалося, що це були перші повітряні спроби отримати дані для використання при побудові графіка положення тропічного циклону в міру його наближення до суші. Новаторські зусилля Дакворта проклали шлях для подальших польотів в тропічні циклони.

53-й WRS був спочатку активований в 1944 році під час Другої світової війни як 3-а розвідувальна ескадрилья погоди, Air Route, Medium, що відстежує погоду в Північній Атлантиці між Північною Америкою і Європою. З тих пір "Мисливці за ураганами" отримали безліч найменувань і назвали багато аеродроми своїми будинками.

Ескадрилья переїхала з Нью-Гемпшира до Флориди. Наприкінці 1947 року "Мисливці за ураганами" перебравися через Атлантику в Кіндлі-Філд, Бермуди, а потім перебазувалися на базу Королівських ВПС в Бертонвуді, Англія, і в Дхаран, Саудівська Аравія. Ескадрилья коротко повернулася на Бермуди, а потім повернулася до Сполучених Штатів у Хантер-АФБ, штат Джорджія. У 1966 році 53-й WRS знову покинув Сполучені Штати, на цей раз для Ramey AFB, Пуерто-Ріко. Коли Ремі "закрився в 1973 році," мисливці за ураганами " прибули на своє нинішнє місце в Кіслер-АФБ, штат Міссурі.

У червні 1991 року 53-я WRS була деактивована, і вся відповідальність за розвідку погоди перейшла до 815-ї метеорологічної ескадрильї резерву ВПС, яка існувала одночасно з 53-ю з 1976 року. Потім 1 листопада 1993 року 53-й WRS був знову активований і призначений в резерв ВПС, замінивши 815-й WS.

У вересні 1999 року 53-й WRS отримав свій перший з 10 WC-130J. під час переобладнання на новий планер група продовжила свою місію повітряної розвідки погоди і додала нову місію, пов'язану з погодою, в 2003 році, використовуючи WC-130js для скидання буїв перед майбутніми тропічними штормами.

У 2004 році група почала підготовку для підтримки тактичних повітряних перевезень на додаток до метеорологічної місії групи.

У вересні 2005 року підрозділ завершив переобладнання в J-модель на місяць раніше запланованого терміну, не виконавши абсолютно ніяких ураганних завдань на застарілому WC-130hs протягом сезону ураганів 2005 року. Незважаючи на серйозний збиток, завданий їх рідної станції ураганом

"Катріна", підрозділ продовжував свою місію з розвідки погоди, не пропускаючи жодного завдання.

4.7.2. WC-130J в якості літака метеорологічного розвідника розвідника

Літак Lockheed WC-130J-це поважний літак для розвідки погоди. Він летить прямо в ураган, зазвичай проникаючи в око урагану кілька разів за місію на висотах від 500 футів (150 м) до 10 000 футів (3000 м). 53-й WRS Hurricane Hunters експлуатує десять літаків WC - 130J для розвідки погоди. (див рис 4.1)



Рис 4.1 - Lockheed Martin WC-130J

Загальні характеристики Lockheed Martin WC-130J

- Основна функція: глобальний Повітряний транспорт
- Виробник: Lockheed Martin Aeronautics Company
- Силова установка: чотири турбогвинтових двигуна Rolls-Royce AE 2100D3; 4700 кінських сил
- Довжина: 97 футів, 9 дюймів (29,3 метра)
- Висота: 38 футів, 10 дюймів (11,9 метра)
- Розмах крил: 132 фути 7 дюймів (39,7 метра)
- Вантажний відсік: довжина-40 футів(12,31 метра); ширина-119 дюймів(3,12 метра); висота-9 футів (2,74 метра)

- Задній пандус: довжина-123 дюйма(3,12 метра); ширина-119 дюймів (3,02 метра)

- Швидкість: 417 миль на годину / 362 ктас (Мах 0,59) на висоті 22 000 футів (6706 метрів)

- Максимально можлива висота: 28 000 футів (8 615 метрів) з корисним навантаженням 42 000 фунтів (19 090 кілограмів)

- Максимальна злітна вага: 155 000 фунтів (69 750 кг)

- Максимально допустиме корисне навантаження: 42 000 фунтів (19 090 кг)

- Максимальне нормальне корисне навантаження: 34 000 фунтів (15 422 кілограми)

- Дальність польоту при максимальному нормальному корисному навантаженні: 2071 миля (1800 морських миль)

- Діапазон польоту з корисним навантаженням 35 000 фунтів: 1841 миля(1600 морських миль)

- Максимальне навантаження: 6 піддонів або 74 носилки, або 16 зв'язок компакт-дисків, або 92 бойових солдата, або 64 десантника, або комбінація будь-якого з них до місткості вантажного відсіку або максимально допустимої ваги.

- Екіпаж: три людини (два пілоти і вантажник). Роль аеромедичної евакуації: додається мінімальний медичний екіпаж з трьох осіб (одна льотна медсестра і два медичних техніка). Медичний екіпаж може бути збільшений до двох льотних медсестер і чотирьох медичних техніків в залежності від потреб пацієнтів.

- вартість: C-130J, 48.5 \$(1998 фінансовому році постійні долари в мільйонах)

- Дата Розгортання: Лютий 1999 Року

- Інвентар: активні сили, 186; повітряна Національна гвардія, 222; резерв ВПС, 106

4.7.3. Lockheed WP-3D Orion – ПК в якості дослідження ураганів

Lockheed WP-3D Orion - це сильно модифікований P-3 Orion, який використовується відділом авіаційних операцій Національного управління океанічних і атмосферних досліджень (NOAA). Існують лише два з цих літаків, кожен з яких включає в себе численні функції для збору інформації про погоду. Під час сезону ураганів WP-3DS розгортаються для несення служби в якості мисливців за ураганами. Літак також підтримує дослідження з інших тем, таких як покриття арктичних льодів, дослідження хімічного складу повітря, а також аналіз температури і течії океанської води. (див рис 4.2)



Рис 4.2.- Lockheed WP-3D Orion

Загальна характеристика

- Екіпаж: до 22 осіб (2 пілоти, бортінженер, штурман, Керівник польоту, 2 фахівця з техніки / електроніки, фахівець з радіо/авіоніки і до 12 вчених)
- Довжина: 116 футів 10 дюймів (35,61 м)
- Розмах крил: 99 футів 8 дюймів (30,38 м)
- Висота: 34 фути 3 дюйми (10,44 м)
- Площа крила: 1300,0 кв. футів (120,77 м²)

- Співвідношення сторін: 7.5: 1
- Порожня Вага: 73 000 фунтів (33 112 кг)
- Максимальна злітна вага: 135 000 фунтів (61 235 кг)
- Силова установка: 4 x турбогвинтові двигуни Allison T56-14 потужністю 4500 к. с. (3400 кВт)
- Крейсерська швидкість: 250 кН (290 миль на годину, 460 км/год)
- Дальність дії: 3800 НМІ (4400 миль, 7000 км) на великій висоті; 2500 НМІ (2900 миль, 4600 км) на малій висоті
- Витривалість: 11,5 годин на великій висоті; 9,5 годин на малій висоті
- Максимальна висота підйому: 27 000 футів (8200 м)
- Скоропідйомність: 3000 футів/хв (15 м /с)

Серед набору бортових приладів дистанційного зондування, доступних на літаку WP - 3D для вимірювання поверхневих вітрів в тропічних циклонах і навколо них, є мікрохвильовий радіометр ступінчастої частоти і розсіювач с-діапазону (C-SCAT). C-SCAT конічно сканує поверхню океану, отримуючи вимірювання зворотного розсіювання від 20° до 50°.

Антенa C-SCAT являє собою мікрополоскову фазовану решітку, головний пелюстка якої може бути спрямований на 20°, 30°, 40° і 50° від Надіра, а антенa обертається по азимуту зі швидкістю 30 об / хв. Таким чином, конічне сканування поверхні океану повторюється кожні 2 с (0,25 км при швидкості 125 м/с).

4.7.4. Розвідувальний літак - літак розвідник за ураганами

Lockheed U-2, який літав у урагані Джинні під час сезону атлантичних ураганів 1963 року, прозваний "Dragon Lady" - американський одномоторний

висотний розвідувальний літак, експлуатований ВПС США (USAF) і раніше літав в Центральному розвідувальному управлінні (ЦРУ). Він забезпечує денні і нічні спостереження, максимальна висота підйому 70 000 футів (21 300 метрів), та всепогодній збір даних.

Корпорація Lockheed спочатку запропонувала його в 1953 році, він був схвалений в 1954 році, і його перший випробувальний політ відбувся в 1955 році. U-2 також використовувався для дослідження електронних датчиків, калібрування супутників, наукових досліджень та цілей зв'язку. (див рис 4.3)



Рис 4.3.- Lockheed U-2

4.7.5 Сучасна дослідницька станція ПК Gulfstream-IV SP компанії NOAA

Літак Gulfstream-IV SP компанії NOAA - це сучасна висотна Дослідницька платформа. "Гонзо" був придбаний в 1996 році, щоб поліпшити можливості NOAA з прогнозування тропічних циклонів, маючи можливість розгортати dropsonde з великої висоти над великими районами відкритого моря, де є мало спостережень. Відстежувати поліпшення прогноз на близько 20% з наукової точки зору можливо в результаті використання цих даних dropsonde. Доплерівська радіолокаційна антена була встановлена в хвості літака і вперше

використовувалася для збору даних під час програми ураганного поля 2012 року.

G-IV служить програмі NCEP(National Centers for Environmental Prediction) Winter Storm Reconnaissance, щоб краще передбачити місце розташування та інтенсивність зимових штормів, які впливають на Сполучені Штати. Під час рекогносцировки зимових штормів також проводяться вимірювання хімічного складу повітря у верхніх шарах тропосфери. Ці рейси, як правило, прилетів з Гонолулу в Анкоридж, або АБ Йокота, Японія. (див рис 4.4)



Рис 4.4.- Gulfstream-IV SP

Експлуатаційні характеристики :

- Стеля: 45 000 футів (12 км),
- дальність дії: 4075 Нм (7000 км),
- витривалість: 10 сек
- Справжня швидкість повітря: 440 КТ (240 м/с).

Розміри літака:

- Довжина: 88' 4 " (26,9 м)
- розмах крила: 77' 10 "(23,7 м)

- Висота: 24' 5 " (7,4 м)

Екіпаж: 8 (2 вчених / спостерігача)

Контрольно-вимірювальні прилади для забезпечення:

- Дані про польотний рівень 1 Гц
- Система GPS dropwindsonde
- Робоча станція з обробкою даних AVAPS
- Хвостовий Доплерівський Радар

4.7.6. Літак ВАе146 – 301 як дослідницька метеостанція Великобританії

Дослідницький літак FAAM (Facility for Airborne Atmospheric Measurements), літак ВАе146 – 301 показаний на рис.4.5, надійшов на озброєння в 2004 році і з тих пір є основним повітряним дослідницьким літаком Великобританії. Фінансований в рівній мірі метрополітемом і НКРЕ, літак належить ВАе Systems і експлуатується від їх імені компанією Directflight. Він базується на аеродромі університету Кренфілд в Бедфордширі. (див рис 4.5)



Рис 4.5.- ВАе146 – 301

Літак ВАе146 – 301 здатний нести 4-тонну приладову навантаження і може працювати на висотах від 50 до 35 000 футів (15-10 600 м). Цей літак добре

оснащений приладами і виконує широкий спектр основних вимірювань у всіх наукових польотах.

Вони включають вимірювання температури, вологості, швидкості і напрямку вітру, вибір слідових газів, а також кількість і розмір хмарних крапель. Багато з цих основних вимірювань використовують технологію, розроблену спеціально для повітряних атмосферних вимірювань, а принципи роботи деяких вимірювань, таких як використання гігрометра точки замерзання для вимірювання вологості, були розроблені вченими метрополітену, що працюють в MRF. Ці основні вимірювання забезпечують контекст для більш замовних приладів, що використовуються Метрополітен-офісом і дослідниками британського університету.

Створення FAAM як спільної установи призвело до розширення співпраці між дослідниками в Метрополітен-офісі та університетським співтовариством. Ця співпраця була життєво важливою під час деяких гучних інцидентів, таких як пожежа на нафтовому терміналі Buncefield в 2005 році і виверження вулкана Ейяфьядлайекюдль в 2010 році.

4.8 Оцінка впливу спостережень AMDAR на прогноз погоди

4.8.1. Вплив спстережень на регіональний прогноз погоди

Великі обсяги автоматизованих спостережень з літаків, що проводяться протягом дня над, дало можливість розробити послідовність короткострокових моделей DA і NWP, спеціально розроблених для використання цих унікальних наборів даних.

Перший був цикл швидкого оновлення (RUC), розроблений Національним управління океанічних і атмосферних досліджень (NOAA) в Лабораторії досліджень систем Землі (ESRL) і виконується щогодини в NCEP, і є предметом подальшого обговорення. Розробка моделі та важливість різних асиноптичних та синоптичних наборів даних для якості короткострокових прогнозів RUC.

У першій спробі кількісно оцінити вплив спостережень з літаків порівняли результати, що включають дані MDCRS в розроблюваній версії RUC з роздільною здатністю 80 км, з еквівалентними прогнозами два рази на день, отриманими від NWS в той час діяла Nested Grid Model (NGM), яка ґрунтувалася в основному на спостереженнях за допомогою радіозондів (raobs) для верхніх шарів повітряна інформація. Зведення про температуру і вітер літаків в цей час зазвичай збиралися тільки через регулярні 7-10-хвилинні інтервали, в основному на крейсерських ешелонах близько реактивного потоку. Постійне введення даних з літаків позитивно вплинуло на короткострокові прогнози протягом дня. До 2100 UTC включення 9-годинних звітів MCDRS, доступних після попередніх звітів raob, зменшило помилки в прогнозах вітру на висоті 250 гПа приблизно на 10% у порівнянні з 12-годинними прогнозами NGM, що діють в той же час. Це, в свою чергу, знизило помилки оцінки тривалості польоту, надавши авіакомпаніям можливість уточнювати оцінки використання палива.

Для дослідження впливу роздільної здатності моделі та фізики на корисність спостережень MDCRS, 60-кілометрову версію RUC порівнювалася з 40-кілометровою версією RUC-2, яка включала більш складну фізику поверхні, поліпшену орографію і більш високу вертикальну роздільну здатність. RUC-2 показав найкращі результати на всіх діапазонах прогнозів, при цьому найбільші впливи були відзначені на найкоротших діапазонах прогнозів. Поліпшення вище 300 гПа і нижче 700 гПа були пов'язані в першу чергу зі збільшенням дозволу вертикальної моделі і поліпшеною параметризацією прикордонного шару, в той час як зменшення поліпшень на середніх рівнях, ймовірно, було пов'язано з нестачею звітів про підйом і спуск, доступних в той час.

Протягом 3 тижнів у червні 2002 року експлуатаційні прогони RUC-2 з використанням усіх даних AMDAR порівнювалися з експериментальними запусками, в яких були видалені всі звіти про вітер і температуру з літаків нижче 350 гПа. На відміну від деяких глобальних тестів на відмову від даних,

які будуть обговорюватися пізніше, не було виконано проріджування або усереднення даних з літаків.

Порівняння аналізів і 3-, 6-, 9-або 12-годинних прогнозів від обох систем до gaobs в 0000 і 1200 UTC показано на рис. 4.7. Асиноптичні профілі температури підйому і спуску, а також вітрові профілі літака зробили позитивний вплив на аналіз вітру як в синоптичний час 0000 і 1200 UTC. Хоча поліпшення були відзначені на всіх рівнях, вплив нижче 300 гПа було в 3-4 рази більше, ніж на верхніх рівнях, де в обох тестах зберігалися великі дані крейсерського рівня.

Вплив поліпшень аналізу на 12-годинні прогнози також був позитивним по всіх змінних. Поліпшення прогнозу вітру на рівні 300 гПа і вище були порівнянні з відмінностями в початковому аналізі. Нижче 300 гПа вплив даних підйому і спуску на прогнози був меншим, ніж в аналізі, але все ж в середньому становив близько 4%, що більш ніж удвічі перевищує поліпшення, виявлене на верхніх рівнях, де переважали спостереження крейсерського рівня. Включення даних про підйом і спуск літаків в середній тропосфері також покращило більшість 3-9-годинних прогнозів на 5-9% з найбільшим скороченням помилок в найкоротших діапазонах прогнозів, коли дані AMDAR переважали як у вихідних умовах, так і в фонових полях аналізу. Ці поліпшення були еквівалентні подвоєнню роздільної здатності моделі, що вимагало б десятикратного збільшення обчислювальних ресурсів. Менші зміни в 9-годинних прогнозах з 03:00 до 15:00 за всесвітнім координованим часом вище 400 гПа і невелике погіршення близько 250 гПа можуть бути залишковим ефектом адаптації системи асиміляції до зміщених звітів про температуру літаків на крейсерському рівні в періоди, відразу після використання даних gaob. (див рис 4.6)

Звіти AMDAR завжди роблять позитивний вплив на всі параметри, включаючи непряме поліпшення прогнозів вологості. Поліпшення були

найбільшими для 3-і 6-годинних діапазонів, коли було асимільовано найбільшу сукупну кількість асиноптичних даних.

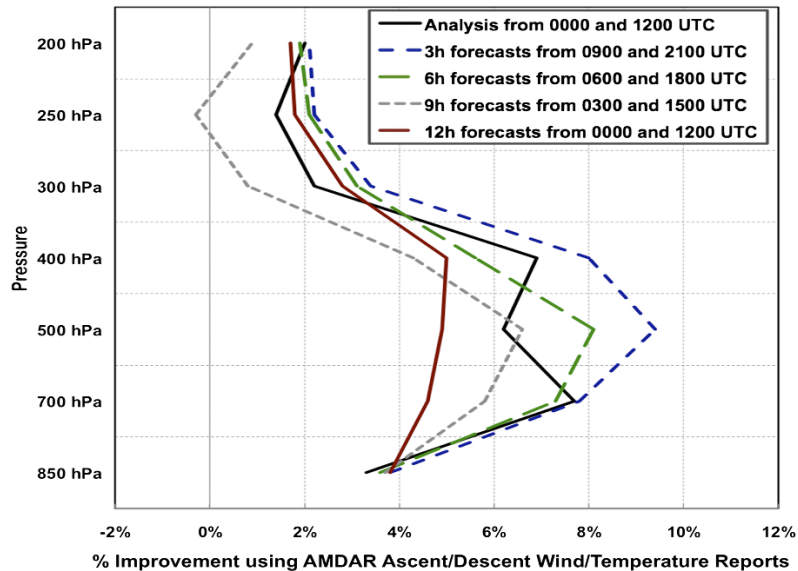


Рис 4.6 - Показники покращення якості звітів використовуючи AMDAR

Особливо значне поліпшення температури відображало не тільки наявність теплових даних у звітах літака, але також використання більш точних полів вітру і температури в розрахунках адвекції, використовуваних при визначенні фонових полів аналізу. Оскільки в ці тести не були включені нові дані про вологість, поліпшення в полях вологості аналогічним чином слід віднести на рахунок поліпшених обчислень адвекції.

4.8.2. Вплив спостережень AMDAR на глобальний прогноз погоди

Вплив спостережень з літаків на глобальне прогнозування є результатом поєднання поліпшень в глобальному охопленні AMDAR і поліпшень в аналізі. Глобальні системи повинні інтегрувати дані з літаків на місці з величезною кількістю різних типів спостережень, переважна більшість з яких засновані на супутниках і надають важливу інформацію над океанами в усьому світі. У цьому поєднанні даних автоматичні звіти з літаків унікальні тим, що вони є єдиним неповерхностним, глобально розподіленим асиноптичним набором

даних, який безпосередньо вимірює як температуру, вітер, так і, в деяких випадках, вологість. Крім того, оскільки спостереження AMDAR, як правило, зосереджені поблизу рівня струменевого потоку, вони можуть бути особливо корисні при визначенні джерел кінетичної енергії, які керують багатьма погодними системами, особливо в регіонах з обмеженими даними. Варто відзначити, що вимірювання AMDAR на місці не тільки забезпечують незалежні спостереження в тих же місцях, які спостерігаються за супутниковими даними, щоб підвищити їх цінність, але також забезпечують додаткову деталізацію по горизонталі і вертикалі.

Оскільки обсяг автоматизованих донесень з літаків почав збільшуватися в кінці 1980-х років, ряд великих досягнень також стався в операційних системах, що в значній мірі призвело до необхідності більш ефективного використання зростаючого числа супутникових спостережень з більш високою роздільною здатністю. В цілому, ці досягнення пішли за прогресом від використання методів, які дозволяли обробляти супутникові дані в їх природній формі, до впровадження процедур, які більше даних за більш тривалі періоди асиміляції.

Вплив даних АМДАР на прогнози вітру над іншими частинами Земної кулі показано на рисунку 4.7. Хоча наявні в той час звіти АМДАР були зосереджені в Північній півкулі, дані були корисні для більшості регіонів земної кулі, включаючи тропіки і Південну півкулю. Найбільші поліпшення прогнозів відбулися на крейсерських ешелонах в тропіках і в регіонах з найбільшою концентрацією даних на момент даного дослідження, особливо над Сполученими Штатами, Європою і морськими маршрутами польоту в Північній Америці, а також в цьому районі по Індонезії. Аналогічних поліпшень слід очікувати і в інших областях у міру збільшення доступності даних в майбутньому.[16]

В середньому прогнози для NH покращилися між 200 і 300 гПа. В окремих випадках поліпшення були помітно більше. Для більш тривалих прогнозних періодів вплив знизився на 25-75% на різних рівнях і в різних місцях.

Аналогічні поліпшення та тенденції були також відзначені в прогнозах температури для цих же рівнів для кожного регіону.

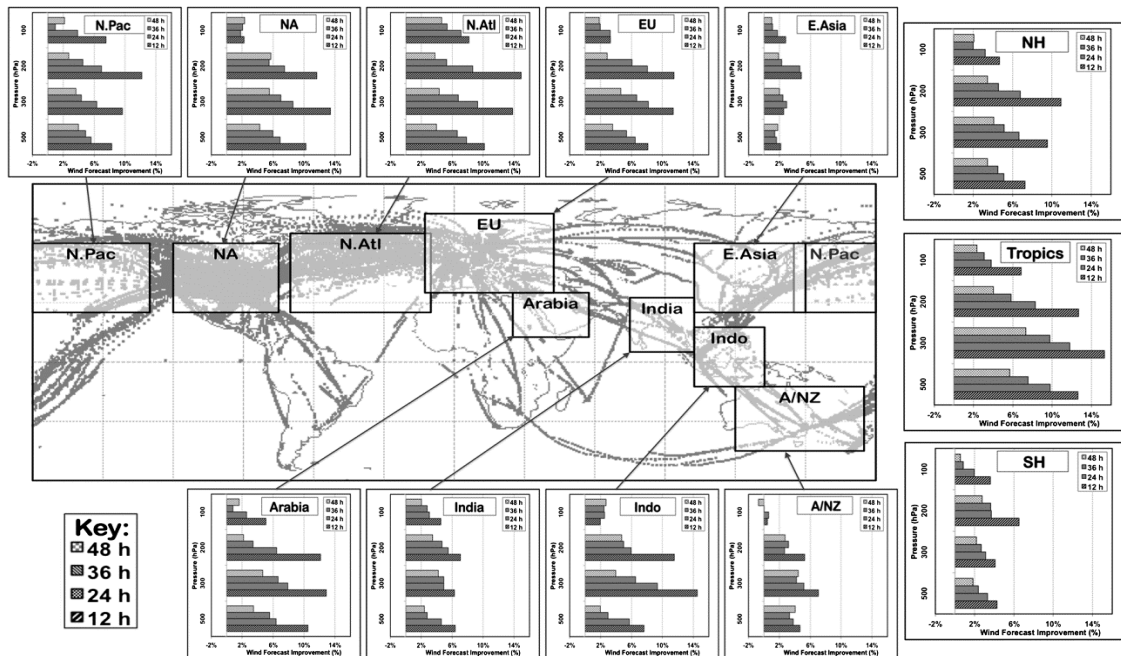


Рис 4.7.- Вплив даних АМДАР на прогнози вітру над іншими частинами Земної кулі

Подібні вдосконалення в глобальних прогнозах не тільки дозволяють авіаційним користувачам коригувати плани польотів, щоб знизити споживання палива і оптимізувати ефективність, але також приносять користь системам чисельного прогнозу середньої дальності, покращуючи фонові поля, використовувані в їх процедурах асиміляції даних.[16]

4.8.3 Вплив точності TAMDAR на чисельний прогноз погоди

Щоб перевірити точність TAMDAR щодо погодних аеростатів та контрольних-вимірювальних приладів літальних апаратів, а також кількісно оцінити вплив TAMDAR на NWP. Було проведено численні незалежні рецензовані дослідження на основі досліджень NOAA та Національного центру атмосферних досліджень (NCAR). [18]

Експерименти із запереченням даних показують, що включення даних TAMDAR може покращити точність прогнозової моделі з найбільшими виграшами, отриманими під час більш динамічних та суворих погодних явищ.

Було виявлено (див рис 4.8), що показники температури TAMDAR були принаймні, якщо не точнішими, ніж дані радіозонда, тоді як спостереження за вітром були дещо менш точними. Показано, що дані TAMDAR підвищують точність прогнозу для США на 30-50% для середньомісячного показника навіть для моделей 3D-Var. [19]

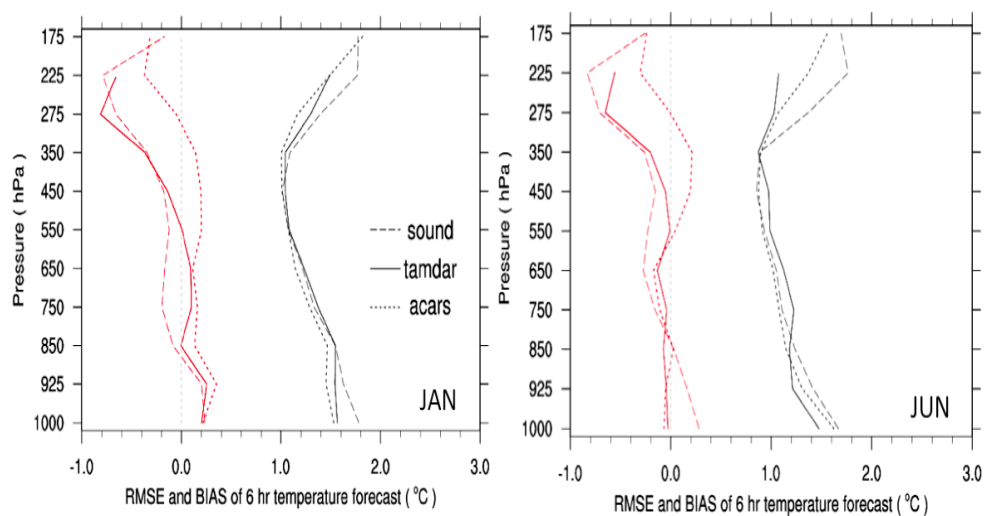


Рисунок 4.8- Порівняння статистики помилок TAMDAR щодо першого припущення GFS NCEP, як з AMDAR, так і з радіозондами.

В даний час одиниці TAMDAR встановлені для відбору проб з інтервалом 300 футів при підйомі та спуску. Цю роздільну здатність можна регулювати в режимі реального часу на будь-який бажаний інтервал. Супутникове підключення до датчика є двостороннім, тому частоти дискретизації, константи калібрування та параметри звітності можна віддалено змінювати з наземного місця. Частота дискретизації в круїзі залежить від часу. Зондування або вертикальні профілі будуються в міру отримання кожного спостереження. Всі обчислення змінних на основі профілю обчислюються, коли літак входить в круїз або дотикується вниз.

Згідно отриманих даних Eurocontrol [20], можна прослідкувати значне зниження кількості трафіку в 2020 році на основі рисунку 4.9, отже це значить, що значне зниження в 2020 році має негативний вплив на збір метеорологічних даних з літаків. Тому слід проаналізувати вплив зниження трафіку на збір метеорологічних даних.

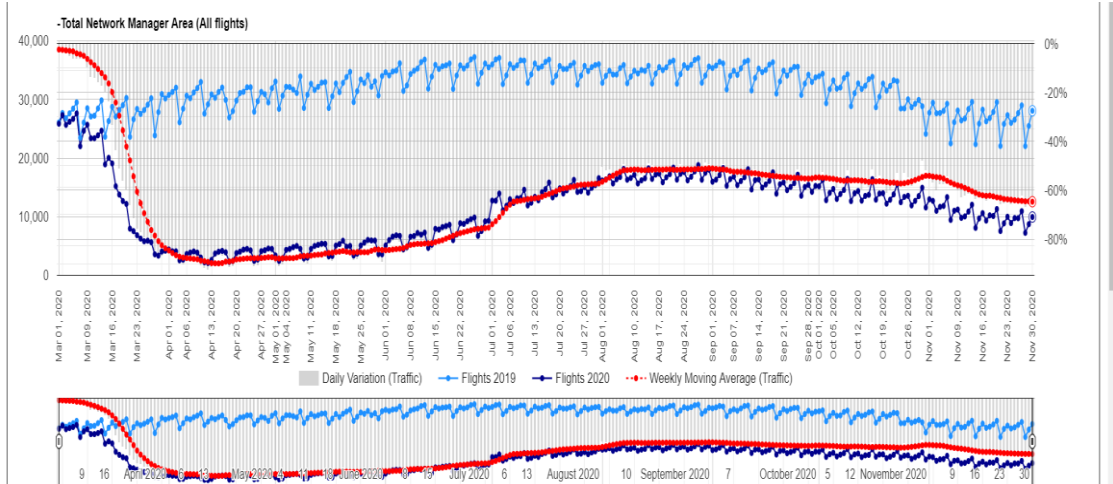


Рис 4.9 - Порівняння кількості польотів 2019 року з 2020 роком
 Для аналізу кількості спостережень було отримано щорічні спостереження на рисунку 4.10. [21]

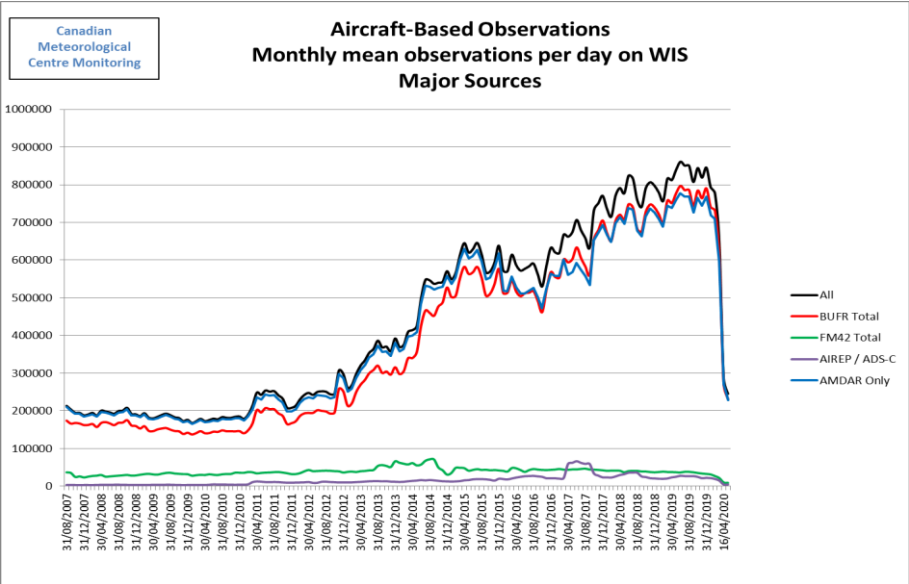


Рис 4.10 – Щомісячні бортові спостереження з 2007 до 2020 року
 Графік показує, що останнім часом, ближче до кінця 2019 року і початку 2020 року, обсяг даних авіаційних спостережень збільшився до історичного

максимуму - понад 850 тисяч спостережень в день на GTS, причому більшість з них складають спостереження AMDAR - близько 750 тисяч спостережень в день.

Однак можна замітити різке падіння рівня спостережень за період з березня по квітень 2020 року і по теперішній час, що є прямим результатом впливу COVID-19 на авіаційну промисловість і авіакомпанії. В цілому обсяг авіаційних спостережень в цілому знизився приблизно до 245 тис.спостережень в день і до 230 тис. спостережень для АМДАР - близько 30% від обсягу грудневих даних для обох видів спостережень.

Зниження спостережень приводить до зменшення точності прогнозу, що дуже важливо для операційних центрів авіакомпаній. Тому для вирішення проблеми компанія FLYHT Aerospace Solutions Ltd надає світовим метеорологічним організаціям тимчасову безкоштовну ліцензію на використання наборів погодних даних метеорологічних даних Тропосферної аерофотографії (TAMDAR) для компенсації нещодавнє зменшення доступних даних. FLYHT вирішив тимчасово ліцензувати безкоштовні метеорологічні дані TAMDAR метеорологічним агентствам у всьому світі для некомерційного використання через свого комерційного партнера, Synoptic Data PBC ("Synoptic"). [22]

Synoptic надає можливість управління розподілом даних серед усіх членів Світової метеорологічної організації (ВМО) за допомогою Глобальної системи зв'язку (GTS). Технічне налаштування та спрощення передачі даних буде впроваджено у співпраці з Метеорологічним бюро Сполученого Королівства. Передбачається, що додаткові дані допоможуть заповнити прогалини в повітряних спостереженнях за погодою в цей час скороченого авіаперельоту. Завдяки співпраці з Synoptic, FLYHT в даний час надає дані про погоду TAMDAR та AMDAR (реле повітряних метеорологічних даних) через дані про погоду AFIRS (Автоматизована система звітності про польоти) до Національної

програми Мезонет (NMP), яка є програмою запису в рамках Національної погоди Обслуговування. [22]

4.9. Висновки до розділу № 4

В цьому розділі виконано оцінку можливостей розширення бази спостереження за рахунок датчиків встановлених на борту літака. На початку оцінили можливість збору метеорологічної інформації, що дало змогу визначити, що система збору даних здійснює автоматизований збір інформації з бортового комп'ютера та системи зондування водяного пара та передає оброблені дані через лінії передач даних.

Основною системою зв'язку, що здатна передавати метеорологічну інформацію є система зв'язку ACARS. Так як, система спостережень AMDAR використовує стандарти зв'язку ACARS і протоколи повідомлень для передачі даних AMDAR з літака на землю і для наземної ретрансляції повідомлень. Також, було оцінено вимоги щодо повідомлень ACARS.

Оцінка витрат на впровадження програми показала, що основними факторами є об'єм та тип даних передані з ПК, комунікаційна згода з авіакомпаніями, та згада авіакомпанії та конкретною лінії передач даних.

Як для доповнення, в роботі надано відповідні літаки, які використовують в дослідницьких цілях, та їх льотно – технічні характеристики, що дало змогу, визначити яким вимогам повинен відповідати літак для виконання польотів в небезпечних метеоявищ та дослідження саме цих метеоявищ.

Також, було розглянуто питання впливу використання бортових спостережень на точність в регіональному та глобальному прогнозі. Було виявлено, що звіти AMDAR завжди роблять позитивний вплив на всі параметри. Але в зв'язку с тим. Що в 2020 році спостерігається значне зниження кількості польотів в усьому світі, тому було оцінено, як саме зниження трафіку впливає на бортові спостереження в світі.

ВИСНОВКИ

Отже, зародження ідеї бере свій початок в в 1943 році, коли два пілоти армійського повітряного корпусу кинули виклик один одному, щоб пролетіти через ураган. Тому, не дивно, що в наш час використання літака в якості мобільного датчика є поширеним.

В наш час існує дві основні системи які дозволяють передавати метеорологічну інформацію. Перша система це AMDAR, яка прозводить автоматизований збір метеорологічних даних та є системою метеорологічних спостережень Всесвітньої метеорологічної організації. Другою основною системою є TAMDAR, що є комерційною, виконує спостереження від незалежного від літака вимірюваного та комунікаційного датчика. Наступною системою є ADS-B, що регулярно передає дані, що містять тип ПК, ідентифікатор повітряного судна, барометричну висоту, різницю між висотою глобальної навігаційної супутникової системи (GNSS) і барометричною висотою, шляхову швидкість і положення літака.

Основною задачею в роботі було проаналізувати та оцінити можливість використання ПК в якості мобільного датчика. Тому, було проаналізовано використання систем спостережень в усьому світі та використання систем за останні 10 років. Аналіз показав, що за останні 10 років використання систем бортового спостереження має стабільний ріст, що позитивно впливає на точність регіонального та глобального прогнозу. Підвищення точності прогнозу має значний вплив на планування польоту та зменшення витрат палива, що зменшує вихід шкідливих газів в атмосферу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Doc. ICAO 8896 Руководство по авиационной метеорологии [Текст] // International civil aviation organization.- Издание десятое — 2015 Глава 7
2. ВМО № 8. Руководство по метеорологическим приборам и методам наблюдений. Изд. — 2014. — 788 с.
3. Требования к осуществлению и функционированию программы AMDAR .- Всемирная метеорологическая организация Технический отчет 2014-02.- Комиссия по основным системам.- Версия 1, март 2014
4. doc. ICAO Приложение 3 Метеорологическое обеспечение международной аэронавигации
5. РУКОВОДСТВО ПО ЛЕТНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ САМОЛЕТА АН-24.
6. Акопов М.Г., Бекасов В.И., Евсеев А.С. и др. Системы оборудования летательных аппаратов. М.: Машиностроение 1995. 496 с.
7. Мазин И. П., Физические основы облечения самолетов, М., 1957;
8. Метеорологическое обеспечение полетов: Учебное пособие (3-е изд. перераб. и доп.). - Кировоград: ГЛАУ, 2010. - 184 с.. 2010
9. Г.П. Лещенко, Г.В. Перцель, Е.Г. Лещенко Метеорологическое обеспечение полетов, 2010
10. Факторы риска программа обучения и подготовки ETR - №20 ВМО – ТД - №1390 Секретариат Всемирной Метеорологической Организации Женева – Швейцария Июнь 2007
11. WMO № 115 AMDAR Onboard Software Functional Requirements Specification (Version 1.1, 2 June 2014)
12. <https://www.indexmundi.c>
13. De Bilt, 2013 | Technical report; TR-336 The use of a commercial ADS-B receiver to derive upper air wind and temperature observations from Mode-S EHS information in The Netherlands Siebren de Haan, Marijn de Haij and Jan Sondij
14. <https://www.aoml.noaa.gov/>

15. EDMUND KEITH STONE AND MALCOLM KITCHEN Met Office, Exeter, United Kingdom Introducing an Approach for Extracting Temperature from Aircraft GNSS and Pressure Altitude Reports in ADS-B Messages
16. Ralph Alvin Petersen ON THE IMPACT AND BENEFITS OF AMDAR OBSERVATIONS IN OPERATIONAL FORECASTING Part I: A Review of the Impact of Automated Aircraft Wind and Temperature Reports
17. <https://amdar.noaa.gov/>
18. Чжан, Х., Х. Ван, Х.-У. Хуанг, Ф. Гао та Н. Джейкобс, 2015: Використання методу суміжної прогнозованої чутливості для оцінки впливу даних TAMDAR на регіональні прогнози, Досягнення метеорології, Ідентифікатор статті 427616, у пресі.
19. Moninger, WR, SG Benjamin, BD Jamison, TW Schlatter, TL Smith, EJ Szoke, 2010: Оцінка регіональних спостережень за повітряними суднами за допомогою TAMDAR. Wea. Прогнозування, 25, 627–645.
20. <https://www.eurocontrol.int/Economics/DailyTrafficVariation-States.html?ectl-public>
21. <https://community.wmo.int/activity-areas/aircraft-based-observations/newsletter>
22. <https://www.globenewswire.com/news-release/2020/03/30/2008228/0/en/FLYHT-to-Distribute-Complimentary-TAMDAR-Data-During-COVID-19-National-Emergency.html>
23. <http://slovopedia.org.ua/29/53414/23600.html>
24. <https://www.aoml.noaa.gov/hrd-faq/#hurricane-v-typhoon>