

**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 № 6 – Небезпеки польоту. 6.3. Турбулентність атмосфери.

Харків 2021

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 23.09.2021 № 8

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного
коледжу Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 22.09.2021 № 2

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 22.09.2021 № 8

Розглянуто на засіданні циклової комісії аеронавігації, протокол від
30.08.2021 р. № 1

Розробник:

1. викладач циклової комісії аеронавігації, спеціаліст Дроздова С.П.

Рецензенти:

1. професор кафедри аеронавігаційних систем навчально-наукового інституту Аеронавігації, електроніки та телекомунікації Національного авіаційного університету, доктор технічних наук, доцент Шмельова Т.Ф.
2. викладач циклової комісії аеронавігації Кременчуцького льотного коледжу Харківського університету внутрішніх справ, викладач-методист, к.т.н., с.н.с Тягній В.Г.

План лекції:

1. Причини виникнення та фактори, які впливають на інтенсивність турбулентності.
2. Рекомендації по виконанню польотів в зонах турбулентності.
3. Прогнозування турбулентності.

Рекомендована література:

Основна

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

Додаткова

2. Лещенко Г.П., Перцель Г.В., Иванова Е.Г. Метеорологическое обеспечение полетов: Учебное пособие (2-е изд. перераб. и доп.) – Кировоград: Авангард, 2007. – 208 с.
3. Лещенко Г.П. Авиационная метеорология. Учебник. 6-е издание. – Кропивницький: ЛА НАУ, 2017. – 336 с.
4. Лещенко Г.П. Авиационная метеорология: вопросы и ответы. Учебное пособие для вузов. - Кировоград: ГЛАУ, 2006. – 116 с.
5. Лещенко Г.П., Перцель Г.В., Коренной С.Н. Измерение температуры, влажности воздуха и атмосферного давления. Учебное пособие. – Кировоград: ГЛАУ, 2007. – 68 с.
6. Лещенко Г.П., Перцель Г.В., Лещенко Е.Г. Метеорологическое обеспечение полетов. Рекомендовано МОН Украины в качестве учебного пособия для высших учебных заведений. - Кировоград: ГЛАУ, 2010. – 184 с.

Інформаційні ресурси в Інтернеті

7. Офіційний портал Державної авіаційної служби України.
URL : <https://avia.gov.ua>
8. Офіційний портал Всесвітньої метеорологічної організації. URL : <http://www.wmo.int>.
9. Офіційний сайт Інтернет журналу. URL : <http://meteoweb.ru>
10. Офіційний сайт Українського гідрометеорологічного центру.
URL : <http://www.meteo.gov.ua>

Текст лекції

1. Причини виникнення і фактори, які впливають на інтенсивність турбулентності

Повітря являє собою надзвичайно рухливу середу, в якій рух частинок зазвичай має безладний або, так званий, турбулентний характер.

Турбулентність (від латинського слова "турбо" - завихрення, водоворот)

- це такий стан атмосфери, при якому утворюються вихори різних розмірів, виникають горизонтальні і вертикальні пориви вітру. Осі турбулентних вихорів швидко змінюють своє положення в просторі і бувають орієнтовані в самих різних напрямках.

З турбулентністю атмосфери пов'язані поривчастість вітри, перенесення по вертикалі водяної пари, ядер конденсації і інших матеріальних частинок; вона сприяє вертикальному переносу тепла з одних шарів в інші, обміну кількості руху між різними шарами і т.п.

Турбулентний обмін робить істотний вплив на умови формування, еволюцію і мікрофізичної будова хмар, туманів і опадів, з якими безпосередньо пов'язані складні метеорологічні умови польотів.

Турбулентність робить істотний вплив на поширення звукових і електромагнітних хвиль (особливо ультракоротких хвиль). Але особливо великий вплив турбулентності на політ ПС. Під час польоту в турбулентній зоні, при перетині атмосферних вихорів, ПС піддається впливу вертикальним і горизонтальним поривам вітру. При цьому змінюється кут атаки крила і підйомна сила, відбувається тряска і вібрація, повітряне судно зазнає невпорядковані кидки вгору і вниз, створюються перевантаження, тобто виникає бовтанка ПС.

Бовтанка - це безладні коливання повітряного судна, що супроводжуються перевантаженням при польоті в турбулентній атмосфері.

Бовтанка ПС, залежать від:

- турбулентного стану атмосфери;
- режиму польоту;
- конструкції ПС.

Це означає, що при одній і тій же інтенсивності атмосферної турбулентності різні типи ПС будуть відчувати бовтанку різної інтенсивності.

При інших рівних умов бовтанка тим інтенсивніше, чим більше швидкість польоту. Тому в інструкціях з льотної експлуатації ПС через число М задаються максимально допустимі швидкості польоту в спокійній і турбулентній атмосфері.

Інтенсивність бовтанки оцінюється збільшенням навантаження (Δn), вираженим в частках прискорення вільного падіння (g).

При польоті на ешелоні:

- помірна бовтанка спостерігається при $\Delta n \pm 0,5g \dots \pm 1g$;;
- сильна бовтанка спостерігається при $\Delta n > \pm 1g$.

При зльоті та посадці:

- помірна бовтанка спостерігається при $\Delta n \pm 0,3g \dots \pm 0,4g$;
- сильна бовтанка спостерігається при $\Delta n > \pm 0,4g$.

Залежно від причин утворення турбулентність підрозділяється на термічну, динамічну, орографічну.

Термічна турбулентність (конвекція) виникає через нерівномірний прогрів підстильної поверхні або в результаті натікання холодного повітря на теплу підстилаючу поверхню при великих вертикальних температурних

градієнтах. Над континентом спостерігається влітку, вдень. При термічній турбулентності виникають як безладні, так і впорядковані висхідні і низхідні потоки повітря. Її інтенсивність залежить від вологості повітря. У сухому повітрі конвекція розвивається до висоти 2 ... 3 км і викликає в цьому шарі слабку або помірну бовтанку. У вологому повітрі конвекція розвивається до великих висот, іноді до тропопаузи, і призводить до утворення потужно-купчастих і купчасто-дощових хмар. В цьому випадку бовтанка сильна, особливо в хмарах, і спостерігається від землі до верхньої межі хмар.

Динамічну турбулентність викликають такі причини:

- тертя рухомого повітряного потоку о шорсткості рельєфу на земній поверхні;

- неоднорідність характеру повітряного потоку по напрямку і швидкості;

- хвильові рухи в шарах інверсії і ізотермії.

Тертя о земну поверхню в рівнинній і горбистій місцевості обумовлює виникнення динамічної турбулентності в нижньому шарі тропосфери (до 1 ... 1,5 км). Така турбулентність викликає слабку і помірну бовтанку. Чим сильніше повітряний потік і більше шорсткість підстильної поверхні, тим інтенсивніше динамічна турбулентність в приземному шарі.

У вільній атмосфері динамічна турбулентність виникає в шарах, де спостерігається велика мінливість характеристик вітру по висоті і/або по горизонталі. Для кількісної характеристики такої турбулентності вводиться поняття зрушення вітру - зміна вектора вітру в просторі, включаючи висхідні і низхідні потоки. Небезпечна турбулентність утворюється при вертикальних зрушеннях вітру більше 3 м/с на 100 м висоти і/або горизонтальних зрушеннях вітру понад 6 м/с на 100 км відстані. Турбулентні зони в більшості випадків мають обмежені розміри. Їх товщина найчастіше 300 ... 600 м, горизонтальна протяжність 60 ... 80 км. Дуже рідко зона турбулентності охоплює шар товщиною 2...3 км і має протяжність до 1000 км. Чим інтенсивніше турбулентна зона, тим менше її товщина і довжина. Ці зони нестійкі в часі і можуть зникати через 30 ... 50 хвилин після їх виникнення.

Турбулентність, що спостерігається в атмосфері на висотах понад 5 км при відсутності купчасто-дощових хмар, **називається турбулентністю при ясном небі - ТЯН (САТ - clear air turbulence)**.

ТЯН відноситься до небезпечних для авіації метеоявищ в силу раптовості (несподіваного для екіпажу) впливу на ПС. Відомі авіаційні події через попадання ПС при безхмарному небі в зони дуже сильної турбулентності. ТЯН найчастіше пов'язана зі струминними течіями. Горизонтальні розміри ТЯН змінюються в досить великих межах, досягаючи, в окремих випадках, декількох сотень кілометрів; товщина ТЯН, як правило, не перевищує 1000 м.

Динамічна турбулентність, що виникає в шарах інверсії і ізотермії, має вигляд чергуючися висхідних і низхідних потоків.

Орографічна турбулентність виникає в гірських районах. Повітряний потік при обтіканні гірських перешкод деформується і, за певних умов, це призводить до утворення зон з підвищеною турбулентністю. Повторюваність

сильної турбулентності в гірських районах при одних і тих же метеорологічних умовах значно вища, ніж у рівнинній місцевості.

Характер і інтенсивність турбулентності залежать від форми і розмірів гірських перешкоди, від того, як спрямований повітряний потік по відношенню до перешкоди, від швидкості вітру і зміни її з висотою, від температурної стратифікації.

Турбулентність, що викликає інтенсивну бовтанку ПС, утворюється в тих випадках, коли:

- повітряний струм направлений перпендикулярно до гірської перешкоди;
- швидкість вітру у землі 8 ... 10 м/с, і з висотою вітер посилюється;
- вище гірської перешкоди спостерігається стійка стратифікація атмосфери (має місце шар інверсії, ізотермії або повільного зниження температури з висотою).

Небезпечна турбулентність виникає (рис. 1.1):

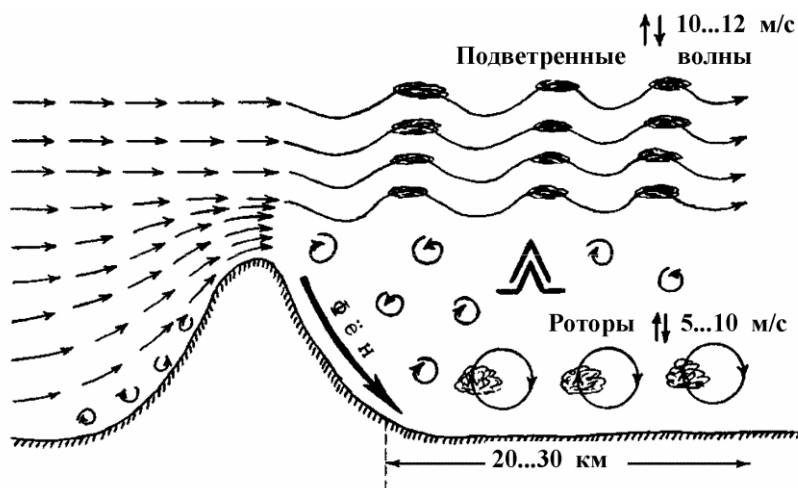


Рис. 1.1. Турбулентність в гірських районах

- над вершиною гори в шарі 500 ... 1000 м. Тут потік стискається, посилюється, в результаті чого вертикальні зрушення вітру збільшуються до 5 м/с і більше на 100 м висоти;

- з підвітряного боку гір, де утворюються сильні низхідні потоки (фен), сукупність вихорів різних розмірів (ротори), а вище хребта - підвітряні хвилі.

Зона підвищеної турбулентності поширюється по горизонталі в напрямку повітряного потоку на 20 ... 30 км від гірського перешкоди.

Впорядковані низхідні повітряні потоки (фен), що виникають на підвітряній стороні, призводять до різкої втрати висоти ПС на кілька сотень метрів. Відомі льотні події, пов'язані з зазначеним явищем.

Ротори виникають найчастіше за гірськими перешкодами висотою до 1500 м. Вони являють собою циліндричні вихори діаметром 500...1000 м з горизонтальними осями, направленими паралельно гірському хребту. В чітко

виражених роторах швидкості вертикальних рухів 5 ... 10 м/с, тому в роторах спостерігається сильна бовтанка, аналогічна бовтанки в купчасто-дощових хмарах. Іноді у верхній частині роторного вихору утворюються розірвано-купчасті хмари з невеликим вертикальним розвитком (нагадують капелюшок гриба). Ротори розташовуються у вигляді декількох (частіше трьох) паралельних хребту смуг. Періодично ротори "відриваються" і, переміщаючись разом з потоком, турбулізуючими повітря далеко від гір, а на їх місці створюються нові.

Підвітряні хвилі поширюються в атмосфері до висоти в 4 ... 5 разів перевищує висоту гірського перешкоди і можуть спостерігатися у всій товщі тропосфери, а іноді поширюватися і в нижню стратосферу. Довжина таких хвиль 5 ... 80 км, амплітуда 100 ... 150 м, вертикальні швидкості можуть досягати 10 ... 12 м/с. При польоті в підвітряних хвилях виникає циклічна бовтанка, що викликається чергуються висхідними і спадними рухами в гребенях і улоговинах хвиль. Найбільш небезпечною буває бовтанка в коротких хвилях з великою амплітудою. При достатній вологості повітря в гребенях хвиль утворюються малорухливі гряди хмар, паралельні хребту, частіше це сочевицевидні хмари. Такі хмари можуть розташовуватися в декілька ярусів, один ярус над іншим. У цих випадках підвітряні хвилі помітні візуально. В області утворення підвітряних хвиль спостерігаються різкі коливання атмосферного тиску. Внаслідок цього свідчення барометричного висотоміра часто виявляються ненадійними. Так, при польотах відзначалися помилки у визначенні висоти до 300 м і більше.

Поряд з турбулентністю, на умови польотів в гірських районах впливає ефект загального підйому повітря на навітряну і опускання його на підвітряну сторони. Тому ПС на навітряній стороні хребта "тягне" доверху, а на підвітряній "притискає" до землі.

Вплив гірського хребта на повітряний потік починає позначатися на значній відстані. При висоті хребта 1000 м повітряний потік починає висхідний рух на відстані 60 ... 80 км від нього.

Впорядковані спадні (низходящі) повітряні потоки (фен), що виникають на підвітряній стороні, призводять до різкої втрати висоти ПС на кілька сотень метрів. Відомі льотні події, пов'язані з зазначеним явищем.

2. Рекомендації щодо виконання польотів в зонах турбулентності

Польоти в турбулентних зонах відносяться до польотів в особливих умовах і повинні виконуватися при суворому дотриманні керівних документів ЦА і РЛЕ даного типу ПС.

1. У період передпольотної підготовки вивчити метеообстановки по маршруту або району польотів і визначити можливі зони з підвищеною турбулентністю.

2. Перед входом в зону можливої бовтанки і при раптовому попаданні в неї, пасажери повинні бути пристебнуті до крісел прив'язними ремнями.

3. При попаданні ПС в сильну бовтанку, командир зобов'язаний вжити заходів для негайного виходу з небезпечної зони, в тому числі, з дозволу диспетчера, змінити висоту польоту.

4. При польотах за ПВП в гірській місцевості на висотах менше 900 м і попаданні ПС в зону сильної бовтанки командир, з дозволу диспетчера, повинен вивести з цієї зони ПС з набором висоти, повернутися на аеродром вильоту або слідувати на запасний аеродром.

5. При попаданні ПС в зону сильної бовтанки, що загрожує безпеці польоту, командир має право самостійно змінити ешелон з негайною доповіддю про це диспетчеру.

6. Вертикальні вихри, що не пов'язані з хмарами і виявляються візуально, екіпаж зобов'язаний обходити стороною. Вертикальні вихри (смерчі), пов'язані з купчасто-дощовими хмарами, які виявляються візуально, екіпаж зобов'язаний обходити на видаленні не менше 30 км від їх видимих бічних кордонів.

7. При попаданні ПС в зону сильної бовтанки на великих висотах вихід з неї, шляхом зниження, допускається лише до висоти не менше 500 м над верхньою межею купчасто-дощових хмар.

3. Прогнозування турбулентності

Прогнозування турбулентних зон в атмосфері, в яких може виникати бовтанка повітряних суден, є найбільш важким, в порівнянні з прогнозом інших метеорологічних величин і явищ. Це пояснюється відсутністю систематичних спостережень за бовтанкою, великою нестійкістю турбулентних зон в часі і просторі. Такий прогноз утруднений також тим, що в одних і тих же турбулентних утвореннях різні ПС будуть відчувати різні перевантаження а, отже, і різну бовтанку в залежності від їх швидкості, польотної маси і аеродинамічних характеристик.

Методи прогнозування зон бовтанки в атмосфері будуються на аналізі непрямих даних, які визначають розвиток турбулентності або вказують на її існування при різній синоптичній ситуації. Прогноз зон бовтанки складається на основі аналізу таких даних, як вертикальні і горизонтальні зрушення вітру, вертикальний температурний градієнт, форма хмарності, наявність висотних фронтальних зон і струменевих течій, зон збіжності і розбіжності повітряних потоків, положення і нахил тропопаузи.

Зони турбулентності зустрічаються у всій товщі тропосфери і в стратосфері. Турбулентність максимальна в нижній тропосфері, мінімальна в середній, а потім знову зростає у верхній тропосфері. Місцезнаходження турбулентних зон пов'язане з тими районами, де спостерігаються підвищені значення вертикальних і горизонтальних зрушень вітру, а також вертикального температурного градієнта. Зазвичай вони спостерігаються в тих шарах

атмосфери, де зазначені характеристики зазнають суттєвих змін.

Для визначення ймовірних зон бовтанки над різними районами використовуються дані радіозондування атмосфери, карти баричної топографії, авіаційні прогностичні карти.

Інтенсивна бовтанка виникає при вертикальних зрушеннях вітру більше 3 м/с на 100 м і/або горизонтальних зрушення більше 6 м/с на 100 км, горизонтальних градієнтах температури більше 2,5 °С на 100 км.

Вертикальні зрушення вітру визначаються за даними радіопілотних спостережень за вітром, а горизонтальні - по картах баричної топографії.

На картах АТ зони підвищеної турбулентності розташовані в областях розбіжності і збіжності ізогіпс, уздовж висотних улоговин і гребенів, а також в тих районах, де ізогіпси мають велику кривизну (рис. 3.1).

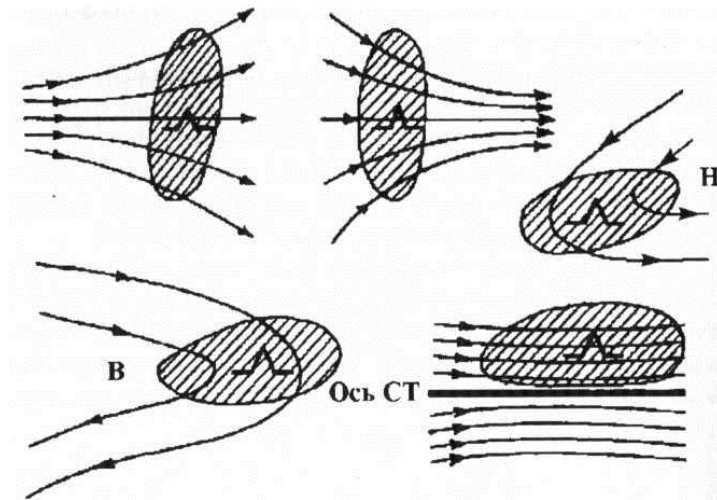


Рис. 3.1. Зони підвищеної турбулентності на картах АТ

У зонах струменевих течій найбільшу повторюваність бовтанка має на лівій циклонічній стороні від осі і нижче її на 1 – 1,5 км.

У зоні тропопаузи підвищена турбулентність спостерігається в тих районах, де нахил тропопаузи більше 1/300. Нахил тропопаузи на маршруті польоту можна визначити по картах тропопаузи і по авіаційним прогностичним картками.

Сильна бовтанка спостерігається в хмарах конвективного характеру, особливо в потужно-купчастих і купчасто-дощових. При цьому бовтанка буває не тільки в хмарах, але і під хмарами, над хмарами і поблизу хмар.

У підінверсійних високо-купчастих і шарувато-купчастих хмарах зазвичай спостерігається слабка або помірна бовтанка, особливо поблизу їх верхньої межі. Бовтанка найбільш імовірна, якщо верхня межа цих хмар є горбистою або хвилястою.