

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра військової підготовки

## БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

на тему: «Розрахунок авіаційно-кліматичних показників струминної течії над станціями Київ, Харків, Одеса»

Студентки 4 курсу, групи В-41

Спеціальність 103 Науки про Землю

Болканюк Зоряна Сергіївна  
(прізвище, ім'я та по-батькові)

Керівник підполковник С.Е Романенко

Національна шкала \_\_\_\_\_

Кількість балів: \_\_\_\_\_ Оцінка: ECTS \_\_\_\_\_

Члени комісії: полковник

Грушевський О.М.

підполковник

Романенко С.Е.

підполковник

Мансарлійський В.Ф.

ОДЕСА – 2020 р.

МІНІСТЕРСТВО ОБОРОНИ УКРАЇНИ  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра військової підготовки

Рівень вищої освіти бакалавр

Спеціальність 103 Науки про Землю  
(шифр і назва)

Спеціалізація Метеорологія

Освітня програма «Організація метеорологічного та геофізичного забезпечення  
Збройних Сил України»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник кафедри військової підготовки

полковник **Олег ГРУШЕВСЬКИЙ**

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

студенці **БОЛКАНЮК Зоряні Сергіївні**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розрахунок авіаційно-кліматичних показників струминних течій для станцій Харків, Київ, Одеса.

керівник роботи Романенко Сергій Едуардович

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

затверджені наказом ректора ОДЕКУ від 17 квітня 2020 року № 40 «С»

2. Строк подання студентом роботи 16 червня 2020 року

3. Вихідні дані до роботи дані температурно-вітрового радіозондування атмосфери за 00 год. СГЧ на станціях Київ, Одеса, Харків за період з 2015 р. по 2019 р.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1) обробити дані температурно-вітрового зондування;

2) за даними температурно-вітрового зондування виявити наявність струминних течій в пунктах зондування;

3) розрахувати повторюваності СТ за градаціями напрямку вітру і за сезонами року, побудувати графіки повторюваності;

4) співставити напрямки СТ на різних висотах з повітряними трасами;

5. Перелік графічного матеріалу: табличні форми, рисунки, графіки повторюваності СТ.

## 6. Консультант розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Міщенко Н.М., к.геогр. н., доц.	27.04	27.04
2	Міщенко Н.М., к.геогр. н., доц.	01.05	01.05
3	Міщенко Н.М., к.геогр. н., доц.	04.06	04.06

7. Дата видачі завдання: 27 квітня 2020 року

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	Пошук літературних джерел за темою магістерської роботи	27.04 – 01.05.20	84	4
2.	Відпрацювання 1 та 2-го розділів роботи	01.05 – 22.05.20	86	4
3.	Рубіжна атестація	23.05.20	88	4
4.	Обробка вхідних даних та розрахункової частини	24.05 – 03.06.20	82	4
5.	Відпрацювання 3-го розділу	04.06 – 07.06.20	86	4
6.	Відпрацювання вступної частини, висновків, списку використаних джерел та додатків	08.06 – 09.06.20	86	4
7.	Перевірка роботи на плагіат, підготовка презентації, доповіді	10.06.20		
8.	Подання роботи на рецензування	12.06.20		
9.	Подання роботи до навчальної частини кафедри	13.06.20		
10.	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)	14.06.20	86	4

Студентка \_\_\_\_\_ Зоряна БОЛКАНІЮК  
( підпис ) (ім'я та прізвище)

Керівник роботи підполковник \_\_\_\_\_ Сергій РОМАНЕНКО  
( підпис ) (ім'я та прізвище)

## ЗМІСТ

Вступ.....	3
1 Струминні течії.....	5
1.1 Загальні відомості про струминні течії.....	5
1.2 Структура струминних течій.....	8
1.3 Класифікація струминних течій.....	16
1.4 Виявлення струминних течій в польоті.....	18
2 Методи прогнозу струминних течій.....	20
2.1 Метод Е. П. Борисенкова.....	22
2.2 Правило однієї ізогіпси.....	24
3 Розрахунок кліматичних характеристик струминних течій.....	25
3.1 Характеристика вихідних даних.....	25
3.2 Розрахунок повторюваності струминних течій.....	25
Висновки.....	32
Перелік посилань.....	33
Додатки.....	34

## ВСТУП

Струминна течія - це сильний вузький потік з майже горизонтальною віссю у верхній тропосфері чи в стратосфері, що характеризується великими вертикальними і горизонтальними зсувами вітру і одним або більше максимумами швидкості.

Струминні течії, взаємопов'язані з висотними фронтальними зонами, виникають, посилюються або слабшають як прямий наслідок процесів виникнення і руйнування цих зон. У процесі виникнення внаслідок зближення холодних і теплих повітряних мас горизонтальні градієнти температури, тиску і швидкості вітру зростають.

В областях струминних течій великі як вертикальні, так і горизонтальні зсуви вітру. Горизонтальний зсув вітру зліва від осі СТ, тобто на циклонічній стороні, набагато більше, ніж – праворуч від неї, на антициклонічній стороні. Вертикальний зсув вітру зазвичай більший над поверхнею максимального вітру, ніж під нею, хоча нерідко спостерігається і зворотнє.

*Актуальність* даної теми зумовлюється необхідністю визначення найбільш ефективних ешелонів польоту по повітряним трасам. Струминні течії мають дуже велике аеронавігаційне значення. Якщо польот в зоні струминної течії відбувається проти вітру, то путьова швидкість різко зменшується, а якщо за вітром - зростає. При польоті на великі відстані можна використовувати струминні течії для скорочення часу польоту до пункту призначення або для збільшення дальності польоту. В даний час існують методи, які дозволяють за даними поля вітру на ешелоні польоту запропонувати найвигідніший маршрут, за яким літак прилетить до пункту призначення з найменшою витратою часу, або з найменшою витратою палива.

*Метою* даної роботи є визначення найбільш ефективних ешелонів польотів державної авіації по повітряним трасам над станціями Київ, Харків, Одеса.

*Завдання:*

- виявити за даними температурно-вітрового зондування наявність струминних течій в пунктах зондування;
- обробити дані температурно-вітрового зондування;
- розрахувати повторюваності СТ за градаціями напрямку вітру і за сезонами року, побудувати графіки повторюваності;
- співставити напрямки СТ на різних висотах з повітряними трасами над станціями Київ, Харків, Одеса;

У якості *вихідних даних* використовувалися:

- 1) дані температурно-вітрового радіозондування атмосфери за 00 год. СГЧ на станціях Київ, Харків, Одеса за період з 2015 р. по 2019 р.

У першому розділі роботи розглядаються основні відомості про струминні течії.

Другий розділ присвячений основним методам прогнозування струминних течій.

У третьому розділі проведено розрахунок кліматичних характеристик струминних течій.

Кваліфікаційна робота містить 15 рисунка, 4 таблиць, перелік посилань.

## 1 СТРУМИННІ ТЕЧІЇ

### 1.1 Загальні відомості про струминні течії

Струминна течія - це сильний вузький потік з майже горизонтальною віссю у верхній тропосфері чи в стратосфері, що характеризується великими вертикальними і горизонтальними зсувами вітру і одним або більше максимумами швидкості.



Рис. 1.1 Схема струминної течії

Зазвичай довжина струминної течії становить тисячі кілометрів, ширина - сотні кілометрів і товщина - кілька кілометрів. Вертикальний зсув вітру близько 5-10 м/с на 1 км, а горизонтальний зсув - 5 м/с на 100 км. Нижня межа швидкості вітру на осі струминної течії умовно вважається рівною 30 м/с, або 108 км/год. Зазначена у визначенні ВМО нижня межа швидкості вітру в СТ обрана з урахуванням того, що вітер, що перевищує 100 км/год, виявляє помітний вплив на колійну швидкість літаків, які виконують політ у зоні СТ. Слід застерегти від формального застосування критерію 30 м/с при аналізі карт максимальних вітрів. Якщо на якій-небудь ділянці швидкість

вітру на 2-3 м/с менше зазначеної нижньої межі, це не означає відсутності струминної течії, а вказує лише на місцеве послаблення. При формальному застосуванні критерію швидкості вітру струминна течія на карті може виявитися розбитою на ряд не пов'язаних між собою відрізків, тоді як в реальних умовах вони злиті в єдине ціле, хоча і є значні зміни швидкості вітру уздовж СТ.

Центральну частину СТ, в якій швидкості вітру найбільші, називають її серцевиною. Лінія максимального вітру усередині серцевини називається віссю СТ. Поперечний переріз серцевини не перевищує 50-100 км по горизонталі і 1-2 км по вертикалі, а швидкість вітру на кордонах серцевини лише трохи менше, ніж на осі СТ. Зліва від осі, якщо дивитися по потоку, розташована циклонічна сторона СТ, праворуч – антициклонічна. Іноді їх називають, відповідно: холодною і теплою, але це вірно лише для тропосферних рівнів. Поверхня, що проходить через точки з максимальною швидкістю вітру на вертикальних профілях вітру в різних частинах СТ, називається поверхнею максимального вітру. Вісь СТ лежить на цій поверхні, яка є зігнутою. Найменші висоти поверхні максимального вітру зазвичай спостерігаються лівіше осі СТ. У напрямку вздовж СТ висота поверхні максимального вітру, і зокрема висота осі СТ, може поступово зменшуватися або збільшуватися (на 1-2 км впродовж 1000 км). Чим сильніший вітер на даній ділянці струменя, тим нижче розташовується рівень його максимальної швидкості. Швидкість вітру в СТ також змінюється вздовж потоку: утворюються рухливі області підвищених швидкостей вітру, а в проміжках між ними - області більш слабких вітрів. Области підвищених швидкостей вітру на картах виявляються як системи замкнутих ізоліній еліптичної форми, витягнутих уздовж потоку і окреслюють центри, які прийнято називати рухомими максимумами швидкості вітру або областями максимального вітру. Ці рухливі максимуми переміщуються уздовж СТ в напрямку потоку [3].



Струминні течії спостерігаються над різними районами земної кулі у всі сезони року. Найбільш потужні струменеві течії спостерігаються зимою на південному сході Азії та Північної Америки. Середні швидкості вітру в районі Японських островів зимою на висотах 10-13 км досягають 260-320 км/год, над Північною Америкою – 180-220 км/год. Великі швидкості вітру на південному сході Азії пояснюються значними контрастами температури в тропосфері, обумовленими зближенням дуже холодних повітряних мас над материком і теплих повітряних мас над Тихим океаном. В аналогічних умовах виникають струминні течії на південному сході Північної Америки. Окрім названих районів, струминні течії також спостерігаються над Аравією та Північною Індією. Струминна течія яка йде від Америки через Британські острови на Європу, часто розвітвлюється, при цьому одна гілка йде на схід через північні райони європейської території СРСР, а друга – приблизно до Балканського півострова.

Літні струминні течії в північній півкулі значно відрізняються від зимових як по розташуванню, так і по інтенсивності. Основна струминна течія, яка проходить від Аляски через Північну Америку та Атлантичний океан до північних районів Європи, частіше за все спостерігається між широтами 40 та 60°. Середні швидкості вітру вздовж вісі струменя на висотах 10-11 км коливаються в межах 60-100 км. Типовим для цієї пори року являється струминна течія, яка охоплює Кавказ та Середню Азію. Вона частіше за все спостерігається в липні та серпні на висотах 9-12 км з максимальними швидкостями вітру 250-300 км/год. Струминна течія в районі Японських островів літом значно слабшає [6].

## 1.2 Структура струминних течій

### 1.2.1 Вісь струминної течії і поверхня максимальних вітрів

Поверхня, яка проходить через точки з максимальною швидкістю на вертикальних профілях в різних частинах струминної течії, називається поверхнею максимальних вітрів. Найменші висоти поверхні максимального вітру зазвичай спостерігаються лівіше вісі струминної течії, а в напрямку від цього мінімуму праворуч та ліворуч висоти поверхні максимального вітру збільшуються, особливо це помітно на циклонічній стороні рис. 1.2.1. В напрямку вздовж струминної течії висота поверхні максимального вітру, і зокрема висота вісі струминної течії, може поступово зростати або зменшуватися (на 1-2 км на протязі 1000 км). Чим сильніший вітер на даній ділянці струменя, тим нижче розташовується рівень його максимальної швидкості. Найбільш низько вісь струминної течії лежить в баричних улоговинах, найбільш високо – на вісях гребенів. Одночасно зі зміною висоти вісі струминної течії вздовж потоку змінюється і швидкість вітру на вісі: виникають рухомі області підвищених швидкостей вітру, а в проміжках між ними – області слабших вітрів. Причини такої неоднорідності зв'язані з неоднорідною адвекцією вітру і температури в нестационарних процесах, а також з мезомасштабними явищами. Области підвищених швидкостей вітру на картах виявляються як системи замкнутих ізотх еліптичної форми, витягнутих вздовж потоку, які окреслюють центри, які прийнято називати рухомими максимумами швидкості вітру. Ці рухомі максимуми переміщуються вздовж струминної течії в напрямку потоку зі змінними швидкостями, в загальному меншими, ніж швидкість вітру в струминній течії.

Вони дуже мінливі і зазвичай тривають недовго. Рідко вдається слідкувати по карті за їх пересуванням на протязі більше доби.

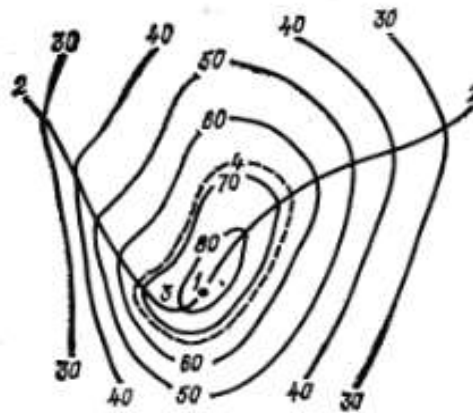


Рис. 1.2.1 Ізотахи в вертикальному розрізі через типову струминну течію.

1 – вісь СТ, 2 – лінія максимальних швидкостей вітру, 3 – жолоб мінімальних висот, 4 – межа серцевини СТ.

### 1.2.2 Вертикальний і горизонтальний зсуви вітру в струминних течіях

В областях СТ великі як вертикальні, так і горизонтальні зсуви вітру. Горизонтальний зсув вітру зліва від осі СТ, тобто на циклонічній стороні, набагато більший, ніж праворуч від неї, на антициклонічній стороні. Вертикальний зсув вітру зазвичай більше над поверхнею максимального вітру, ніж під нею, хоча нерідко спостерігається і зворотня ситуація.

У струминних течіях, пов'язаних з фронтами помірних широт, узимку середній вертикальний зсув вітру в шарі 1 км в низ від рівня максимального вітру становить приблизно 9 м/с, над поверхнею максимального вітру в такому ж шарі - 13 м/с. Чим сильніше СТ, тим більше вертикальний зсув вітру в ньому. Влітку середні вертикальні зсуви вітру мають майже такі ж

значення, але їх залежність від максимальної швидкості вітру на осі СТ змінюється. Зі збільшенням максимальних швидкостей вітру вертикальні зсуви зростають влітку набагато швидше, ніж узимку. У субтропічних СТ і взимку, і влітку середній вертикальний зсув вітру під віссю СТ становить 13 м/с, над віссю-12 м/с на 1 км. У сильних СТ (зі швидкостями більше 80 км/год) вертикальні зсуви вітру досягають 35-40 м/с на 1 км. Кожна струминна течія є складовою частиною планетарної фронтальної зони (ПВФЗ), що є об'ємною бароклінною зоною з великою вертикальною потужністю, неоднорідною на всьому своєму протязі. Чим більше горизонтальний градієнт температури в барокліній зоні, тим більше термічний вітер, що визначає вертикальний зсув вітру. Поки горизонтальний градієнт температури зберігає напрямок від рівня до рівня, вітер з висотою зростає. В результаті збереження напрямку термічного вітру в барокліній зоні від землі до рівня звернення горизонтального градієнта температури виникає СТ з віссю поблизу цього рівня. Однак дійсний вітер у СТ іноді значно сильніше того, що зумовлений термічним вітром. На лівій стороні СТ тропопауза є низькою і відносно теплою, на правій стороні - високою та холодною. Перехід від низької тропопаузи циклонічного боку СТ до високої тропопаузи антициклонічного боку може відбуватися безперервно, шляхом плавного переходу, або супроводжуватися розривом. Безперервний перехід від низької до високої тропопаузи частіше зустрічається у високих широтах, а розрив тропопаузи – в помірних і субтропічних широтах; він характерний для інтенсивних ПВФЗ і сильних СТ [2].

### 1.2.3 Тропопауза та атмосферні фронти в області струминної течії

На лівій стороні струминної течії тропопауза є низькою та відносно теплою, на правій стороні – високою та холодною. Перехід від низької

тропопаузи циклонічної сторони струминної течії до високої тропопаузи антициклонічної сторони може проходити безперервно шляхом плавного переходу або супроводжуватися розривом. В останньому випадку висока тропопауза може виявитися частково «насунутою» на низьку і розташовуватися над нею на відстані до 400 – 600 км. Розрив тропопаузи характерний для інтенсивних ПВФЗ та сильних струминних течій. Маються і широтні відмінності: безперервний перехід від низької до високої тропопаузи частіше зустрічається в високих широтах, а розрив тропопаузи – в помірних або субтропічних широтах.

Струминна течія розташовується в місці переходу від низької до високої тропопаузи як у разі безперервного переходу з крутим нахилом тропопаузи, так і у випадку розриву. Коли висока тропопауза насунута на нижню, струминна течія розташовується в зоні перекриття нижньої тропопаузи верхньою.

В складних ПВФЗ струминна течія помірних широт зміщується під субтропічну струминну течію і виявляється південніше останньої. В других випадках обидві струминні течії зливаються в одну потужну течію. Тоді тропопаузи, утворюючи розрив, розташовуються приблизно симетрично відносно вісі потужної струминної течії. В межах ПВФЗ, в яких спостерігається струминна течія, виділяють один або два головних фронти, які досягають земної поверхні.

Основний фронт помірних широт охоплює всю тропосферу, часто досягає тропопаузи помірних широт та об'єднується з нею, створюючи єдине ціле. В тилу цього фронту нерідко розташовується арктичний фронт, який також доходить до земної поверхні. В зоні переходу від холодної високої тропопаузи справа від вісі до теплої низької стратосфери зліва від вісі інколи спостерігається зона збільшених градієнтів температури, яка має назву – верхній фронт. Інша бароклінна зона починається під серцевиною струминної течії та простежується до висоти 3 – 5 км; її розглядають як

верхній фронт. З цими бароклініними зонами часто бувають зв'язані зони бовтанки літаків в шарах великих вертикальних зсувів вітру [2].

#### 1.2.4 Хмарність струминних течій

Знання характерних особливостей хмарної системи струминної течії необхідно при аналізі знімків видимого і інфрачервоного діапазонів спектру з метою виявлення струминних течій і визначення деяких їхніх характеристик. При аналізі доцільно керуватися наступними основними ознаками хмарної системи тропосферної струминної течії:

- основна хмарна система струминної течії має вигляд великого хмарного масиву довжиною 500-3000 км, іноді розпад на кілька паралельних хмарних смуг із загальною шириною до 400 км і більше;

- лівий (по відношенню до напрямку переносу) край хмарної системи струминної течії різко окреслений. Уздовж нього часто проходить тонка темна смуга шириною 10-30 км, яка представляє собою тінь хмарності струминної течії на розташованих нижче хмарах;

- текстура хмар, особливо поблизу лівого краю хмарної системи струминної течії, істотно відрізняється своєю волокнистістю, розташованого лівіше, де купчасто подібні хмари групуються в осередку;

- яскравість хмарної системи струминної течії більше, ніж яскравість навколишніх її хмарних полів. Особливо добре помітний такий контраст на ІЧ-знімках;

- іноді є мезомасштабні хмарні смуги, розташовані перпендикулярно або під кутом, мало відрізняється від прямого, до загального напрямку основного хмарного масиву струминної течії;

- наявність тісного зв'язку хмарності струминних течій з хмарними системами фронтів і циклонів.

За характерними ознаками, зазначеним вище, виявляється близько половини всіх струминних течій. В інших випадках в області струминних течій хмарність або відсутній зовсім або не має характерного вигляду.

За зовнішнім виглядом хмарної системи, виявленої при аналізі знімків видимого та інфрачервоного діапазонів спектра, можна визначити деякі характеристики струминної течії. При цьому можна ґрунтуватися на наступних правилах, отриманих в результаті статистичного аналізу:

- вісь струминної течії розташована паралельно лівому краю хмарної системи. Найчастіше вона збігається з ним або знаходиться правіше його на відстані, яка, як правило, не перевищує 100 км;

- чим краще виражена хмарність струминної течії, тим більше швидкість на її вісі;

- наявність хмарної системи характерно для струминних течій зі швидкістю вітру на вісі більше 40 м/с;

- наявність мезомасштабних поперечних смуг характерна для струминних течій з інтенсивністю 100 м/с і більше;

- середня швидкість вітру на ділянці, в межах якої знаходиться типовий для СТ хмарний масив становить 45-50 м/с. Середній горизонтальний зсув вітру на циклонічному боці струминної течії дорівнює 7,6 м/с на 100 км, на антициклонічному – 6,2 м/с на 100 км [1].

### 1.2.5 Струминні течії та циклонічна діяльність

Струминні течії та ПВФЗ з їх великими швидкостями і зсувами вітру, зі значними відхиленнями вітру від геострофічного є зонами добре розвиненої дивергенції та конвергенції швидкості в верхній частині тропосфери. Ці зони викликають відповідні зміни тиску біля поверхні землі. Тому структура полів вітру в струминних течіях та ПВФЗ грає визначну роль у виникненні та

розвитку циклонів та антициклонів середніх широт. З другого боку, діють і зворотні зв'язки: циклони та антициклони які розвиваються впливають на структуру та швидкість вітру в струминних течіях.

Не всі ділянки струминної течії однаково сприятливі для розвитку циклонів та антициклонів. Найбільш сприятливі умови для розвитку циклонічних вихорів утворюються в передній (правій) частині макромасштабної висотної улоговини ПВФЗ. На рис. 1.2.5 показане положення центрів циклонів біля попері землі, які розвинулися в передній частині 20 макромасштабних улоговин в різних частинах північної півкулі. Центри усіх циклонів у трьох стадіях розвитку (хвильове збурення, молодий та оклюдований циклон) нанесені на схематичне ізобаричне зображення на карті АТ-300 одній з макромасштабних улоговин за обраний період.

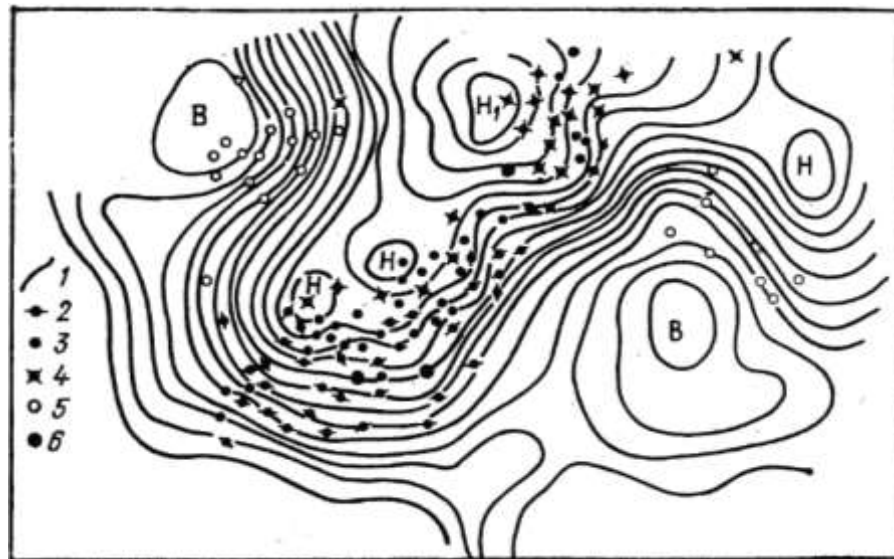


Рис. 1.2.5 Положення центрів циклонів та антициклонів макромасштабній улоговині. 1 – ізогіпси АТ-300, 2 – вершина хвильового збурення, 3 – центр молодого циклону, 4 – центр оклюдованого циклону, 5 – центр антициклону, 6 – баричні центри, які відносяться до зображеної улоговини.

Як видно з рис. 1.2.5, в південній передній частині улоговини, особливо там, де швидко убуває циклонічна кривизна ізогіпс, переважають хвильові збурення. Для середньої ділянки ПВФЗ в правій частині улоговини



характерні молоді циклони. Їх центри в більшості випадків лежать на вісі ПВФЗ або лівіше, якщо дивитися по течії. В північній частині макромасштабної улоговини розташовуються оклюдовані циклони.

Таким чином, частина ПВФЗ, яка лежить між віссю макромасштабної улоговини та віссю гребеня, являється циклогенетичною. В цій частині ПВФЗ між виникаючими циклонами формуються не антициклони, а тільки низькі рухомі гребені і відроги. Потужні циклони виникають в тилу макромасштабної улоговини між її віссю і віссю висотного гребеня, який знаходиться позаду цієї улоговини, якщо дивитися в напрямку потоку в струминній течії.

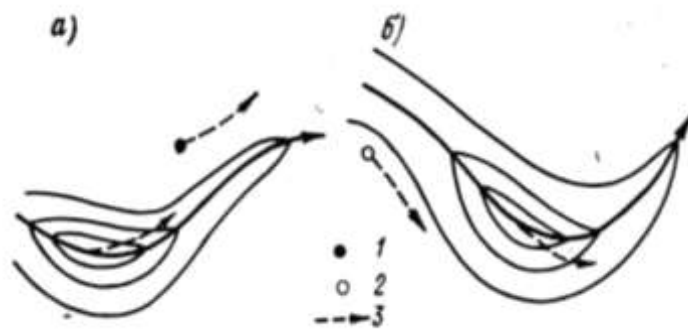


Рис. 1.2.6 Схема розташування центра циклона (а) та центра антициклона (б) відносно замкненої області максимального вітру.

1 – центр приземного циклона, 2 – центр приземного антициклона, 3 – напрямок переміщення баричних центрів та областей максимальної швидкості вітру.

Циклон який розвивається зазвичай знаходиться попереду і лівіше замкненої області максимальних швидкостей вітру в струминній течії та пересувається разом з нею рис 1.2.6 а. Антициклон який розвивається, як правило, знаходиться позаду і правіше замкненої області максимальних швидкостей вітру в струминній течії, пересувається разом з нею рис 1.2.6 б [2].

### 1.3 Класифікація струминних течій

Основою для класифікації струминних течій можуть служити характеристики висотних фронтальних зон, в межах яких вони утворюються. З урахуванням цих характеристик всі струминні течії можна об'єднати в три групи: струминні течії тропосферних ВФЗ, струминні течії стратосферних ВФЗ і струминні течії ВФЗ високих шарів атмосфери. У першу групу ВФЗ входять струминні течії високих і помірних широт, пов'язані з тропосферними ВФЗ і головними фронтальними розділами, і субтропічні тропосферні струминні течії.

1. Арктичні струминні течії (струминні течії арктичних фронтів) володіють великою рухливістю та мінливістю інтенсивності. Їх осі знаходяться на висотах 6-8 км. Інтенсивність арктичних струминних течій в середньому невелика, хоча в окремих випадках максимальні швидкості вітру можуть досягати 50-60 м/с.

2. Струминні течії помірних широт (струминні течії фронтів помірних широт), так само як і арктичні струминні течії, відрізняються великою мінливістю положення та інтенсивності. Вісі цих течій розташовуються на висотах 8-11 км. Середня інтенсивність цих струминних течій більше, ніж арктичних. Максимальні швидкості вітру нерідко досягають взимку 80-100 м/с, а іноді 120-130 м/с. Влітку максимальні швидкості вітру менше, ніж взимку, але нерідко перевищують 60-70 м/с. Найбільш інтенсивні струминні течії помірних широт зимою у східних узбережжях Північної Америки та Азії.

3. Субтропічні струминні течії простежуються, особливо взимку, у вигляді майже безперервного поясу сильних західних вітрів вздовж північної периферії субтропічних антициклонів. Осі цих течій зазвичай знаходяться на висотах 11-13 км, хоча іноді зустрічаються субтропічні струминні течії з висотою вісі 15-16 км. Рухливість субтропічних струминних течій в

середньому менше, ніж струминних течій високих і помірних широт. Однак при потужних виносах тропічного повітря в високі широти субтропічна струминна течія може просунути до  $55-60^\circ$  сх. ш. Максимальні швидкості вітру взимку часто досягають 120-130 м/с, а біля східного узбережжя материків 140-160 м/с. Відзначалися випадки, коли у східних берегів Азії інтенсивність субтропічних струминних течій досягала 180-200 м/с.

У середньому інтенсивність тропосферних струминних течій взимку в 1,3-1,5 рази більше, ніж влітку. Від зими до літа тропосферні струминні течії всіх типів зміщуються на північ, причому найбільш сильно змінюється середнє положення субтропічних струминних течій (з  $30$  до  $41^\circ$  пн. ш.) і найменш значно - арктичних (з  $68$  до  $73^\circ$  пд. ш.).

4. Стратосферні струминні течії, переважно західного напрямку, спостерігаються взимку на всіх широтах. Вони пов'язані зі стратосферними ВФЗ, які можуть виникати або в результаті вертикального розвитку тропосферних ВФЗ, або як самостійні стратосферні утворення. Влітку повторюваність стратосферних струминних течій істотно зменшується, що пов'язано з появою на високих рівнях (18 км і більше) східних вітрів.

Порівняно стійка стратосферна струминна течія взимку виявляється в субполярній області. Її зазвичай називають струминною течією «на краю полярної ночі». Вона виникає в зоні великих горизонтальних контрастів температури, котрі виникають між приполюсною областю з безперервною полярною ніччю і тією частиною атмосфери, де триває звичайна зміна дня і ночі. Вісь цієї струминної течії знаходиться на висотах близько 60 км, де середня швидкість вітру досягає 80-100 м/с.

Струминна течія східного напрямку утворюється влітку на південній периферії планетарного стратосферного антициклонічного вихору. Вона розташована в середньому на широті  $45^\circ$  з віссю на висоті приблизно 60 км. Її інтенсивність визначається середньою швидкістю вітру на вісі близько 60 м/с. Вісь цієї струминної течії, так само як і струминна течія «на краю полярної ночі», знаходиться вище стратосфери, в мезосфері, тому, хоча

загально прийнято називати обидві ці течії стратосферними, строго кажучи, їх слід віднести до струминних течій ВФЗ високих шарів атмосфери.

До числа стратосферних струминних течій відносяться екваторіальні струминні течії, вісі яких знаходяться на висотах 25-30 км. Вони розташовуються поблизу екватора, не віддаляючись від нього більш ніж на 15-20° широти. У північній півкулі екваторіальні струминні течії найбільш інтенсивні влітку, коли вони знаходяться на великому видаленні від екватора. Режим екваторіальних струминних течій відрізняється нестійкістю; великий вплив на нього робить квазідворічна циклічність в циркуляції атмосфери, яка найбільш чітко виявляється в стратосфері екваторіальних районів. До недавнього часу вважалося, що стратосферні екваторіальні струминні течії завжди мають східний напрямок. Проте спостереження останніх років показали, що екваторіальні струминні течії змінюють в квазідворічному циклі свій напрямок, зі східного на захід і навпаки [1].

#### 1.4 Виявлення струминних течій в польоті.

Струминна течія в польоті може бути виявлена по зміні кута зносу літака та зміні температури повітря.

При горизонтальному польоті і вході літака в ліву сторону струминної течії відбувається доволі швидке зростання температури (2 – 3°C або більше на 100 км) та лівий знос рис. 1.4.1. При вході літака з правої сторони температура знижується (1 – 2 °C на 100 км) та спостерігається правий знос літака. При польоті вздовж струминної течії температура не змінюється, а лише збільшується (при попутному вітрі) або зменшується (при зустрічному вітрі) путюва швидкість. При попаданні в зону бовтанки, яка зв'язана зі струминною течією, рекомендується змінювати висоту польоту на

300 – 400 метрів або ухилитися в сторону від маршрута на 50 – 70 км. Висоту польоту рекомендується змінювати зниженням, якщо польот проходить на висотах не більше 8 км, а на менших висотах – підняттям вверх. Ухилитися від маршрута найбільш безпечно на праву (антициклонічну) сторону струминної течії [5].

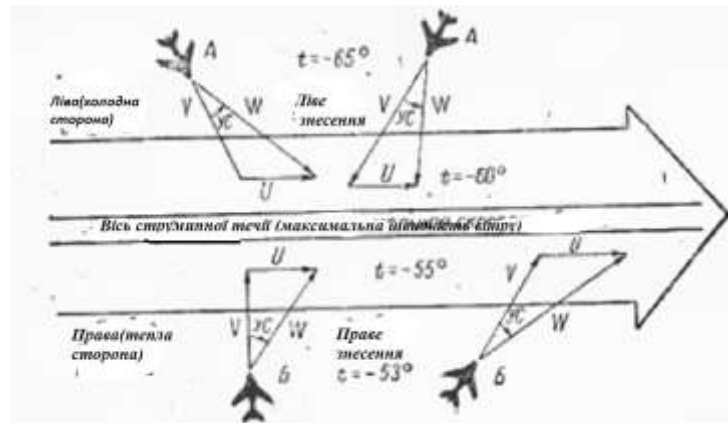


Рис 1.4.1 Приклади змінення куту зносу  $UC$  та температури  $t$  при пересіканні струминної течії.

## 2 МЕТОДИ ПРОГНОЗУ СТРУМИННИХ ТЕЧІЙ

Прогноз майбутнього положення СТ і швидкості максимального вітру тісно пов'язаний з прогнозом положення ПВФЗ і, в кінцевому рахунку, з прогнозом поля тиску. В оперативній практиці прогностичних центрів нашої країни прогноз СТ дається синоптичними методами на основі чисельного прогнозу висот ізобаричних поверхонь і з використанням карт максимального вітру за попередні терміни.

Майбутня орієнтація тропосферної СТ визначається за прогностичними картами АТ-300 або АТ-200. Зміна висот осі СТ за 12 год вважається дуже малим. Прогноз зміщення і зміни інтенсивності областей максимального вітру, що рухаються вздовж осі СТ, проводиться на основі уявлень про те, які ділянки поля є характерними для зародження і розпаду цих областей. Найбільш ефективним генератором областей максимального вітру є область сильних конвергентних зустрічних потоків. Інші ситуації, що обумовлюють конвергенцію потоків, також сприятливі для виникнення областей максимального вітру. Навпаки, системи, в яких спостерігається розбіжність повітряних течій, викликають послаблення, гасіння областей максимального вітру. При прогнозі руху таких областей слід мати на увазі наступні особливості. Області максимального вітру переміщаються уздовж струминної течії зі змінними швидкостями, загалом меншими, ніж швидкість вітру в струминній течії. Зазвичай повільно рухомі області мають розріджені ізотахи попереду і велику їх концентрацію в тилу. Навпаки, швидко рухомі області максимального вітру мають густо розташовані ізотахи в передній частині і розріджені в тиловій. Область максимального вітру може рухатися криволінійно і з прискоренням, але в таких випадках завжди видна система, яка направляє рух, наприклад висотна улоговина або циклон.

При прогнозі струминних течій корисно мати на увазі такі загальні правила: коли в достатньо потужній і широкій струминній течії

пересувається велика за розмірами область максимальних вітрів, то з приближенням її до району помітної дивергенції вона зазвичай розпадається або істотно слабшає; однак, якщо широка струминна течія представляє систему двох струменів, то в зоні сильної дивергенції вони розгалужуються, тоді по кожній гілці буде рухатися своя область максимальних вітрів, але менших розмірів рис. 2.1 а.

Іноді область максимальних вітрів сильно витягнута у вигляді еліпса і замкнені ізотахи сконцентровані в одній її стороні. Тим не менш на слідкуючій карті в протилежній стороні еліпсу може з'явитися новий самостійний центр. Треба простежувати траєкторії обох центрів рис. 2.1б .

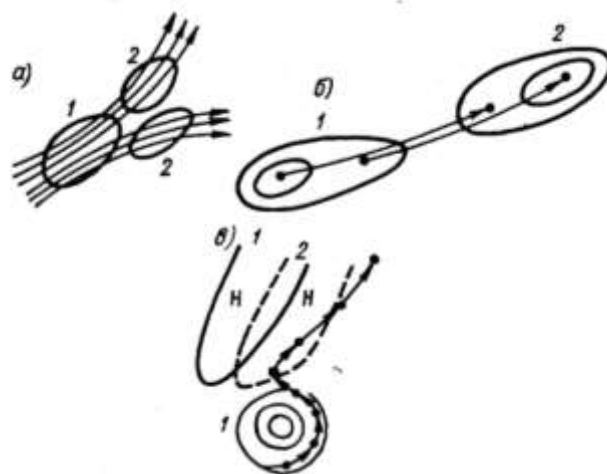


Рис. 2.1 Три особливості еволюції струминної течії

а – розгалуження струминної течії, б – поява самостійного центру максимального вітру в витягнутій області максимальних вітрів, в – перехід області максимальних вітрів із однієї системи течій в іншу; 1- початкове положення, 2 – подальше положення.

Складаючи прогноз СТ, синоптик керується такого роду якісними закономірностями. У різний час як у нас, так і за кордоном було запропоновано декілька розрахункових методів прогнозу тих або інших характеристик СТ; серед цих методів є відносно прості, які не потребують великого обсягу розрахунків. Для аналізу і прогнозу струминних течій

застосовуються фактичні та прогностичні карти баричної топографії рівнів 400, 300 і 200 гПа, а також карти максимальних вітрів. Струминні течії виявляються по загущенню ізогіпс. Для визначення висоти ОСТ, верхньої і нижньої меж шару максимального вітру використовуються дані вітрового зондування атмосфери [4].

## 2.1 Метод прогнозу положення вісі струминної течії Е. П. Борисенкова

Е. П. Борисенков запропонував спосіб прогнозу положення вісі струминної течії виходячи з енергетичних співвідношень стосовно середнього енергетичного рівня атмосфери  $h$ .

Рівняння енергії атмосферних рухів на цьому рівні запишеться наступним чином:

$$\frac{\partial K_h}{\partial t} = - \left( u \frac{\partial K_h}{\partial x} + v \frac{\partial K_h}{\partial y} \right) - \frac{1}{\rho} \left( u \frac{\partial p}{\partial x} + v \frac{\partial p}{\partial y} \right) \quad (2.1)$$

де  $K_h$  - значення кінетичної енергії на рівні  $h$ .

Рівняння (2.1) показує, що зміна кінетичної енергії в даній точці на рівні  $h$  визначається приходом часток з другим рівнем енергії та роботою сил баричного градієнту. Середній енергетичний рівень є ізопікнічним рівнем тобто  $\frac{\partial p}{\partial x} = \frac{\partial p}{\partial y} = 0$ . Тоді, скориставшись рівнянням стану, отримаємо:

$$\frac{\partial K_h}{\partial t} = - \left( u \frac{\partial K_h}{\partial x} + v \frac{\partial K_h}{\partial y} \right) - RCgradT \quad (2.2)$$

де  $R$  – газова постійна,  $C$  – швидкість потоку, тобто

$$CgradT = u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} \quad (2.3)$$



Якщо направити вісь  $X$  по дотичній до вісі струминної течії, а вісь  $Y$  по нормалі до неї і врахувати що на вісі струминної течії кінетична енергія максимальна в будь-який момент часу, тобто:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial K_h}{\partial y} = \frac{\partial^2 K_h}{\partial t \partial y} + C_{cr} \frac{\partial^2 K_h}{\partial y^2} = 0 \quad (2.4)$$

де  $C_{cr}$  - швидкість переміщення вісі струминної течії по нормалі (по вісі  $Y$ ), отримаємо формулу:

$$C_{cr} = - \frac{\frac{\partial}{\partial y} \frac{\partial K_h}{\partial t}}{\frac{\partial^2 K_h}{\partial y^2}} \quad (2.5)$$

або з урахуванням (2.2)

$$C_{cr} = \frac{R \frac{\partial}{\partial y} C_h grad T}{\frac{\partial^2 K_h}{\partial y^2}} \quad (2.6)$$

Якщо застосувати (2.6) до одиниці маси, то

$$\frac{\partial^2 K_h}{\partial y^2} = C_h \frac{\partial^2 C_h}{\partial y^2}$$

формула для визначення швидкості переміщення вісі струминної течії в напрямку нормалі матиме вигляд:

$$C_{cr} = - \frac{R \frac{\partial}{\partial y} C_h grad T}{C_h \frac{\partial^2 C_h}{\partial y^2}} \quad (2.7)$$

В рівнянні (2.7) знаменник завжди менше нуля. Отже, про напрямок зміщення вісі струминної течії на ізопікнічному рівні і поблизу нього можна судити по характеру розподілу адвекції температури. На основі формули (2.7) можна зробити ряд прогностичних висновків якісного характеру.

1. Якщо зліва від вісі спостерігається адвекція холоду, а справа – адвекція тепла або більш слабка адвекція холоду, тобто  $\frac{\partial}{\partial y} C grad T > 0$ , то вісь струминної течії буде зміщуватися в сторону її антициклонічної периферії.

2. Якщо зліва від вісі спостерігається адвекція тепла, а справа – адвекція холоду або більш слабка адвекція тепла, тобто  $\frac{\partial}{\partial y} CgradT < 0$ , то вісь струминної течії буде зміщуватися в сторону її циклонічної периферії.

3. Вісь струминної течії зовсім не буде зміщуватися, якщо вона розташовується в полі однорідної або нульової адвекції.[4]

## 2.2 Правило однієї ізогіпси

В Німеччині застосовується наступне правило: вісь струминної течії на протязі доби залишиться на одній і тій ж ізогіпсі . По картах струминних течій потрібно відібрати добре виражених на протязі доби струминних течій. Для кожної струминної течії потрібно визначити ізогіпсу, вздовж якої в середньому розташовувалася вісь струменя. Далі в декількох точках виміряти відхилення вісей струминних течій від обраних ізогіпс

## 3 РОЗРАХУНОК КЛІМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТРУМИННИХ ТЕЧІЙ

### 3.1 Характеристика вихідних даних

На підставі даних температурно-вітрового радіозондування була сформована вибірка з кількістю 420 бланків АД по пунктам: Київ, Харків, Одеса. У якості вихідних даних для розрахунку кліматичних характеристик СТ відбиралися бланки АД на ізобаричних поверхнях 300, 400, 500 гПа де спостерігався вітер 30 м/с і більше. СТ знімалися з трьох поверхонь у зв'язку з тим, що в Україні спостерігаються різні ешелони польотів для різних повітряних суден.

### 3.2 Розрахунок повторюваності струминної течії

В табл. 3.1 представлені розрахунки повторюваності на різних ізобаричних поверхнях для станції Київ, Харків, Одеса..

Розрахунки повторюваності проводилися за формулою:

$$P = \frac{m}{n} * 100\% \quad (3.1)$$

де  $m$  – частота градації

$n$  – загальна кількість випадків

Таблиця 3.1 - Повторюваність СТ для різних напрямків

Місто	Висота(гПа)		0-44	45-89	90-134	135-179	180-224	225-269	270-314	315-360
	Напрямок									
Харків(00) СГЧ	500,0		6,9	2,3	0,0	0,0	2,3	30,2	32,5	25,6
	400,0		8,2	0,0	0,0	2,7	8,2	34,9	27,5	18,3
	300,0		7,7	0,7	1,4	4,2	7,7	28,7	27,3	22,4
Київ(00) СГЧ	500,0		6,8	0,0	0,0	0,0	4,5	27,3	34,1	27,3
	400,0		6,4	1,8	1,8	2,7	10,0	29,1	25,4	22,7
	300,0		5,2	2,3	1,2	4,1	6,4	33,1	26,7	20,9
Одеса(00) СГЧ	500,0		7,7	0,0	0,0	0,0	15,4	7,7	30,8	38,5
	400,0		13,7	0,0	0,0	0,0	7,8	29,4	27,4	21,6
	300,0		9,5	0,0	0,0	0,0	9,5	33,3	29,5	18,1

Таблиця 3.2 - Повторюваність для станції Харків за 00 СГЧ

Харків 00 СГЧ	Висота(гПа)		0-44	45-89	90-134	135-179	180-224	225-269	270-314	315-360
	Напрямок									
Кількість випадків	500		3	1			1	13	14	11
	400		9			3	9	38	30	20
	300		11	1	2	6	11	41	39	32
Повторюваність	500,0		6,9	2,3	0,0	0,0	2,3	30,2	32,5	25,6
	400,0		8,2	0,0	0,0	2,7	8,2	34,9	27,5	18,3
	300,0		7,7	0,7	1,4	4,2	7,7	28,7	27,3	22,4

З табл. 3.2 видно, що найбільша кількість випадків 41 струминних течій спостерігається на ізобаричній поверхні 300 гПа з напрямком 225-269°, і повторюваність складає 28,7%. Найменша кількість випадків - 1 струминна течія, на ізобаричній поверхні 500 гПа спостерігається з напрямком 45-89° і 180-224°, на ізобаричній поверхні 300 гПа з 45-89°.

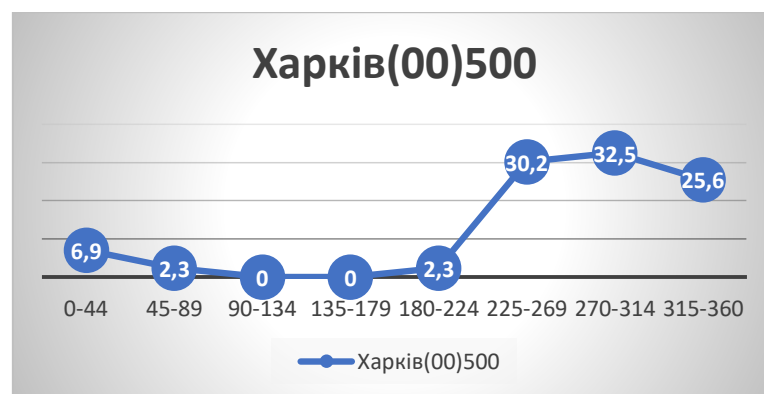


Рис. 3.1 Повторюваність струминної течії для станції Харків 00 СГЧ для ізобаричної поверхні 500 гПа

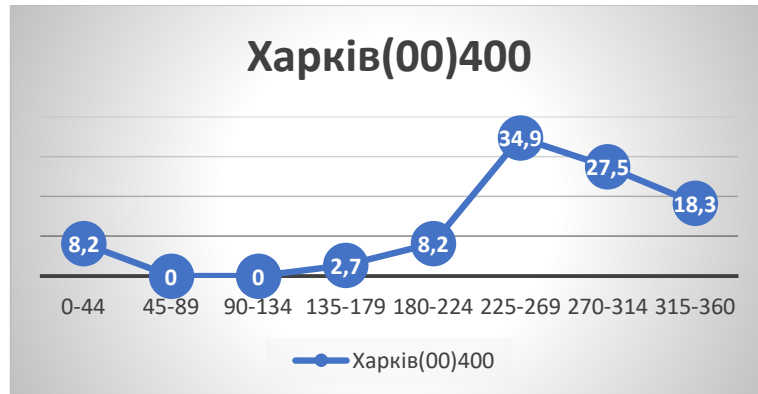


Рис. 3.2 Повторюваність струминної течії для станції Харків 00 СГЧ для ізобаричної поверхні 400 гПа

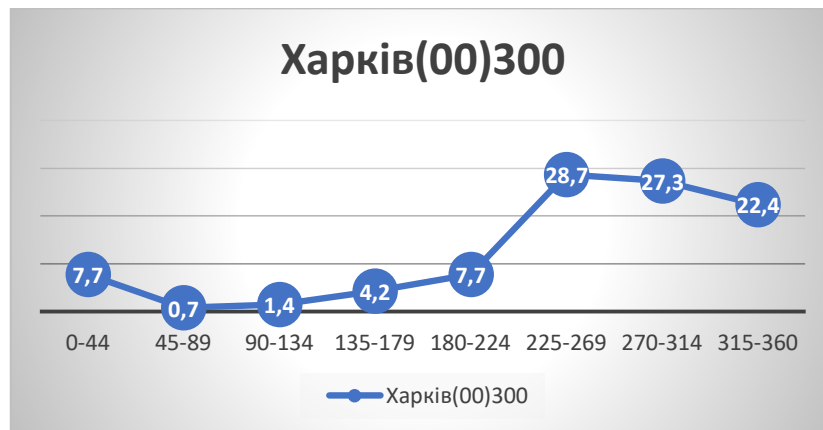


Рис. 3.3 Повторюваність струминної течії для станції Харків 00 СГЧ для ізобаричної поверхні 300 гПа

За даними таблиці видно, що над станцією Київ найбільша кількість СТ спостерігається з напрямком 270-314°, над станцією Харків найбільша кількість СТ спостерігається з напрямком 225-269°, над станцією Одеса найбільша кількість СТ спостерігається з напрямком 225-269°.

Таблиця 3.4 - Повторюваність для станції Одеса за 00 СГЧ

Одеса 00 СГЧ	Висота(гПа)	0-44	45-89	90-134	135-179	180-224	225-269	270-314	315-360
	Напрямок								
Кількість випадків	500	1				2	1		4
	400	6				3	7	6	9
	300	7				8	19	20	16
Повторюваність	500,0	12,5				25,0	12,5		50,0
	400,0	19,4				9,7	22,6	19,4	29,0
	300,0	10,0				11,4	27,1	28,6	22,9

З табл. 3.4 видно, що найбільша кількість випадків 20 струминних течій спостерігається на ізобаричній поверхні 300 гПа з напрямком 270-314°, і повторюваність складає 28,6%. Найменша кількість випадків - 1 струминна течія, на ізобаричній поверхні 500 гПа спостерігається з напрямком 0-44° і 225-269°. На ізобаричній поверхні 500 гПа з напрямком 45-179°, 270-314° струминних течій не спостерігається, на ізобаричній поверхні 400 гПа - 45-179°, 300 гПа – 45-179°

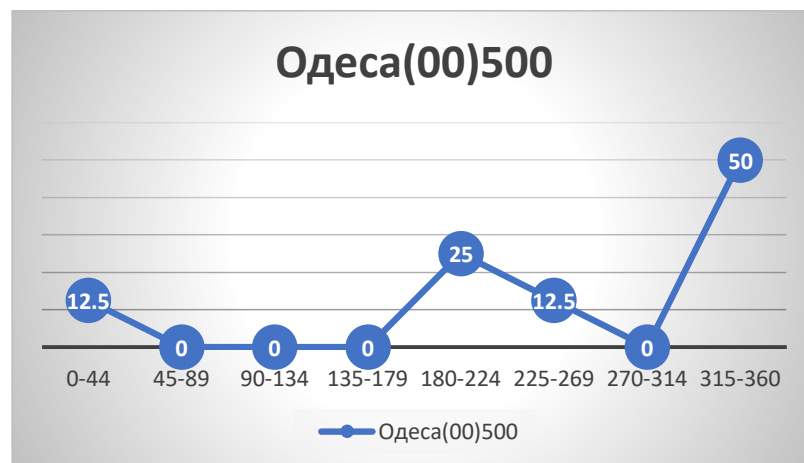


Рис. 3.4 Повторюваність струминної течії для станції Одеса 00 СГЧ для ізобаричної поверхні 500 гПа

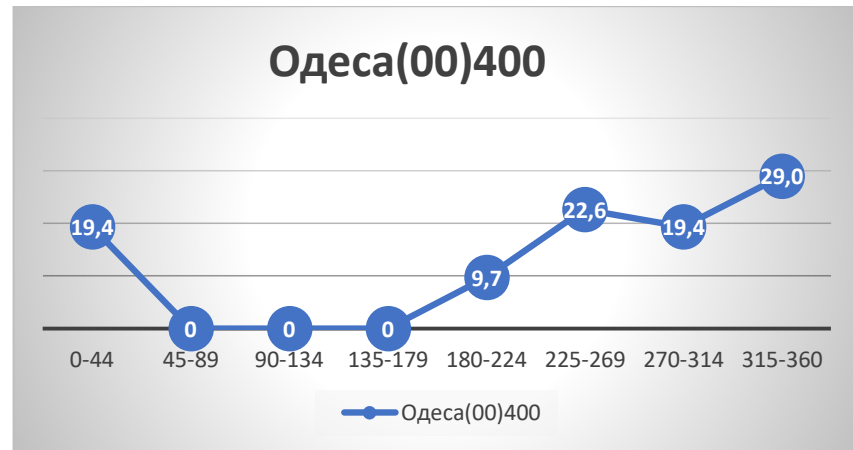


Рис. 3.5 Повторюваність струминної течії для станції Одеса 00 СГЧ для ізобаричної поверхні 400 гПа

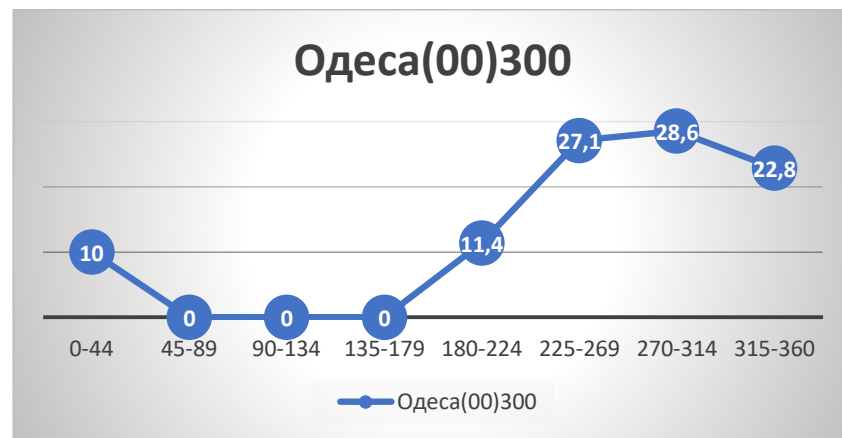


Рис. 3.6 Повторюваність струминної течії для станції Одеса 00 СГЧ для ізобаричної поверхні 300 гПа

Таблиця 3.5 - Повторюваність для станції Київ за 00 СГЧ

Одеса 00 СГЧ	Висота(гПа)	0-44	45-89	90-134	135-179	180-224	225-269	270-314	315-360
	Напрямок								
Кількість випадків	500	3				2	12	15	12
	400	7	2	2	3	11	32	28	25
	300	9	4	2	7	11	57	46	36
Повторюваність	500,0	6,8				4,5	27,3	34,1	27,3
	400,0	6,4	1,8	1,8	2,7	10,0	29,1	25,4	22,8
	300,0	5,2	2,3	1,2	4,1	6,4	33,1	26,7	20,9

З табл. 3.5 видно, що найбільша кількість випадків 57 струминних течій спостерігається на ізобаричній поверхні 300 гПа з напрямком 225-269°, і повторюваність складає 33,1%. Найменша кількість випадків - 2 струминні течії, на ізобаричній поверхні 500 гПа спостерігається з напрямком 180-224°, 45-179 ° струминних течій не спостерігається . На ізобаричній поверхні 400 гПа з напрямком 45-134°, на ізобаричній поверхні 300 гПа - 90-134°.

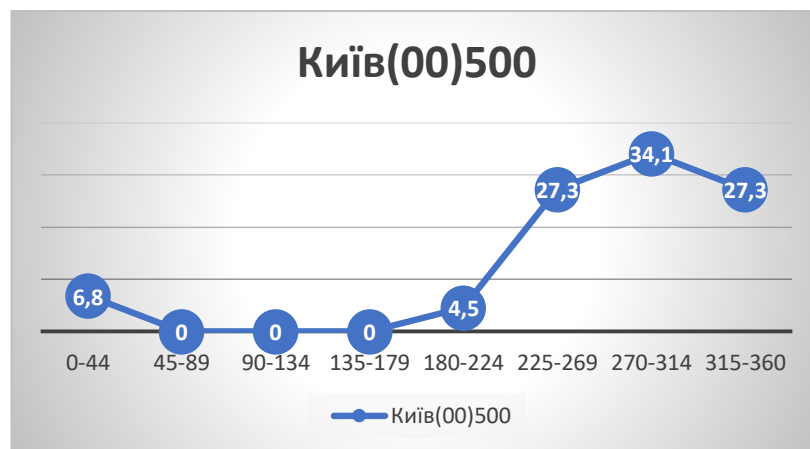


Рис. 3.7 Повторюваність струминної течії для станції Київ 00 СГЧ для ізобаричної поверхні 500 гПа



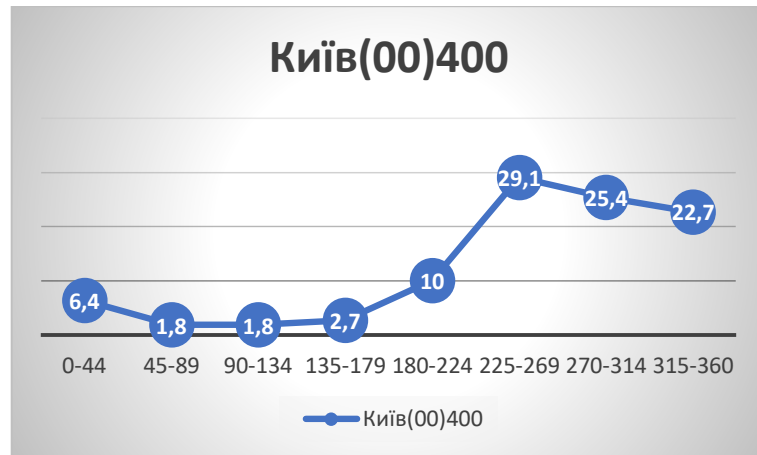


Рис. 3.8 Повторюваність струминної течії для станції Київ 00 СГЧ для ізобаричної поверхні 400 гПа

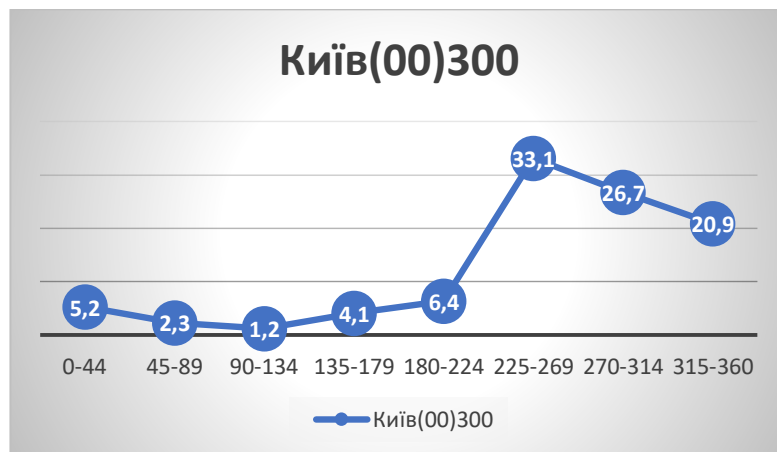


Рис. 3.9 Повторюваність струминної течії для станції Київ 00 СГЧ для ізобаричної поверхні 300 гПа

## ВИСНОВКИ

В ході виконання бакалаврської роботи було проведено:

1) Розрахунок повторюваності СТ на станціях: Харків, Київ, Одеса. Найбільша повторюваність спостерігається на станції Одеса, яка складає 38,5 %, найменша на станції Харків і вона складає 0,7 %.

2) Аналіз повторюваності СТ по напрямках показав, що найбільша кількість СТ (41) спостерігалася на станції Харків у напрямку 225-269 °.

3) Аналіз повторюваності СТ по ізобаричним поверхням: 500, 400, 300 гПа. показав, що найбільша кількість СТ (41) спостерігалася на станції Харків на ізобаричній поверхні 300 гПа.

4) Розподіл СТ за повітряними трасами представлені в додатку А.

Виходячи з розрахунків рекомендую для станцій Харків, використовувати ешелон польоту на висоті 6-7 км. з Пн Зх напрямком, для станції Київ та Одеса використовувати ешелон польоту на висоті 6-7 км. з Пд Зх напрямком.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 712 с.
2. Воробьев В.И. Синоптическая метеорология. Учебник. – Л.: Гидрометеиздат, 1991. – 604 с.
3. Авиационная метеорология. Яковлев А. М. Изд-во “Транспорт”, 1971. – 248 с.
4. Руководство авиационной метеорологии. Часть 9. – Л.: Гидрометеиздат, 2011. – 190 с.
5. Robert S., Todd L., Aviation Turbulence. ISBN: 978-3-319-23629-2. 529 pages.
6. Авиационные факторы риска. Ж.: Секретариат Всемирной Метеорологической Организации, Июнь 2007. – 53 с.

## ДОДАТКИ

## Додаток А

### Карта-схема повітряних трас України

