

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської
та аспірантської підготовки
Кафедра метеорології та кліматології

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: Розвиток небезпечних для польотів вітрових
аномалій над Борисполем

Виконала студентка 2 курсу групи МНЗ-63/ф
спеціальності 8.04010501 Метеорологія
Мисник Ганна Андріївна

Керівник к. геогр.н., проф.
Івус Галина Петрівна

Рецензент д. геогр.н., проф.
Ляшенко Галина Віталіївна

Одеса 2017

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут, факультет магістерської та аспірантської підготовки
Кафедра метеорології та кліматології
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 8.04010501 метеорологія
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач Івус Г.П.
“ 10 ” березня 2017 року

ЗАВДАННЯ
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Мисник Ганні Андріївні

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розвиток небезпечних для польотів вітрових аномалій над Борисполем

керівник роботи к.геогр.н., проф. Івус Галина Петрівна

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ 16 ” січня 2017 р. № 3С

2. Строк подання студентом роботи 1 червня 2017 року

3. Вихідні дані до роботи 1. Дані доплеровського метеорологічного радіолокатора «Метеор-Метеоячейка» (ДМРЛ). 2. Комплект щоденників погоди з 2011 по 2017 рр.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Огляд літературних джерел за темою дослідження. 2. Характеристика умов формування сильного вітру над Україною. 3. Визначення впливу вертикального зсуву вітру в найнижчому шарі атмосфери на зліт та посадку літаків. 4. Оцінка сильного вітру на аеродромі Бориспіль за 2011–2017 рр. 5. Аналіз спостережень і прогнозування зсуву вітру над Борисполем.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень.) Рис. 1.1–2.2 – ілюстрації механізму виникнення сильного вітру з літературних джерел. Рис. 2.3, 2.6 – аналіз сильного та зсуву вітру на аеродромі Бориспіль, Рис. 2.7–2.14 - огляд радіометеорологічного локатора (ДМРЛ) синоптичної ситуації та профілів вітру за 5 січня 2017 р. над аеродромом Бориспіль. Рис. 2.15 – 2.20 – комплект карт за 5 січня 2017 р. Рис. 3.1 – синоптичні ситуації виникнення зсувів вітру.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 10 березня 2017 року**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	<i>Вивчення літературних джерел за темою дослідження</i>	з 13 березня 2017 р.	95	відмінно
2.	<i>Збір та попередня обробка вихідної інформації, складання бази даних до дослідження</i>	березень 2017 р.	95	відмінно
3.	<i>Розрахунок статистичних вітрових даних над Борисполем 2011-2017 рр.</i>	квітень 2017 р.	95	відмінно
4.	<i>Аналіз небезпечних вітрових аномалій за 2011-2017 рр. над Борисполем</i>	квітень 2017 р.	95	відмінно
5.	<i>Типізація вертикального розподілу вітру над Борисполем за інформацією AMDAR.</i>	квітень 2017 р.	95	відмінно
6.	<i>Характеристика зсуву вітру на малих висотах</i>	травень 2017 р.	95	відмінно
7.	<i>Оцінка спостереження та прогнозування зсуву вітру</i>	травень 2017 р.	95	відмінно
8.	<i>Підведення підсумків та підготовка рукопису до друку</i>	25 травня 2017 р.	95	відмінно
9.	<i>Оформлення магістерської роботи.</i>	31 травня 2017 р.	95	відмінно
10.	<i>Підготовка комп'ютерної презентації та доповіді до захисту магістерської роботи.</i>	червень 2017	95	відмінно
11.	<i>Попередній захист магістерської роботи.</i>	червень 2017	95	відмінно
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		95	відмінно

Студент

(підпис)

Мисник Г.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Івус Г.П.

(прізвище та ініціали)

Анотація

Тема: «Розвиток небезпечних для польотів вітрових аномалій над Борисполем»

Автор: Мисник Ганна Андріївна

Актуальність визначається необхідністю виявлення небезпечних вітрових аномалій над аеродромом Бориспіль та їх прогнозу.

Метою даної роботи є виявлення небезпечних для польотів вітрових аномалій нижньої тропосфери над Борисполем, визначення їх структури та оцінка сприятливості комплексу синоптичних та метеорологічних умов до їх створення.

Відповідно до поставленої мети було розв'язано такі **задачі**:

- зроблено аналіз небезпечних вітрових аномалій за 2011-2017 рр. над аеродромом Борисполем
- визначені типи синоптичних процесів, що сприяли формуванню зсуву вітру над аеродромом Бориспіль;
- виявлені особливості циркуляційних умов формування небезпечних вітрових аномалій.

Об'єкт дослідження – вітровий режим нижньої тропосфери над аеродромом Бориспіль.

Предмет дослідження – вітер біля поверхні землі зі швидкістю більше 15 м/с та вертикальний зсув вітру над аеродромом Бориспіль.

Методи дослідження – узагальнення метеорологічної інформації, синоптичний аналіз, типізація синоптичних процесів.

Наукова новизна отриманих результатів.

В даній роботі *вперше* для території України:

- визначені типи синоптичних процесів утворення зсуву вітру;
- виявлені сучасні умови утворення небезпечних вітрових аномалій над аеродромом Бориспіль.

Практичне значення отриманих результатів. Врахування типів синоптичних процесів можуть використовуватись для вдосконалення прогнозу зсуву вітру.

Магістерська робота в обсязі 62 сторінок складається з 3 розділів, висновків, переліку посилань з 20 джерел, двох додатків, містить 24 рисунків та 5 таблиць

Ключові слова: вертикальний зсув вітру, сильний вітер.

Summary

Theme: "Development of dangerous for flights wind anomalies over Boryspil"

Author: Mysnyk H.A.

Urgency of the issue determined by the need to detect dangerous wind anomalies over the airfield Boryspil and their prognosis.

Aim of this study is to identify dangerous fly wind anomalies over the low troposphere Boryspil, determine their structure and evaluation of complex synoptic and favorable weather conditions for their establishment.

According to aim assigned **such tasks** are solved:

- completed the analysis of dangerous wind anomalies over the airfield for 2011-2017 Boryspil;
- identified types of synoptic processes that contributed to wind shear over the airdrome Boryspil;
- detected current conditions for the formation of dangerous wind anomalies over the airfield Boryspil.

Object of scientific research wind conditions the low troposphere over the airfield Boryspil.

Subject of scientific research wind near the ground at a speed of 15 m/s and vertical wind shear over the airfield Boryspil.

Methods of scientific research generalization of meteorological information, synoptic analysis, typing of synoptic processes.

Scientific novelty of results obtained.

In this work for the first time in Ukraine:

- completed types of synoptic processes of wind shear;
- detected modern conditions for the formation of dangerous wind anomalies over the airfield Boryspil advantage

Practical importance of results obtained. Taking into account the types of synoptic processes can be used to improve forecasting of wind shear.

The master thesis of 62 pages consists of three chapters, conclusions, bibliography of 20 sources, contains 24 figures and 5 tables.

Keywords: vertical wind shear, strong wind.

ЗМІСТ

Вступ.....	7
1 Умови формування сильного вітру над Україною.....	9
1.1 Стихійні метеорологічні явища, які пов'язані з сильним вітром.....	9
1.2 Географічний розподіл та синоптичні процеси утворення сильного вітру над Україною.....	11
2 Характеристика небезпечних вітрових аномалій над аеродромом Бориспіль.....	15
2.1 Загальні відомості про вертикальний зсув вітру.....	15
2.2 Характер впливу зсуву вітру на зліт та посадку повітряних суден.....	18
2.3 Аналіз повторюваності та синоптичних умов утворення сильного вітру на аеродромі Бориспіль за 2011–2017 роки.....	22
2.4 Синоптичні ситуації і умови, при яких виникає сильний зсув вітру...	27
2.5 Аналіз повторюваності та синоптичних умов утворення сильного вітру на аеродромі Бориспіль за 2011–2017 роки.....	29
3. Спостереження та прогнозування зсуву вітру.....	43
3.1 Спостереження зсуву вітру з землі.....	43
3.2 Спостереження за зсувом вітру з використанням звичайних метеорологічних приладів.....	44
3.3 Прогнозування зсуву вітру на аеродромі Бориспіль.....	47
3.4 Методика прогнозування зсуву вітру, пов'язаного з фронтами повітряної маси...	48
Висновки.....	52
Перелік посилань.....	53
Додаток А.....	55
Додаток Б.....	56

	7
Вступ.....	8
1 Умови формування сильного вітру над Україною.....	10
1.1 Стихійні метеорологічні явища, які пов'язані з сильним вітром.....	10
1.2 Географічний розподіл та синоптичні процеси утворення сильного вітру над Україною.....	12
2 ВПЛИВ ВЕРТИКАЛЬНОГО ЗСУВУ ВІТРУ АТМОСФЕРИНА ЗЛІТ Т ПОСАДКУ ЛІТАКІВ.....	16
2.1 Загальні відомості про вертикальний зсув вітру.....	16
2.2 Характер впливу зсуву вітру на зліт та посадку повітряних суден.....	19
2.3 Аналіз сильного вітру на аеродромі Бориспіль за 2011 – 2017 роки.....	23
2.4 Синоптичні ситуації і умови, при яких виникає сильний зсув вітру.....	28
3. СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЗСУВУ ВІТРУ.....	44
3.1 Спостереження зсуву вітру з землі.....	44
3.2 Спостереження за зсувом вітру з використанням звичайних метеорологічних приладів.....	45
3.3 Прогнозування зсуву вітру на аеродромі Бориспіль.....	48
3.4 Методика прогнозування зсуву вітру, пов'язаного з фронтами повітряної маси.....	49
Висновки.....	53
Перелік посилань.....	54
Додаток А.....	56
Додаток Б.....	57

ВСТУП

Забезпечення безпеки польотів у різноманітних погодних умовах та ефективне використання авіаційної техніки є головною метою метеорологічного обслуговування цивільної авіації. Інтенсивний розвиток авіаційних технологій та посилення міжнародної співпраці вимагають від метеорологів постійного підвищення якості існуючих прогностичних методик та розробки нових з врахуванням сучасних інформаційних та вимірювальних технологій.

Важливість зсуву вітру для авіації полягає в його вплив на польотні характеристики повітряних суден і, як наслідок, в потенційно несприятливий вплив на безпеку польотів.

Метою магістерської роботи є виявлення низьких небезпечних для польотів вітрових аномалій над Борисполем, визначення їх структури та оцінка сприятливості комплексу синоптичних та метеорологічних умов до їх створення.

Об'єкт дослідження – вітровий режим нижньої тропосфери над аеродромом Бориспіль.

Предмет дослідження – вітер біля поверхні землі зі швидкістю більше 15 м/с та вертикальний зсув вітру над аеродромом Бориспіль.

Методи дослідження – узагальнення метеорологічної інформації, синоптичний аналіз, типізація синоптичних процесів.

Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, переліку посилань та додатків.

По вступу формулюються мета та завдання роботи.

Перший розділ містить в собі загальну інформацію про сильний вітер, його вплив на економічну діяльність суспільства та зв'язок з небезпечними і стихійними гідрометеорологічними явищами.

Другий розділ присвячений аналізу впливу вертикального зсуву вітру в найнижчому шарі атмосфери на зліт та посадку літаків над міжнародним аеродромом Бориспіль у 2011-2017 рр.

Третій розділ складається з оцінки синоптичних умов утворення та прогнозування зсуву вітру над Борисполем.

У висновках представлені результати виконаної роботи.

Перелік посилань складається з 20 літературних джерел.

У додатках наведені допоміжні матеріали.

Кваліфікаційна магістерська робота виконана на кафедрі метеорології та кліматології ОДЕКУ під керівництвом к.геогр.н., проф. Івус Г.П. у рамках науково-дослідницької роботи «Прогнозування небезпечних метеорологічних явищ над південними районами України» (2015-2019 рр., ДР № 0115U006532) під науковим керівництвом к.геогр.н., проф. Івус Г.П.

1 УМОВИ ФОРМУВАННЯ СИЛЬНОГО ВІТРУ НАД УКРАЇНОЮ

1.1 Стихійні метеорологічні явища, які пов'язані з сильним вітром

До небезпечних стихійних явищ відносяться: вітер і шквали – максимальна швидкість $25 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ і більше, на високогір'ї Карпат та в гірських районах Кримського півострова (Плай, Пожежевська, Ай-Петрі, Ангарський перевал) - $40 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ і більше. На Україні сильний вітер спостерігається головним чином в холодний період року з максимумом в січні (23%), майже така ж його повторюваність ранньою весною (22%) і пізньою осінню (19%). Сильний вітер, піднімаючи в повітря пил і сніг, збільшує навантаження на проводи, висотні споруди, погіршує видимість і тим самим ускладнює рух транспорту (рис. 1.1). При сильному вітрі відбувається інтенсивне випаровування, що різко знижує вологість ґрунту.

Певних закономірностей в просторовому розподілі шквалонебезпечних ситуацій для території України не виявлено, хоча вони можуть створюватися майже щорічно (імовірність 77%).

Шквали часто призводять до катастрофічних наслідків, які завдають збитків насамперед сільськогосподарському виробництву та спричиняють полягання зернових посівів, поломку дерев, іноді руйнують споруди і обривають лінії електропередач, призупиняють будівельні роботи.



Рис. 1.1. Схема розвитку шквалу [15]

Наприклад, 11 жовтня 2003 р. сильний вітер, що був обумовлений виходом південного циклону, паралізував життєдіяльність майже півтори тисячі населених пунктів 13 областей України та Автономної Республіки Крим.

Значна повторюваність сильного вітру на південному сході, півдні та в Українських Карпатах і Кримських горах дає підставу розглядати вітер як можливе джерело дешевої енергії. Максимальна швидкість вітру наприкінці ХХ — початку ХХІ століття збільшилась, в окремих регіонах зафіксовано швидкість вітру, що перевищує $45 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ [1].

Смерчі – вихори з вертикальною віссю обертання, що дуже рідко утворюються та важко реєструються. Як правило, смерчі виникають тільки в теплий період року. Однак, у Дніпропетровській області був зафіксований смерч 1 березня 2004 р., який заподіяв значних матеріальних збитків внаслідок руйнування споруд, обриву ліній електропередач і зв'язку, поломки дерев.

За період 1951–2003 рр. зареєстровано над Україною 39 випадків смерчів [17]. Найбільша повторюваність смерчонебезпечних ситуацій характерна для АР Крим, Волинської, Запорізької, Київської, Херсонської, Черкаської областей. Швидкість вітру визначається по руйнівній силі смерчу і досягає в ньому сотні кілометрів на годину.

Швидкість переміщення самого вихору становить $40\text{-}70 \text{ км} \cdot \text{год}^{-1}$, що відповідає швидкості переміщення «рухомих» фронтів та циклонів. Смерчі мають величезну руйнівну силу, часто спричиняють катастрофічні руйнування і призводять до людських жертв.

Шкваловий воріт розміщується в зоні протилежних рухів повітря попереду грозової хмари. Звичайно вихор рухається на висоті 500 м, але іноді знижується до 30-50 м.

Після проходження вихорового валу настає шквал, тобто різке посилення швидкості вітру до $20\text{-}40 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, яке супроводжується зміною його напрямку. При цьому спостерігається значне зниження температури і збільшення тиску внаслідок поширення охолодженого повітря

Сильні пилові (піщані) бурі – перенесення пилу і піску вітром швидкістю $15 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ і більше з висушеної поверхні ґрунту. В Україні пилові бурі виникають щорічно (імовірність 100%), а стихійні – майже раз на два роки (імовірність 50%). Особливо потерпає від них сільське господарство, з полів зноситься шар родючої землі, пошкоджуються посіви.

Пилові бурі погіршують санітарно-гігієнічні умови міст, експлуатацію транспорту. Найбільшого збитку завдають тривалі, так звані «чорні бурі», які діють протягом декількох годин і навіть діб та спостерігаються звичайно раною весною на півдні України. Вони виникають, коли над Чорним морем утворюється малорухома циклонічна зона, а над східними районами Європейської території Росії – сталий антициклон. Таке поєднання баричних зон зумовлює створення штормових східних вітрів у південних районах України, що дмуть декілька днів. Оподи при цьому відсутні, ґрунт швидко висихає і не закріплюється рослинністю.

Сильні хуртовини – перенесення снігу, що випадає або раніше випав, вітром швидкістю $15 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ і більше протягом дня або ночі. Щорічна ймовірність виникнення завірюх в Україні майже 96%.

Сильний вітер, випадіння снігу, а також його вітровий підйом з поверхні порушують нормальну роботу транспорту; в гірських районах хуртовини можуть створити ситуацію, що сприяє сходу снігових лавин, а це, в свою чергу, може спричинити великі руйнування, людські жертви, загибель тварин і рослин. Хуртовини спостерігаються, головним чином, в зоні теплих фронтів циклонів, що активно розвиваються та швидко переміщуються із заходу або з півдня. Звичайно циклон поглиблюється, баричні градієнти у ньому зростають і вітер значно посилюється. Крім того, в передній частині циклону відбувається інтенсивний розвиток висхідних рухів, що призводить до утворення дуже потужної хмарності та рясних опадів.

1.2 Географічний розподіл та синоптичні процеси утворення сильного вітру над Україною

Сильні вітри швидкістю більше $15 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ найчастіше фіксуються у південних та південно-східних областях України, з найбільшою повторюваністю у холодне півріччя. Сильні вітри, що продовжуються більше ніж 20 год., виникають в 24% випадків, від 10 до 20 год - в 35% випадків, від 3 до 10 год. - в 36% випадків. Посилення вітру на термін менше 3 год. спостерігається, як правило, влітку у середині дня. Звичайно воно є результатом впливу добового ходу температури. В 60% випадків швидкість вітру не перебільшує $17 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Швидкість $18-22 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ відмічається у 32% випадків, а вище $22 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ - у 8% випадків. Вітри швид-

кістю більше $28 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ спостерігаються дуже рідко - 1% випадків і, в основному, у південних та південно-східних областях України.

Синоптичні процеси, що обумовлюють сильні вітри на Україні, можна розділити на дві групи. До першої групи можна віднести випадки формування антициклону над центральними або східними областями Росії при активізації циклонів над Середземним та Чорним морями. Друга група - випадки проходження циклонів або глибоких улоговин через територію України.

Процеси першої групи відзначаються значною стійкістю та обумовлюють тривалі і сильні східні та південно-східні вітри в південно-східній частині України, на Азовському морі і на більшій частині Чорного моря. Якщо центр антициклону розташований над східними районами Східної Європи або Казахстаном, від нього на захід, на Україну, спрямовано відріг, при цьому звичайно над сходом України спостерігається зростання, а над заходом - падіння тиску. Якщо центр антициклону розташований над центральними або південними областями Європейської частини Росії, а Чорне море, Туреччину, Середземне море займає велика депресія, окремі циклони переміщуються по Чорному морю. Великі градієнти тиску, які формуються між антициклоном та депресією над Чорним морем, обумовлюють в південних та південно-східних областях України сильні східні та північно-східні вітри. Іноді вони охоплюють всю територію України. Найбільша повторюваність процесів цього типу відбувається на протязі березня та квітня. Переважна швидкість вітру $17-22 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$, максимальна $28-34 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. Тривалість 1-7 днів.

Сильні південно-східні та східні вітри на периферії антициклону супроводжуються пиловими бурями і суховіями. Інтенсивні суховії утворюються в теплий період року в останній стадії антициклогенезу над півднем ЄТР. Тривалість суховійного періоду залежить від часу існування антициклону та депресії над Чорним морем. Найбільш часті та тривалі суховії в Херсонській, Миколаївській, Запорізькій та Луганській областях. Сильні вітри при переміщенні циклонів та улоговин через Україну захоплюють різні райони в залежності від траєкторій. При переміщенні циклонів з заходу, сильні вітри найчастіше захоплюють північно-західну частину України. У випадках переміщення пірнаючих циклонів з північного заходу в їх передній частині спостерігаються сильні південно-західні та західні вітри, а в тилівій частині - північно-західні та північні. Якщо пірнаючий циклон переміщується на східні області Східної Європи, то на Україні вітер посилюється в передній частині або в тилу його улоговини. Швидкість

вітру може досягати $35-40 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$. У випадку виходу південних циклонів сильні вітри на Україні найбільш часті, коли південний циклон зароджується над Середземним морем і зміщується в північно-східному напрямку, через Балкани та захід Чорного моря, наближаючись до західної периферії азіатського антициклону. При наявності ізольованого циклону над Середземним морем або Балканами циклони розвиваються над західною частиною Чорного моря та Малою Азією і переміщуються на південь України. В їх передній частині спостерігається значне падіння тиску, інколи воно досягає $6-7 \text{ гПа}$, а в тилу циклонів зростання тиску сягає $3-5 \text{ гПа}$ за 3 год. Якщо на сході України зберігається відріг високого тиску, то на заході України зростають східні та південно-східні вітри, які після виходу циклону змінюються південними. При зміщенні південних циклонів на крайні західні та північно-західні райони України вітри швидкістю більше $12 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$ спостерігаються рідко.

Сильні південно-східні та східні вітри на периферії антициклону супроводжуються пиловими бурями і суховіями. Інтенсивні суховії утворюються в теплий період року в останній стадії антициклогенезу над півднем ЄТР. Тривалість суховійного періоду залежить від часу існування антициклону та депресії над Чорним морем. Найбільш часті та тривалі суховії в Херсонській, Миколаївській, Запорізькій та Луганській областях. Сильні вітри при переміщенні циклонів та улоговин через Україну захоплюють різні райони в залежності від траєкторій.

При переміщенні циклонів з заходу, сильні вітри найчастіше захоплюють північно-західну частину України. У випадках переміщення пірнаючих циклонів з північного заходу в їх передній частині спостерігаються сильні південно-західні та західні вітри, а в тилівій частині - північно-західні та північні.

Якщо пірнаючий циклон переміщується на східні області Східної Європи, то на Україні вітер посилюється в передній частині або в тилу його улоговини. Швидкість вітру може досягати $35-40 \text{ м} \cdot \text{с}^{-1}$.

У випадку виходу південних циклонів сильні вітри на Україні найбільш часті, коли південний циклон зароджується над Середземним морем і зміщується в північно-східному напрямку, через Балкани та захід Чорного моря, наближаючись до західної периферії азіатського антициклону. При наявності ізольованого циклону над Середземним морем або Балканами циклони розвиваються над західною частиною Чорного моря та Малою Азією і переміщуються на південь України. В їх передній частині спостерігається значне падіння тиску,

інколи воно досягає 6-7 гПа, а в тилу циклонів зростання тиску сягає 3-5 гПа за 3 год.

Якщо на сході України зберігається відріг високого тиску, то на заході України зростають східні та південно-східні вітри, які після виходу циклону змінюються південними. При зміщенні південних циклонів на крайні західні ті північно-західні райони України вітри швидкістю більше $12 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$ спостерігаються рідко.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА НЕБЕЗПЕЧНИХ ВІТРОВИХ АНОМАЛІЙ НАД АЕРОДРОМОМ БОРИСПІЛЬ

2.1 Загальні відомості про вертикальний зсув вітру

Визначення зсуву вітру на малих висотах у найширшому сенсі слова охоплює сукупність переміщень повітря в нижніх шарах атмосфери, від невеликих завихрень і поривів, які можуть впливати на повітряне судно в вигляді турбулентності, до потужного переміщення повітряної маси одного шару відносно сусіднього шару. Широкий діапазон різноманітних явищ, що створюють такі потоки повітря, включає грози, берегові і морські бризи, струменеві течії на малих висотах, гірські хвилі і фронтальні системи. Щоб знайти в даному контексті той спільний знаменник, який пов'язує такі різноманітні явища, необхідно роз'яснити значення терміна «зсув вітру».

Найбільш загальне визначення зсуву вітру є наступне: «зміна швидкості та або напрямку вітру в просторі, включаючи висхідні і низхідні потоки повітря». З такого роз'яснення випливає, що будь-яке атмосферне явище або навіть будь-яка фізична перешкода на шляху переважного повітряного потоку, що приводить до зміни швидкості та напрямку вітру, по суті, є причиною зсуву вітру.

Зсув вітру присутній в атмосфері завжди, і це явище часто можна спостерігати. Прикладами можуть служити шари хмарності на різних висотах, що рухаються в різних напрямках; шлейфи диму, зрізані по висот і рухомі в різних напрямках; обертові зважені частинки або крапельки води у відносно нешкідливих пилових вихорах і надзвичайно небезпечне водяні смерчі і торнадо; «Стіноподібна» передня кромка пилових та піщаних бур і дерева, клоняться у всіх напрямках під раптовими поривами фронт шквали. Всі ці видимі ефекти свідчать про повсюдне присутності в атмосфері зсуву вітру та явищ, які його викликають.

Хоча зсув вітру може бути присутнім в атмосфері на всіх висотах, його наявність на найнижчому рівні - 500 м (1600 фут) - особливо важливо для повітряних суден, які виконують посадку і зліт. На етапах початкового набору висоти і заходу на посадку значення повітряної швидкості і відносної висоти повітряного судна близька до критичного, і тому повітряне судно особливо вразли-

ве до впливу несприятливих наслідків зсуву вітру. Реакція повітряного судна на зсув вітру є надзвичайно складною і залежить від безлічі факторів, включаючи тип повітряного судна, етап польоту, масштаб впливу зсуву вітру щодо розмірів повітряного судна, інтенсивність і тривалість впливу зсуву вітру на повітряне судно.

Після залучення уваги до переважної присутності зсуву вітру в атмосфері і його потенційну небезпеку для повітряних суден для розгляду даного питання в належній перспективі слід підкреслити, що, з огляду на велику кількість посадок і злетів повітряних суден у всьому світі, лише деякі повітряні судна стикаються з труднощами, що приводять до авіаційна подія, і щодо лише незначної частки таких пригод зсуву вітру є одним з факторів, що сприяли створенню аварійних умов. Проте, той факт, що зсув вітру в минулому впливав на авіаційні події, може служити достатньою підставою для того, щоб всі особи, пов'язані з виробництвом польотів, уявляли собі, які важкі наслідки може мати вплив зсуву вітру на льотні характеристики повітряного судна, особливо на етапах посадки і зльоту.

Для підвищення безпеки зльоту та посадки літаків необхідно враховувати зміну вітру з висотою у найнижчому шарі атмосфери, який літак пересікає після відриву від ЗПС при зльоті та в заключній стадії приземлення. Це пов'язано з тим, що в самому нижньому шарі атмосфери може спостерігатися дуже різка зміна вітру з висотою – зсув вітру [7].

Розрізняють вертикальний зсув вітру - зміну горизонтальної складової вітру на заданій висоті, а також зсув вітру в заданому напрямі в просторі. Великі зсуви вітру здібні впливати на траєкторію та режим літака. При спостереженнях на висотній метеорологічній щоглі в м. Обнінск зафіксовано зсув вітру в шарі 8-25 м, який дорівнює $0,45 \text{ с}^{-1}$. Це означає, що за 3-4 с, які потрібні для перетину літаком певного шару, його повітряна швидкість змінюється приблизно на $70 \text{ км}\cdot\text{год}^{-1}$. Критерії інтенсивності зсуву вітру наведені в таблиці. 2.1.

Механізм впливу вертикальних зсувів вітру на літак можна пояснити таким чином. При зміні висоти під час зльоту та посадки літак пересікає рівні, на яких швидкість та напрям вітру значно відрізняються від попередніх. Внаслідок інерції літак продовжує деякий час рухатися з попередньою швидкістю, тому повітряна швидкість (швидкість обтікання) зміниться на величину зсуву вітру,

що в свою чергу приведе до зміни діючих на літак аеродинамічних сил, зокрема підйимальної сили.

Таблиця 2.1 - Критерії для передачі повідомлень про величини зсуву вітру в якісних термінах (за ВМО та ICAO) [7]

Кількісна характеристика	Вплив на управління ПС	Вертикальний зсув вітру, $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$ на 30 м	Горизонтальний зсув вітру, $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$ на 600 м,	Швидкість верт. потоку, $\text{м}\cdot\text{с}^{-1}$
Слабкий	Незначний	0-2	0-2	0-2
Помірний	Значний	2-4	2-4	2-4
Сильний	Істотний	4-6	4-6	4-6
Дуже сильний	Небезпечний	> 6	> 6	> 6

За рекомендацією ICAO напрям зсуву вітру визначається відносно напрямку руху літака (вісі ЗПС). Наприклад, в самому нижньому шарі атмосфери, від рівня ЗПС і до висоти 30-50 м спостерігається сильний поздовжній (уздовж ЗПС) зсув вітру, вітер з висотою збільшується. Для літака, який йде на зниження, це буде від'ємний зсув вітру і він при зниженні буде мати знижену повітряну швидкість, що приведе до його «провалування» та до недольоту відносно ЗПС (рис. 2.1) [9].

Якщо при такому розподілі вітру розглядати зліт, то літак буде набирати висоту по більш стрімкій траєкторії, тобто повинно спостерігатися його «підкидання». При недостатньому зсуві вітру має місце зворотна картина - підкидання літака при посадці та провалювання при зльоті.

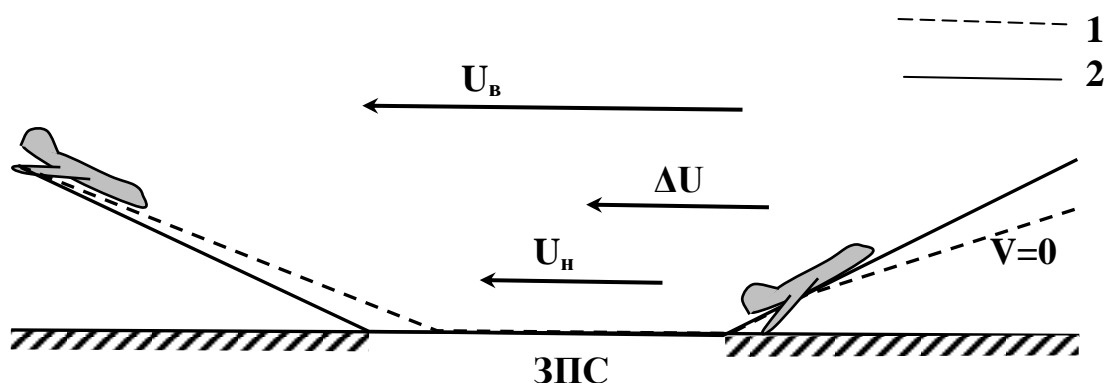


Рис. 2.1. Приклад впливу вертикального зсуву вітру на зліт та посадку.

1 - планова, 2 - дійсна траєкторія руху ПС.

При боковому зсуві вітру відбувається знос літака праворуч або ліворуч відносно ЗПС в залежності від напрямку зсуву вітру.

Великі зсуви вітру в усіх випадках впливають на літак, як сильні раптові пориви вітру, які особливо небезпечні для надзвукових літаків, що мають обмежені можливості при невеликих швидкостях, з якими виконуються зліт та посадка.

2.2 Характер впливу зсуву вітру на зліт та посадку повітряних суден

Найпростішим визначенням вітру є «рух повітря відносно земної поверхні». Вітер вільно дме в тривимірному просторі і повинен розглядатися як вектор, який можна розкласти на три ортогональні складові. Щодо земної поверхні це означає, що складові мають напрямки: північ-південь, схід-захід і вгору-вниз. Якщо даний вектор береться щодо траєкторії польоту повітряного судна, це означає використання наступних напрямків складових: зустрічна або попутна (поздовжні) складові вітру, бічні (поперечні) правою або лівою складові вітру і висхідна або низхідна (вертикальні) складові. (рис. 2.1)

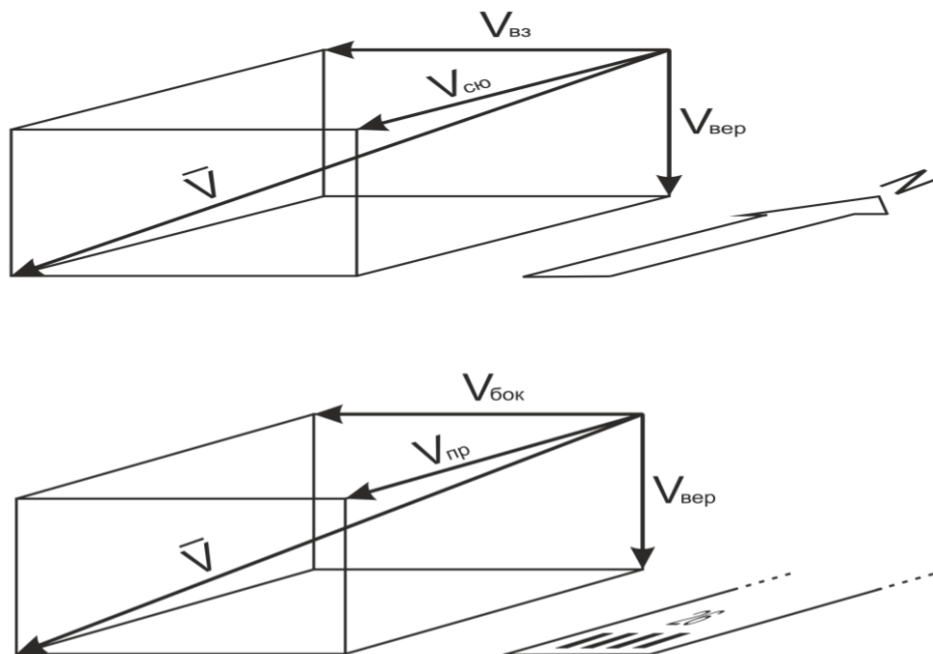


Рис. 2.2. Складові напрямку вітру: зустрічна або попутна (поздовжні), бічні (поперечні) правою або лівою складові вітру і висхідна або низхідна (вертикальні) [14]

За винятком особливих випадків, вертикальна складова вітру в атмосфері зазвичай невелика в порівнянні з однією або обома горизонтальними складовими. Це особливо наочно проявляється біля земної поверхні, де вітер обмежений напрямком в горизонтальній площині. Оскільки зазвичай переважають горизонтальні складові, передбачається, що горизонтальний вітер дме паралельно поверхні землі, ігноруючи, таким чином, вертикальна складова.

Особливі випадки, коли переважає вертикальна складова, виникає при наявності конвективних хмар (особливо при грозах), гірських хвиль та висхідних потоках теплого повітря. Перші два явища мають безпосередній стосунок до зсуву вітру.

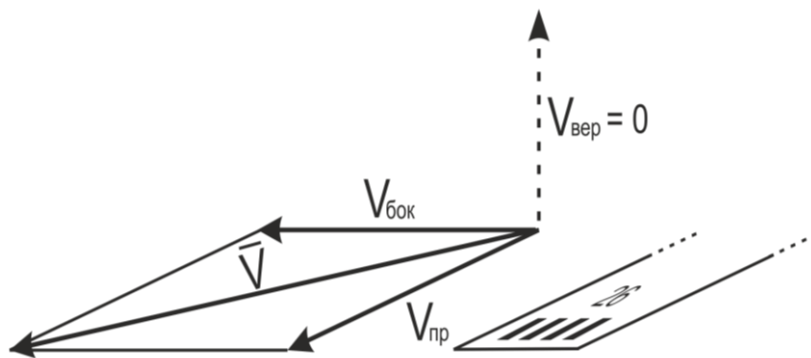


Рис. 2.3. Складові вітру в різних системах координат [14]

Оскільки повітряне судно зазвичай приземляється і злітає проти вітру, вибравши ЗПС з відповідним напрямком, зустрічна, супутня або повздовжня складова вітру в переважній більшості випадків переважає над бічною або поперечною складовою. Цим пояснюється той факт, що основний упор зазвичай робиться на зміни зустрічній складовій вітру, за винятком особливих випадків, коли переважає вертикальна складова (висхідний або низхідний потік). Крім того, при розрахунку зсуву вітру над аеродромом необхідно враховувати напрям ЗПС, що означає визначення всіх векторів зсуву щодо курсів ЗПС і таким чином уявлення зсуву у вигляді зустрічних або попутних складових.

Зміна середнього (або переважного) вітру на шляху від однієї точки опору в просторі до іншої. Короточасні зміни вітру щодо середнього значення напрямки і швидкості зазвичай називають "відхиленнями" від переважаючого вітру. Такі відхилення вітру носять короточасний характер, на зразок завихрень; хоча завихрення, безсумнівно, пов'язані з зсувом вітру. Оскільки вони за своїм

масштабом менші повітряного судна, то їх вплив на нього проявляється лише у вигляді бовтанки.

Таким чином, масштаби впливу зсуву вітру щодо загальних розмірів певного повітряного судна грають принципово важливу роль.

З вищевикладеного можна також зробити висновок, що, в той час як будь-яка турбулентність пов'язана із зсувом вітру, нехай навіть в дуже малих масштабах, проте зрушення вітру, особливо великомасштабний, не обов'язково включає турбулентність. Зсув вітру - це не просто одна з форм турбулентності при ясному небі; більш того, зсув вітру такого масштабу, який впливає на льотні характеристики повітряного судна, не обов'язково передбачає наявність турбулентності.

Зсув вітру - це зміна напрямку та швидкості вітру в просторі, включаючи висхідні і низхідні потоки, яка визначається векторної різницею швидкості і напрямку вітру в двох точках, віднесених до відстані між ними. Залежно від орієнтації точок в просторі і напрямку руху літака відносно ЗПС розрізняють вертикальний, горизонтальний і бічний зсув вітру.

Якщо посадка і зліт відбуваються строго при зустрічному вітрі, то путьова швидкість буде дорівнювати різниці повітряної швидкості і швидкості вітру. Посадка літака при сильному зустрічному вітрі супроводжується збільшенням повітряної швидкості при зниженні (рис. 2.4). Літак пересуватиметься вище глісади зниження і можливий переліт заданої точки приземлення і викочування за межі ЗПС [14].

Зліт літака при слабкому зустрічному вітрі супроводжується падінням повітряної швидкості з висотою. В цьому випадку відбувається як би провалювання літака. При слабкому зустрічному вітрі, при посадці літака, повітряна швидкість зменшується при зниженні, що також призводить до зменшення підйомної сили. Літак буде летіти нижче глісади, та можливий «недоліт» до заданої точки приземлення.

Зліт літака при сильному зустрічному вітрі відбувається зі зростанням повітряної швидкості ВС з висотою, що призводить до збільшення крутизни траєкторії набору висоти.

Бічні зсуви вітру, спрямовані під кутом до траєкторії руху літака і обумовлені різкими змінами напрямку вітру з висотою, можуть зробити істотний вплив на зліт і посадку. Виникає тенденція до зміщення літака з осьової лінії ЗПС і догляду вліво або вправо від осі. При посадці може статися дотик землі

поруч з ЗПС, а при зльоті - бічний зсув за межі сектора безпечного набору висоти.

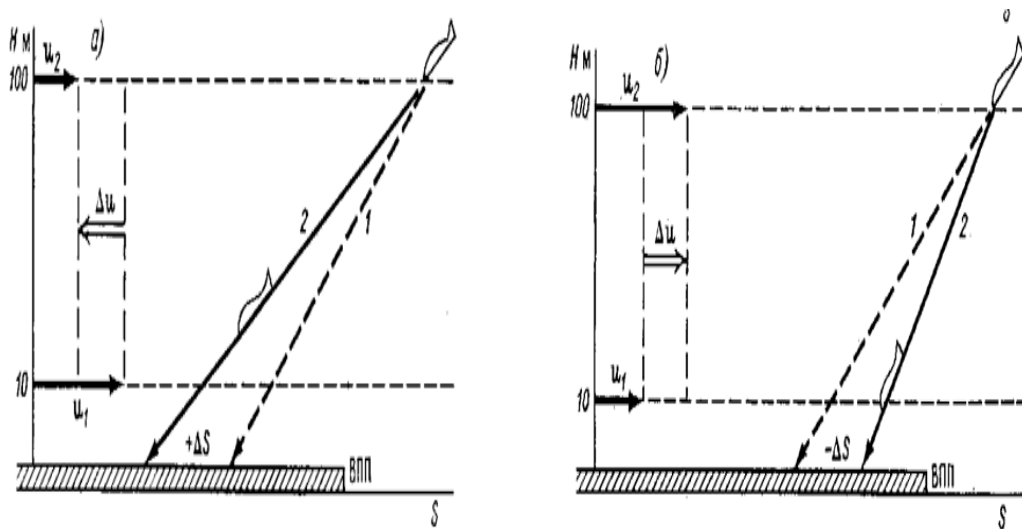


Рис. 2.4. Вплив зсуву вітру в приземному шарі на точність приземлення посадка при сильнішому зсуві вітрі.

1-планована, 2- справжня глісада зниження

Горизонтальні зсуви вітру спостерігаються уздовж ЗПС, коли з ряду причин можуть виникнути зони різкого посилення вітру. При попаданні в них літак зазнає впливу, подібному від вертикальних зсувів вітру. У разі різкого збільшення швидкості зустрічного вітру при посадці, літак може підкидати, а при ослабленні він може провалюватися.

Вертикальні потоки повітря, що виникають в нижньому шарі атмосфери, здатні викликати переміщення або кидки літака у вертикальній площині, які можуть становити небезпеку при зльоті і посадки через близькість землі і обмежені можливості маневру літака.

Особливо небезпечним є раптова зміна вітрового режиму в приземному шарі вздовж траєкторії руху літака, яка може виявитися несподіваним для екіпажу. Перетинаючи самий нижній шар атмосфери в такий найкоротший час, що обмежений запасом висоти, швидкості і роботи двигунів не завжди дозволяє своєчасно парирувати впливом різкої зміни вітру, що стало в ряді випадків однією з головних причин льотних пригод. У зв'язку з цим, в спільних рішеннях Комісії з авіаційної метеорології ВМО та ICAO, вказується на необхідність по-

відомлення екіпажам докладної інформації про зміни вітру в нижніх шарах атмосфери для зльоту і заходу на посадку.

Льотний склад, під час передпольотної підготовки, повинен враховувати синоптичні умови, що можуть сприяти виникненню сильних зсувів вітру при зльоті та посадці повітряного судна, тому що зсув вітру відноситься до небезпечних для авіації умов, які не мають видимих ознак та виникають несподівано.

2.3 Повторюваність та синоптичні умови утворення сильного вітру на аеродромі Бориспіль за 2011–2017 роки

Для аналізу процесів формування сильного вітру над аеродромом Бориспіль використанні данні про штормовий вітер за 2011–2017 роки, отже повторюваність поривів вітру 15 м/с і більше представлена у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Повторюваність (к.в.) сильного вітру на аеродромі Бориспіль

Місяць	Кількість випадків штормового вітру						Середня кількість випадків
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Січень	0	0	0	4	4	4	2,0
Лютий	0	1	0	0	1	5	1,2
Березень	0	9	7	5	1	4	4,3
Квітень	5	2	4	0	8	6	4,2
Травень	5	7	4	5	2	5	4,7
Червень	6	4	2	2	4	3	3,5
Липень	3	0	0	2	2	3	1,7
Серпень	1	4	0	2	1	1	1,5
Вересень	0	0	3	1	1	0	0,8
Жовтень	0	2	1	1	1	4	1,5
Листопад	1	1	2	0	3	2	1,5
Грудень	1	1	6	2	4	4	3,0
Рік	22	31	29	24	32	41	29,8

В середньому за рік на аеродромі Бориспіль спостерігається близько тридцяти днів з поривами вітру, що досягли 15 м/с. Данні дослідження представлені на рис.2.2.)

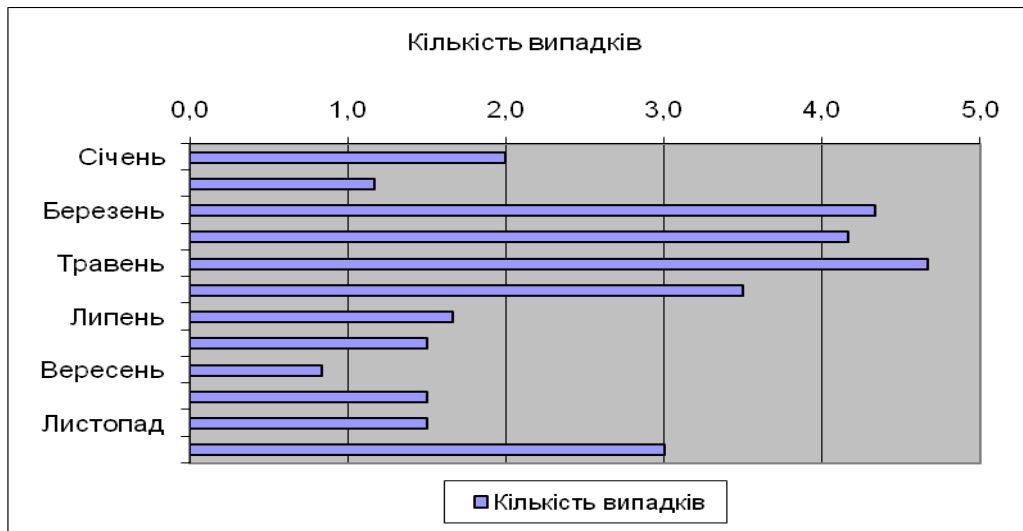


Рис 2.2. Річний розподіл кількості днів з сильним вітром на аеродромі Бориспіль

Найбільша кількість днів з сильним вітром припадає на весняні місяці та становить, в середньому, більше чотирьох випадків на місяць. Найменша у вересні - менше одного випадку протягом періоду досліджень. У холодне півріччя пориви вітру пов'язані з посиленням баричного градієнту та з інтенсивною адвекцією холодного повітря. Влітку певна кількість випадків пов'язана з конвективною діяльністю, тобто є шквалом.

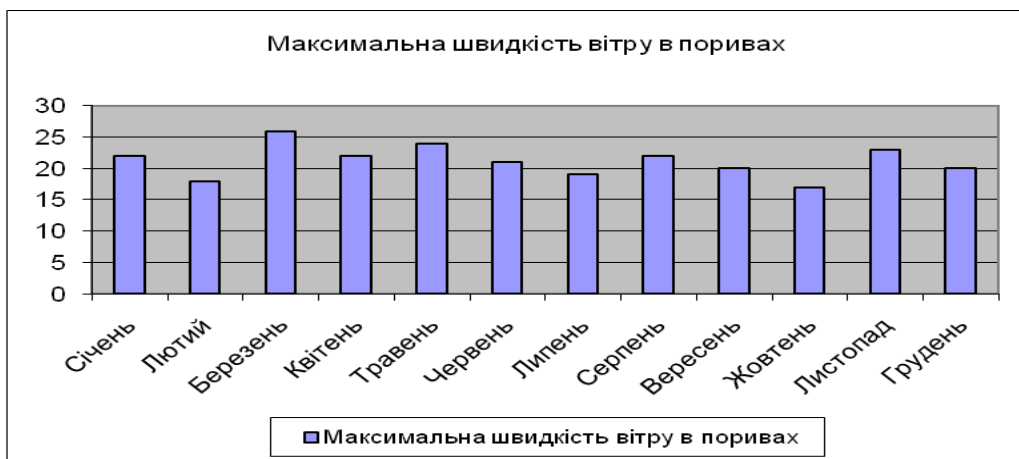


Рис. 2.3. Максимальна швидкість вітру в поривах за 2011–2017 рр.

Найсильніший вітер спостерігався на аеродромі Бориспіль 15 березня 2012 р. і досягав 26 м/с під час сильної хуртовини, що утворилася під впливом пересування південного циклону. Максимальна швидкість вітру в поривах на аеродромі Бориспіль представлена в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Максимальна та середня швидкість вітру (м/с)
при поривах на аеродромі Бориспіль

Місяці	Роки						2011- 2016
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Максимальна швидкість вітру при поривах, м/с							
Січень				20	22	19	22
Лютий		16			15	18	18
Березень		26	22	23	17	17	26
Квітень	19	18	15		22	19	22
Травень	16	16	18	24	16	18	24
Червень	17	21	17	17	16	16	21
Липень	19			18	15	16	19
Серпень	16	20		18	22	15	22
Вересень			20	19	15		20
Жовтень		17	16	15	15	17	17
Листопад	23	15	15		19	17	23
Грудень	15	15	20	15	17	15	20
Рік	23	26	22	24	22	19	26
Середня швидкість вітру при поривах, м/с							
Січень				17,3	17,3	16,3	16,9
Лютий		16,0			15,0	15,8	15,6
Березень		17,8	17,3	19,0	17,0	15,5	17,3
Квітень	17,2	17,0	15,0		16,9	16,7	16,6
Травень	15,2	15,7	17,3	18,4	16,0	16,0	16,4
Червень	15,8	17,8	16,0	16,0	15,8	15,3	16,1
Липень	16,7			17,0	15,0	15,3	16,0
Серпень	16,0	17,0		16,5	22,0	15,0	17,3
Вересень			17,3	19,0	15,0		17,1
Жовтень		16,0	16,0	15,0	15,0	15,8	15,6
Листопад	23,0	15,0	15,0		17,7	16,0	17,3
Грудень	15,0	15,0	16,0	15,0	16,3	15,0	15,4
Рік	17,0	16,4	16,2	17,0	16,6	15,7	16,5

Характеристика сильного вітру над Борисполем за перше півріччя 2017 р. з урахуванням напрямку, середньої швидкості та максимального пориву вказані в табл. 2.4, з чого випливає переважне посилення вітру північних, південних та західних румбів, на які припадали максимальні швидкості.

Таблиця 2.3 - Данні сильного вітру над Борисполем за 2017 р.

Румби	Напрямки, румби	Кількість випадків	Середній вітер, м/с	Максимальний порив, м/с
1	Пн	33	6,7	15
2	Пн-Сх	14	5,1	14
3	Сх	12	5,7	12
4	Пд-Сх	6	5,2	11
5	Пд	25	7	16
6	Пд-Зх	20	6,9	17
7	Зх	25	7,4	18
8	Пн-Зх	16	7,3	21

Найбільша повторюваність сильного вітру (33 %) приходить на північний вітер (рис. 2.4) з значними частками західного та південного – по 25 %, тобто 83 % приходить на вказані напрямки.

Враховуючи просторову орієнтацію обох ЗПС на аеродромі Бориспіль (південь-північ) можна визначити, що повторюваність сильного бокового вітру становила 37 %, з них 25 % приходилася на західний вітер.

Як видно з рис. 2.5, максимальний вітер за перше півріччя 2017 р. переважно приймав північно-західний та західний напрям, з максимальним значенням 21 м/с (10 квітня 2017 р.) при проходженні над Києвом теплового сектору. Найменші пориви вітру були південно-східними за швидкістю до 12 м/с. Спостерігається пряма кореляція між середньою швидкістю та максимальними поривами вітру, а найменші пориви супроводжуються найменшою середньою швидкістю.

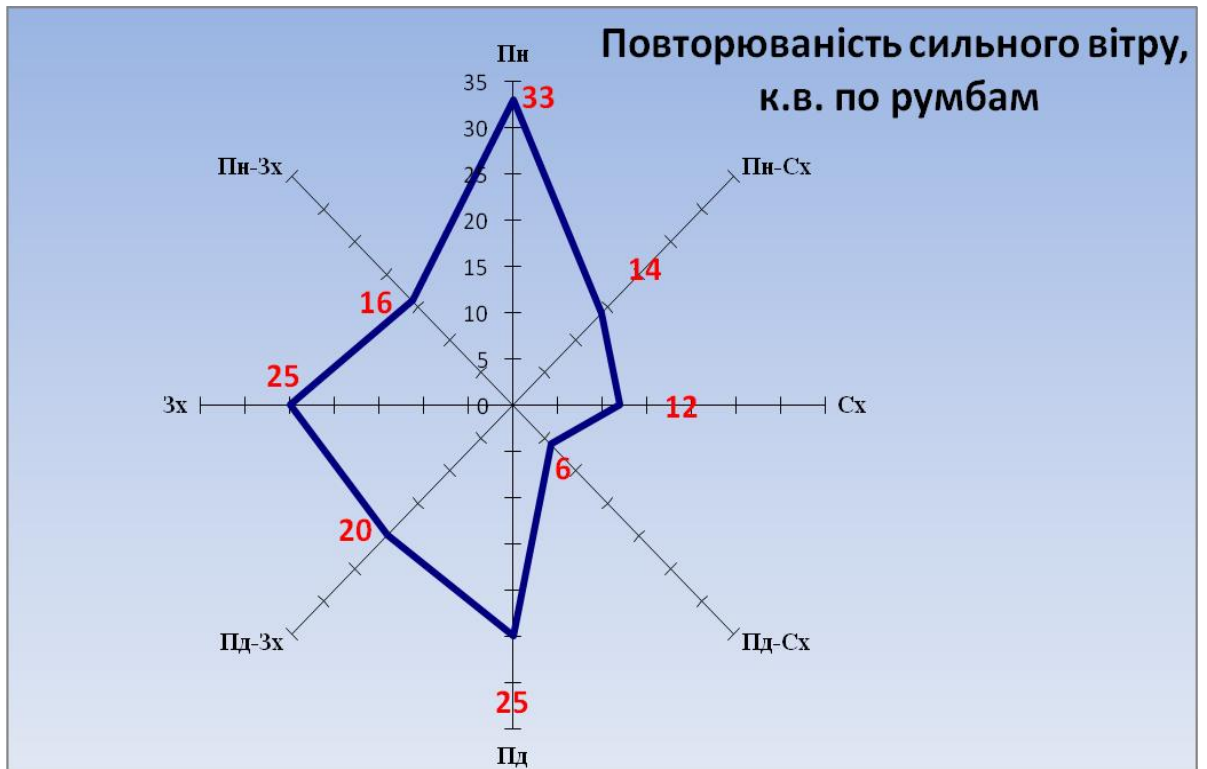


Рис. 2.4. Повторюваність сильного вітру за 2017 р. над аеродроєм Бориспіль



Рис. 2.5. Середній та максимальний вітер по румбах за 2017 р. над аеродроєм Бориспіль

Сильний вітер виникає при збільшенні баричного градієнту та при пересування фронтальних розділів. Як видно з рис 2.6, найчастіше над Борисполем спостерігалися посилення вітру більш ніж 15 м/с у наступних синоптичних ситуаціях: гребінь антициклону, улоговина та теплий сектор циклону. Середній вітер при цих ситуаціях визначався у межах 7-8 м/с.

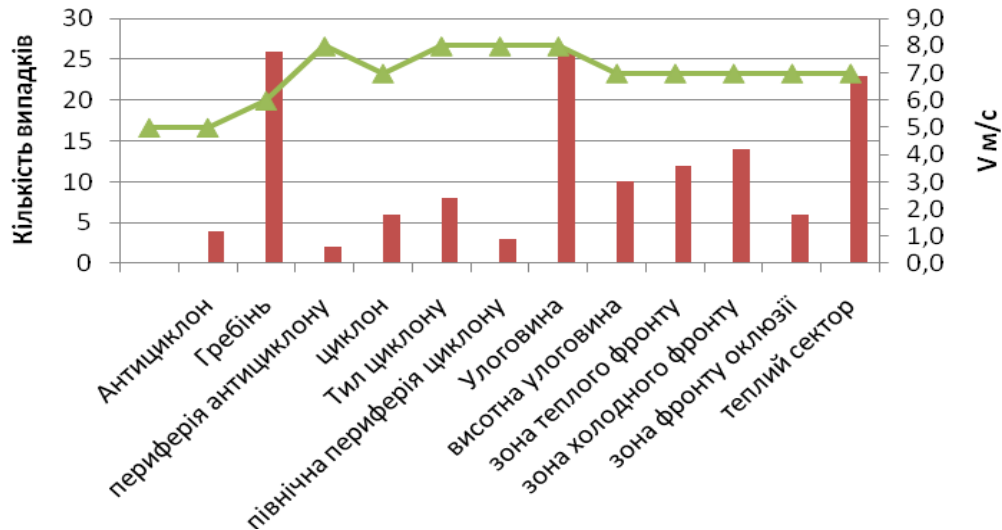


Рис. 2.6. Повторюваність синоптичних ситуацій під час сильного вітру та його швидкість середнього вітру над Борисполем у першу половину 2017 р.

Менш за все посилення вітру відбувалися під впливом тилової частини антициклону та північної периферії циклону, при середньому вітру 7-8 м/с.

2.3 Аналіз синоптичної ситуації виникнення сильного вітру за допомогою метеорологічного радіолокатора (ДМРЛ)

Вперше в Україні в аеропорту Бориспіль 29 листопада 2007 р. встановлено доплерівський метеорологічний локатор нового покоління „Метеор-Метеоячейка”, основне призначення якого – одержання інформації про небезпечні метеорологічні явища (грози, град, шквал, смерч, сильні опади, зсуви вітру, турбулентність, обледеніння та інші характеристики), які впливають на без-

пеку польотів літаків, а також для визначення швидкості і напрямку переміщення небезпечних осередків та своєчасне попередження про їх виникнення.

Перший метеорологічний локатор МРЛ-1 вітчизняного виробництва на території України було встановлено в 1970 р. в аеропорту Бориспіль на АМСЦ Київ Центральна. В 1989 р. на заміну МРЛ-1 в УАМЦ було встановлено новий метеолокатор МРЛ-5. Тоді це був найсучасніший локатор, виготовлений в СРСР, в якому було втілено всі напрацювання, отримані при експлуатації метеолокаторів МРЛ-1 і МРЛ-2, та врахована можливість його автоматизації в подальшому [18].

В 1999 році вперше в Україні МРЛ-5 модернізовано автоматизованим комплексом АМРК "Метеоячейка", призначення якого — забезпечення синоптиків, екіпажів та автоматизованих систем управління повітряним рухом інформацією про хмарність і небезпечні явища погоди, що супроводжують конвективну хмарність. Інформація має високу надійність та оперативність, надається у найбільш зручному для користувача вигляді. Спеціальне програмне забезпечення комплексу дозволяє експлуатувати МРЛ в дистанційному режимі управління і на основі аналізу виміряних радіолокаційних характеристик метеоб'єктів одержувати таку інформацію:

- типи радіоехо хмарності і пов'язані з нею явища;
- швидкість і напрямок переміщення для поля радіоехо;
- тенденцію зміни поля радіоехо;
- висоту верхньої межі хмарності;
- інтенсивність опадів;
- кількість опадів;
- визначення видимості;
- оцінку зледеніння в хмарах;
- величину очікуваного шквалистого посилення вітру при наявності конвективної хмарності.

Цінність радіолокаційної інформації суттєво збільшується при об'єднанні даних декількох автоматизованих радіолокаторів і побудови композитних карт з періодом оновлення інформації від 30 хвилин до 3-х годин (в залежності від складності синоптичних умов). В такому разі з'являється можливість оперативного слідкування за розвитком процесів синоптичного масштабу — атмосферних фронтів, ліній шквалу, зони опадів. Робоча станція "МАРС" ("Метеороло-

гические автоматизированные радиолокационные сети”) є автоматизованим робочим місцем для складання композитних карт на основі об'єднання даних декількох автоматизованих метеорологічних комплексів АМРК. Вона була встановлена в УАМЦ в 2003 році і складалася з 3-х АМРК — Мінськ, УАМЦ, Запоріжжя. На даний час система “МАРС” складається з 11 АМРК: Санкт-Петербург, Внуково, Калуга, Мінськ, УАМЦ, Запоріжжя, Ростов, Анапа, Краснодар, Сочі, Мінеральні Води.

АМРК та система “МАРС” постійно удосконалювались, розширювали зони, охоплені радіолокаційною інформацією, почали наноситись на карти штормова та фактична інформація метеостанцій, з'явилася можливість перегляду і друкування карт з урахуванням рельєфу, адміністративних районів і метеостанцій, що значно покращило інформативність карт. Допплерівський метеорологічний радіолокатор “Метеор-Метеоячейка” (ДМРЛ) працює в автоматичному режимі з періодом оновлення інформації 10 хвилин. В ДМРЛ використовуються режими “відображеність” і “доплерівська швидкість”. Спеціальне програмне забезпечення ДМРЛ “Метеор-Метеоячейка” виконує такі функції:

- обробка первинних даних радіовідбиття;
- інтерпретація радоехо метеоутворень;
- виявлення радоехо конвективної хмарності;
- класифікація радоехо відповідно до заданих алгоритмів;
- обчислення критеріїв гроzoneбезпечності;
- формування блоків інформації, яка призначається для відображення на

АРМ синоптика-прогнозиста, синоптика на вильотах, для служб керівництва та управління польотами (АС УПР), консультацій льотного складу, а також для передачі в канали зв'язку;

- вимірювання опадів;
- визначення радіальних швидкостей.

ДМРЛ “Метеор-Метеоячейка” - це надійна техніка нового покоління, де враховано досвід експлуатантів, практиків-метеорологів та новітні досягнення в радіоелектроніці останнього десятиріччя.

Максимальна дальність визначення метеооб'єктів в режимі “відображення” складає 500 км. В цьому режимі можна одержати такі метеорологічні продукти: карти метеорологічних явищ, висоту верхньої межі хмарності, відображеність радіовідбиття на різних рівнях (від 1 до 11 км по вертикалі), видимість

в опадах, зони з небезпечними конвективними явищами (сильними зливовими опадами, випадками грози, граду, шквалу, смерчу), зони зледеніння, гідрологічні продукти: карти контурів зони опадів, карти кількості опадів на заданій площі за виділений період часу по адміністративних районах або по пунктах.

В доплерівському режимі максимальна дальність складає 250 км і дозволяє одержати карти радіальних та відтворених швидкостей на різних рівнях, ширини спектру, зсуву вітру в горизонтальних та вертикальних площинах [18].

За рахунок введення в програмне забезпечення ряду поправок: на кривизну Землі, послаблення в опадах, яскраву смугу, блокування променя та незаповнений промінь, тримірну карту місцевих перешкод, статистичний фільтр місцевих перешкод, розповсюдження хвиль та інших - значно покращилася точність вимірювань.

Розглянемо синоптичну ситуацію над аеродромом Бориспіль за 5 січня 2017 року на якій спостерігався сильний сніг, очікувався сильний вітер та сильний зсув вітру. Для допомоги при опису синоптичної ситуації використовуємо данні метеорологічного радіолокатора (ДМРЛ) а особливо карту метеоявищ та профілі вітру за якими можемо виявити зсув вітру. Данні беремо за 00; 06; 12; та 18 UTC. Для повного аналізу ситуації використовуємо набір синоптичних приземних карт та карту штормів над Україною також розглянемо данні радіозондування.

Аналіз починаємо з попередньої доби 4 січня 2017 року. Велику роль для аналізу синоптичної ситуації та складання прогнозу мають штормові оповіщення які ми використали для аналізу даної ситуації. Отже розглянемо огляди ДМРЛ які приведені на рис. 2.7–2.20 та приземні карти, які представлені на рис. 2.15–2.18, дані радіозондування та карта штормів (рис. 2.19 та 2.20).

За даними карти приземного аналізу за 00 UTC 4 січня 2017 р. погоду Центральної Європи і Європейської територія Росії визначали обширна та багаточентрова депресія з центрами:

- над Середземним морем, окреслені трьома ізобари, мінімальний тиск в центрі становив 993,7 ГПа;
- по півдню Балтійського моря - окреслен однієї ізобарою, мінімальний тиск - 1003,4 гПа;
- в районі Москви - окреслено однієї ізобарою з мінімальним тиском 1004 гПа.

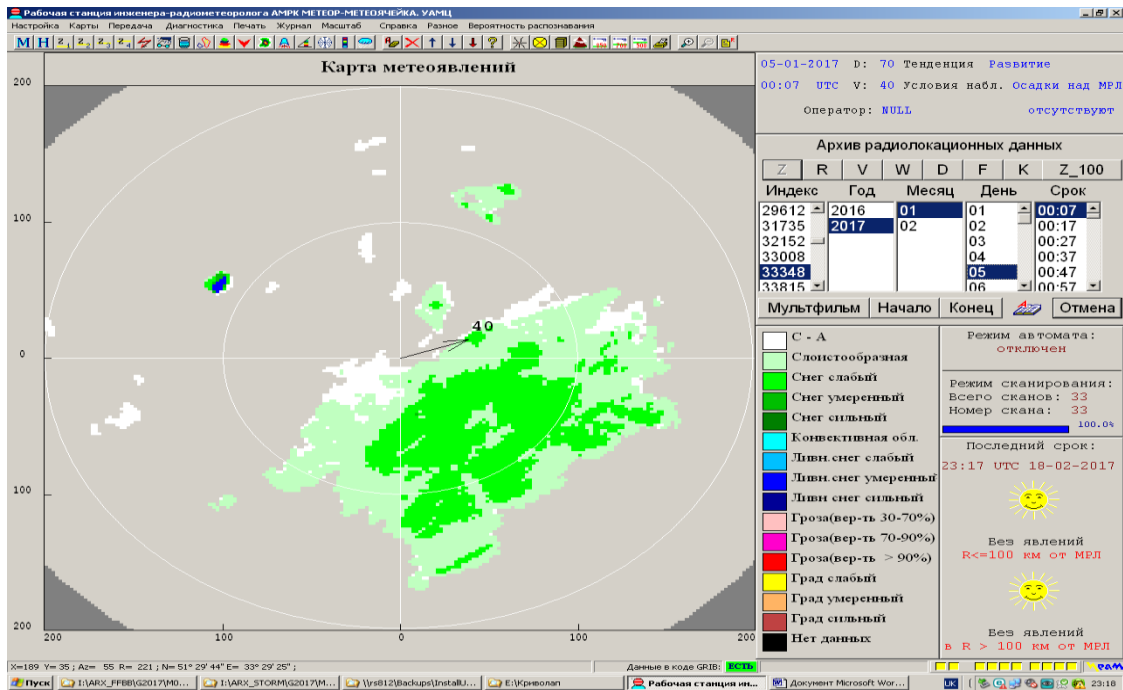


Рис 2.7. Обзор радіометеорологічного локатора (ДМРЛ) синоптичної ситуації за 00:07 UTC 5 січня 2017 р. над аеродромом Бориспіль

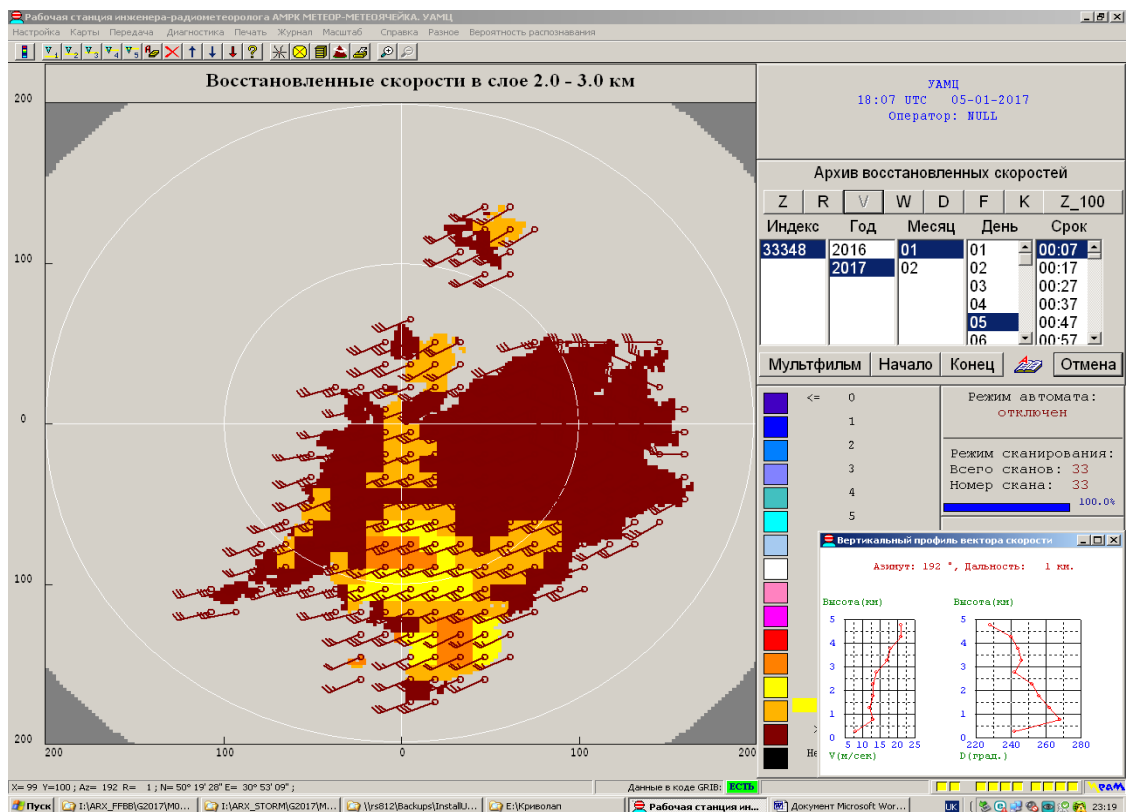


Рис 2.8. Дані радіометеорологічного радіолокатора (ДМРЛ) профілю вітру за 00:07 UTC 5 січня 2017 р. над аеродромом Бориспіль

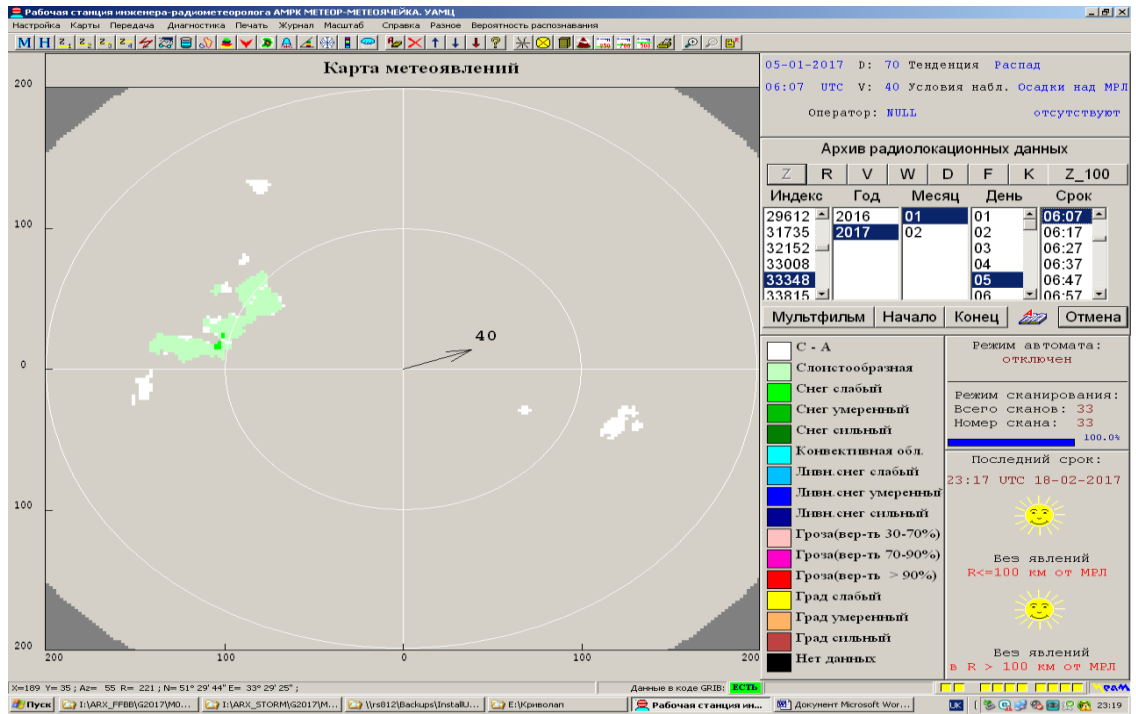


Рис 2.9. Обзор радіометеорологічного локатора (ДМРЛ) синоптичної ситуації за 06:07 UTC 5 січня 2017 р. над аеродромом Бориспіль

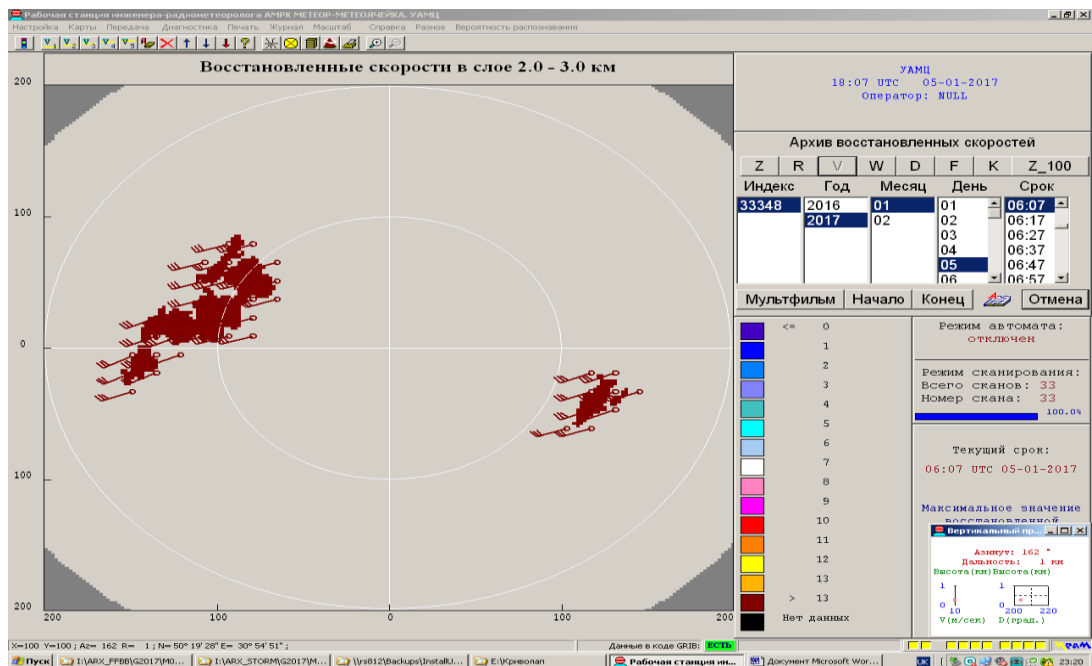


Рис 2.10. Дані радіометеорологічного радіолокатора (ДМРЛ) профілю вітру за 06:07 UTC 5 січня 2017 р. над аеродромом Бориспіль

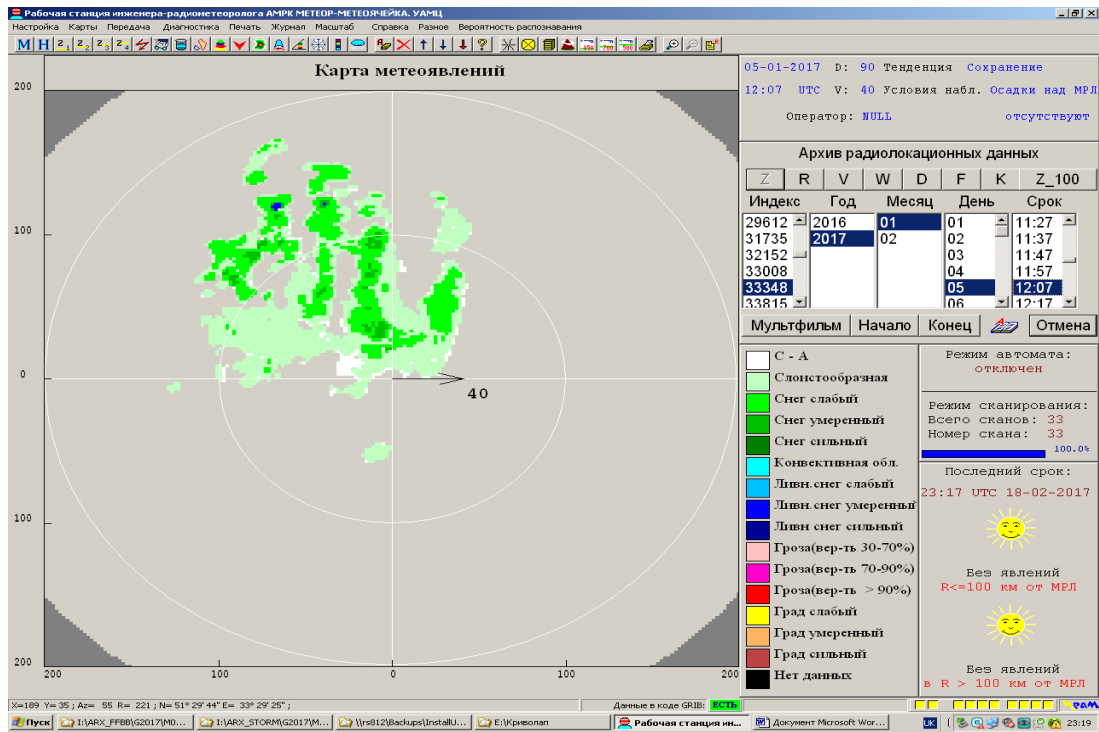


Рис 2.11. Обзор радіометеорологічного локатора (ДМРЛ) синоптичної ситуації за 12:07 UTC 5 січня 2017 р. над аеродромом Бориспіль

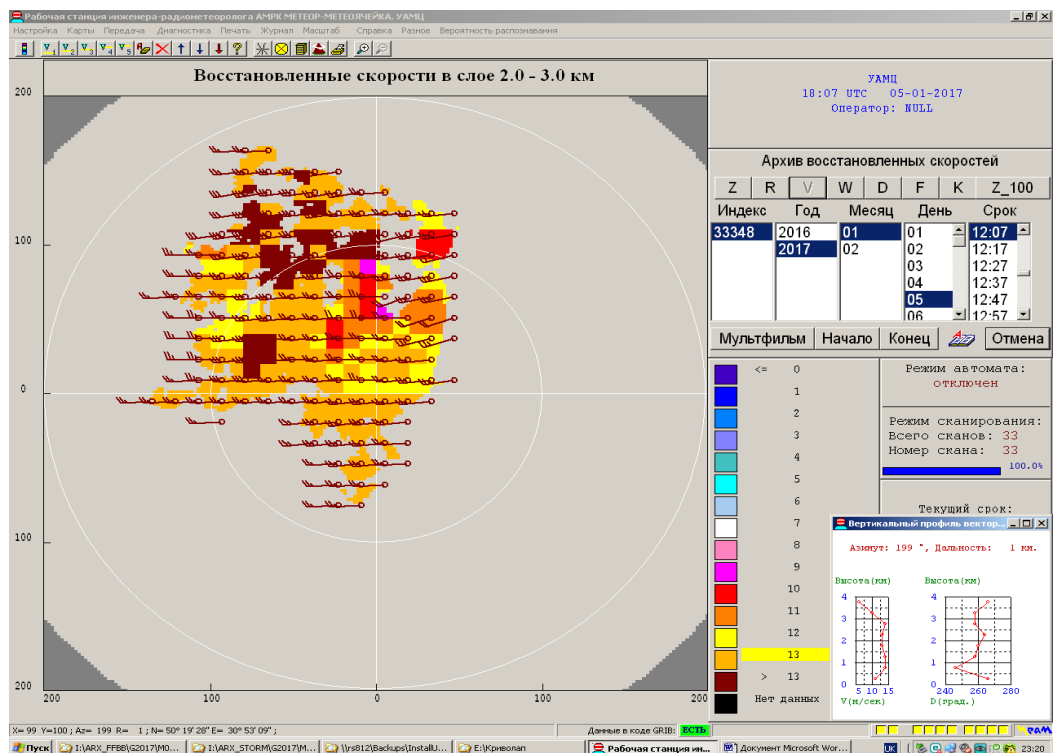


Рис 2.12. Дані радіометеорологічного радіолокатора (ДМРЛ) профілю вітру за 12:07 UTC 5 січня 2017 р. над аеродромом Бориспіль

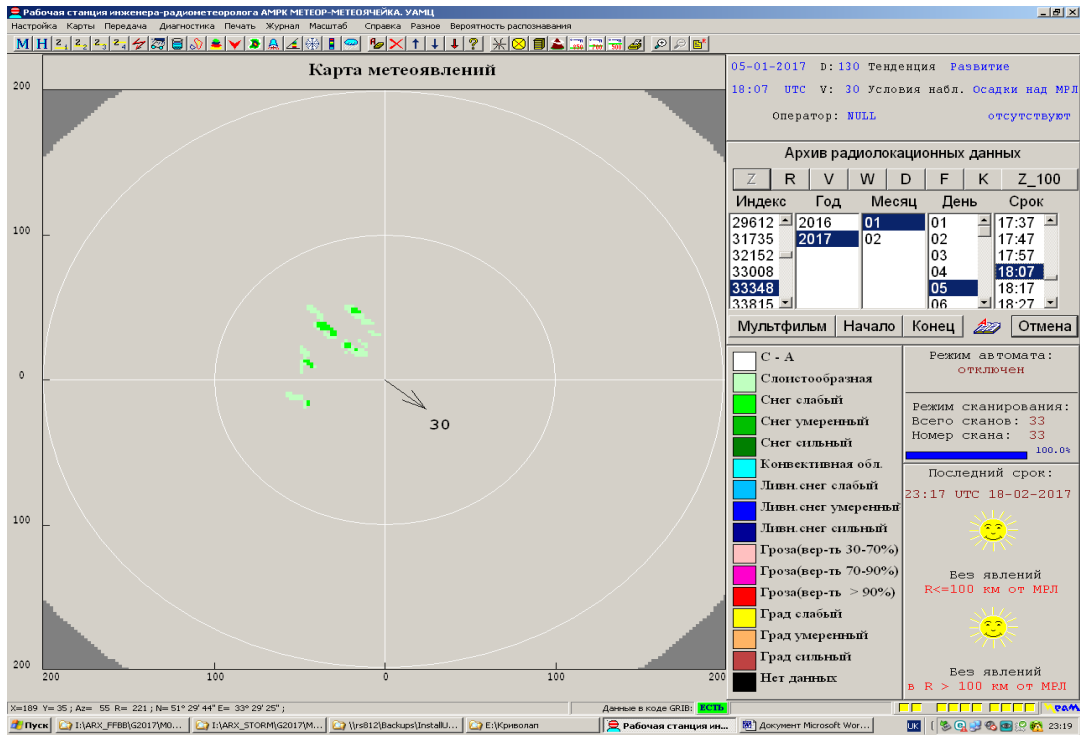


Рис 2.13. Обзор радіометеорологічного локатора (ДМРЛ) синоптичної ситуації за 18:07 UTC 5 січня 2017 р. над аеродромом Бориспіль

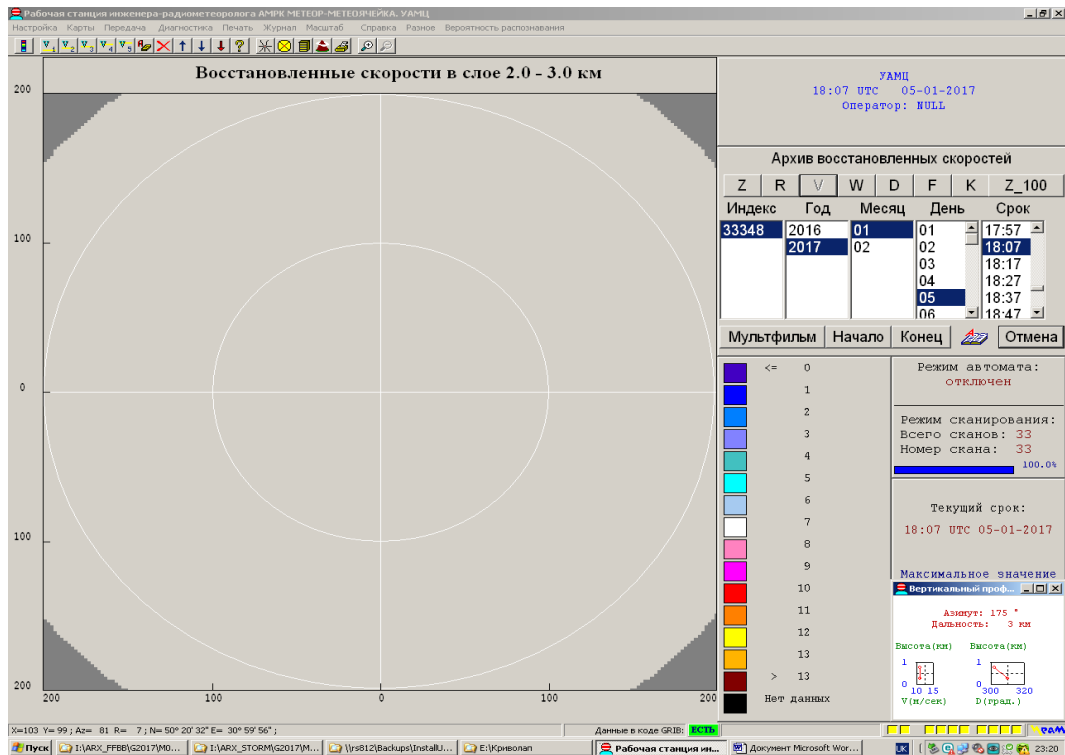


Рис 2.14. Дані радіометеорологічного радіолокатора (ДМРЛ) профілю вітру за 18:07 UTC 5 січня 2017 р. над аеродромом Бориспіль

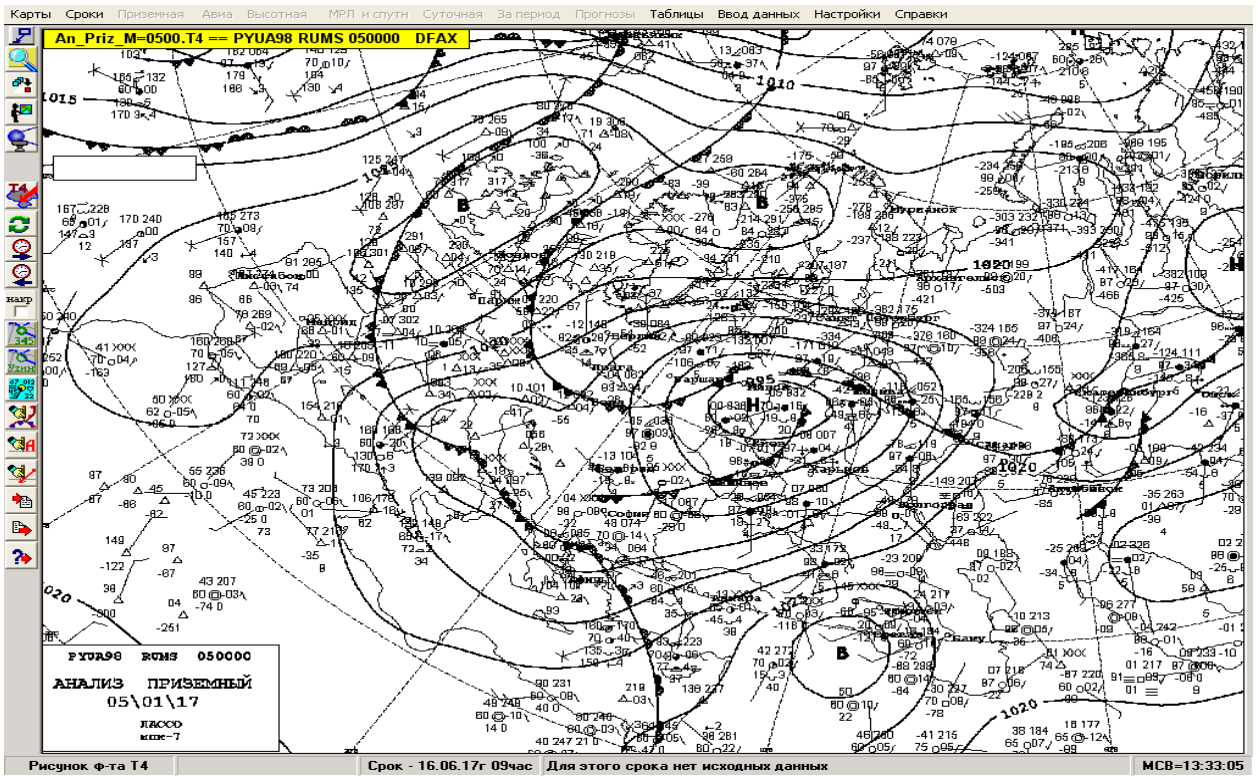


Рис 2.15. Карта приземна за 00:00 UTC 5 січня 2017р.

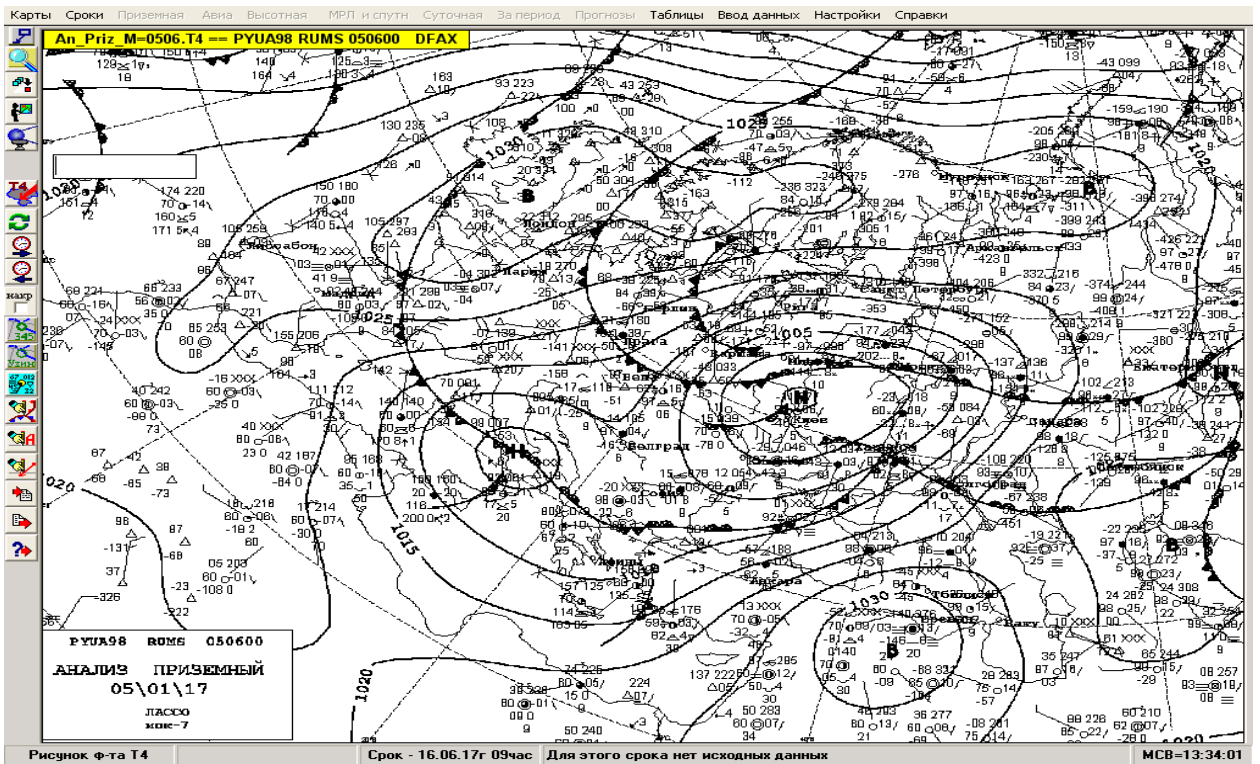


Рис 2.16. Карта приземна за 06:00 UTC 5 січня 2017р.

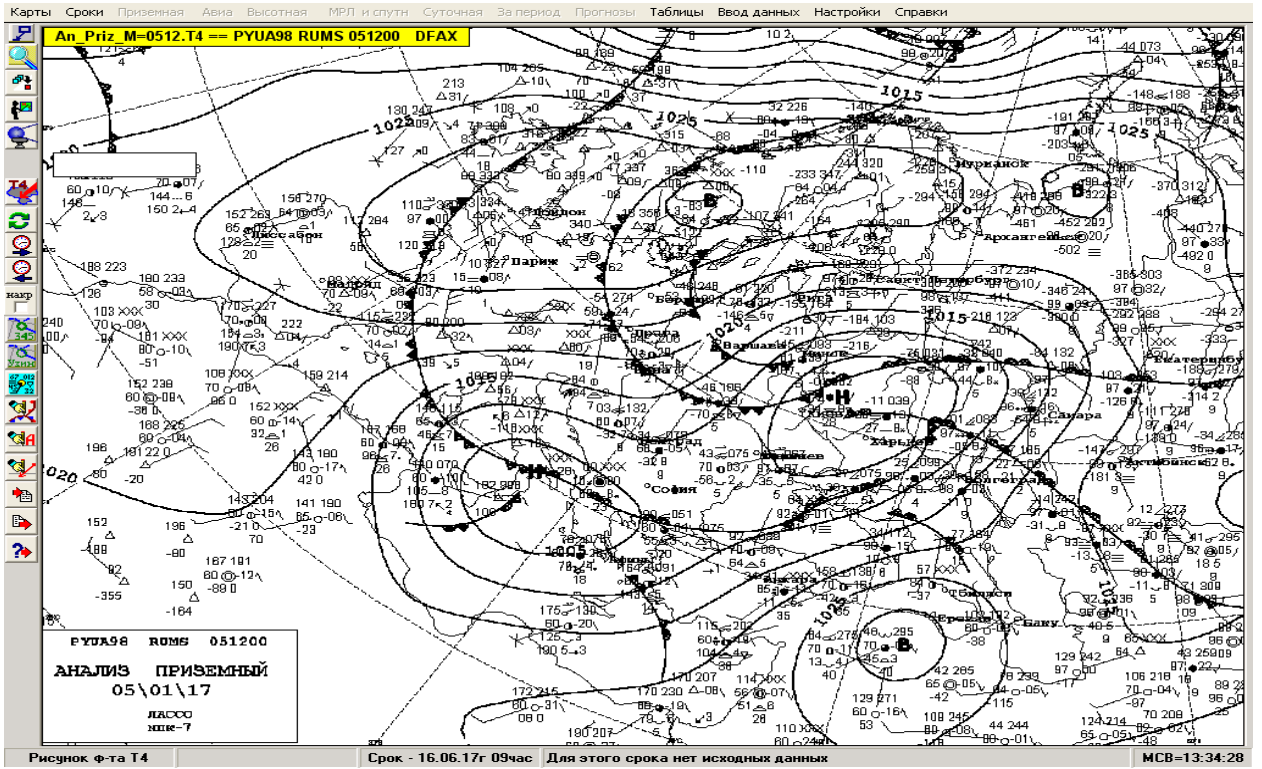


Рис 2.17. Карта приземна за 12:00 UTC 5 сiчня 2017р.

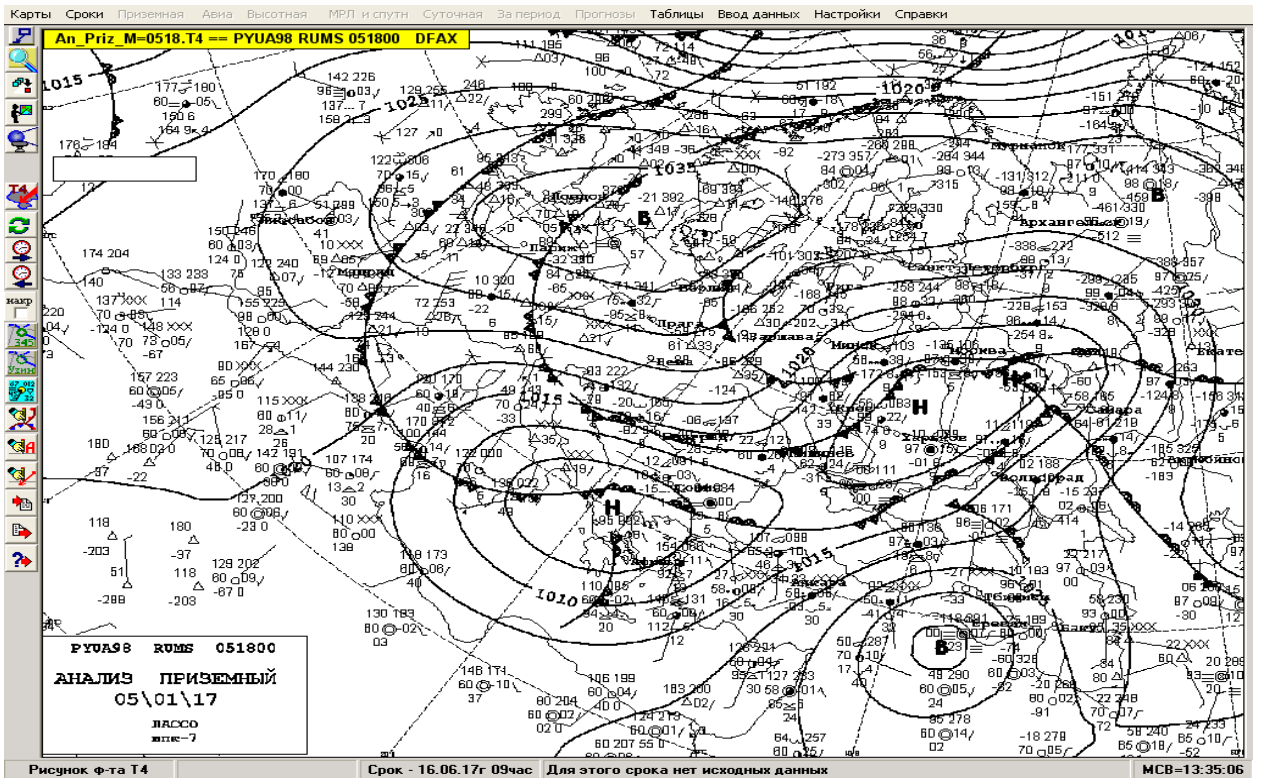


Рис 2.18. Карта приземна за 18:00 UTC 5 сiчня 2017р.

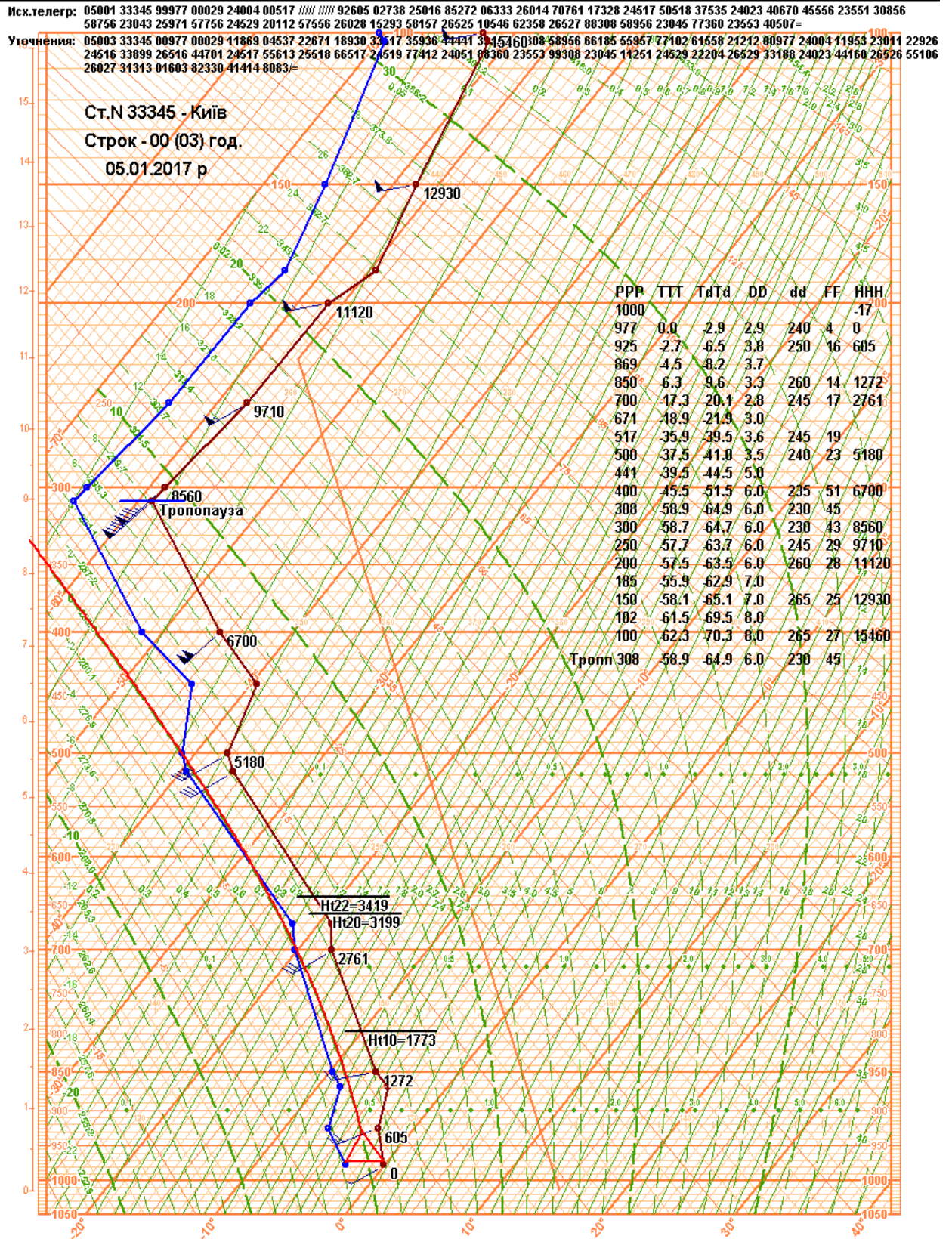


Рис 2.19. Дані радіозондування за 5 січня 2017р.

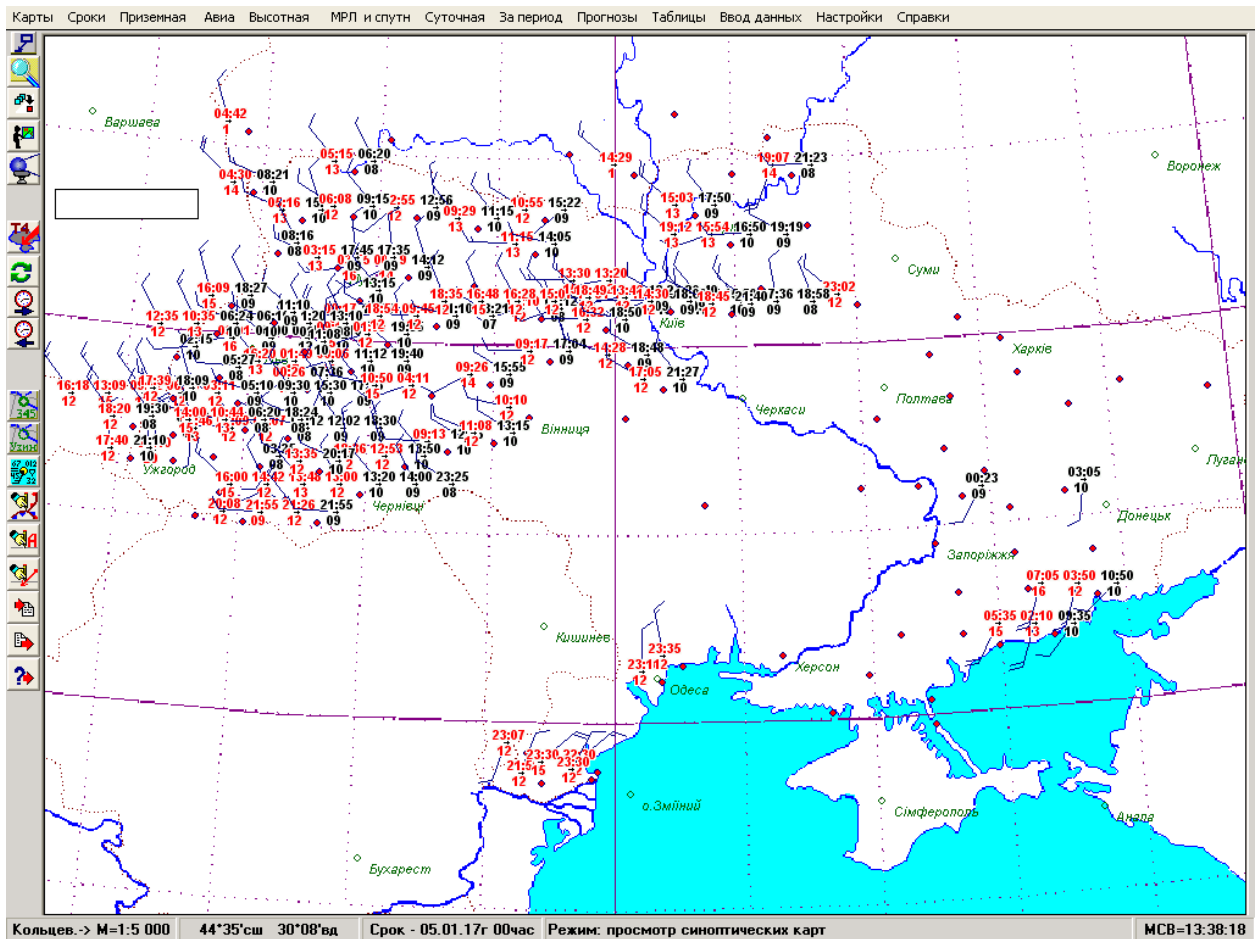


Рис 2.20. Карта штормів за 5 січня 2017р

На південну, південно-західну і західну частини України впливав гребінь антициклону з центром над Тунісом. З південного циклону, центр якого знаходився над Середземномор'ям, пов'язана система полярного фронту. Тепла ділянка проходила по Італії, Греції та Туреччини, швидкість зміщення фронту становила 30-35 км/год. Холодний фронт з хвилями проходив по акваторії Середземного моря і йшов на Атлантику, зміщувався на північний схід зі швидкістю 40-45 км/год. Фронту у землі відповідала висотна фронтальна зона (згущення ізотерм і ізогіпс на карті АТ-850).

Південний циклон блокувався антициклоном, залишався малорухливим, мало поширювався по площі, але поглиблювався за рахунок місцевого циклогенезу, обумовленого впливом навколишніх гірських систем і температурного режиму Середземного моря.

За даними карт баричної топографії за 4 січня, по південній та південно-східній периферії південного циклону відбувався винос теплого вологого повітря, що призвело до падіння тиску у землі в східній частині циклону.

За даними приземної карти 4 січня за 12 UTC улоговина південного циклону витягнулася на сході до районів Болгарії. На кільцевій карті погоди за 12 UTC фронт проходив уздовж лінії Белград-Софія. Перед основною лінією фронту чітко став простежуватися верхній теплий фронт, зазначалося предфронтальне падіння тиску (3,0 гПа / 3 години), добре видно предфронтальну хмарність характерну для теплого фронту. Верхній теплий фронт знаходився по лінії Будапешт-Бухарест і зміщувався на північний схід зі швидкістю 25 км/год.

На кільцевій карті погоди за 15 UTC теплі фронти практично не поміняли своє місце розташування, тому що антициклон блокував процес з південного заходу. На карті за 18 UTC видно, що улоговина поглибилася, лінія фронту піднялась на північний схід, проходила по території Румунії, а верхній теплий піднявся на територію України і проходив по лінії Львів-Одеса.

На карті приземного аналізу за 00 UTC 5 січня улоговина південного циклону витягнулася на північний схід. Теплий фронт підвівся на північний схід і проходив по лінії Бургас-Загреб. Відбувся процес перетворення верхнього теплого фронту в основний фронт (тобто процес регенерації). Розташовувався цей фронт паралельно полярному фронту уздовж лінії Будапешта-Вінниця-Дніпропетровськ.

Проаналізувавши фактичні дані, прогностичні карти погоди, з огляду на швидкість зміщення повітряної маси, проходження лінії новоутвореного теплого фронту через аеродром Бориспіль очікувалося 5 січня з 04 до 08 UTC.

За кільцевої Карті погоди спостерігалися опади у вигляді снігу з мінімальною видимістю в 5-6 км опадах. За даними МРЛ за цей же час відзначалися велика зона предфронтальної шаруватої хмарності з $N_{\text{нмх}} = 5-6$ км зі слабкою інтенсивністю опадів та зсув вітру який видно на огляді профілю вітру. На віддалені 30 км на південний захід від Борисполя - окремі осередки з помірною інтенсивністю, на віддалені більше 70 км на захід, південний захід - купчасто-дощова хмарність з помірною інтенсивністю зливогого снігу / фронтальна зона хмарності.

Проаналізувавши всі дані і з огляду на добовий хід теплого фронту, адвекцію тепла за фронтом, був складений наступний прогноз:

TAF UKBB 050507Z 0506/0606 06010G15MPS 1200 -SN BKN004 OVC007
 TEMPO 0506/0516 0600 +SHSN OVC002 BKN012CB BECMG 0516/0518
 34006MPS 6000 NSW BKN010 TXM02/0512Z TNM04/0606Z=

Відстежуючи погоду по аеродрому Київ / Бориспіль (з 00 до 05,00 UTC 4 січня відзначався сніг слабкої та помірної інтенсивності з мінімальною видимістю 1600м). Недооцінивши активність південного циклону який виходив на територію України.

З 04 до 05 UTC 4 січня, готуючись до складання прогнозу TAF 0406/0506, звернули увагу на численні оповіщення зі станцій штормового кільця на помірний та сильний сніг. Також, за новими даними прогностичної моделі Meteo Франція, прогнозувалося зміщення циклону з південного заходу і загострення теплового фронту.

Данні штормових оповіщень:

в 01.13 UTC WAREP на сильний сніг видимість 900 м, а/м Київ/Жуляни,

в 02.10 UTC WAREP на сильний сніг 800 м, ОГМС Київ,

в 02.26 UTC WAREP на сніг видимість 1200 станція Умань,

в 02.50 UTC WAREP на сильний сніг 400м а/м Київ/Жуляни,

в 03.15 UTC WAREP на сильний сніг 800м станція Біла Церква,

в 03.24 UTC WAREP на помірний сніг 1000м станція Вишгород,

в 04.38 UTC WAREP на сильний сніг 600м станція Гостомель.

На підставі вище викладеного в 05 UTC синоптиком був складений прогноз:

TAF UKBB 050507Z 0506/0606 06010G15MPS 1200 -SN BKN004 OVC007
 TEMPO 0506/0516 0600 +SHSN OVC002 BKN012CB BECMG 0516/0518
 34006MPS 6000 NSW BKN010 TXM02/0512Z TNM04/0606Z=

Протягом доби на погоду території України впливав південний циклон і пов'язаний з ним полярний теплий фронт, який загострювався, а з ним і супутні явища: низька хмарність і інтенсивні опади.

При дослідженні південних циклонів, що переміщуються на територію України слід звертати увагу не тільки на структуру термобаричного поля, а й на фізико-географічні особливості переміщення південних циклонів. На прогноз

розвитку південних циклонів великий вплив робить орографія. Потрібно врахувати особливість перевалювання циклонів через гірські системи: він заповнюється над хребтом і відновлюється за гірським хребтом. Так було в нашому випадку, циклон пересувався з західної частини Середземного моря на північ Італії через Центральну Європу, Балкани на територію України. Сталося заповнення старого і виникнення нового циклону.

Для розвитку середземноморського циклону і подальшого його переміщення на південно-західну Європу і Україну, як видно з карт баричної топографії за 4 і 5 січня, були сприятливі термодинамічні умови, а саме: меридіанального перенесення в нижній тропосфері і адвекція холоду в тил циклону. Холодна повітряна маса поширювалася на крайні західні райони Європи через Францію і Середземномор'я і викликав там процес фронтогенеза. Вісь висотної улоговини була орієнтована з півночі на південь і простягалася над центральною Європою.

При аналізі прогнозу опадів необхідно мати на увазі, що при переміщенні фронтальних розділів враховується їх активність (загострення або розмивання), а тому і інтенсивність опадів не завжди буде відповідати фактичним. В даному випадку був винос теплого вологого повітря з південного заходу і передбачити загострення опадів, при ретельному аналізі, не становило особливих складнощів. Для точного прогнозу синоптику допомоги дані ДМРЛ, який показував велику зону з облоговими опадами і конвективною хмарністю.

3 СПОСТЕРЕЖЕННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ ЗСУВУ ВІТРУ

3.1 Спостереження зсуву вітру з землі

У переліку експлуатаційних вимог вказується, що пілоти повинні бути забезпечені інформацією про зсув вітру на малих висотах. Джерелом цієї інформації можуть бути результати спостереження (з землі або в повітрі) або прогнозування. Успішна розробка та розгортання TDWR, а також значне вдосконалення заснованих на використанні анемометрів систем виявлення зсуву вітру / попередження про зсув вітру означають, що проблема оперативного виявлення і спостереження зсуву вітру на малих висотах за допомогою наземного обладнання вирішена. Однак таке складне устаткування є дорогим і вимагає великих витрат на технічне обслуговування, і тому його застосування використовується на дуже завантажених аеропортах, які мають схильність до зсуву вітру і особливо мікропориви. У більшості аеропорти як і раніше вдаються до різноманітних способів спостереження, велика частина непрямих, з метою виявлення та, де це можливо, вимірювання інтенсивності зсуву вітру [3].

Зсув вітру сам по собі побачити неможливо, але дуже часто можуть бути видні результати його впливу. Існує декілька способів визначення ознак присутності зсуву вітру, заснованих на використанні інформації інших метеорологічних явищ. Такі ознаки як:

- а) рух прилеглих шарів хмар в різних напрямках;
- б) зсув шлейфів диму і їх рух в різних напрямках;
- в) шквалиста хмара попереду насувається лінії шквалів;
- г) сильний поривчастий приземний вітер.
- д) реакція вітрових конусів навколо аеродрому на вітер з одночасною вказівкою його різні напрямки;
- е) пил, піднімаючий (особливо кільцеподібний) в результаті дії нисхідних потоків під конвективними хмарами;
- г) пил, що піднімається фронтом поривів попереду лінії шквалів;
- к) воронкоподібні хмари;
- к) водяні смерчі;
- л) торнадо.

Не всі з цих проявів зсуву вітру обов'язково повинні мати якийсь значення для повітряних суден при посадці або зльоті; оцінку необхідно проводити до кожного окремого випадку з урахуванням місцевих умов. Багато проявів бувають видимі як з землі, так і в повітрі і, можуть використовуватися пілотами в якості ознак, які попереджають про можливий зсув вітру [3].

3.2 Спостереження за зсувом вітру з використанням звичайних метеорологічних приладів

Анемометри. На багатьох аеродромах необхідна установка кількох анемометрів, щоб забезпечити отримання інформації про приземному вітрі на таких критично важливих ділянках ЗПС, як зона злету та зона приземлення. Така установка кількох анемометрів забезпечує пряме джерело інформації про горизонтальний зсув вітру. Це було покладено в основу розробки спеціальної системи попередження про зсув вітру (система оповіщення про зсув вітру на малих висотах (LLWAS)) [3]. У ряді держав застосовується також установка анемометрів з винесеними датчиками, які встановлені на наявних телевізійних вежах, що розташовані поблизу аеродрому, з метою спостереження та вимірювання зсуву вітру в вертикальній площині.

Аеростатні зондування. Інше очевидне джерело інформація про зсув вітру є підйом радіозондів і куль пілотів

Підйом радіозонда також допомагає виявляти температурні інверсії на малих висотах, які при певних умовах вказують на присутність зсуву вітру (в відношенні струменевих течій на малих висотах). Хоча дані, отримані за допомогою аеростатного зондування, є надзвичайно корисними у виявленні профільного (Вертикального) зсуву вітру, вони навряд чи зможуть сприяти виявленню зсуву вітру, пов'язаного з конвективною хмарністю (фронтів поривів, мікропориви і т. п.). Однак, незважаючи на свої обмежені можливості при безпосередньому спостереженні зсуву вітру дані зондування в значній мірі сприяють прогнозуванню умов, сприятливих для виникнення зсуву вітру.

Наземний метеорологічний радіолокатор. Іноді передню кромку фронту поривів, особливо в тих випадках, коли такі фронти породжуються лініями шквалів, можна спостерігати на екрані звичайних метеорологічних локаторів

у вигляді тонкої, але дуже чіткої дуги або лінії. І, хоча поява деяких з цих сигналів може пояснюватися присутністю масових скупчень у повітрі комах

або зграй птахів і т. д., причиною виникнення більшості із них служать значні градієнти температури або вологості, що призводять до відносно різких змін показника повітряної рефракції. Викликані фронтами поривів відбиті сигнали у вигляді дуги або лінії позначають передню кромку холодного низхідного потоку повітря і часто зберігають свої особливості по міру свого переміщення по екрану локатора зі швидкістю фронту поривів, іноді близько години.

Метеорологічні супутники. Фронти поривів також досить часто спостерігаються на знімках, зроблених з метеорологічних супутників. Найбільш помітна ознака є шквалисте хмара, яке часто утворюється над носом фронту поривів особливо в разі утворення фронтів поривів з лініями шквалів.

Початковий варіант системи LLWAS4 включає п'ять датчиків приземного вітру, розташованих в стратегічних точках по периметру аеродрому, датчик приземного вітру в центрі льотного поля і блоки мікропроцесорів і дисплеїв, безперервно контролюють і порівнюють різницю векторів приземного вітру за даними спостереження між точками периметра і центру льотного поля. Датчики в точках периметра вимірюють поточні значення вітру і опитуються центральним блоком управління кожен 10 с. Датчик в центрі льотного поля видає середнє за дві хвилини поточне значення приземного вітру в якості контрольного, з яким порівнюються значення приземного вітру в точках периметра [3].

На аеродромах, де мають місце зсуви вітру, але відсутнє необхідне робоче обладнання для спостереження або виявлення і вимірювання зсуву вітру

Мікропорив - окремий випадок шквалу, сильний короткочасний спадний рух повітря, пов'язаний з грозовою діяльністю.

Мікрошквал представляє серйозну небезпеку для повітряних суден на етапах зльоту і заходу на посадку, тому що викликає сильний зсув вітру, що призводить до втрати висоти повітряного судна і можливе зіткнення з земною поверхнею. У 1985 році пасажирський літак авіакомпанії Delta Airlines зазнав катастрофи в Далласі через мікропорив, 137 загинуло людей.

Даний термін ввів відомий дослідник небезпечних явищ погоди Фуджита Тецуя, як вид спадний поривів повітря. Якщо дане явище охоплює зону понад 4 км, то воно називається макропорив (макрошквал). [1]

При певних умовах виникає потік спадного з грозової хмари повітря (15-20 м / с, зареєстровано до 35 м / с), що йде врозріз в різні боки при зустрічі з земною поверхнею (може давати векторну зміну швидкості вітру до 180 км / год на відстані декількох кілометрів). Триває до п'яти хвилин, при найбільшій інтен-

сивності 2-3 хвилини, діаметр зони поширення - не більше 4 км (зазвичай 1-3 км). [2] [3]

Мікрошквал спостерігається під купчасто-дощовими хмарами в другій половині дня і ранній вечір у спекотній погоді, коли в нижньому шарі атмосфера вертикального градієнта температури повітря близька до сухоадіабатичного. Висота нижньої межі купчасто-дощових хмар зазвичай знаходиться на великій висоті, від 3 до 5 км, товщина хмар невелика (3-4 км), радіолокаційна відбиваність порівняно невелика (від 10 до 20 дБZ). [4]

При вологих мікрошквалах (коли дощ досягає поверхні землі) середня точка роси в нижньому кілометровому шарі атмосфери становить 15 ... 23 ° С (питома вологість 12-18 г / кг), при сухих (коли дощ практично не досягає землі, видно тільки смуги падіння) 0 ... 14 ° С (питома вологість 4-12 г / кг). Вертикальний градієнт температури повітря від землі до рівня танення при сухих мікрошквал 9-10 градусів на км, при вологому 7-8 градусах на км (через те, що рівень танення в цьому випадку знаходиться вище, ніж нижня межа хмар).

Загальний вітер в нижній тропосфері при утворенні мікрошквалів зазвичай слабкий (0-7 м / с), різних напрямків (в основному від східного до південно-західного), в середній тропосфері переважає південний і південно-західний 5-10 м / с, на висоті 5 км південно-західний 10-13 м / с.), що йде врозріз в різні боки при зустрічі з земною поверхнею.

Особливо небезпечні мікропориви для авіації, якщо літак на зльоті або посадці потрапляє в мікропорив, льотчику дуже важко впоратися з різкими змінами швидкості літака. З 1956 по 2012 роки мікропориви стали причиною як мінімум дев'яти авіакатастроф. Зазвичай це відбувалося під час посадки літак потрапляв в мікропорив, пілоти бачили різке збільшення швидкості повітряного судна і знижували її. Коли літак виходив з мікропорива, він падав на землю через недостатню швидкості польоту.

Вивчення мікропоривів - це відносно нове завдання в метеорології і атмосферних науках. До введення РЛС в аеропортах, мікропориви були відповідальні як мінімум за 20 великих авіа-аварій. Цікаво, що багато аварій, викликані мікропоривами в той час, були пояснені помилкою пілота.

Мікропориви досі небезпечні для повітряних суден. Маневрувати через мікропориви важко, як політ через торнадо. Як і торнадо, розвиток мікропорива важко виявити радару - здається, що він з'явився з нізвідки. Проте, завдяки сучасним пристроям, авіаперевезення сьогодні здійснюється без проблем.

У той час як більшість пілотів добре знаю про ті зсуви вітрів, і можуть оперувати ціми знаннями при польоті і посадці, швидкі зміни швидкості вітру або його напрямоку, що виникають при мікропоривах, досить небезпечні.

Завдяки науковим дослідженням та досягнень в області технологій, польоти стали безпечнішими.

3.3 Прогнозування зсуву вітру на аеродромі Бориспіль

На аеродромах, де мають місце зсуви вітру, але відсутнє необхідне робоче обладнання для спостереження або виявлення і вимірювання зсуву вітру прогнозування зсуву вітру є важким завданням. В цілому, єдиний реальний підхід полягає в спробах передбачити метеорологічні явища, які, як відомо, можуть породжувати зсув вітру з урахуванням того, що значний зсув вітру насправді може і не відбутися, і, навіть якщо він відбудеться, буде неможливо передбачити його інтенсивність. Ці труднощі також означають брак докладної кліматологічної статистики відношенні частоти виникнення, областей розподілу і інтенсивності зсуву вітру на малих висотах поблизу аеродромів.

За останні роки була відзначена активізація цілеспрямованих зусиль в області наукових досліджень, при цьому особливо помітний прогрес досягнутий на двох фронтах. По-перше розширюється застосування доплеровських РЛС при дослідженнях структури і динаміки гроз і пов'язаного з ними зсуву вітру та, по-друге, відбувається повсякденне нарощування всесвітньої бази даних про випадки зсуву вітру на посадці і зльоті, одержуваних від системи СНІД, яка встановлена на більшості великих транспортних реактивних літаків. Ці зусилля забезпечують все більш ясне розуміння зсуву вітру, і, зокрема, дозволяють зосередити увагу на тих конкретних видах зсуву вітру, які представляються для повітряних суден найбільш небезпечні.

Тим часом на більшості аеродромів при прогнозуванні доводиться застосовувати різні емпіричні правила, які були розроблені на основі метеорологічної теорії і широкі відомості про конкретний районі. Прикладом є комплекс правил, які застосовувались Метеорологічне управління Сполучене Королівство в процесі експериментальних прогнозувань зсуву вітру в 1977 р Існуючі правила, розроблені на основі цих випробувань і використовуються на практиці з 1985 р. Аналогічні правила, змінені стосовно до різних умов, використовують-

ся в даний час Національною службою погоди Сполучених Штатів Америки [11].

Прогноз погоди в конкретному районі зазвичай містить інформацію про очікувані явища під три основні рубрики: "тип", "час" і "інтенсивність", т. е. які явища очікується, коли, як довго і з якою силою вони будуть відбуватися. У прогнозі зсуву вітру питання про інтенсивність найбільш важливий. Простий прогноз або повідомлення про «зсуві вітру на траєкторії заходження на посадку» в якийсь момент час насторожує пілоти, що виконує заходження на посадку, і в одному тільки цьому відношенні вже представляє корисну інформацію. Однак що саме пілотів дійсно треба знати - це сила зсуву, щоб урівняти її з можливими наслідками для повітряного судна. З огляду на ту важливу роль, яку відіграє інтенсивність зсуву вітру, слід розглянути багато проблем, пов'язаних з класифікацією зсуву вітру по його інтенсивності.

Прогнозування розвитку і руху фронтальних поверхонь базується на відпрацьованій і успішно використовується протягом багатьох років методикі. Той факт, що зсув вітру на малих висотах відбувається при проходженні фронтальної поверхні (зсув вітру, пов'язаний з фронтальними грозами, при цьому не враховується), лише додає ще одне явище до вже наявного довгого переліку явищ, що представляє інтерес для авіації і пов'язаний з фронтами. Конкретним аспектом аналізу фронтів, якому надається додаткове значення очевидно, в силу необхідності прогнозування зсуву вітру на малих висотах, є нахил фронтальних поверхонь.

3.4 Синоптичні умови формування сильних зсувів вітру

До найбільш характерних синоптичних ситуацій та умов, при яких виникають сильні зсуви вітру, відносяться:

1. розвиток конвективних хмар
2. проходження активних атмосферних фронтів;
3. виникнення інверсійних шарів (затримуючі шари інверсії і ізотермії);
4. виникнення гірських хвиль (райони зі складним рельєфом, з забудовою в районі аеродрому);
5. бризи;

6. місцеві топографічні умови (чергування лісів, боліт, ріллі, піщані і кам'яні ділянки)

У літній період виникають конвективно-нестійкі слої, завдяки яким утворюються конвективні хмари. Особливо часто, сильні зсуви вітру виникають поблизу і під купчасто-дошовими хмарами. При випаданні зливових опадів, спостерігається низхідні потоки (холодне повітря), які, б'ючись земної поверхні, розходяться в сторони і зустрічаються піднімаючись з великою швидкістю потоки теплого повітря, обумовлена активна конвекція.

Виникає поривчастий вітер і шквал, утворюється вузька зона сильного вертикального і горизонтального зсуву вітру і сильної турбулентності, звана фронтом пориву. Непряма ознака фронту пориву часто є наявність видимих на тлі купчасто-дошових хмар смуг випадують опади, але не досягають землі.

У зоні активних холодних фронтів виникають сильні горизонтальні і вертикальні зрушення вітру, пов'язані з утворенням купчасто-дошових хмар.

У зоні теплих фронтів спостерігаються інтенсивні інверсії. У цих умовах рух по вертикалі ускладнений (шари як би ковзають один по іншому з різною швидкістю); різкі зміни вітру з висотою не тільки по швидкості, але і по напрямку, призводять до утворення сильних зсувів вітру.

У зоні активних фронтів зміна швидкості і напрямку вітру може посилюватися, крім того, за рахунок вітру, обумовленого різноманітністю рельєфу місцевості, міської забудови. Зсув вітру в таких умовах буде характеризуватися наявністю, так званого нізкотропосферного, що є найбільш небезпечним для посадки і зльоту

В шарі інверсії і ізотермії обумовлюють розшарування потоків, що мають різні характеристики по щільності, швидкості, напрямку, що є причиною утворення помірних і сильних зсувів вітру.

Слід бути уважними до синоптичних ситуацій, при яких виникають різного типу інверсії в приземному шарі атмосфери.

Радіаційні інверсії виникають при антициклонічній погоді (в нічний час), при якій часто спостерігається штиль або слабкий вітер у землі. Вище шару інверсії відзначається дуже сильний вітер. На висотах 30-40 м слід очікувати сильні вертикальні зрушення вітру.

Орографічні інверсії спостерігаються в гірських районах або в горбистій місцевості. Вплив орографії призводить до виникнення більш сильних вертикальних і горизонтальних зсувів вітру.

Адвективні інверсії виникають в приземному шарі в холодну пору року, при адвекції теплого повітря з моря або великих водойм. При цьому спостерігається слабкий вітер у землі і посилення вітру на висотах 100-200 м.

Впродовж періоду дослідження на аеродромі Бориспіль виявилось за допомогою бортової погоди 23 випадки сильного зсуву вітру, причому переважно у тепле півріччя. На рис. 3.1 представлений розподіл синоптичних умов формування сильного зсуву вітру, з якого впливає його переважне утворення під впливом проходження фронтальних розділів (12 випадків або 40 %). Також значна частка формувалася у гребені антициклону в умовах потужній приземній інверсії.

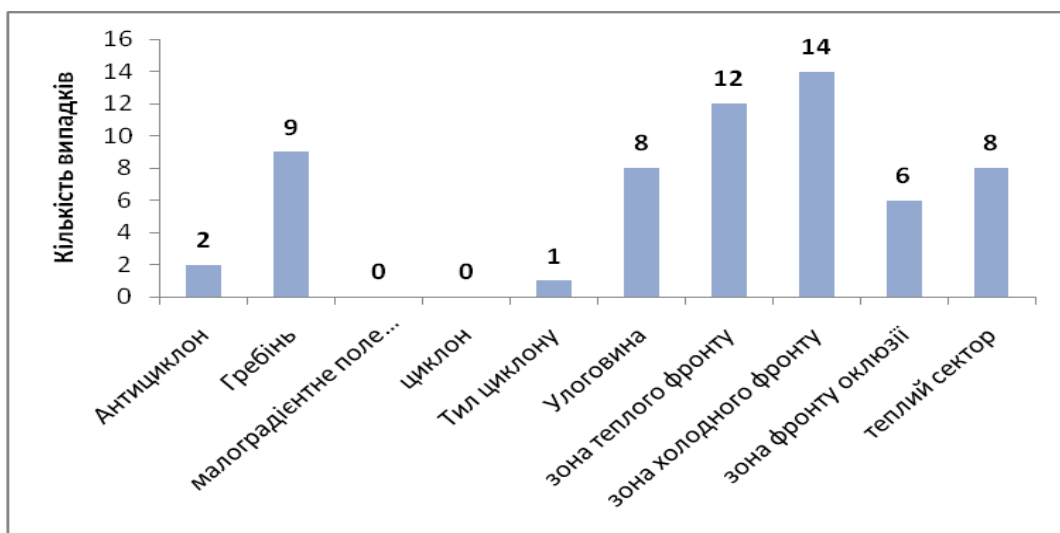


Рис. 3.1. Повторюваність синоптичних ситуацій під час сильного вертикального зсуву вітру над Борисполем. 2014-2017 рр.

Згідно ПМЗА-2005, вертикальний зсув вітру (включаючи висхідні і низхідні потоки), що дорівнює 4-6 м/с і більше в шарі 30 м висоти, відноситься до небезпечних для польотів метеорологічних умов в районі аеродрому. Зліт і захід на посадки в умовах сильного зсуву вітру забороняється.

3.5 Методика прогнозування зсуву вітру, пов'язаного з атмосферними фронтами

Прогнозування розвитку і руху фронтальних поверхонь базується на відповідній і успішно використовуємії протягом багатьох років методиці. Той

факт, що зсув вітру на малих висотах відбувається при проходженні фронтальної поверхні (зсув вітру, пов'язаний з фронтальними грозами, при цьому не враховується), лише додає ще одне явище до вже наявного довгого переліку явища, що представляє інтерес для авіації і пов'язаний з фронтом. Конкретним аспектом аналізу фронтів, якому надається додаткове значення, очевидно, в силу необхідності прогнозування зсуву вітру на малих висотах, є нахил фронтальної поверхні. З цього випливає, що в відношенні зсуву вітру найбільш важливі аспекти фронтальних поверхонь є інтенсивність фронту, швидкість його переміщення і нахил поверхні.

Прийоми і методи визначення місця розташування, розвитку і переміщення фронтів повітряної маси досить добре відомі, щоб знову про них говорити. Ці прийоми і методи здавна ґрунтувалися на детальному синоптичному аналізі спостережень у поверхні землі і в верхніх шарах атмосфери. За останні 20 років синоптичний аналіз значно розширився за рахунок використання інформації, що надходить від супутників на полярній орбіті від геостаціонарних метеорологічних супутників. Перші надають інформацію, що відноситься до конкретного району, кожні 6 годин, тоді як останні забезпечують квазінеперервні спостереження. Геостаціонарні оперативні супутники для дослідження навколишнього середовища (GOES), крім зображення хмарності кожні 30 хв забезпечують також в реальному масштабі часу багатоспектральні картини розподілу температури і водяні пари в атмосфері і приблизно годинні вертикальні профілі температури і вологості. Доступ до накопиченого обсягом даних забезпечує можливість виконання дуже точного аналізу фронтів в широкому масштабі. Ці методи доповнюються в місцевому масштабі використанням РЛС для стеження за утворенням, потужністю і переміщенням пов'язаних з фронтами областей опадів (як конвективних, так і неконвективних).

Як тільки визначено місце розташування фронту і шляхом послідовного спостереження за його переміщенням обчислена його швидкість і напрямок руху щодо конкретного аеродрому, наступний крок полягає у визначенні нахилу фронту в тій частині, яка представляє особливий інтерес для авіації, тобто 500 м нижче (1600 фут) над рівнем землі (AGL). Найпростішим способом є відзначити за часом місцезнаходження фронту на поверхні по землі карти і одночасно визначити за даними радіозонда або супутника висоти фронтальні поверхні над землею попереду приземного теплого фронту або позаду холодного. Може знадобитися і більш детальний аналіз (особливо ізоентропійний) з використанням

поперечного розрізу фронтальної поверхні. У минулому ізоентропійний аналіз був надзвичайно трудомісткий процес, проте з недавніх пір складанням таких аналізів в реальному масштабі часу за допомогою ЕОМ стало порівняно простим завданням. При відомих швидкості руху і нахилі фронту можна отримати деяке уявлення про період часу, протягом якого зсув, що має місце уздовж фронтальної поверхні, перетне район аеродрому, особливо коридори заходу на посадку і початкового набору висоти, і вийде за його межі. Для кожного фронту показані тільки дві типові швидкості і добірка типових нахилів, але отримати на їх основі дані для інших швидкостей і нахилів, використовуючи відповідно пропорцію і інтерполяцію, буде вже нескладно.

Виникає питання, чи потрібно так докладно розглядати всі фронти, або ж існують якісь критерії, що дозволяють визначити, які фронти можуть містити в собі зсув вітру на малих висотах, що має значення для авіації. Зсув поперек фронтальної поверхні пропорційний інтенсивності фронту, яка в свою чергу пропорційна температурному градієнту в поперечній площині фронт. В цьому відношенні було запропоновано і успішно використовується критичний температурний градієнт 5°C на кожні 90 км (50 миль). Досвід вивчення сотень фронтів на тому чи іншому конкретному аеродромі дозволить в кінцевому підсумку домогтися уточнення таких критеріїв. На наявність істотного зсуву вітру, пов'язаного з фронтальною поверхнею, можуть також вказувати різницю векторів вітру поперек фронту і швидкість руху фронту. У цьому контексті запропоновано різницю векторів вітру величиною 40 км / год на 90 км (20 уз на 50 м. миль), і в допомоги прогнозист зазвичай надається простий номограми для обчислення різниці векторів безпосередньо за двома значеннями вітру з використання рівняння, $a = b^2 + c^2 - 2bc \cos$. Аналогічним чином, істотний зсув вітру зазвичай присутня у фронтах, що рухаються зі швидкістю 30 уз або більше. Необхідно розглянути два аспекти стосовно критеріям, які ґрунтуються на швидкість руху фронтів. Хоча фронтах, що рухаються зі швидкістю 30 уз або більше (зазвичай це холодні фронти з крутим нахилом), дійсно властивий помітний фронтальний зсув вітру, вже сам факт такого швидкого їх руху означає, що будь-який прояв зсуву вітру на висоті нижче 500 м (1600 фут) буде, очевидно, мати лише короткочасний вплив на аеродром, який він перетинає. А це з певною часткою парадоксальності означає, що ті фронти, включаючи теплі фронти, хоча в них і проявляється менш значний (неконвективний) фронтальний зсув вітру, які переміщуються дуже повільно, стаючи навіть квазістаціонарними,

можуть надавати більш помітний вплив в цілому на польоти повітряних суден (наприклад, приводячи до частих виходів на друге коло), ніж інтенсивні, але швидко рухомі холодні фронти.

Кількісний розрахунок зсуву вітру поперек фронтальної поверхні може бути зроблений шляхом аналізу полів вітру і його профілів поблизу фронту. У нетиповому випадку, коли станція запуску радіозондів і куль-пілотів розташовується в належному місці щодо фронтальної поверхні, зрушення вітру можна обчислити прямим шляхом, як вказувалося в розділі 2, з урахуванням неминучих недоліків цього методу. Так чи інакше, поля вітру поблизу фронту повинні аналізуватися. У цьому контексті з'ясувалося, що геострофічний вітер, який вимірюється в теплому секторі, дозволяє оцінити швидкість і напрям вітру безпосередньо над поверхнею як холодного, так і теплого фронту нижче 500 м (1600 фут) (це забезпечує оцінку вітру на висотах для розрахунку зсуву щодо холодного і теплого фронтів). Перед теплий фронт, в прохолодну повітряній масі середні приземні вітри в достатній мірі показові в щодо вітру нижче фронтальної поверхні (це забезпечує оцінку вітру на малих висотах при розрахунку зсуву для теплого фронту). Що стосується холодного фронту, то, як було знайдено, геострофічний вітер в холодному повітрі позаду фронту більш показовий щодо вітру нижче фронтальної поверхні, ніж приземні вітри (це забезпечує оцінку вітру на малих висотах при розрахунку зсуву для холодного фронту). Всі вищевказані вектори вітру на висотах і вітру на малих висотах, що використовуються при розрахунку фронтального зсуву, слід розкласти на складові, паралельні і перпендикулярні напрямку найбільш вірогідною для використання ЗПС, в якості альтернативи таким же чином слід розкласти кінцеву обчислена різниця векторів. Таким чином, величина зсуву знаходиться в пряме співвідношення зі змінами зустрічним / попутний вітер (повітряна швидкість) і бічними вітру (кута зносу), які впливають на повітряне судно, що використовує дану ЗПС. Після вищезазначених дій може бути підготовлений прогноз, що містить повідомлення про очікуване зсуві вітру на аеродромі на висотах від поверхні землі до 500 м (1600 фут), із зазначенням - у міру можливості, в межах очікуваного терміну дії прогнозу - очікуваної різниці векторів по фронту, вираженої в вузлах, стосовно зустрічному / попутна і бічний вітер для конкретної ЗПС.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання магістерської роботи отримані наступні висновки:

- В середньому за рік на аеродромі Бориспіль спостерігається близько тридцяти днів з поривами вітру, що досягли 15 м/с. Найбільша кількість днів з сильним вітром припадає на весняні місяці та становить більше чотирьох випадків на місяць, а найменша у вересні.

- У холодне півріччя пориви вітру пов'язані з посиленням баричного градієнту та з інтенсивною адвекцією холодного повітря. Влітку певна кількість випадків пов'язана з конвективною діяльністю, тобто є шквалом. Найсильніший вітер спостерігався на аеродромі Бориспіль 15 березня 2012 р. і досягав 26 м/с під час сильної хуртовини, що утворилася під впливом пересування південного циклону.

- Найбільша повторюваність сильного вітру (33 %) приходить на північний вітер зі значними частками західного та південного – по 25 %, тобто 83 % приходить на вказані напрямки. Враховуючи просторову орієнтацію обох ЗПС на аеродромі Бориспіль (південь-північ) можна визначити, що повторюваність сильного бокового вітру становила 37 %, з них 25 % приходилася на західний вітер.

- Найчастіше над Борисполем спостерігалися посилення вітру більш ніж 15 м/с у наступних синоптичних ситуаціях: гребінь антициклону, улоговина та теплий сектор циклону.

- Протягом доби 5 січня 2017 р. на погоду території України впливав південний циклон і пов'язаний з ним полярний теплий фронт, який загострювався, а з ним і супутні явища: низька хмарність і інтенсивні опади. Як видно з аналізу синоптичної ситуації спостерігався сильний вітер, снігопад та вертикальний зсув вітру.

- Впродовж періоду дослідження на аеродромі Бориспіль виявилось за допомогою бортової погоди 23 випадки сильного зсуву вітру, причому переважно під впливом проходження фронтальних розділів (12 випадків або 40 %). Також значна частка формувалася у гребені антициклону в умовах потужній приземній інверсії.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Базлова Т.А. Опыт использования данных AMDAR при авиаметеорологическом обеспечении // Метеоспектр. – 2007. - № 3. - С. 44-47.
2. Базлова Т.А., Киба И.А. Прогноз ветра и сдвигов ветра в нижнем слое атмосферы с использованием данных AMDAR // Труды Международной конференции по авиационной и спутниковой метеорологии. – СПб: Изд. РГГМУ. – 2008. - С. 100–101.
3. Всемирная метеорологическая организация. Авиационные факторы риска // Секретариат Всемирной Метеорологической Организации Женева – Швейцария. – 2007. – С. 61-64.
4. ИКАО Руководство по здвигу ветра на малих высотах // Международная организация гражданской авиации. – 2005. – С. 5–31.
5. Обідін Н.І., Буран Т.Р. Вплив зсуву вітру на безпеку польотів та напрямки її підвищення // Харків – 2015. – С. 75–78.
6. Романенко Л.М. Впровадження нового метеорологічного радіообладнання в державному підприємстві “Український авіаметеорологічний центр” // Вісник гідрометслужби. Інформаційний бюлетень Держгідромету. - 2008. - Вип.1. – С 19-24.
7. Руководство по прогнозированию метеорологических условий для авиации // Л.:Гидрометеиздат, 1985. - 302 с.
8. Шошин В.М., Галицкая Л.А., Ткаченко Д.Н. Вертикальные сдвиги ветра в аэропортах Украины // Труды УкрНИГМИ – 1986. – Вып. 219. - С. 92-104.
9. http://iram.ru/iram/d2_publications_ru.php.
10. www.avia.ru/aut/110.
11. Zeltmann, 1985: The crash of C-GTLA, Preprints, Second Conference on Aviation Weather Systems, Montréal, Canada, American Meteorological Society.
12. Bell and Tsui, 1981: A low-level wind shear detection system, Weather, Royal Meteorological Society, London.
13. Kingswell, 1984: Observations of a quasi-circular squall line off north-west Australia, Weather, Royal Meteorological Society, London.
14. Goff, 1980: Low-level wind shear alert system (LLWSAS), United States Federal Aviation Administration, Report No.FAA-RD-80-45.
15. Wilson and Wesley, 1992: Specification: enhanced LLWAS III logarithms, M.I.T. Lincoln Laboratory.

16. Wilson and Cole, 1983: LLWAS II and LLWAS III Performance Evaluation, Preprints, Fifth Conference on Aviation Weather Systems, Vienna, VA, American Meteorological Society.
17. United States Federal Aviation Administration, 1989: Siting guidelines for LLWAS remote facilities, FAA Order 6560.21A.
18. Nilsen, Biagi and Law, 1999: Implementation status on the LLWAS relocation and sustainment programme (LLWAS-RS), Preprints, Eighth Conference on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology, Dallas, TX, American Meteorological Society.
19. Fage and Huguet, 1985: Wind shear detection using Doppler acoustic sounder (SODAR), Preprints, Second Conference on Aviation Weather Systems, Montréal, Canada, American Meteorological Society.
20. Singal, Aggarwal and Gera, 1982: Studies of correlation between SODAR, observed stratified layer structures and wind shear, Mausam, Volume 33, Indian Meteorological Department.

Додаток А

кафедри метеорології та кліматології
на магістерську роботу студентки гр.МНЗ–6 з/ф

Мисник Ганни Андріївни

Тема магістерської роботи:
«Розвиток небезпечних для польотів вітрових
аномалій над Борисполем»

Кваліфікаційна магістерська робота виконана в рамках науково-дослідної роботи «Прогнозування небезпечних метеорологічних явищ над південними районами України» (2015-2019 рр., ДР № 0115U006532).

Зав. кафедрою
метеорології та кліматології

проф. Івус Г.П.

Додаток Б

Характеристики вітру (напрямок, швидкість, порив)
над Борисполем за 2011-2016 рр.

Таблиця Б.1 – Характеристики вітру (напрямок, швидкість, порив) над Борисполем за 2011-2016 рр.

Число	2011 рік				2012 рік				2013 рік				2014 рік				2015 рік				2016 рік			
	Кількість	Напрямок	Середня шв	Пориви	Кількість	Напрямок	Середня шв	Пориви	Кількість	Напрямок	Середня шв	Пориви	Кількість	Напрямок	Середня шв	Пориви	Кількість	Напрямок	Середня шв	Пориви	Кількість	Напрямок	Середня шв	Пориви
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
1																								
2	1	180	10	15																				
3					1	230	6	15																
4																								
5					1	220	9	16													1	350	11	16
6																								
7																								
8																								
9																								
10	1	20	8	15																				
11																					1	150	10	15
12													1	190	10	15								
13					1	360	10	15																
14	1	300	9	15																				
15					1	160	9	26					1	190	10	17	1	300	11	16				
16													1	120	9	16								
17									1	170	12	18												
18																								
19													1	70	15	20								
20																					1	290	13	18
21																					1	280	10	15

Продовження таблиці Б 1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
22																								
23					1	40	10	16																
24																								
25	1	300	10	16	1	30	11	16					1	70	16	24								
26									1	160	12	18					1	170	6	16				
27	1	190	8	15					1	140	10	15												
28																								
29																					1	30	9	16
30					1	310	10	16																
31									1	130	12	18												
	5		9	15	7		9,3	15,7	4		11,5	17,25	5		12	18,4	2		8,5	16,0	5		10,6	16,0
				16				16				18				24				16				18

Таблиця Б 2 - Характеристики вітру над Борисполем за січень 2017 р.

Середній вітер	Максимальний порив	Напрямок біля землі	Румби	Синоптична ситуація
1	2	3	4	5
3	7	260	7	теплий сектор
7	10	230	6	теплий сектор
8	14	270	7	тил циклону
10	15	210	6	улоговина
10	14	270	7	улоговина
10	15	360	1	північна периферія циклону
10	13	350	1	зона теплового фронту
9	13	10	1	циклон
6	9	360	1	зона фронту оклюзії
4	6	360	1	висотна улоговина
6	9	100	3	висотна улоговина
5	8	220	6	улоговина
8	11	160	5	передня частина циклону
10	14	160	5	улоговина
4	7	220	6	висотна улоговина
3		200	5	малогradientне поле підвищеного тиску
3		30	2	малогradientне поле підвищеного тиску
2	5	360	1	малогradientне поле підвищеного тиску
3	7	260	7	гребінь
6	9	250	6	теплий сектор
6	9	330	8	зона фронту оклюзії
5		250	7	гребінь
8	11	230	6	периферія антициклону
5	9	260	7	висотна улоговина
10	15	360	1	зона холодного фронту
6	9	350	1	гребінь
5	8	320	8	гребінь
4		20	1	гребінь
4	8	120	4	гребінь
5		190	5	антициклон

Таблиця Б 3 - Характеристики вітру над Борисполем за лютий 2017 р.

Середній вітер	Максимальний порив	Напрямок біля землі	Румби	Синоптична ситуація
5	5	5	5	антициклон
6		120	4	гребінь
5		130	4	малоградієнтне поле підвищеного тиску
6		160	5	зона теплового фронту
5	8	300	8	тил циклону
4		90	3	зона теплового фронту
5	8	60	2	зона холодного фронту
9	12	70	3	зона холодного фронту
6	10	60	2	зона холодного фронту
3		40	2	антициклон
4		360	1	гребінь
3	6	50	2	гребінь
4	7	360	1	малоградієнтне поле підвищеного тиску
4	7	300	8	гребінь
9	13	300	8	зона теплового фронту
9	12	360	1	тил циклону
4	7	200	5	гребінь
5	8	200	5	теплий сектор
3		250	7	улоговина
5	9	240	6	теплий сектор
6	9	200	5	теплий сектор
6	12	230	6	зона теплового фронту
8	12	210	6	гребінь
10	16	270	7	тил циклону
9	14	260	7	зона холодного фронту
11	16	330	8	тил циклону
9	14	220	6	зона теплового фронту
4	7	250	7	теплий сектор

Таблиця Б 4 - Характеристики вітру над Борисполем за березень 2017р.

Середній вітер	Максимальний порив	Напрямок біля землі	Румби	Синоптична ситуація
7	12	170	5	теплий сектор
7	10	200	5	теплий сектор
4		200	5	зона холодного фронту
7	12	270	7	улоговина
9	12	170	5	улоговина
9	11	200	5	теплий сектор
9	12	160	5	теплий сектор
4	8	170	5	малоградієнтне поле підвищеного тиску
3	6	120	4	теплий сектор
5		110	3	теплий сектор
4		80	3	зона холодного фронту
6		20	1	улоговина
5		100	3	улоговина
5		50	2	улоговина
4	7	40	2	улоговина
6	10	280	7	улоговина
7	10	250	7	висотна улоговина
5		350	1	зона фронту оклюзії
9	13	180	5	висотна улоговина
6	9	260	7	циклон
4		320	8	циклон
5	9	230	6	зона теплого фронту
5	11	200	5	теплий сектор
5	8	10	1	зона холодного фронту
9	13	330	8	зона холодного фронту
5	8	310	8	висотна улоговина
5	8	70	3	висотна улоговина
11	15	320	8	улоговина
9	16	310	8	гребінь
10	15	270	7	зона теплого фронту
9	14	350	1	тил циклону
11	15	210	6	зона теплого фронту

Таблиця Б 5 - Характеристики вітру над Борисполем за квітень 2017р.

Середній вітер	Максимальний порив	Напрямок біля землі	Румби	Синоптична ситуація
4	9	60	2	зона теплового фронту
7	11	220	6	гребінь
7	13	350	1	улоговина
4	8	50	2	малоградієнтне поле підвищеного тиску
5	8	130	4	улоговина
8	11	140	4	теплий сектор
5	9	350	1	циклон
10	15	360	1	циклон
7	11	20	1	антициклон
6		190	5	малоградієнтне поле підвищеного тиску
10	21	300	8	теплий сектор
7	13	290	7	гребінь
7	12	240	6	зона холодного фронту
11	14	270	7	улоговина
10	14	260	7	зона холодного фронту
12	15	260	7	улоговина
6	9	340	1	гребінь
7	12	30	2	периферія антициклону
9	13	20	1	гребінь
6	10	90	3	гребінь
8	13	50	2	північна периферія циклону
10	17	230	6	висотна улоговина
5	9	340	1	улоговина
10	15	300	8	висотна улоговина
9	13	230	6	улоговина
10	16	200	5	теплий сектор
10	15	200	5	теплий сектор
7	14	180	5	теплий сектор
9	12	170	5	зона холодного фронту
6	10	330	8	зона холодного фронту
5	8	330	8	улоговина

Таблиця Б 6 - Характеристики вітру над Борисполем за травень 2017р.

Середній вітер	Максимальний порив	Напрямок біля землі	Румби	Синоптична ситуація
5	8	360	1	гребінь
5	9	350	1	гребінь
6	9	50	2	гребінь
5	9	110	3	антициклон
3		230	6	малоградієнтне поле підвищеного тиску
4	9	210	6	теплий сектор
10	18	260	7	циклон
5	10	340	1	тил циклону
7	13	280	7	тил циклону
9	14	210	6	улоговина
4	9	70	3	зона теплового фронту
6	9	110	3	зона теплового фронту
7	10	20	1	північна периферія циклону
6	12	50	2	гребінь
7	13	330	8	теплий сектор
9	14	360	1	гребінь
7	12	340	1	малоградієнтне поле підвищеного тиску
9	12	100	3	улоговина
7	14	40	2	улоговина
8	14	20	1	зона фронту оклюзії
7	11	20	1	гребінь
5	8	230	6	улоговина
8	12	200	5	зона фронту оклюзії
9	13	190	5	улоговина
6	11	260	7	зона холодного фронту
9	13	350	1	гребінь
6	11	340	1	гребінь
6	11	250	7	теплий сектор
11	14	270	7	улоговина
10	14	290	7	зона фронту оклюзії