

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія аеронавігації

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни
«Метеорологія»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Аеронавігація

За темою № 2 Фізичні параметри атмосфери. 2.4. Вітер

Вінниця 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2023 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 28.08.2023 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії аеронавігації, протокол від 28.08.2023 р № 1.

Розробник:

викладач циклової комісії аеронавігації, спеціаліст Дроздова С.П.

Рецензенти:

викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки
Кременчуцького льотного коледжу Харківського університету внутрішніх справ,
професор, доцент, к.х.н., Козловська Т.Ф.
командир льотного загону аеродрому «Велика Кохнівка» КЛК ХНУВС Шорохов І.В.

План лекції:

1. Причини виникнення вітру.
2. Сили, які діють в атмосфері.
3. Рух повітря у шарі тертя та вільній атмосфері.
4. Зміни вітру з висотою.
5. Градієнтний вітер та баричний закон вітру.
6. Місцеві вітри.
7. Методи виміру вітру.

Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в Інтернеті

Основна:

1. Правила метеорологічного забезпечення авіації. – Київ: Наказ Державної авіаційної служби України від 09.03.2017 № 166.

Додаткова:

1. Володко О.М. Безпека польотів вертольотів, М.: Транспорт, 1981. – 224 с.
2. Воробйов В.І. Синоптична метеорологія. - Л.: Гідометеоздат, 1998. - 213 с.
3. Новожилов Н.І., Хргіян А.Х. Атлас хмар. Ленінград: Гідрометеоздат. 1981.
4. Матвеев Л.Т. Курс загальної метеорології. Фізика атмосфери. - Л.: Гідрометеоздат, 1984. - 198 с.
5. Прох Л.З. Словник вітрів. - Л. Гідометеоздат, 1983. - 204 с.
6. Тараканов Г.Г. Тропічна метеорологія. - Л.: Гідометеоздат, 1980. - 244 с.
7. Хромов С.П. Метеорологія та кліматологія. - Л.: Гідометеоздат, 1968. - 256 с.
8. Шкільний Є.П. Фізика атмосфери. Одеса, ОТМІ, 1997. - 210 с.

Інформаційні ресурси в Інтернеті:

1. Офіційний портал Державної авіаційної служби України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://avia.gov.ua>
2. Офіційний портал Всесвітньої метеорологічної організації [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.wmo.int>.
3. Офіційний сайт Державного підприємства обслуговування повітряного руху України. Міністерство інфраструктури України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://uksatse.ua>

Текст лекції

1. Причини виникнення вітру

Вітер - це горизонтальне переміщення повітря відносно земної поверхні.

Основними характеристиками вітру є напрям і швидкість. За напрям вітру в метеорології прийнята та частина горизонту, звідки він дме. Напрямок вітру визначається в градусах або румбах. Градуси відраховуються від північного напрямку географічного меридіана за годинниковою стрілкою від 0 ° до 360 ° - істинний вітер. В аеропортах, де магнітне схилення 5° і більше, напрямок вітру відраховується від північного напрямку магнітного меридіана - магнітний вітер.

Швидкість вітру вимірюється в метрах в секунду, в кілометрах в годину або в вузлах (1 м / с = 3,6 км / год, 1 вузел = 1,852 км / ч).

Безпосередньою причиною виникнення вітру є нерівномірний розподіл атмосферного тиску уздовж земної поверхні, яке, в свою чергу, є наслідком неоднорідного розподілу температури.

2. Сили, які діють в атмосфері

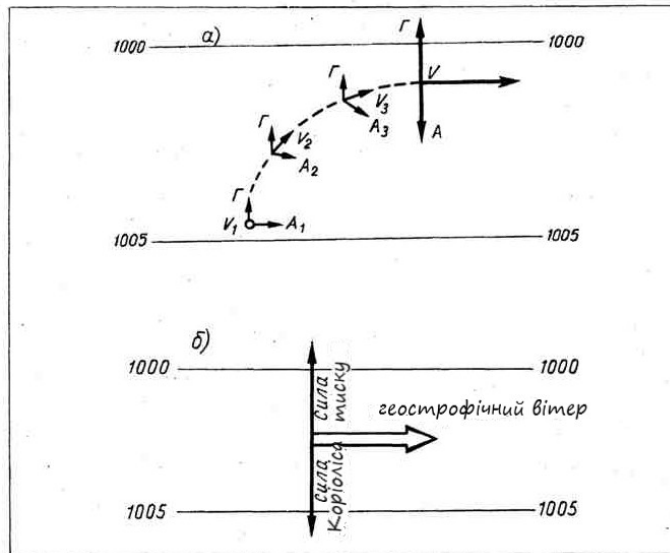
Сила градієнта тиску. У теоретичній метеорології сили зазвичай ставляться до одиниці маси. Тому, щоб висловити силу градієнта тиску, що діє на одиницю маси, слід величину градієнта тиску розділити на щільність повітря. Тоді числове значення сили баричного градієнта (Γ) визначиться виразом:

$$\Gamma = - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial n},$$

де ρ - щільність повітря, dp / dn - градієнт тиску.

Під дією сили градієнта тиску (баричного градієнта) виникає вітер. Це означає, що якщо на деякій ділянці утворюється надлишок маси повітря (високий тиск), то повинен відбутися відтік його в область з недостатністю повітря (низького тиску). Цей відтік тим сильніше, чим більше різниця тиску.

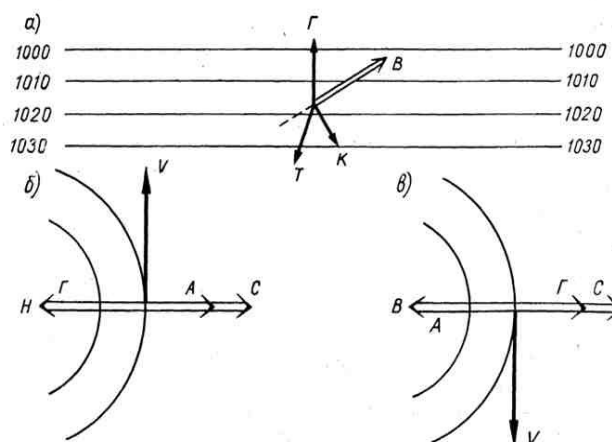
Таким чином, основною рушійною силою виникнення руху повітря є баричний градієнт. Якби на повітряні частинки діяла тільки сила баричного градієнта, то рух їх відбувалося б завжди в напрямку цього градієнта, подібно стоку води від більш високого рівня до низького. Насправді цього не відбувається.



Мал. 2.1. Схема зміни напрямку вітру під дією сили обертання Землі (а) і виникнення географічного вітру (б)

Сила тертя. Сила тертя спрямована завжди в сторону, протилежну руху, і пропорційна швидкості. Вона, зменшуючи швидкість повітряних потоків, відхиляє їх вліво від ізобар, і рух відбувається не вздовж ізобар, а під деяким кутом до них, від високого тиску до низького. За допомогою турбулентного перемішування повітря вплив тертя передається в вищерозміщені шари, приблизно до 1 км над поверхнею землі.

Вплив тертя на напрям і швидкість руху повітря зображено на схемі 2.2. На схемі представлено поле тиску і рух повітря під дією сили градієнта тиску, сили обертання Землі і тертя. Під дією сили Коріоліса рух повітря відбувається не вздовж градієнта тиску Γ , а під прямим кутом до нього, тобто вздовж ізобар. Дійсний вітер зображений стрілкою B , сила тертя T відхилена від напрямку вітру на невелику відстань вбік. Сила Коріоліса показана під прямим кутом до дійсного вітру стрілкою K . Як бачимо, кут між дійсним вітром B і силою тертя T становить більше 90° , а кут між дійсним вітром B і силою градієнта тиску Γ менше 90° . Так як сила градієнта перпендикулярна ізобарам, то дійсний вітер виявляється відхиленим вліво від ізобар. Величина кута, складається ізобарою і напрямком дійсного вітру, залежить від ступеня шорсткості земної поверхні. Відхилення відбувається вліво від ізобар зазвичай під кутом $20-30^\circ$. Над сушею тертя більше, ніж над морем, у поверхні землі вплив тертя найбільше, а з висотою воно зменшується. На висоті близько 1 км дію сили тертя майже припиняє.



Мал. 2.2. Сили діючі на рух повітря в разі прямолінійних изобар (а) криволінійних изобар в антициклоні (в)

Відцентрова сила. Якщо ізобари криволінійні, тобто мають, наприклад, форму еліпса або кола, то на рух повітря впливає відцентрова сила. Це сила інерції, яка спрямована від центру до периферії по радіусу кривизни траєкторії руху повітря. Під дією відцентрової сили (в разі відсутності тертя) рух відбувається по ізобарах. При наявності ж тертя вітер дме під кутом до ізобар в сторону низького тиску.

Величина відцентрової сили визначається з рівності

$$C = \frac{V^2}{r}$$

де V - швидкість руху повітря (швидкість вітру), r - радіус кривизни його траєкторії.

Якщо прийняти, що рух повітря відбувається по колу, то швидкість його в будь-якій точці траєкторії буде направлена по дотичній до окружності (рис. 2.2, б і в). Як бачимо з цієї схеми, сила Коріоліса (A) спрямована (в північній півкулі) під прямим кутом по радіусу вправо від швидкості вітру (V). Відцентрова сила (C) спрямована від центру циклону і антициклону до їх периферії, а сила градієнта (Γ) врівноважує геометричну суму перших двох сил і лежить на радіусі окружності. Всі три сили в цьому випадку пов'язані рівнянням

$$\frac{V^2}{r} + 2\omega \sin \phi V = \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial r}$$

де r - радіус кривизни ізобар.

З цього рівняння випливає, що вітер спрямований перпендикулярно градієнту тиску. Це окремий випадок вітру при кругових ізобарах в системі циклону. Такий вітер називається градієнтним.

Поза дією сили тертя, тобто вище 1 км, вітер у напрямку і швидкості наближається до градієнтного. Різниця між дійсним і градієнтним вітром зазвичай невелика. Однак ці невеликі відхилення дійсного вітру від градієнтного грають важливу роль у зміні атмосферного тиску.

3. Рухи повітря в шарі тертя і вільної атмосфері

Переміщення повітря відбувається під дією сили горизонтального баричного градієнта, яка спрямована по найкоротшій відстані з області високого в область низького тиску. Як тільки повітря починає рухатися в напрямку цієї сили, на його переміщення починають впливати сила обертання Землі (сила Коріоліса), сила тертя і відцентрова сила. Сила Коріоліса завжди діє під кутом 90° до напрямку руху повітря (вправо - в Північній півкулі і вліво - в Південному). Тому ця сила не змінює швидкості вітру, а тільки змінює його напрямок. Сила тертя завжди спрямована в бік, протилежний руху. Вона змінює і напрямок, і швидкість вітру. Відцентрова сила виникає при криволінійному русі повітряного потоку і враховується при розрахунках вітру тільки в тропічні циклони.

4. Зміни вітру з висотою

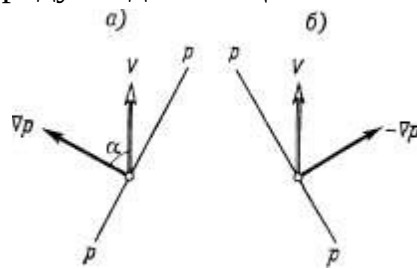
З висотою швидкість і напрям вітру змінюються. В шарі тертя вітер з висотою посилюється і повертає вправо до тих пір, поки не стане градієнтним. Такий характер зміни вітру обумовлюється зменшенням сили тертя з висотою. Вище шару тертя, у вільній атмосфері, швидкість вітру може як збільшуватися, так і зменшуватися з висотою. Тут зустрічаються і праві, і ліві повороти вітру, а іноді можуть спостерігатися повітряні течії, протилежні напрямку вітру у землі. У всіх випадках вітер на висотах прагне прийняти напрямок ізотерм, залишаючи область холоду зліва. Це обумовлюється перебудовою баричного поля і зміною напрямку сили горизонтального баричного градієнта, пов'язаними з горизонтальними змінами температури в розглянутому шарі повітря. При цьому правий поворот вітру з висотою у вільній атмосфері є ознакою адвекції тепла і поступового потепління. А лівий поворот - адвекції холоду і похолодання.

5. Градієнтний вітер і баричний закон вітру

Вище шару тертя вітер, називається **градієнтним**, який спрямований уздовж ізобар таким чином, що низький тиск завжди залишається зліва від потоку. У поверхні Землі вітер спрямований під кутом до ізобарах, відхиляючись від ізобари з великим тиском до ізобару з меншим тиском, і підпорядковується баричному

закону вітру (правило Бейс-Балло) - якщо стати спиною до вітру, то низький тиск буде знаходитися зліва і трохи попереду, а високе - справа і кілька позаду спостерігача.

Зв'язок між вітром і горизонтальним розподілом атмосферного тиску, що виражається в тому, що вітер відхиляється від баричного градієнта в північній півкулі вправо, а в південному - вліво, причому кут відхилення близький до прямого у вільній атмосфері і менше прямого біля поверхні землі. Якщо дивитися в напрямку вітру біля поверхні землі (в північній півкулі), то найбільш низький тиск буде зліва і трохи попереду. Відомий ще як закон Бейс-Балло.



Мал. 5.1. Баричний закон вітру. Горизонтальний баричний градієнт і приземний вітер в північному (а) і південному (б) півкулях, p - ізобара.

Роза вітрів – це особливий тип векторних діаграм, за допомогою яких дається характеристика режиму вітру в конкретній місцевості і за певний період часу (місяць, рік або кілька років). Зовні така діаграма нагадує багатокутник, розбитий на вісім (або більше) румбів – за основними сторонами світу.

Для її побудови спочатку проводять взаємоперпендикулярні лінії з позначенням 4 основних (Пн, Пд, С, З) та 4 проміжних (ПнС, ПнЗ, ПдС, ПдЗ) румбів. На графіку румбів відкладають частоту вітрів кожного напрямку, яка виражена у відсотках по відношенню до загальної кількості днів періоду спостереження. Отримані позначки з'єднують ламаною лінією. Штиль позначають в центрі графіку колом, радіус якого відповідає частоті штилю.

6. Місцеві вітри

Місцеві вітри - це виключення з баричного закону вітру: вони дмуть по горизонтальному баричному градієнту, який з'являється в даному районі за рахунок неоднакового нагрівання різних ділянок підстильної поверхні або за рахунок рельєфу.

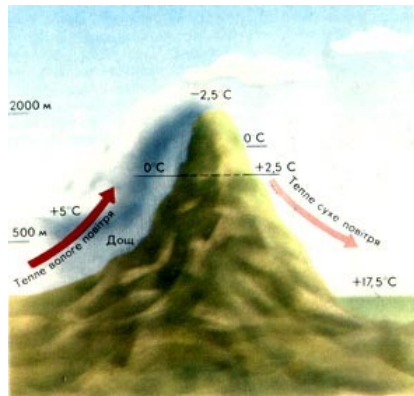
До них відносяться:

Бризи, які спостерігаються на узбережжі морів і великих водойм, що дмуть вдень на сушу з водної поверхні і вночі навпаки, їх відповідно називають морськими і береговими бризами, швидкість 2-5 м/с, по вертикалі поширюються

до 500-1000 м. Причина їх виникнення - нерівномірне нагрівання води і суші. Бризи впливають на погодні умови в береговій смузі, викликаючи зниження температури, підвищення абсолютної вологості, зрушення вітру. Виражені бризи на Чорноморському узбережжі Кавказу.

Горно-долинні вітри виникають в результаті нерівномірного нагрівання та охолодження повітря безпосередньо біля схилів. Вдень повітря піднімається по схилу долини вгору і називається долинним вітром. Вночі спускається вниз зі схилів і називається - горним. Вертикальна потужність 1500 м часто викликає бовтанку.

Фен - теплий, сухий вітер, що дме з гір в долини, іноді досягає штормової сили. Феновий ефект виражений в районі високих гір 2-3км. Він виникає, якщо на протилежних схилах створюється різниця тиску. По один бік хребта - область низького тиску, по іншу - область високого, що сприяє перевалювання повітря через хребет. Фен виникає там, де повітряні маси перевалюють через гори і з великою швидкістю скочуються в долини. Повітряний потік, зустрічаючи на своєму шляху гірський хребет, піднімається по його схилах і, попадаючи в умови все більш низького тиску, охолоджується. Коли повітря досягає рівня, на якому воно охолоджується настільки, що починається конденсація водяної пари, то утворюються хмари, а потім і опади. Піднімаючись вище, вологе повітря завдяки розширенню охолоджується приблизно на півградуса на кожні 100 м підняття. Залишивши вологу на схилах, повітря досягає вершини гори вже сухим. Коли ж повітря опускається з гори сухим, то його нагрівання внаслідок стискання відбувається більш інтенсивно (на 1° на кожні 100 м), ніж охолодження при підйманні. Виходить, що, переваливши через гори, повітря не тільки позбулося на повітряних схилах запасів вологи, а ще й нагрілося до температури, вищої за ту, яку воно мало до того, як перевалило через гори. Це й є причиною того, що з гір дме дуже теплий, сухий вітер — фен. Вологість повітря може бути такою низькою, що вона впливає на самопочуття людини, викликаючи в неї надмірне роздратування. Таким чином, на тому боці гори, де повітряні маси підіймаються по схилах угору, випадають рясні дощі. Але оскільки при типово феновій погоді повітряні маси дуже теплі і в процесі підймання досягають висоти приблизно 8 км, то за один-два дні через гори переноситься на цій висоті з феном така кількість льодових хмар, що й на протилежному боці гори настає хмарна погода з опадами. Отже, фен завжди є провісником настання дощової погоди.



Бора - сильний поривчастий вітер, що дме з прибережних не високих гір (не більше 1000 м) в бік теплого моря. Спостерігається в осінньо-зимовий період, супроводжується різким зниженням температури. Бора викликає шторм на морі, ожеледь, поширюється вглиб моря на 10-15 км, тривалість до 3-х діб, а іноді і більше.

Афганець- дуже сильний, заповишений західний чи північно-західний вітер в східних Каракумах, вгору по долинах річок Амудар'ї, Сирдар'ї і Вахша. Супроводжується пиловою бурею і грозою. Виникає Афганець в зв'язку з фронтальними вторгненнями холоду в межі Туранської низовини.

Місцеві вітри, властиві певним районам, дуже впливають на роботу авіації. Посилення вітру, викликаного особливостями рельєфу даної місцевості, ускладнює пілотування ПС на малих висотах, а іноді є і небезпечним для виконання польоту.

При перевалювання повітряним потоком гірських хребтів в атмосфері утворюються підвітряні хвилі. Вони виникають за умови:

- наявності вітру, що дме перпендикулярно хребту, швидкість якого 50 км/год і більше;
 - посилення швидкості вітру з висотою;
 - наявності шарів інверсії або ізотермії від вершини хребта на 1-3 км.
- Підвітряні хвилі викликають інтенсивну бовтанку літаків. Для них характерні сочевицеподібні високо-купчасті хмари.

7. Методи вимірювання вітру

Для вимірювання характеристик вітру біля поверхні землі використовують метеорологічні прилади: флюгер, анемометр, анеморумбометр, анеморумбограф.

Флюгер - один з перших метеорологічних приладів для вимірювання напрямку і швидкості вітру. Він складається з флюгарки, що обертається навколо вертикальної осі над хрестовиною з покажчиками румбів, і металевої дошки, по куту відхилення якої від вертикалі визначають швидкість вітру в метрах в секунду.

Анемометр - прилад для вимірювання швидкості вітру. Зазвичай датчиком служить вертушка з декількома півкулями, за частотою обертання якої в одиницю часу визначають швидкість вітру. Залежно від способу вимірювання і типу приймального пристрою анемометри поділяють на ряд типів: Обертальні (крільчатні, чашкові), теплові, вихрові, динамометричні (з трубками Піто), ультразвукові (акустичні), оптичні (лазерні доплерівські). Найбільш поширеними є обертальні анемометри, що відрізняються типом пристрою одержувача (чашка або крільчатка).

Анеморумбометр - вимірювальний прилад, призначений для оцінки напрямку та швидкості вітру виходячи з величини тиску повітряного потоку на його рухому частину - анемометричеській флюгерякий разом з повітряним гвинтом є основним елементом вимірювальної схеми. Показання приладу передаються через механічні та / або електричні комунікації на індикаторний пристрій, а для їх реєстрації використовуються анеморумбографи. Анеморумбометр часто включається в комплект приладів метеорологічних станцій

Шар-пілот. Невеликий гумовий шар, наповнений воднем, що випускається у вільний політ для визначення швидкості і напрямку вітру у високих шарах атмосфери. Шар піднімається зі швидкістю приблизно постійною, яка може бути обчислена з підйомної сили і ваги оболонки. З одночасних відліків кутів, під якими видно шар в теодоліт (висоти над горизонтом і азимути), можна обчислити середню швидкість і напрям вітру в шарі між рівнями, на яких знаходився шар при послідовних відліках. Якщо вертикальна швидкість шару невідома, а також для більшої точності, кути, під якими видно шар, засікаються двома теодолітами, розташованими в деякій відстані один від іншого (на кінцях базису).

На аеродромах спостереження за вітром на висотах проводяться аеродромними метеорологічними органами за допомогою шарів-пілотів в період польотів через кожні 3 години, а також в інші терміни, при необхідності. За даними спостережень визначається напрямок і швидкість вітру на висоті 100м і на рівні аеродромного кола польотів. Замість даних шаропілотних спостережень, проведених на аеродромі, можуть використовуватися дані аерологічних станцій і інших метеорологічних органів, розташованих в радіусі до 10 км від аеродрому, а також дані про вітер, одержувані з борта ВС.

Випуск шарів-пілотів і радіозондов на аеродромі у всіх випадках, проводиться по узгодженні з органами ОВС.

При неможливості визначення характеристик вітру на висоті кола інструментальним способом аеродромні метеорологічні органи із синоптичної частиною забезпечують надання прогностичних даних.