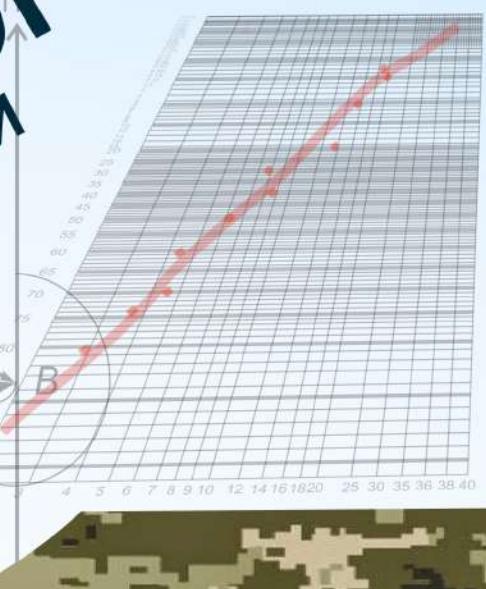
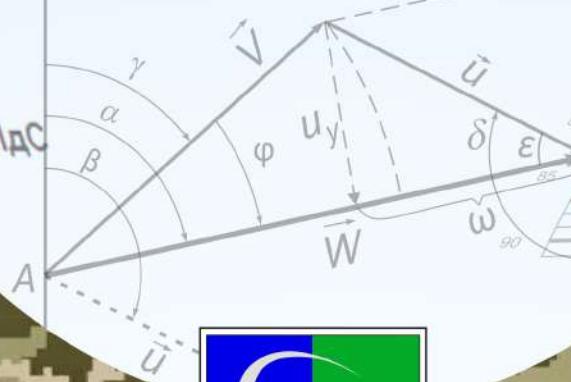
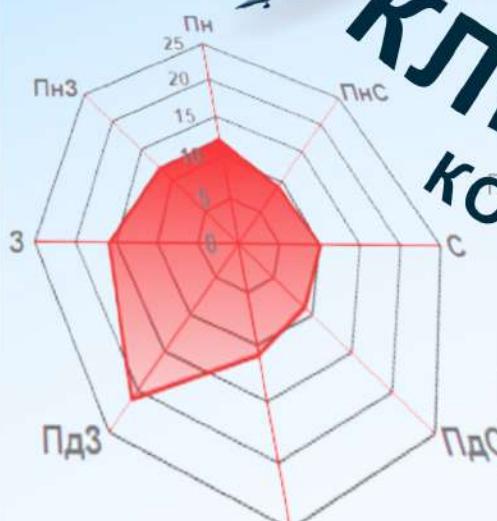


Грушевський О.М.

АВІАЦІЙНА



КЛІМАТОЛОГІЯ
конспект лекцій



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Грушевський О.М.

АВІАЦІЙНА КЛІМАТОЛОГІЯ

Конспект лекцій

Одеса
Одеський державний екологічний університет
2021

**УДК 551.58
Г 91**

Рекомендовано методичною радою Одеського державного екологічного університету Міністерства освіти і науки України як конспект лекцій (протокол №6 від 25. 03 . 2021 р.)

Грушевський О.М.

Авіаційна кліматологія: конспект лекцій. Одеса, Одеський державний екологічний університет, 2021. 112 с.

Конспект лекцій призначений для курсантів, які навчаються за спеціальністю 103 Науки про Землю за ступенем вищої освіти магістр, освітня програма «Організація метеорологічного та геофізичного забезпечення Збройних Сил України».

ISBN 978-966-186-130-4

© Грушевський О.М., 2021

© Одеський державний екологічний університет, 2021

ВСТУП

Історія опису клімату бере свій початок ще з Давньої Греції, а вже у XVII ст. на базі інструментальних спостережень за погодою з'являються перші описання клімату. Причиною цього є вплив багаторічного режиму метеовеличин на досить широке коло сфер людської діяльності, що зумовило інтерес не лише до клімату минулого, а й до його майбутніх змін. Історія знає приклади, коли кліматичні зміни на планеті або в окремих її регіонах ставали причиною зникнення цілих цивілізацій.

Розвиток промисловості, інфраструктури, соціально-побутової сфери, процеси глобалізації висунули нові вимоги до кліматичних даних, що, у свою чергу, призвело до розвитку потужного статистичного апарату, фізико-математичних методів, геоінформаційних технологій, які наразі широко використовуються у сучасній кліматології.

Згодом, дані про клімат та його складові стали надзвичайно затребуваними у різних сферах народного господарства, внаслідок чого у кліматології сформувалися окремі галузі, які вивчають вплив клімату на рослини і тварин, будівництво і комунальне господарство, транспорт, енергетику і медицину.

Однією з таких галузей є авіаційна кліматологія, виникнення і розвиток якої відбувся завдяки необхідності забезпечення кліматичними даними практичної діяльності авіації через збільшення обсягу й інтенсивності повітряних перевезень. Вивчення характеру залежності експлуатаційних можливостей авіаційної техніки не є вичерпним для авіаційної кліматології. У сфері її інтересів знаходяться кліматичні дані, які використовуються при проектуванні й експлуатації аеродромів, врахуванні режиму вільної атмосфери на повітряних трасах, розробці нової авіаційної техніки тощо.

Запорукою успішної реалізації таких завдань є умова тісної співпраці між авіаційними спеціалістами та спеціалістами-кліматологами.

У цьому курсі лекцій основна увага зосереджена на авіаційно-кліматичних показниках, які використовуються для планувальних заходів з метеорологічного забезпечення авіації та методиці їх розрахунку. Окремо розглянуто методику розробки авіаційно-кліматичних описів аеродромів і повітряних трас, яка враховує сучасні вимоги Всесвітньої метеорологічної організації до їх складання.

Тема 1

МЕТОДИКА КЛІМАТОЛОГІЧНОЇ ОБРОБКИ СПОСТЕРЕЖЕНЬ І РОЗРАХУНКУ АВІАЦІЙНО-КЛІМАТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ

Лекція № 1

Основні відомості про авіаційну кліматологію і авіаційно- кліматичні показники

1. Предмет і задачі авіаційної кліматології

Загальновідомо, що погодні умови іноді суттєво впливають на діяльність авіації. Це зумовлює не лише затримку рейсів і перенесення їх на більш пізні терміни, корекцію у часі та просторі польотних завдань, а й значні матеріальні збитки. За несприятливих погодних умов збільшується тривалість польоту, і відповідно авіакомпанії несуть додаткові фінансові витрати на паливо, витрачаються ресурси авіаційної техніки. Так, авіаційні компанії США та Великобританії щорічно втрачають до 5% річного прибутку внаслідок впливу погодних умов. І навіть у випадку наявності так званих всепогодних літаків у військовій авіації, існують свої обмеження, оскільки повна незалежність польотів від погодних умов є практично недосяжною.

Дійсно, досвід аерокліматологічного забезпечення народного господарства свідчить, що одним з найбільш активних споживачів інформації з клімату вільної атмосфери і граничного шару є цивільна і військова авіація. Ця інформація використовується не лише для організації заходів безпеки на найбільш уразливих ділянках маршрутів, але й при плануванні оптимальних з різних точок зору режимів польоту.

Записана у досить загальному виді система рівнянь руху літака включає крім параметрів, притаманних тій чи іншій його конструкції, ще й параметри зовнішнього середовища – густину, температуру, тиск, швидкість вітру тощо. Оскільки заходи з оптимізації режимів польоту, складанню розкладів і ешелонуванню проводяться заздалегідь на багато місяців вперед, а майбутній стан атмосфери на такі терміни з необхідною деталізацією передбачити неможливо, до уваги беруться кліматичні характеристики атмосфери.

З використанням кліматичних параметрів вільної атмосфери і граничного шару можна, зокрема, вирішувати задачі з визначення умов найбільш швидкого польоту, польту з максимальною дальністю, польотів, найбільш економічних за собівартістю перевезень і витратам палива тощо. Вирішення таких задач потребує детальної інформації про кліматичні поля.

Авіаційна кліматологія – прикладна дисципліна, яка вивчає вплив кліматичних факторів біля поверхні землі та у вільній атмосфері на авіаційну техніку і діяльність авіації, а також займається розробкою способів і форм забезпечення авіації кліматичними даними.

До основних задач авіаційної кліматології відносяться:

- 1) розробка методів розрахунку аїваційно-кліматичних показників, що характеризують умови польотів і враховуються при проектуванні й експлуатації аеродромів;
- 2) вивчення та опис клімату різних районів земної кулі стосовно інтересів метеорологічного забезпечення авіації.

Кліматологічні дані у роботі авіації можуть використовуватися командуванням та обслуговуючим персоналом, але не безпосередніми виконавцями польотів, для яких достатньо даних звичайного метеорологічного забезпечення.

Споживачеві авіаційно-кліматичні дані у першу чергу потрібні для:

- визначення найбільш раціонального проміжку часу протягом року (сезону, місяця), на якому можна сконцентрувати основну частину польотів, призначення часу виконання бойової операції або рекордного польоту (перельоту);
- встановлення раціонального плану польотів протягом доби, вибору для виконання основної частини польотів найбільш сприятливої її частини;
- обрання найсприятливішого маршруту для епізодичного перельоту або траси для основного потоку перевезення, концентрації на ній досвідчених льотчиків, обладнання тощо.

Отже, авіаційно-кліматичні показники завжди використовуються для вибору. Тому основне їх призначення – надавати відомості для порівняння метеорологічних умов у різні сезони, у різний час доби і у різних фізико-географічних районах.

Роль погоди суттєво залежить від технічних даних літального апарату та завдань, що стоять перед екіпажем. Погода, яка є несприятливою для

пасажирського літака, може бути сприятливою для ведення бойових дій. Також по різному вона буде оцінюватися, наприклад, для польотів літаків та безпілотних літальних апаратів.

Проте, незалежно від уявлення, яке вкладається у поняття сприятливої або несприятливої погоди для будь-якого виду авіації метеорологічна обстановка оцінюється за усім комплексом метеорологічних величин та їх розподілом у межах льотного простору. Авіаційно-кліматичні дані повинні відповісти на питання, як часто у межах даного льотного простору (району аеродрому, повітряної траси, району бойових дій тощо) спостерігається несприятлива для даного виду польотів метеорологічна обстановка.

Відповідно до цього, кліматологічна характеристика повинна висвітлювати льотний простір у цілому і надавати повторюваність сприятливого або несприятливого типу метеорологічної обстановки у межах цього простору. Це означає, що кліматологічна методика для обслуговування авіації повинна відрізнятися від інших методів обробки даних.

2. Основні кліматичні та авіаційно-кліматичні показники метеовеличин та явищ погоди

Для опису клімату використовують різні статистичні характеристики, що одержуються в результаті математичної обробки спостережень, і які в кліматології прийнято називати *кліматичними характеристиками* або *кліматичними показниками*.

Авіаційно-кліматичними називаються показники, які характеризують умови польоту літальних апаратів, експлуатації аеродромів та враховуються при пошуку, проєктуванні та будівництві аеродромів.

Основу кліматологічної обробки, під якою ми будемо розуміти сукупність процедур попереднього узагальнення вихідної інформації, складає застосування імовірнісно-статистичного апарату, оскільки кліматологічні ряди мають усі головні властивості статистичних сукупностей. Разом з тим, кліматичним даним притаманні багато інших специфічних властивостей. Фізичні властивості атмосферних процесів накладають відбиток на структуру метеорологічних величин, яка має свої особливості. Значення метеорологічних величин не становлять однорідних статистичних

сукупностей, оскільки протягом багатьох років змінюються як умови спостережень, так і вплив кліматоутворювальних факторів, що формують погоду.

Авіаційно-кліматичні показники поділяються на авіаційно-кліматичні показники окремих метеовеличин, комплексні авіаційно-кліматичні показники і показники часової структури метеорологічних величин та їх комплексів

Для характеристики режиму окремих метеовеличин і атмосферних явищ найчастіше застосовують такі кліматичні показники:

- 1) середнє значення метеовеличини;
- 2) максимальне (мінімальне) значення метеовеличини;
- 3) повторюваність (імовірність) різних значень метеовеличини (явища погоди);
- 4) забезпеченість різних значень метеовеличини;
- 5) змінюваність (дисперсість) метеовеличини⁴
- 6) асиметрія та ексцес кривої розподілу.

У якості *середньої величини* в кліматології зазвичай використовується середнє арифметичне значення метеовеличини, рідше – його модальне значення. Середнє арифметичне значення метеовеличини розраховане за багатолітній період часто називають *нормою*, хоча цей термін не є досить вдалим.

Максимальні (мінімальні) значення метеовеличини характеризують ті межі, в яких знаходяться значення метеовеличини, що відзначалися на даній станції у певний проміжок часу. Розрізняють абсолютний максимум (мінімум) та середнє з максимальних (мінімальних) значень метеовеличини.

Абсолютним максимумом (мінімумом) називається найвище (найнижче) значення метеовеличини, яке спостерігалося принаймі один раз протягом періоду, що розглядається.

Амплітудою зміни метеовеличини називається різниця між максимальним та мінімальним значеннями метеовеличини. Абсолютною амплітудою називається різниця між абсолютним максимумом та мінімумом метеовеличини.

Повторюваністю (Р, %) (диференціальною повторюваністю) значення (градації) метеовеличини (явища погоди) називається відношення числа випадків, коли спостерігалося це значення (градація) метеовеличини (або

явище погоди) до загальної кількості випадків. Повторюваність, одержану з довгого ряду років, в кліматології часто називають ймовірністю.

$$P = \frac{n}{N} \cdot 100\% ,$$

де n – кількість випадків, коли спостерігалося певне значення (градація) метеовеличини;

N – загальна кількість випадків.

Забезпеченістю даного значення метеовеличини (градації) називається імовірність перевищення (неперевищення) заданого значення метеовеличини (градації).

$$P_{\leq i} = \frac{m_i}{n+1} \cdot 100\% ,$$

де m – порядковий номер члена ранжованого ряду;

n – об'єм статистичної сукупності (загальна кількість членів ряду).

Якщо для обчислення середнього у якості вихідних даних використовується згрупований ряд (статистичний розподіл), то застосовують формулу

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^k m_i x_i$$

де x_i – серединне значення інтервалу; m_i – частота градації;

k – число градацій.

Характеристикою змінюваності або розсіювання значень величини відносно середнього є середнє абсолютне, середнє квадратичне відхилення та коефіцієнт варіації.

Середнє відхилення η є середнє арифметичне абсолютних відхилень величини від її середнього значення.

$$\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|,$$

де x_i – i -те значення величини; \bar{x} – середнє значення величини; n – число (кількість) спостережень.

Середнім квадратичним відхиленням σ називається квадратний корінь з середнього квадрату відхилень величини від її середнього значення

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

або, якщо вихідним матеріалом є статистичний розподіл,

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 m_i} = \sqrt{\sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^2 p_i} .$$

Дисперсією називають квадрат середнього квадратичного відхилення.

Іноді розраховують коефіцієнт варіації v , який є відношенням середнього квадратичного відхилення до середнього значення величини

$$v = \frac{\sigma}{\bar{x}} .$$

Мірою *асиметрії* (або скошеності) розподілу є коефіцієнт асиметрії A , який чисельно дорівнює відношенню середнього кубу відхилення величини хі від середнього арифметичного значення до кубу середнього квадратичного відхилення

$$A = \frac{1}{n\sigma^3} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3$$

або, якщо вихідним матеріалом є статистичний розподіл,

$$A = \frac{1}{n\sigma^3} \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^3 m_i = \frac{1}{\sigma^3} \sum_{i=1}^k (x_i - \bar{x})^3 p_i .$$

У якості характеристики *крутисті* розподілу використовується коефіцієнт ексцесу K , який розраховується за формулою

$$K = \frac{1}{n\sigma^4} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 - 3$$

або для статистичного розподілу

$$K = \frac{1}{n\sigma^4} \sum_1^k (x_i - \bar{x})^4 m_i - 3 = \frac{1}{\sigma^4} \sum_1^k (x_i - \bar{x})^4 p_i - 3.$$

Для характеристики режиму окремих метеорологічних явищ зазвичай застосовують такі кліматичні показники:

- середнє число днів з явищем;
- найбільше і найменше число днів з явищем;
- імовірність явища;
- тривалість явища.

Імовірність днів з явищем та імовірність явища є принципово різними характеристиками. Імовірність явища не може перевищувати імовірності днів з явищем. Вона залежить від тривалості явища і збільшується разом з нею.

Питання для самоперевірки

1. У чому полягають предмет і завдання «Авіаційної кліматології»?
2. Для кого призначена інформація щодо багаторічного режиму погоди на даному аеродромі?
3. Які основні авіаційно-кліматичні показники метеовеличин та явищ погоди ви знаєте?
4. Що називається забезпеченістю метеовеличини?
5. За допомогою яких показників оцінюють міру асиметрії та крутисті розподілу метеовеличини?
6. Які кліматичні показники застосовують для характеристики режиму окремих метеорологічних явищ?

Лекція № 2

Вимоги, що висуваються до рядів метеорологічних спостережень

1. Однорідність метеорологічних рядів та методи виявлення їх неоднорідності

Кліматичні показники будуть правильно відображувати характер клімату лише у тих випадках, коли ряди метеорологічних спостережень задовольняють певним вимогам. Аналіз рядів метеорологічних спостережень свідчить, що часто спостерігаються стрибкоподібні (іноді поступові), систематичні зміни у рядах цифрових значень, що характеризують даний елемент.

Причинами цього явища можуть бути:

- зміна клімату (статистична неоднорідність);
- зміна мікроклімату на ділянці станції (забудова, зміна рослинного покриву);
- заміна одного типу прибору іншим, зміна умов його встановлення (наприклад, зміна висоти флюгера) або зміна методики спостережень (кліматологічна неоднорідність);
- зміна показів приборів внаслідок їх псування;
- суб'єктивізм відліків при спостереженнях у випадку зміни спостерігача.

Таким чином, кліматологічна обробка результатів метеорологічних спостережень, яка виконується для вирішення прикладних завдань, є повноцінною лише у тому випадку, коли використовуються однорідні метеорологічні ряди або враховується їх неоднорідність. Тому будь-яке кліматологічне дослідження необхідно починати з перевірки однорідності ряду.

Практичні рекомендації стосовно усунення неоднорідностей ряду можна сформулювати таким чином (табл. 1).

Варто розрізняти кліматологічну і статистичну однорідність ряду.

Кліматологічно однорідним вважається такий ряд, характеристики якого змінюються від року до року (від періоду років до іншого періоду років) лише у відповідності з природною змінюваністю макропроцесів, що впливають на погоду та клімат даного району. Такий ряд об'єктивно відображає характер клімату даного району, його коливання та зміни у часі.

Таблиця 1 – Рекомендації щодо усунення неоднорідностей у рядах метеоспостережень

Характер змін	Рекомендації
Перенесення метеомайданчика, зміна методики	Обробити обидві частини ряду, як дві окремі станції. Шляхом уведення поправки зробити одну частину ряду однорідною з іншою
Зміна обстановки, яка оточує станцію	Відкидати частини ряду не можна
Зміни загальної циркуляції атмосфери	Відкинути відповідну частину спостережень, оскільки виправити шляхом внесення поправок не можна
Погана якість спостережень, псування приладів	Відкинути відповідну частину спостережень, оскільки виправити шляхом внесення поправок не можна

Статистично однорідним називається ряд метеорологічної величини, усі члени якого при даному рівні значущості належать до однієї генеральної сукупності. Тобто, якщо дві частини метеорологічного ряду обсягом n та m представляють собою дві незалежні виборки з генеральних сукупностей з законами розподілу $F_1(x)$ і $F_2(x)$ та $F_1(x) \equiv F_2(x)$, то ряд, який розглядається, є однорідним.

Статистично однорідний ряд завжди є кліматологічно однорідним. Кліматологічна однорідність (неоднорідність) даного метрологічного ряду ще не означає його статистичну однорідність (неоднорідність). Вона вказує лише на те, що кліматичні показники, одержані в результаті обробки цих даних, будуть порівнюваними з характеристиками сусідніх станцій, якщо на цих станціях є кліматично однорідні ряди за цей же період років.

У процесі кліматологічної практики були опрацьовані порівняно прості методи виявлення й усунення кліматологічної неоднорідності метеорологічних рядів. Слід мати на увазі, що усунення кліматологічної неоднорідності має передувати дослідженю ряду на статистичну однорідність.

Якщо природна змінюваність метеорологічної величини з року в рік менше змінюваності, зумовленою неоднорідністю ряду, то виявити неоднорідність можна простим співставленням даних однієї станції за різні роки. *Метод співставлення* даних однієї станції за роками застосовується коли:

- природні коливання значень метеорологічних величин з року в рік незначні;
- окрім цифрові значення у ряді сильно виділяються;
- природна змінюваність метеовеличини з року в рік менше змінюваності, зумовленої неоднорідністю ряду.

Для метеовеличин, різниця значень яких на двох сусідніх станціях змінюється з року в рік менше, ніж самі значення цих величин (наприклад, температура повітря), задовільні результати дає використання критерію t , який підпорядковується закону розподілу Стьюдента з числом ступенів свободи, що дорівнює $g = n + m - 2$:

$$t = \frac{\bar{y} - \bar{x}}{\sqrt{n\sigma_x^2 + m\sigma_y^2}} \cdot \sqrt{\frac{nm(n+m-2)}{n+m}}$$

де n і m – кількість членів у кожній частині ряду об'ємом N , однорідність якого досліджується ($N = n + m$);

\bar{x} , \bar{y} – середні значення кожної з частин ряду відповідно об'ємом n та m ;

σ_x та σ_y – середні квадратичні відхилення частин ряду відповідно об'ємом n та m .

При цьому критерій однорідності t застосовують не по відношенню до самих значень, а до ряду різниць значень величини на сусідніх станціях.

Ряд різниць загальним об'ємом N послідовно розбивається на дві частини об'ємами по n та m членів ($n, m = 2, 3, 4, \dots, N-2$) і потім дляожної частини ряду розраховуються середні значення і середні квадратичні відхилення різниць. За формулою для критерію t розраховуються його значення для $N - 3$ поєднань n та m і знаходиться максимальне значення t_{max} .

Далі за таблицями розподілу Стьюдента розраховується критичне значення t_{krit} , що відповідає заданому рівню значущості ρ для числа

ступенів свободи, рівному g . Якщо $t_{max} < t_{kрит}$, то ряд різниць і, відповідно, вихідний ряд досліджуваної метеовеличини можна вважати однорідним. У протилежному випадку гіпотеза про однорідність ряду відхиляється, а поєднання n і m , для якого t є максимальним, дозволяє встановити час порушення однорідності.

Метод співставлення може бути особливо ефективним, якщо аналізувати не місячні, а річні (або сезонні) дані. Оскільки природна змінюваність сезонних і річних даних менше, ніж змінюваність місячних даних, то будь-які зміни на рівні цифрових значень, зумовлені порушенням однорідності ряду, зазвичай легко виявляються. Цим способом вдається виявити неоднорідності у кількості днів з туманом, грозою, хуртовиною, штилем. Проте варто зазначити, що виявлення неоднорідності методом співставлення даних однієї станції не забезпечує потрібних результатів по таким метеорологічним величинам як температура та опади, тому що природні коливання навіть середніх річних значень цих величин з року в рік є значими.

Коли стрибки у значеннях метеорологічної величини, зумовлені неоднорідністю, виявляються меншими природної змінюваності досліджуваної величини, найбільш доцільно для виявлення неоднорідності провести порівняння даного ряду з рядом відповідної метеорологічної величини на неподалік розташованих станціях. Віковий хід метеорологічних величин на двох сусідніх станціях повинен бути одним, оскільки зміни клімату одночасно охоплюють значну територію. Тому у випадку однорідних рядів на двох порівнюваних станціях хід метеорологічної величини з року в рік повинен носити узгоджений характер. Узгодженість ходу метеорологічних величин повинна виявлятися у виді сталого характеру зв'язку між ними. Якщо, починаючи з певного року відбулася зміна характеру зв'язку, це вказує на наявність однорідності в одному з порівнюваних між собою рядів. На цьому засновано використання методів відповідних різниць та відношень для виявлення неоднорідності рядів.

Метод відповідних різниць або відношень. Як вже зазначалося, виявлення неоднорідності рядів методом відповідних різниць є можливим тому, що атмосферні процеси у пунктах, незначно віддалених одне від одного, не відбуваються ізольовано, а пов'язані між собою і для деяких метеорологічних величин різниця їх значень на двох сусідніх станціях змінюється з року в рік помітно менше, ніж самі значення. Якщо заздалегідь

відомо, що один з порівнюваних рядів однорідний, то ознакою порушення однорідності іншого ряду є, починаючи з певного року, різка зміна значень різниці порівняно з попереднім періодом. Помітна зміна значень різниці у таких умовах вказує на те, що на одній зі станцій, починаючи з певного року, систематично фіксувався інший, порівняно з попереднім періодом, рівень метеорологічної величини. Оскільки подібних змін значень метеорологічної величини на сусідній станції не відбулося, то причиною зміни різниці є не зміна кліматичних умов району, а якесь обставина, що привела до порушення однорідності ряду. Встановити причину порушення однорідності можна за історією станції.

Нехай ми маємо ряди спостережень у пунктах A та B за N та n років відповідно, причому $n < N$, а роки спостережень у пункті B знаходяться всередині періоду спостережень у пункті A . Позначимо середні місячні температури за i -тий рік спостережень у A та B відповідно через a_i та b_i . Можемо записати:

$$\bar{A}_N = \frac{1}{N} \sum_1^N a_i; \quad \bar{A}_n = \frac{1}{n} \sum_1^n a_i; \quad \bar{B}_n = \frac{1}{n} \sum_1^n b_i,$$

де \bar{A}_N, \bar{A}_n – середня температура у пункті A за N та n років;

\bar{B}_n – середня температура у пункті B за n років.

Різниці відповідних значень b_i та a_i запишемо $b_i - a_i = d_i$.

Складаючи ці різниці за n років и поділивши суму на n , одержимо середню різницю \bar{D}_n

$$\frac{1}{n} \sum_1^n b_i - \frac{1}{n} \sum_1^n a_i = \bar{B}_n - \bar{A}_n = \bar{D}_n.$$

Якби у пункті B ми б мали N років спостережень, то за аналогією одержали б:

$$\bar{B}_N - \bar{A}_N = \bar{D}_N \text{ або } \bar{B}_N = \bar{A}_N + \bar{D}_N.$$

Оскільки величини d_i є стійкими, то значення \bar{D}_n та \bar{D}_N розрізняються дуже несуттєво, тобто можемо записати

$$\bar{B}'_N = \bar{A}_N + \bar{D}_n. \quad (1)$$

Штрих біля B вказує, що величина \bar{B}'_N визначена не зі спостережень за N років, а розрахована наближено, шляхом заміни \bar{D}_N на \bar{D}_n . Формула (1) є формулою приведення ряду у пункті B , що має n років спостережень, до періоду N років за допомогою методу різниць.

Виявлення та усунення неоднорідності рядів методом відповідних відношень застосовується до тих метеорологічних величин (наприклад, кількість опадів, висота сніжного покриву), для яких характерна приблизна сталість відношень. Це означає, що відношення значень даної метеорологічної величини на двох сусідніх станціях несуттєво змінюється з року в рік. Якщо заздалегідь відомо, що один з порівнюваних рядів є однорідним, то ознакою порушення однорідності іншого ряду буде, починаючи з певного року, різка зміна величини відношення порівняно з попереднім періодом.

Позначивши у i -тий рік через $\bar{A}_N, \bar{B}_N, \bar{A}_n, \bar{B}_n$ – середні річні кількості опадів у пунктах A і B , розрахованих за періоди N та n років, а через a_i та b_i – річні кількості опадів, можемо записати такі співвідношення:

$$\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n b_i}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i} = \frac{\bar{B}_n}{\bar{A}_n} = \bar{k}_n; \quad \frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N b_i}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_i} = \frac{\bar{B}_N}{\bar{A}_N} = \bar{k}_N$$

Встановлено, що \bar{k}_n та \bar{k}_N різняться несуттєво, а тому, як і у випадку стійкості різниць, можемо записати:

$$\bar{B}'_N = \bar{k}_n \bar{A}_N \quad (2)$$

Штрих вказує, що величина \bar{B}'_N наближена, визначена не зі спостережень за N років, а розрахована. Вираз (2) є формулою приведення ряду B до періоду N за допомогою методу відношень.

Використання розглянутих вище формул приведення передбачає наявність достатньої узгодженості у коливаннях відповідних значень метеовеличини на двох станціях з року в рік. Очевидно, що зі збільшенням відстані між станціями ступінь зв'язку між ними поступово слабшає і доцільність приведення зменшується. Починаючи з певної відстані, зв'язок стає настільки слабким, що узгодженість у коливаннях величини порушується і приведення вже не дає очікуваного підвищення точності середньої на станції з коротким рядом. Звідси випливає, що необхідно встановити об'єктивні критерії, які б дозволяли судити про те, чи доцільно приводити певну короткорядну станцію B до деякої довгорядної станції A . Такі критерії існують для кожного методу приведення і носять назуви критеріїв доцільності приведення. Якщо критерій доцільності не виконується, то приведення виконувати не варто, оскільки воно не дасть очікуваного ефекту.

Для виявлення неоднорідності методом відношень при ручній обробці може використовуватися графічний прийом, який був уведений в практику О.А.Дроздовим.

На кореляційному графіку по вертикальній вісі відкладаються дані однієї зі станцій, по горизонтальній – дані тієї ж метеовеличини іншої станції за той же рік. На перетині ставиться точка з позначенням року, до якого відносяться спостереження. Очевидно, що у разі існування тісного зв'язку між цими станціями й однорідності рядів на кожній з них, точки на графіках розташуються поблизу прямої, що проходить через начало координат і має тангенс кута нахилу, який за своєю величиною близький відношенню середніх значень метеорологічної величини на першій та другій станціях (рис. 1).

Ознакою наявності задовільного зв'язку між станціями є таке розташування точок на графіку, за якого вони скрупчуються всередині еліпсу, у якого велика напіввісь щонайменше у два рази перевищує малу. За цієї умови коефіцієнт кореляції більше 0,5. Зазначена залежність між формою

еліпсу розсіювання і коефіцієнтом кореляції виконується у тих випадках, коли лінія зв'язку утворює з осями координат кут близький до 45° .

Якщо на одній зі станцій однорідність ряду порушена, то точки на графіку будуть сконцентровані біля двох прямих.

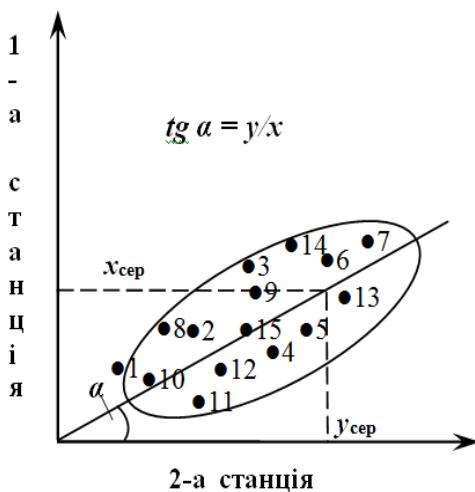


Рисунок 1 – Кореляційний графік у випадку однорідних рядів

Завдяки простоті методів різниць та відношень ними користуються значно частіше, ніж рівнянням регресії. Але треба враховувати, що добре результати ці методи дають лише при виконанні так званих критеріїв доцільності приведення.

Проблема виявлення й усунення кліматологічної неоднорідності рядів у теперішній час набула особливо значної актуальності.

Урбанізація стала однією з головних причин так званої «повзучої» неоднорідності, за якої порушення однорідності рядів відбувається не стрибком, а поступово, по мірі розростання рослинності, забудови навколоїшньої місцевості тощо. Якщо взяти до уваги, що саме міські метеостанції мають найбільш довгі ряди метеорологічних спостережень, то стає очевидною необхідність удосконалення методики виявлення й усунення такої неоднорідності.

У деяких випадках, коли необхідний довгий ряд спостережень, наприклад для досліджень коливань клімату, неоднорідність усувається, і обидві частини ряду обробляються як єдиний ряд, що належить одній станції. В усіх випадках неоднорідність варто усувувати лише тоді, коли поправки є

надійними, тобто одержані по сусідній станції, яка має достатньо загальних років спостережень з даною станцією.

Отже, питання про усунення неоднорідності ряду вирішується у кожному окремому випадку залежно від причини неоднорідності, від можливості одержання достатньо точних поправок на неоднорідність ряду, а також залежно від завдань, що стоять перед дослідником.

2. Порівнюваність і точність метеорологічних рядів

Одним з найважливіших питань при розрахунку кліматичних характеристик є визначення необхідного періоду обробки, який забезпечує шуканій характеристиці достатню точність. Якщо точність характеристики не оцінена або оцінена неправильно, то її використання у кліматичних дослідженнях може привести до неправильних висновків.

Сукупності значень метеорологічних величин завжди є обмеженими, як і будь-які інші статистичні сукупності, тому головні стійкі у часі закономірності режиму метеорологічних величин можуть виявитися у цих сукупностях прихованими або викривленими внаслідок дії другорядних чинників. У зв'язку з цим важливо, перед тим, як використовувати дану кліматичну характеристику, оцінити, в якій мірі вона відбиває сталі особливості клімату.

Розглядаючи статистичну сукупність значень метеовеличин як вибірку з генеральної сукупності, помилки кліматичних характеристик оцінюють за відношенням до відповідних характеристик генеральної сукупності.

Генеральна сукупність часто є безкінечною. Відповідно, її характеристики у такому випадку не можуть бути визначеними. Але у статистиці розроблені теоретичні способи визначення помилок основних статистичних характеристик по відношенню до генеральних для вибірок різного обсягу. У кліматології в якості генеральної приймається сукупність настільки великого числа спостережень за умови незмінності клімату, що кліматичні характеристики, розраховані за цією сукупністю, залишаються практично незмінними при додаванні до неї додаткових членів. Зазвичай вважається за можливе поширювати дані такої генеральної сукупності на майбутнє. Проте, це правомірно лише для стаціонарних процесів. Реальні процеси ніколи не бувають повністю стаціонарними принаймні за причиною

часової обмеженості (стационарний процес не має початку й кінця). Метеорологічним процесам властива наявність трендів й циклічності, що обмежує можливості екстраполювання кліматичних характеристик, одержаних навіть за дуже великим періодами.

Передусім розглянемо питання про точність кліматичних характеристик (або про період осереднення, що є тим самим) у передбаченні стационарності процесу зміни метеовеличин та відсутності зв'язку між членами ряду у часі. Відому у статистиці формули помилок статистичних характеристик отримані саме для цього найпростішого випадку.

Середні помилки кліматичних показників представляються у виді середніх квадратичних відхилень цих характеристик із сукупності даного об'єму від відповідних характеристик генеральної сукупності.

Найчастіше для оцінки помилок кліматичних показників використовуються формули одержані з передбачення, що вихідна генеральна сукупність розподілена нормально. Формули помилок для основних кліматичних показників окремих елементів у цьому випадку мають такий вид:

помилка середнього арифметичного

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n-1}};$$

помилка середнього квадратичного відхилення

$$\sigma_{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{2n-1}};$$

помилка коефіцієнта асиметрії

$$\sigma_A = \sqrt{\frac{6}{n}};$$

помилка коефіцієнта ексцесу

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{24}{n}}.$$

Розглядаючи відносні частоти розподілу як одну з різновидів статистичних характеристик, приведемо формулу середньої помилки відносної частоти значень метеорологічної величини у даному інтервалі

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}},$$

де p – відносна частота значень, що входять до даного інтервалу;

$1-p$ – відносна частота значень, що виходять за межі даного інтервалу.

Розглянуті вирази дозволяють одержати лише середні значення статистичних помилок кліматичних показників. Більш повне уявлення про точність кліматичних показників дають їх довірчі інтервали. Межі довірчих інтервалів при відніманні або додаванні значень вибіркових характеристик мають сенс граничних помилок кліматичних показників із заданим рівнем імовірності.

Наприклад, нехай розподіл середньої арифметичної є нормальним ($n \geq 30$). Тоді довірчий інтервал для \bar{x} буде мати вид

$$I_\beta(\bar{x}) = \left[\bar{x}^* - t_\beta \frac{\sigma_x^*}{\sqrt{n-1}}; \quad \bar{x}^* + t_\beta \frac{\sigma_x^*}{\sqrt{n-1}} \right],$$

де \bar{x}^*, σ^* – вибіркове середнє і середнє квадратичне відхилення;

t_β – квантіль нормального розподілу.

Якщо узяти $\beta = 0,95$, то одержимо

$$I_\beta(\bar{x}) = \left[\bar{x}^* - 1,96 \frac{\sigma_x}{\sqrt{n-1}}; \quad \bar{x}^* + 1,96 \frac{\sigma_x}{\sqrt{n-1}} \right].$$

Прямі дужки є загально прийнятым у статистиці спеціальним позначенням довірчого інтервалу.

Помилка \bar{x} з імовірністю 0,95 буде дорівнювати

$$\sigma_{\bar{x}_{0.95}} = \pm 1,96 \frac{\sigma_x}{\sqrt{n-1}}.$$

Кліматичні показники комплексів, особливо тих, що складаються з місячних значень метеорологічних величин при рядах спостережень 100 років і менше, розраховуються з малою статистичною точністю. Тому при теоретичних дослідженнях клімату висновки, які базуються на аналізі комплексних показників, варто робити з великою обережністю.

Іншими мають бути вимоги до кліматичних показників з боку авіаційної кліматології. Тут необхідна точність їх визначення зумовлюється характером вирішуваних завдань. Існує цілий ряд задач, для вирішення яких досить лише орієнтовних значень кліматичних показників. Намагання у таких випадках здійснювати їх розрахунки з великою точністю нічим на вправдане, а трудомісткі розрахунки також нічим себе не вправдовують.

Проте поряд з таким задачами вирішуються й інші прикладні задачі, які потребують більшої точності.

Основне призначення кліматичних показників полягає у їх врахуванні при перспективному плануванні різного роду заходів і будівництві й експлуатації аеродромів. Планування й будівництво можуть бути «стратегічними» по відношенню до довготривалих заходів і тривалим у експлуатації спорудам і «тактичними» по відношенню до короткочасних. Наприклад, аеродроми, які будуть експлуатуватися протягом багатьох років, можуть бути прикладом тривалих споруд, планування яких є стратегічним. Складання плану польотів на місяць – приклад тактичного планування, оскільки це короткочасний захід.

Варто мати на увазі, що у конкретному році, на який призначено проведення даного короткочасного заходу, фактичні кліматичні умови можуть суттєво відрізнятися від середніх кліматичних умов. Кліматичні показники при цьому відіграють роль лише кліматичного фону, який використовується як функція орієнтиру на найближче майбутнє. І хоча у середньому це орієнтування себе таки віправдовує, не варто у цьому випадку висувати занадто високі вимоги до точності розрахунків кліматичних показників. Чим більше з року в рік змінюваність тієї характеристики, яку враховують при плануванні, тим менша точність від неї вимагається.

При стратегічному плануванні орієнтування на кліматичні дані виправдовує себе не залежно від змінюваності погодних умов з року в рік. Наприклад, середні значення для переважної більшості метеорологічних величин характеризують, як правило, умови погоди з найбільшою повторюваністю. Але оскільки у цьому випадку, наприклад, експлуатація аеродрому буде здійснюватися десятки років, він найчастіше буде відчувати на собі ті умови, на які і був розрахований. А у такому випадку кліматичні показники повинні бути стійкими і найкращим чином відбивати найбільш імовірні кліматичні умови.

Питання для самоперевірки

1. Які види неоднорідностей існують у рядах спостережень? Які шляхи їх усунення ви знаєте?
2. У яких випадках застосовується метод співставлення даних однієї станції за роками?
3. У чому полягає сутність методу відповідних різниць (відношень)? Для яких метеовеличин вони застосовуються?
4. За допомогою якого способу реалізується графічна інтерпретація методу відношень? Що є ознакою наявності зв'язку між метеовеличинами?
5. Які величини застосовуються для оцінки помилок кліматичних показників?

Лекція № 3

Непрямий розрахунок кліматичних показників

1. Доцільність проведення непрямих розрахунків

Прямий розрахунок показників (тобто за допомогою статистичної обробки матеріалів спостережень) потребує залучення вихідних рядів спостережень. Проте, багато метеорологічних величин є похідними від значень основних метеорологічних величин (наприклад, середній вітер у шарі, градієнти вектору вітру, низка комплексних характеристик), а для створення рядів цих характеристик необхідні додаткові розрахунки.

Саме тому, необхідність безперервного поповнення кліматичних показників, відсутність в деяких випадках початкового ряду даних спонукають до пошуку непрямих методів одержання нової кліматичної інформації на підставі наявної.

У разі виникнення задачі одержання кліматичних показників, відсутніх в кліматичних довідниках або їх одержання прямим шляхом пов'язано з трудомісткими розрахунками або взагалі неможливо через відсутність відповідних матеріалів спостережень застосовуються непрямі способи розрахунку.

Непрямими методами розрахунку кліматичних показників називають такі методи, коли шукані характеристики визначають без звернення до вихідного матеріалу спостережень за значеннями інших, вже відомих кліматичних показників, що знаходяться з шуканими у певній залежності.

Розробці методів непрямого розрахунку кліматичних показників повинен передувати пошук способів ущільнення кліматологічної інформації у вигляді невеликого числа найбільш інформативних показників з метою якнайлегшого переходу від них до складніших і різнопланових характеристик, а також для розширення змісту довідкових видань, без одночасного збільшення їх об'єму, і пристосування кліматологічної інформації для подальшої комп'ютерної обробки.

Найраціональніший шлях вирішення даної проблеми полягає у математичному виразі основних закономірностей рядів метеорологічних

величин, в одержанні аналітичних еквівалентів просторових кліматичних таблиць, що є основою для розробки непрямих методів розрахунку різноманітних кліматичних показників.

У основі методів непрямого розрахунку кліматичних показників найчастіше лежать апроксимація вибіркових розподілів метеорологічних елементів і їх комплексів деякими одновимірними і багатовимірними теоретичними функціями розподілу, використання для опису метеорологічних процесів спрощених моделей імовірності випадкових процесів, наприклад простого ланцюжка Маркова, моделювання метеорологічних рядів, кореляційний аналіз, теорія викидів і деякі інші математичні прийоми.

Тобто спосіб непрямого розрахунку полягає в тому, що шуканий показник визначається за значеннями інших, вже відомих кліматичних показників, які знаходяться з шуканим у певній залежності. Іноді кліматичні показники деяких метеовеличин можуть бути розраховані за тією ж формулою, яка застосовується для розрахунку значення метеовеличини у даний момент часу.

Вдало підібрана до метеорологічного ряду функція розподілу дозволяє вирішувати велику кількість задач з аналізу, порівняння і прогнозу значень метеорологічної величини. Багато метеорологічних характеристик ряду (наприклад, квантилі, структурні середні, імовірності будь-яких градацій) в цьому випадку визначаються порівняно просто, якщо відомі параметри відповідних теоретичних функцій. Аналітичний вираз для розподілів окремих метеорологічних величин дозволяє також об'єднувати такі розподіли, складені для різних періодів, не вдаючись до повторної табуляції початкових даних. Полегшується також розробка непрямих методів розрахунку складніших характеристик, наприклад таких, як безперервна тривалість значень величини, що перевищують задану межу.

2. Непрямі розрахунки кліматичних показників з використанням методу «номограм» та спеціальних клітковинок

Найпоширенішими в кліматичній практиці є два графічні методи: метод «номограм» і метод визначення кліматичних характеристик за допомогою спеціальних клітковинок з функціональними шкалами.

Метод «номограм». Номограма є системою кривих або прямих, які відбивають зв'язки між середніми арифметичними значеннями, з одного боку, і квантилями, що відповідають певним значенням забезпеченості, з іншого. Криві зв'язку будуються за даними ряду станцій, розташованих в межах одного кліматичного району.

Порядок побудови номограми такий:

- 1) проводиться відбір ряду опорних станцій;
- 2) виконується розрахунок забезпеченості різних значень метеорологічної величини для кожної з них;
 - a) проводиться ранжування початкового ряду;
 - б) визначається забезпеченість для кожного члена за формулою

$$P_{\leq i} = \frac{m_i}{n+1} \cdot 100,$$

де m - порядковий номер члена ряду; n – об’єм статистичної сукупності;

- 3) за таблицею 2 будується графік забезпеченості (рис. 2) для кожної станції;
- 4) з графіка знімаються значення елементу, які відповідають деяким цілим значенням забезпеченості, що задаються (5, 10, 20, 30, ..., 90, 95%) або квантилі;
- 5) розраховується середнє арифметичне значення даного ряду.

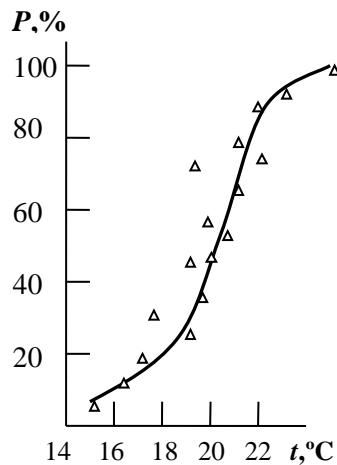


Рисунок 2 – Графік забезпеченості

Подібний ряд квантилів і середнє одержується по кожній з опорних станцій. Матимемо ряд середніх значень і ряди квантилів виду (див. табл. 2)

За даними такої таблиці будується номограма (рис. 3). По осі ординат відкладаються середні значення, по осі абсцис – значення квантилів.

Беручи у відповідність середнім значенням ряд квантилів однієї і тієї ж забезпеченості, одержують ряд точок, через які проводять лінію. Такі лінії зв'язку будується для всіх заданих значень забезпеченості, в

результаті одержуючи «номограму». По суті це метод інтерполяції квантилів в межах певної території.

Таблиця 2 – Ряд середніх значень і ряд квантилів

№ станції	Середні	Квантилі (значення заданої забезпеченості)				
		5%	10%	...	90%	95%
1	\bar{x}_1	$(x_5)_1$	$(x_{10})_1$	.	$(x_{90})_1$	$(x_{95})_1$
2	\bar{x}_2	$(x_5)_2$	$(x_{10})_2$	.	$(x_{90})_2$	$(x_{95})_2$
3	\bar{x}_3	$(x_5)_3$	$(x_{10})_3$	.	$(x_{90})_3$	$(x_{95})_3$
.
.
.
n	\bar{x}_n	$(x_5)_n$	$(x_{10})_n$	.	$(x_{90})_n$	$(x_{95})_n$

Підбір теоретичних функцій розподілу.

Цей метод непрямого розрахунку полягає в тому, що для статистичного розподілу підбирається *теоретична функція розподілу* (ТФР), яка виражає залежність між випадковими значеннями метеовеличини і імовірністю цих значень. Тобто сутність методу полягає у тому, що одержаний за матеріалами спостережень емпіричний розподіл апроксимується певною функцією розподілу, яка надалі використовується для розрахунку шуканих кліматичних показників. Важливою перевагою теоретичного розрахунку є можливість обмеження при розрахунках деяких параметрів, що входять у обрану функцію розподілу, рядами порівняно невеликої тривалості. Наприклад, необхідна довжина ряду для одержання стійкого середнього значення деякої величини, що входить у якості одного з параметрів у формулу нормального закону розподілу, у декілька разів менше тієї, що необхідна для одержання стійкого значення повторюваності значення тієї ж величини, що рідко спостерігалася.

Успіх теоретичного розрахунку імовірності даного значення метеовеличини суттєво залежить, по-перше, від того наскільки прийнятий теоретичний закон розподілу відповідає реальному розподілу величини (перевірка здійснюється за допомогою критеріїв К. Пірсона та А.М. Колмогорова при рівнях значущості не менше 5%), по-друге, від того, яка кількість параметрів входить у формулу прийнятого закону розподілу.

У рамках лекції розглянемо застосування нормальної і логарифмічно нормальної функцій розподілу, а також функції розподілу Гудріча.

Якщо відомі параметри розподілу, то аналітичний вираз цього розподілу дозволяє обчислити імовірність будь-якого наперед заданого значення або, навпаки, розрахувати значення, що відповідає заданій імовірності.

Вибір виду функції, що використовується для побудови шкали, визначається характером залежності, яка повинна бути представлена на функціональній сітці. Функція вибирається так, щоб нелінійна залежність, представлена на клітковині трансформувалася в лінійну (рис. 3). Оскільки в нашу задачу входить представлення розподілу імовірності, то ми повинні знайти деяку функцію від імовірності.

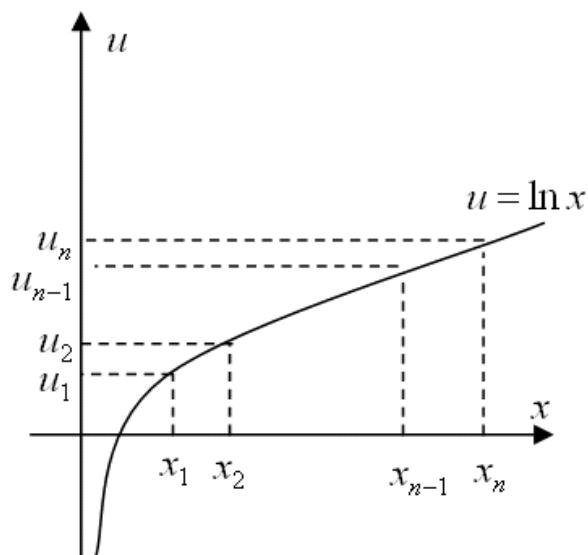


Рисунок 3 – Геометрична інтерпретація переходу до логарифмічно нормального розподілу

Розглянемо найбільш поширені сітківки імовірності:

а) імовірнісний папір – це нормальній, спеціальним чином розграфлений папір, побудований так, що графік функції нормального розподілу зображується на ній прямою лінією. Це досягається зміною шкали на вертикальній осі (рис. 4).

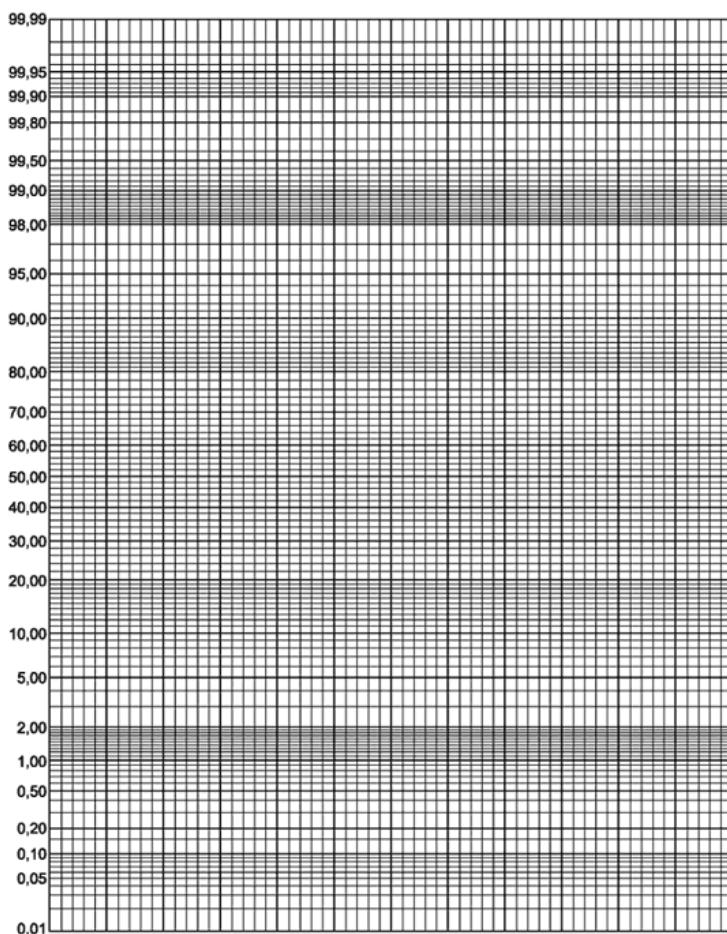


Рисунок 4 – Імовірнісний папір

На властивості «спрямлення» заснований простий спосіб перевірки гіпотези про належність даної вибірки до нормальній сукупності: якщо побудована на імовірнісному папері емпірична функція розподілу добре наближається до прямої лінії, то можна обґрунтовано вважати, що сукупність, з якої узята вибірка, є приблизно нормальнюю. Перевага цього методу полягає в тому, що висновок про належність до нормальній сукупності можна зробити без знання чисельних значень параметрів гіпотетичного розподілу.

На імовірнісному папері одна вісь має рівномірну шкалу. На другій осі відкладаються значення функції, зворотні нормальній стандартній функції розподілу, і замість цих значень пишеться відповідні їм значення імовірності нормального розподілу. Уздовж другої осі шкала спочатку не оцифровується. Цифри проставляються лише після рішення про те, для якої кліматичної характеристики і якої метеорологічної величини буде використовуватися імовірнісний папір. Він може бути використаний для будь-якої

метеовеличини, розподілений по нормальному закону. Як зазначалося вище, розподіл точок, побудованих за значеннями метеовеличини і накопиченої повторюваності цих значень на імовірнісному папері поблизу прямої, вказує на те, що початковий розподіл можна вважати нормальним. У цьому випадку, провівши через точки пряму ми можемо знімати з неї інтегральну імовірність будь-якого значення метеовеличини і, навпаки, за імовірністю визначати квантилі.

б) логарифмічний імовірнісний папір (рис. 5) – координатна сітка побудована у логарифмічному масштабі;

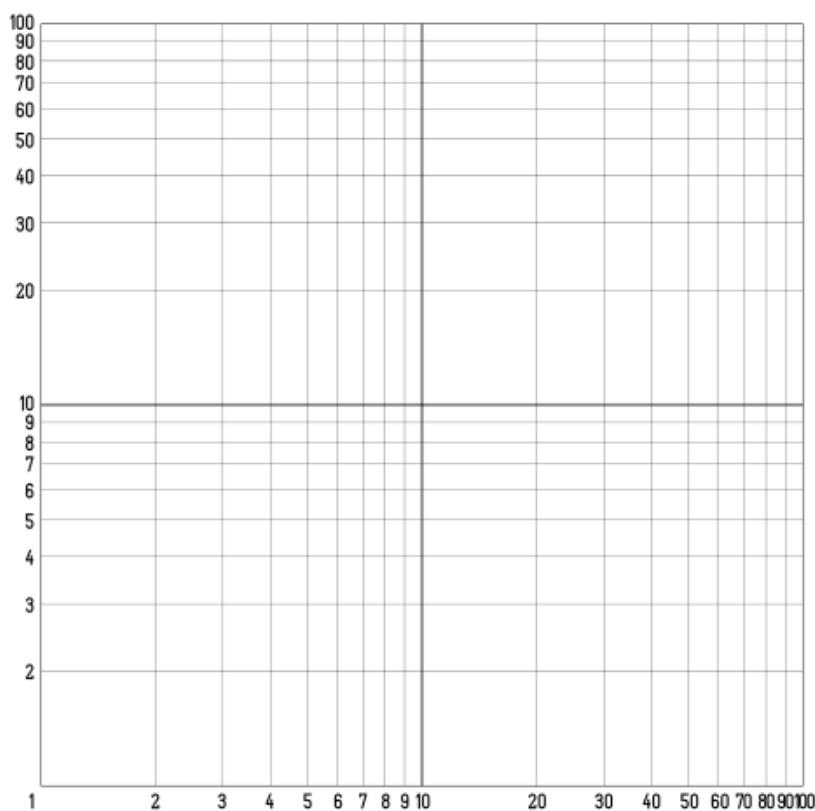


Рисунок 5 – Логарифмічний імовірнісний папір

Логарифмічний імовірнісний папір відрізняється від імовірнісного тим, що перша шкала у неї не рівномірна, а логарифмічна. Якщо імовірнісним папером доцільно користуватися у тих випадках, коли статистичний розподіл має симетричний вид, оскільки нормальній розподіл симетричний, то логарифмічний імовірнісний папір використовується для асиметричних розподілів.

На імовірнісному папері зазвичай зображають розподіл температури повітря, абсолютної вологості, атмосферного тиску. На логарифмічний імовірнісний папір і наносять розподіл опадів і відносної вологості.

в) сітківка Гудріча.

Для швидкості вітру, яка розподілена різко асиметрично, зазвичай використовується сітківка Гудріча (рис. 6).

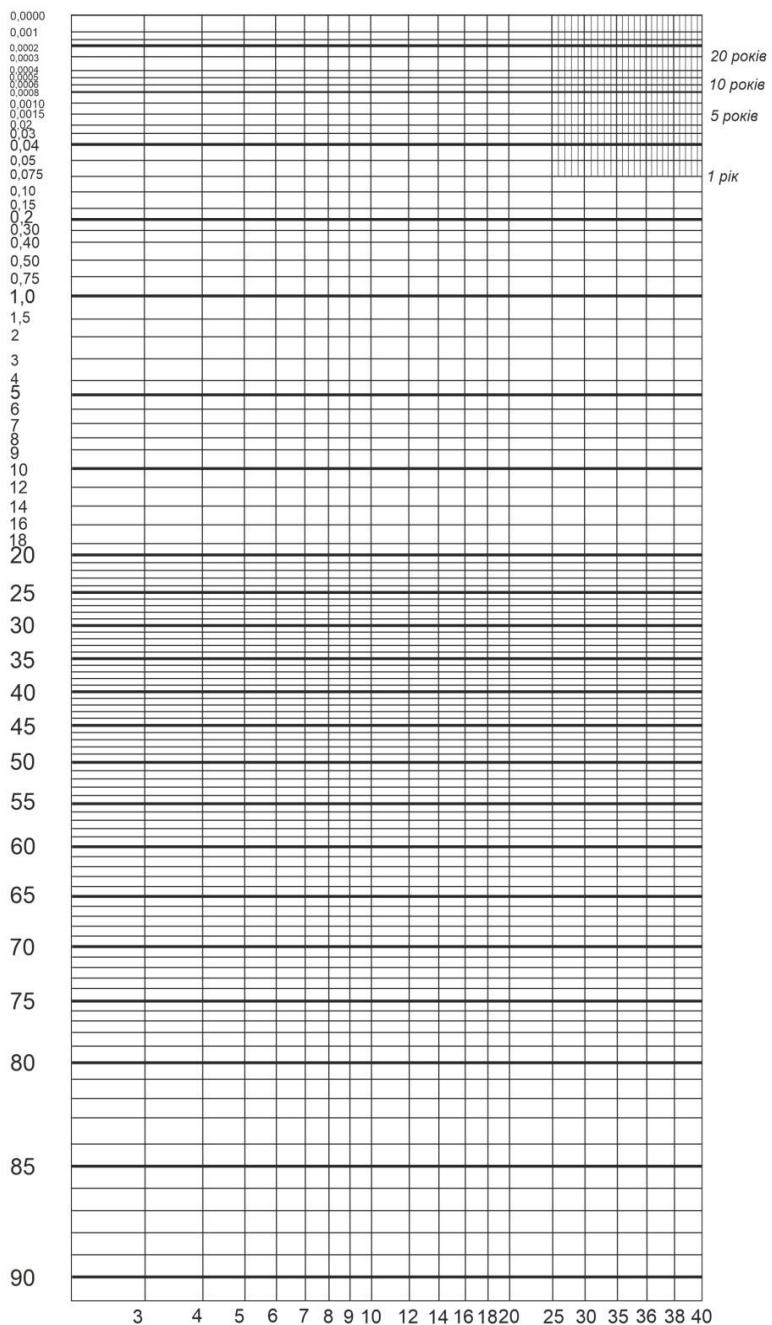


Рисунок 6 – Сітківка Гудріча

Одна шкала цієї сітківки логарифмічна, інша – біологарифмічна. На логарифмічній відкладається логарифм швидкості вітру, а на біологарифмічній – подвійний логарифм імовірності. На такій сітківці закон розподілу Гудріча виражається прямою лінією.

У практиці кліматологічної обробки швидкості вітру дану сітківку використовують для визначення максимальної швидкості вітру заданої забезпеченості.

Питання для самоперевірки

1. Що розуміють під непрямими методами одержання авіаційно-кліматичних показників?
2. У чому полягає сутність методу «номограм»? Який порядок її розробки?
3. Що називається теоретичною функцією розподілу? Які характеристики можна одержати за її допомогою?
4. Які види функціональних шкал використовуються для непрямого розрахунку кліматичних показників?
5. Для одержання авіаційно-кліматичних показників яких метеовеличин застосовуються кожна з них?

Тема 2

АВІАЦІЙНО-КЛІМАТИЧНІ ПОКАЗНИКИ МЕТЕОВЕЛИЧИН БІЛЯ ПОВЕРХНІ ЗЕМЛІ

Лекція 4

Авіаційно-кліматичні показники режиму вітру, температури та тиску

1. Особливості режиму вітру біля поверхні землі, що характеризують умови експлуатації літальних апаратів

Умови експлуатації повітряних суден на конкретному аеродромі багато в чому визначаються кліматичним режимом метеорологічних величин біля поверхні землі та у приземному шарі атмосфери і у першу чергу режимом приземного вітру. Найбільш сприятливі умови для здійснення зльоту і посадки спостерігаються, коли вітер спрямований проти руху літака, оскільки у таких випадках зменшується швидкість відриву і посадкова швидкість, а також довжина розбігу і пробігу. Крім того, покращуються стійкість та керованість літального апарату. Боковий та попутний вітер, навпаки, погіршують умови зльоту і посадки; їх вплив на літальний апарат допускається лише до певних меж. Так, для кожного типу літальних апаратів встановлені свої межі припустимих значень бокового вітру залежно від конструкції шасі, ваги літального апарату, парусності фюзеляжу і вертикального оперення. У деяких літаків припустимі значення бокового вітру при посадці менше, ніж при зльоті.

Для оцінки умов зльоту і посадки літальних апаратів на даному аеродромі необхідно знати імовірність вітрів, при яких зліт і посадка літаків дозволяється (або забороняється), а також імовірність таких вітрів, при яких істотно зменшується довжина розбігу та пробігу літаків.

Розв'язання першої задачі полягає у визначенні імовірності вітрів, при яких бокова складова вітру не перевищує припустиме значення, тобто $P(U_{бок} \leq U_{бок}^*)$. При розв'язанні другої задачі треба визначити імовірність

вітрів, при яких їх поздовжня складова більше деякої заданої величини, тобто $P(U_{np} > U^*_{np})$.

Спочатку розглянемо різні способи розрахунку імовірності $P(U_{бок} \leq U^*_{бок})$ таких вітрів, при яких зліт і посадка літаків на дану смугу можуть виконуватися у припустимих для відповідного літального апарату межах бокової складової вітру. Цю величину зазвичай називають вітровим завантаженням злітно-посадкової смуги (ЗПС) або коефіцієнтом вітрового завантаження ЗПС і виражают у відсотках.

Нехай у даний час зафіксований вітер зі швидкістю U , який має напрямок δ (рис. 7). Вітер спрямований під кутом γ до ЗПС. Кут γ між напрямком вітру і напрямком ЗПС називається кутом скосу. З рис. 10 видно, що

$$U_{бок} = U \cdot \sin(\sigma - \alpha) = U \cdot \sin \gamma, \quad (3)$$

де $U_{бок}$ – бокова складова швидкості вітру; α – азимут ЗПС.

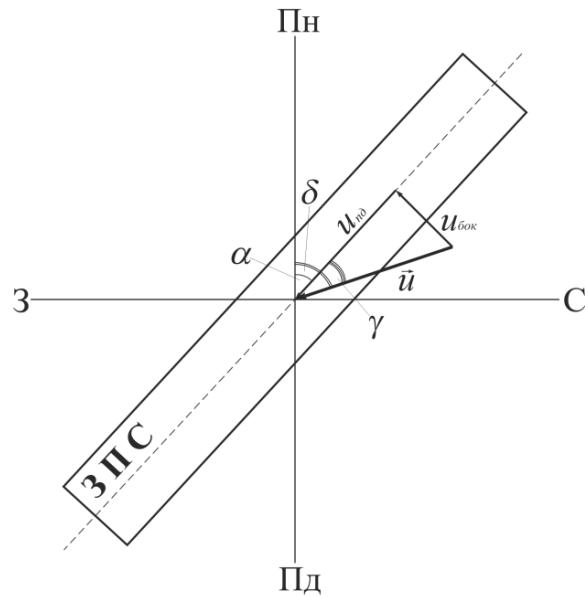


Рисунок 7 – До розрахунку вітрового завантаження ЗПС

Зайдемо відношення між кутом скосу і швидкістю вітру, яке виконується за умови, коли боковий вітер $U_{бок}$ не перевищує деяке припустиме значення $U^*_{бок}$. Якщо $U_{бок} \leq U^*_{бок}$, то, у відповідності з (3), маємо

$$\sin \gamma \leq \frac{U_{бок}}{U} \quad \text{або} \quad \gamma \leq \arcsin \frac{U_{бок}}{U} \quad (4)$$

За формулою (4) можна для різних швидкостей вітру розрахувати припустимі значення кута скосу $\gamma_{нрп}$, при яких боковий вітер не перевищує $U_{бок}$ (табл. 6).

Таблиця 6 – Припустимі кути скосу $\gamma_{нрп}$ при різних значеннях швидкості вітру u і припустимих значеннях швидкості бокового вітру $U_{бок}$

$U_{бок} = 6 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$		$U_{бок} = 8 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$		$U_{бок} = 10 \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$	
$u, \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$	$\gamma_{нрп}, ^{\circ}$	$u, \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$	$\gamma_{нрп}, ^{\circ}$	$u, \text{ м}\cdot\text{с}^{-1}$	$\gamma_{нрп}, ^{\circ}$
0-6	90	-	-	-	-
8	49	0-8	90	-	-
10	37	10	53	0-10	90
12	30	12	42	12	56
14	25	14	35	14	46
16	22	16	30	16	39
18	19	18	26	18	34

З табл. 6 випливає, що якщо, наприклад, зліт чи посадка літака дозволяється при боковому вітрі, який не перевищує $U_{бок} \leq 6 \text{ м}/\text{s}$, і якщо спостерігається вітер зі швидкістю не більше 6 м/с, то зліт і посадка можуть виконуватися при будь-якому напрямку вітру, оскільки $\gamma_{нрп} = 90^{\circ}$. Якщо спостерігається вітер 12 м/с, то зліт і посадка можуть виконуватися лише у тих випадках, коли напрямок вітру відхиляється від напрямку ЗПС на кут $\gamma_{нрп} \leq 30^{\circ}$. За такої самої швидкості вітру (12 м/с) літаки, для яких встановлена $U_{бок} \leq 10 \text{ м}/\text{s}$, можуть злітати і здійснювати посадку у тих випадках, коли кут скосу $30^{\circ} \leq \gamma \leq 56^{\circ}$.

З рис. 10 також випливає, що для розрахунку імовірності неперевищення критичних значень зустрічної складової швидкості вітру $P(U_{np} > U_{np}^*)$ необхідно скористатися формулою

$$U_{np} = U \cdot \cos(\sigma - \alpha) = U \cdot \cos \gamma. \quad (5)$$

У випадку $U_{np} > U^*_{np}$, згідно з (5), має виконуватися нерівність

$$\cos \gamma > \frac{U_{np}}{U} \quad \text{або} \quad \gamma > \arccos \frac{U_{np}}{U}$$

За формулою (5) для різних швидкостей вітру розраховуються граничні значення кута скосу $\gamma_{\text{прп}}$, при яких швидкість поздовжнього вітру не менша величини U_{np}^* .

Таким чином, перший показник надає можливість виявити періоди року, коли найімовірніші вітри, які найнебезпечніші для зльоту і посадки літальних апаратів. Другий показник дозволяє оцінити як часто і наскільки ефективно можна використовувати зустрічний вітер для збільшення вантажопідйомності літаків у тому чи іншому місяці.

Якщо на аеродромі є спостереження за вітром у окремі строки за ряд років, то можна, керуючись формулою (3) або табл. 6 відібрати ті випадки, коли боковий вітер не перевищував припустиму величину. Розрахувавши відношення кількості таких випадків до загальної кількості випадків і виразивши його у відсотках, одержимо вітрове завантаження даної ЗПС.

Проте недоліком цього методу є те, що при введенні у експлуатацію нових літальних апаратів з іншими злітно-посадковими характеристиками, доводиться з великої кількості спостережень знову відбирати випадки, коли боковий вітер задовольняє новим критеріям.

Тому прийнятнішим вважається використання у якості вихідних даних вже готових кліматичних характеристик вітру, що містяться у кліматичних довідниках, наприклад, повторюваності (імовірності) вітру різної швидкості за напрямками (за румбами). У практиці кліматологічної обробки спостережень при підрахунку повторюваності напрямків вітру прийнято групувати їх за вісімома і, рідше, за шістнадцятьма румбами. У першому випадку до одного румбу відносять усі вітри, які мають напрямок у межах сектору 45° , тобто які відхиляються від основного напрямку праворуч або ліворуч не більше, ніж на $22,5^\circ$; у другому випадку – всі вітри у межах сектору $22,5^\circ$, тобто які відхиляються від основного напрямку не більше, ніж на $11,25^\circ$.

Ще один метод розрахунку вітрового завантаження ЗПС, який заснований на використанні даних про імовірність вітру різної швидкості за

напрямками і має назву методу розгорнутої сполученої рози вітрів буде розглянутий на практичному занятті.

Отже, розрахунок вітрового завантаження ЗПС дозволяє скласти уявлення про час, протягом якого можна здійснювати безпечний зліт та посадку різних літальних апаратів на даній ЗПС.

Ефективна експлуатація ЗПС передбачає, що у процесі її проектування обирається такий напрямок ЗПС, який, по-перше, забезпечить вільні підходи з повітря, а, по-друге, відповідатиме найбільшому коефіцієнту вітрового завантаження.

При проектуванні ЗПС коефіцієнт вітрового завантаження розраховується за даними про середню річну повторюваність вітрів різної швидкості за напрямками у даному пункті. Для аеродромів вищого класу зазначений коефіцієнт розраховується при розрахункових значеннях швидкості бокового вітру, які дорівнюють 8-10 м/с, для аеродромів нижчого класу – 6 м/с.

У сучасні практиці проектування аеродромів коефіцієнт вітрового завантаження залежно від класу аеродрому приймається не менше 85-95%. У деяких кліматичних районах характер вітрового режиму такий, що роза вітрів є нейтральною (симетричною). У таких випадках жоден з напрямків ЗПС не забезпечує високого коефіцієнту вітрового завантаження. Тому доводиться будувати одну або дві додаткові ЗПС, які разом з основною повинні забезпечувати коефіцієнт вітрового завантаження не менше 85-95%.

Варто зазначити, що у багатьох регіонах режиму вітру притаманні суттєві зміни протягом року, що зумовлює зміну експлуатаційних характеристик аеродрому у різні сезони року. Тому для оцінки впливу вітру на умови експлуатації аеродрому необхідно знати низку авіаційно-кліматичних показників вітру, розрахованих для кожного місяця окремо.

Методика розрахунку вітрового завантаження ЗПС і імовірності різних значень поздовжньої складової вітру дає можливість вирішення двох задач. Перший з цих показників дає можливість виявити ті періоди року, протягом яких найбільш імовірні вітри, що являють небезпеку для зльоту та посадки літальних апаратів. Другий показник дозволяє оцінити, як часто і наскільки ефективно у тому чи іншому місяці можна використовувати зустрічний вітер для збільшення вантажопідйомності літаків.

При експлуатації аеродромів доводиться враховувати імовірність сильних вітрів незалежно від їх напрямку. Окрім того, що сильні вітри у деяких випадках унеможливлюють зліт та посадку літаків, вони спричиняють певні труднощі у аеродромному забезпеченні, оскільки можуть зумовити пошкодження різних споруд і створити загрозу перевертання і поломки літальних апаратів, що знаходяться на стоянках, а також при їх буксировці та вирулюванні.

Імовірність вітрів різної швидкості, у тому числі і сильних вітрів, одержують в результаті кліматологічної обробки спостережень за вітром. Імовірність розраховують для кожного місяця і в цілому за рік, для кожного строку спостережень і незалежно від них. Такі характеристики, якщо вони одержані за досить тривалий ряд років, можуть ефективно використовуватися для оцінки режиму сильних вітрів. У інших випадках одержання зазначених характеристик вітру здійснюється розрахунковими методами.

2. Кліматичні показники температури та атмосферного тиску, які враховуються при експлуатації ЗПС та обслуговуванні авіаційної техніки

Довжина розбігу при зльоті і пробігу літака при посадці залежить від густини (і, відповідно, від температури і тиску) повітря. У технічних описах літаків їх злітні і посадкові дистанції вказують стосовно стандартних умов, які відповідають стандартній атмосferі. Тому при проектуванні довжини ЗПС необхідно враховувати можливі відхилення фактичних значень тиску і температури від стандартних.

Ми не будемо зупинятися на розгляді залежності довжини розбігу та пробігу різних літаків від густини повітря та на процедурі їх розрахунку, оскільки ці питання детально викладалися у рамках курсу «Авіаційна метеорологія». Проте нагадаємо, що зміна довжини злітно-посадкової дистанції при зміні температури та тиску пояснюється тим, що густина впливає, по-перше, на швидкість відриву і посадки літаків і, по-друге, на силу тяги двигуна.

Сила тяги реактивних двигунів більшою мірою залежить від густини повітря, ніж сила тяги гвинтомоторних двигунів. Саме тому, вплив

температури і тиску повітря на злітні характеристики сильніше проявляється у реактивних літаків, ніж у гвинтомоторних. При посадці літаків тяга двигунів є мінімальною, а зміна тиску та температури однаково впливає на посадкову швидкість різних літаків. Експериментальні дані свідчать, що для того, щоб відбулася зміна довжини розбігу на 1%, тиск повинен змінитися на 4-5 мб, а температура повітря – лише на 1°C.

Саме тому, при визначенні злітно-посадкової дистанції врахування вимірювань температури на заданій висоті над рівнем моря є важливішим, ніж врахування зміни тиску. Це підтверджується також і тим, що в реальних умовах змінюваність температури є переважно більшою, ніж змінюваність тиску. Тобто при експлуатації аеродрому корисно мати відомості про змінюваність температури повітря. І найважливіше знати, як часто температура повітря на даному аеродромі перевищує значення температури, прийнятої у якості розрахункової при проектуванні аеродрому, оскільки це відповідає тим випадкам, коли необхідна довжина розбігу літака наближається до довжини ЗПС і перевантаження літака може привести до аварії. Стосовно гелікоптерів можна зазначити, що зміна температури на 10°C зумовлює зміну їх вантажопідйомності на 12-14%.

У процесі кліматологічної обробки спостережень розраховують досить багато різних кліматичних показників температури повітря. До них відносяться такі показники:

- середні річні, середні місячні, середні декадні;
- мінімальні та максимальні температури;
- дати переходу середніх добових температур через певні значення.

Для розрахунку середніх температур повітря використовуються дані спостережень за основні строки, які попередньо перевіряються на однорідність (приведення до істинних середніх добових). Істинними середніми добовими температурами називаються середні, які розраховуються за щогодинними спостереженнями.

Для планування заходів, які забезпечують надійну експлуатацію літальних апаратів у зимових умовах, необхідно знати:

- середні дати переходу середніх добових температур через -10, -15, -20 та -25°C;

- середню кількість днів у зимові місяці з середньою добовою (або з мінімальною) температурою у різних межах;
- середні мінімальні температури у зимові місяці;
- дати настання середніх добових температур нижче -10, -15, -20°C різної імовірності у періоди зниження та підвищення температури.

Важливими характеристиками температурного режиму є дати першого морозу восени і останнього морозу навесні. Дати першого і останнього морозу встановлюються за показниками мінімального термометру. Перший і останній мороз іноді називають заморозками.

Розрізняють середні і крайні (найраніше і найпізніше) дати першого і останнього морозу. Різниця між середньою датою першого морозу і середньою датою останнього морозу є середньою тривалістю без морозного періоду на даній станції.

Для оцінки спільногого впливу температури і вітру на злітно-посадкові характеристики літака доцільно проводити безпосередній розрахунок повторюваності різних поєднань температури і поздовжньої складової швидкості вітру за даними достатньо довгого ряду років. При підрахунку повторюваності, якщо вона призначена для вирішення лише прикладних задач, немає необхідності виділяти випадки, коли поздовжня складова вітру спрямована у ту чи іншу сторону уздовж ЗПС, оскільки старт практично завжди (якщо дозволяють підходи до аеродрому) розбивається з таким розрахунком, щоб літаки злітали при зустрічному вітрі.

Питання для самоперевірки

1. Які авіаційно-кліматичні показники застосовуються для оцінки умов зльоту і посадки літальних апаратів?
2. Що називається вітровим завантаженням ЗПС? Які значення воно повинно мати для функціонуючих ЗПС?
3. З якою метою визначається вітрове завантаження ЗПС?
4. Які кліматичні показники температури ви знаєте?
5. Які кліматичні показники використовуються для планування заходів, що забезпечують надійну експлуатацію літальних апаратів у зимових умовах?

Лекція № 5

Кліматичні показники умов погоди різного ступеня складності та ті, що використовуються при виборі запасних аеродромів

1. Кліматичні показники умов погоди різного ступеню складності

Ступінь складності метеоумов для здійснення зльоту і посадки літака даного типу на тому чи іншому аеродромі, врешті-решт, визначається дальністю похилої (посадочної) видимості і висотою нижньої межі хмарності (HMX). Комплекс метеорологічних умов, що включає різні поєднання значень видимості і висоти HMX, є основним при встановленні ступеня складності умов погоди і так званих мінімумів погоди.

У рамках даної лекції ми не будемо заглиблюватися у тлумачення поняття мінімуму погоди та його видів, оскільки це питання широко висвітлювалося у курсі «Авіаційної метеорології», лише зазначимо, що мінімум погоди включає ті граничні значення дальності видимості орієнтирів при заході на посадку і висоти HMX, при яких можливі безпечні зліт та посадка літального апарату.

Відповідно, для оцінки метеорологічних умов зльоту і посадки літальних апаратів на різних аеродромах потрібно знати імовірність поєднання різних значень похилої (посадочної) видимості і висоти HMX.

Визначення похилої (посадочної) видимості при наявності низької хмарності і густого серпанку наштовхується на великі труднощі, оскільки прозорість атмосфери різко змінюється з висотою. На сьогодні не розроблені ні апаратура, ні методи вимірювання прозорості атмосфери у похилому напрямку, які б можна було використовувати практично. Інструментально вимірюється лише метеорологічна дальність видимості у горизонтальному напрямку, тому у кліматологічні практиці використовують дані про горизонтальну дальність видимості, які у певній мірі дозволяють судити про похилу видимість.

Результати спостережень за горизонтальною видимістю доводиться використовувати і при розрахунках кліматичних показників, що характеризують умови посадки літаків при різній погоді, хоча горизонтальна

видимість не у повній мірі відповідає видимості орієнтирів при заході на посадку.

На сьогодні використовується комплексний авіаційний кліматичний показник, який дозволяє судити про імовірність різних поєднань висоти НМХ і видимості. Цей показник розраховується для аеродромів і використовується як для оцінки імовірності умов погоди різного ступеня складності, так і для оцінки імовірності встановлення погоди нижче за відповідні мініуми в різні періоди доби і в різні сезони року.

Розглянемо деякі прийоми розрахунку комплексних показників, які характеризують повторюваність складних умов погоди.

Але перш за все для класифікації умов погоди домовимося про вибір тих поєднань метеовеличин, які ми відноситимемо до різних ступенів складності погоди. При цьому слід враховувати, з одного боку, вимоги існуючих документів, що регламентують пілотування літаків, з іншого боку наявну точність метеорологічних вимірювань висоти хмар і видимості.

Розглянемо варіант (табл. 5) коли градація поєднання видимості і висоти НМХ виражена так, що дальність видимості відноситься до висоти хмар як десять до одного. Це обумовлено тим, що у більшості випадків кут планування літака на кінцевому етапі такий, що з метою безпеки посадки припустима висота хмар повинна бути не меншою 0,1 частки граничної дальності видимості.

Варіант *A* рекомендується застосовувати у тих випадках, коли на даному аеродромі є достатньо довгий ряд якісних інструментальних спостережень.

Якщо ж якість спостережень є недостатньою, то краще використовувати варіант *B* (табл. 6), оскільки зайве дроблення градацій видимості і висоти хмар приводить не лише до ускладнення обробки матеріалу, але й до зниження точності шуканих характеристик.

Більш того, можна, використовуючи на початковому етапі обробки поєднання більш крупних градацій, завжди одержати повторюваність практично будь-яких поєднань висоти НМХ і видимості.

Одним з кліматичних показників, що характеризують льотно-метеорологічні умови різної складності, є середня повторюваність або середня кількість випадків за місяць з умовами погоди того або іншого ступеню складності.

Таблиця 5 – Поєднання значень метеорологічних величин, що визначають різні ступені складності погоди (варіант А)

Умовний ступінь складності погоди	Видимість V , км		Висота h , м НМХ ($N_h > 5$ балів)		Небезпечні явища погоди
	від	до	від	до	
VIIa	0	1	0	100	Сильний вітер, гроза
VIa	1	2	100	200	-
Va	2	3	200	300	-
IVa	3	4	300	400	-
IIIa	4	6	400	600	-
IIa	6	10	600	1000	-
Ia	≥ 10	-	≥ 1000 (або будь-яка інша висота при $N_h \leq 5$ балів)		

Для одержання цього показника бажано використовувати спостереження, які проводилися з інтервалом у одну, дві або у крайньому разі три години. Це дає можливість виявити закономірності добового ходу умов погоди.

Таблиця 6 – Поєднання значень метеорологічних величин, що визначають різні ступені складності погоди (варіант Б)

Умовний ступінь складності погоди	Видимість V , км		Висота h , м НМХ ($N_h > 5$ балів)		Небезпечні явища погоди
	від	до	від	до	
Vб	0	2	0	200	Сильний вітер, гроза
IVб	2	3	200	300	-
IIIб	3	6	300	600	-
IIб	6	10	600	1000	-
Iб	≥ 10	-	≥ 1000 (або будь-яка інша висота при $N_h \leq 5$ балів)		

Обробка виконується роздільно для кожного строку спостережень за місяцями. Розглядаючи усі випадки спостережень за даний строк у даному місяці за весь ряд років, визначають, до якого ступеню складності відноситься погода у кожному з випадків, що розглядається. Відношення числа випадків з умовами погоди даного ступеню складності до загальної кількості випадків, виражене у відсотках, дає середню повторюваність погоди даного ступеню складності у даний строк спостережень.

Повторюваність можна виразити також середнім числом випадків за місяць з умовами погоди даного ступеню складності. Середню кількість випадків одержують діленням загальної кількості випадків з погодою даного ступеня складності у даний строк на кількість досліджуваних років. При цьому сума середнього числа випадків за всіма ступенями складності погоди повинна дорівнювати кількості днів у місяці. У табл. 7 наведений приклад розрахунку середнього числа випадків з умовами погоди різного ступеню складності.

Розрахувати середню повторюваність або середнє число випадків з умовами погоди різного ступеню складності можна й іншим способом.

У цьому випадку потрібно мати таблицю повторюваності різних поєднань дальності видимості і висоти нижньої межі хмар (табл. 8). Вона побудована таким чином, що всі випадки, коли кількість хмар не перевищує 5 балів, зведені в окрему графу, в якій ці випадки розподілені за градаціями видимості.

Неважко зрозуміти, що повторюваність умов погоди окрім взятого ступеню складності, наприклад IV_a буде складатися:

- а) з кількості випадків m_1 , коли одночасно спостерігалися значення видимості і висоти хмар у межах заданих градацій ($3 \leq V < 4$ км та $300 \leq h < 400$ при $N_h > 5$ балів);
- б) з числа випадків m_2 , коли даній градації видимості ($3 \leq V < 4$ км) відповідала висота хмар більше заданої межі ($h \geq 400$ м при $N_h > 5$ балів) і будь-яка висота хмарності при $N_h \leq 5$ балів;
- в) з числа випадків m_3 , коли даній градації хмарності ($300 \leq h < 400$ м) відповідала дальність видимості більше заданої межі ($V \geq 4$ км).

Відповідно до цього, можна підрахувати кількість випадків $n_{IVa} = m_1 + m_2 + m_3$ з умовами погоди, які відповідають ступеню складності IV_a. Відповідно до табл. 4 $m_1 = 0,1$; $m_2 = 0,1 + 0,1 + 0,1 = 0,3$; $m_3 = 0,5 + 0,6 + 1,9 = 3,0$. Відповідно, $n_{IVa} = 3,4$ випадки на місяць.

З цього прикладу видно, що середня кількість випадків з умовами погоди кожного ступеню складності за варіантом А дорівнює сумі чисел у клітинках таблиці, розташованих у межах однаково заштрихованих Г-подібних площ.

Таблиця 7 – Кількість випадків з умовами погоди різного ступеню складності

	Строки спостережень, год																							
	0			3			6			9			12			15			18			21		
	заг.	сер.	%	заг.	сер.	%	заг.	сер.	%	заг.	сер.	%	заг.	сер.	%	заг.	сер.	%	заг.	сер.	%	заг.	сер.	%
VIIa	8	0,8	2,6	5	0,5	1,6	11	1,1	3,5	13	1,3	4,2	10	1,0	3,2	3	0,3	1,0	7	0,7	2,3	5	0,5	1,6
VIa	11	1,1	3,5	16	1,6	5,2	23	2,3	7,4	34	3,4	11,0	26	2,6	8,4	12	1,2	3,9	12	1,2	3,9	14	1,4	4,5
Va	18	1,8	5,8	20	2,0	6,5	26	2,6	8,4	30	3,0	9,7	29	2,9	9,3	27	2,7	8,7	23	2,3	7,4	17	1,7	5,5
IVa	23	2,3	7,4	26	2,6	8,4	26	2,6	8,4	34	3,4	11,0	30	3,0	9,7	38	3,8	12,2	20	2,0	6,5	22	2,2	7,1
IIIa	49	4,9	15,8	53	5,3	17,1	57	5,7	18,4	58	5,8	18,7	66	6,6	21,3	48	4,8	15,5	49	4,9	15,8	42	4,2	13,5
IIa	85	8,5	27,4	76	7,6	24,5	60	6,0	19,4	68	6,8	21,9	83	8,3	26,8	87	8,7	28,1	102	10,2	32,9	83	8,3	26,8
Ia	116	11,6	37,5	114	11,4	36,7	107	10,7	34,5	73	7,3	23,5	66	6,6	21,3	95	9,5	30,6	97	9,7	31,2	127	12,7	41,0
Σ	310	31	100	310	31	100	310	31	100	310	31	100	310	31	100	310	31	100	310	31	100	310	31	100

Таблиця 8 – Повторюваність різних поєднань дальності видимості і висоти хмар (середня кількість випадків за період)

Видимість, км	Висота НМХ (м) при $N_h > 5$ балів							$N_h \leq 5$ балів	Сума
	< 100	100-200	200-300	300-400	400-600	600-1000	≥ 1000		
< 1,0	vii 0,1								0,6
1,0-2,0	0,1	vi 0,1						0,1	0,3
2,0-3,0	0,2	0,7	v 0,1		0,2				1,2
3,0-4,0	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,8
4,0-6,0	0,2	1,2	0,3	0,5	0,2	0,4	0,5	0,8	4,1
6,0-10,0	0,1	1,0	1,4	0,6	0,8	0,6	1,1	1,3	6,9
≥ 10	0,1	0,8	1,9	3,1	3,8	2,6	4,7	17,0	
Σ	0,7	3,3	2,8	3,1	4,4	4,9	4,3	7,5	31,0
m_1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,2	0,6			
m_2	0,6	0,1	0,2	0,3	1,7	2,4			
m_3	0,6	3,2	2,7	3,0	3,9	3,8			
n	1,3	3,4	3,0	3,4	5,8	6,8	7,3		31,0

Дані про середню кількість випадків з умовами погоди різного ступеню складності, аналогічні тим, що містяться у табл. 7, 8 можуть бути використані для визначення середньої повторюваності або середнього числа випадків з погодою нижче заданого мінімуму.

Середнє число випадків з погодою нижче мінімуму $M(1/100)$ дорівнює середньому числу випадків з погодою ступеню складності VIIa. Для того щоб одержати середню кількість випадків з погодою нижче мінімуму $M(2/200)$, треба скласти кількість випадків зі ступенями складності VIIa та VIa. Щоб одержати середню кількість випадків з погодою нижче мінімуму $M(3/300)$, треба знайти суму числа випадків зі ступенями складності VIIa, VIa та Va. Якщо звернутися до табл. 7 і провести подібні розрахунки, то в результаті одержимо дані про середню кількість випадків з погодою нижче різних мінімумів (табл. 9).

Таблиця 9 – Середня кількість випадків з погодою нижче мінімуму

Строк спостереження, год	Мінімум погоди					
	1/100	2/200	3/300	4/400	6/600	10/1000
00	0,8	1,9	3,7	6,0	10,9	19,4
03	0,5	2,1	4,1	6,7	12,0	19,6
06	1,1	3,4	6,0	8,6	14,3	20,3
09	1,3	4,7	7,7	11,1	16,9	23,7
12	1,0	3,6	6,5	9,5	16,1	24,4
15	0,3	1,5	4,2	8,0	12,8	21,5
18	0,7	1,9	4,2	6,2	11,1	21,3
21	0,5	1,9	3,6	5,8	10,0	18,3

Ці дані можна представити графічно, як функцію часу доби, що дозволяє скласти уявлення про характер добового ходу цього показника. Так, з рис. 8 видно, що найбільш складні умови у даному місяці спостерігаються у першу половину дня.

Треба підкреслити, що з достатньою для практики точністю може бути одержана повторюваність і таких мінімумів погоди, для яких відношення видимості до висоти хмар не дорівнює 10.

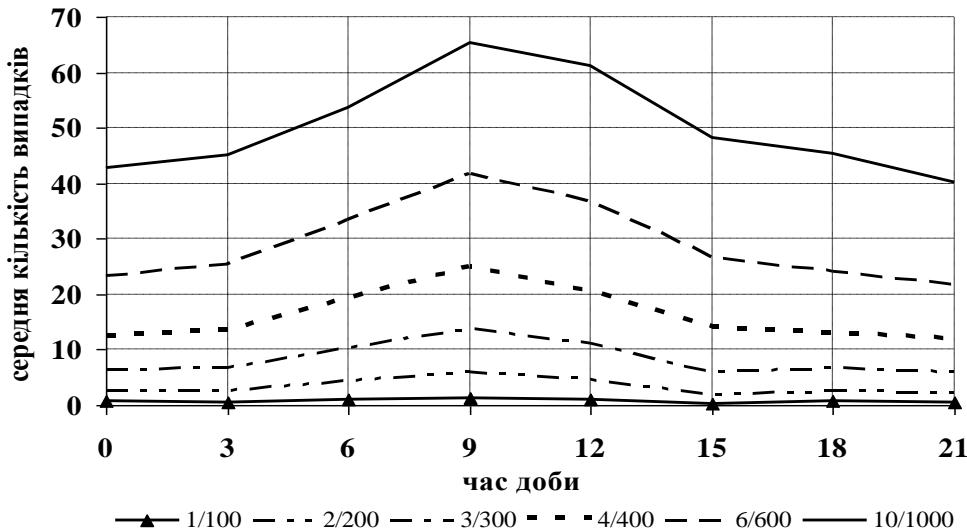


Рисунок 8 – Добовий хід повторюваності умов погоди нижче різних мінімумів

Можливість визначати повторюваність умов погоди нижче будь-яких встановлених мінімумів має вагоме практичне значення. Річ у тому, що мінімуми погоди не залишаються сталими. Вони змінюються разом з удосконаленням літаків, аeronавігаційного обладнання, посадкових систем тощо. Зі зміною мінімумів погоди виникає необхідність перераховувати спочатку їх повторюваність, що пов'язано з проведенням трудомістких розрахунків. Використання розглянутих графіків, побудованих один раз для даного аеродрому на надійному матеріалі за досить тривалий період, виключає таку необхідність.

2. Кліматичні показники, які використовуються при виборі запасних аеродромів

Серед заходів, що забезпечують безпеку польотів, передбачена необхідність вибору запасних аеродромів для посадки літака у тих випадках, коли на кінцевому пункті маршруту (на аеродромі призначення) за тими або іншими причинами посадка є неможливою.

Запасні аеродроми призначаються заздалегідь, ще до початку польотів, у період організації усієї системи аeronавігаційного і метеорологічного забезпечення.

При виборі запасних аеродромів враховуються їх віддаленість від основного аеродрому, оснащеність радіотехнічними засобами, наявність посадкової системи, кліматичні умови в районі аеродрому тощо.

За рівнозначних умов варто у якості запасних обирати такі аеродроми, де імовірність складних погодних умов є найменшою у той період, коли на основному аеродромі спостерігається погода нижче мінімуму.

Задача одержання кліматичних показників, які характеризують доцільність використання того чи іншого аеродрому у якості запасного, зводиться до розрахунку імовірності придатних (або непридатних) для посадки умов погоди у той момент, коли на основному аеродромі посадка є неможливою.

З цією метою для кожного аеродрому, для кожного часу доби і кожного місяця (або сезону) за весь період років підраховується кількість випадків (строків спостережень) n' з «поганою» погодою або погодою нижче мінімуму. Поганою вважається погода, при якій посадка може здійснюватися лише за допомогою спеціальних радіотехнічних засобів (наприклад, видимість менше 1500 м, висота НМХ менше 150 м). У якості мінімуму погоди, при якому посадка забороняється, приймаються, наприклад, значення видимості $V < 1000$ м і висота хмар $h < 100$ м.

Імовірність поганої погоди (або погоди нижче мінімуму) у дану частину доби або пори року для кожного аеродрому розраховується за формулою

$$W_z = \frac{n'}{n} \cdot 100\% ,$$

де n – загальна кількість спостережень.

Далі, один з аеродромів приймається у якості основного (вважається аеродромом призначення), а решта вважаються запасними по відношенню до основного. Потім для запасних аеродромів підраховується число випадків n'' , коли погана погода (або мінімум погоди) відзначається одночасно на запасному і основному аеродромах.

Очевидно, що імовірність умов погоди, не придатних для посадки на запасному аеродромі у той час, коли посадка є неможливою і на основному аеродромі, може бути виражена формулою

$$W_A = \frac{n''}{n'} \cdot 100\%,$$

а імовірність умов погоди, придатних для посадки на запасному аеродромі, за формулою

$$G = 100 - W_A.$$

Дослідження даних про імовірність поганої погоди на запасних аеродромах та загальні фізичні уявлення дають можливість встановити певні закономірності, які доцільно враховувати на практиці, особливо при виборі запасних аеродромів у районах, недостатньо освітлених у метеорологічному відношенні.

Існує тенденція до зменшення імовірності одночасного настання поганої погоди на запасних аеродромах при збільшенні відстані від основного аеродрому. Ця тенденція зберігається для аеродромів, що находяться на відстані 400-500 км від основного аеродрому. При значному віддаленні ступінь придатності запасних аеродромів знову зменшується і починає зростати лише на відстанях близько 700-800 км.

Проте не всім аеродромам притаманна зазначена властивість, що пояснюється впливом місцевих умов (рельєфу, моря, близькістю крупних промислових центрів).

Таким чином, можна вважати, що якщо основний та запасний аеродроми знаходяться у однорідних фізико-географічних умовах і не зазнають сильного впливу місцевих факторів, то імовірність одночасного настання однаково складних умов погоди на основному і запасному аеродромах зменшується зі збільшенням відстані до основного аеродрому (до 400-500 км). Ця закономірність зумовлюється, очевидно, характерними масштабами тих синоптичних процесів, які формують складні погодні умови.

Якщо основний і запасний аеродроми розташовуються у різних фізико-географічних умовах, наприклад по обидві сторони гірського хребта (особливо якщо гірський хребет орієнтований перпендикулярно переважаючим вітрам), то імовірність одночасного настання складних умов погоди буде менше, ніж якби обидва ці аеродроми розташувалися на рівнині. Теж саме відноситься і до аеродромів, один з яких знаходиться поблизу моря, а інший – у глибині континенту.

Питання для самоперевірки

1. Який показник використовується для оцінки імовірності умов погоди різного ступеня складності?
2. Які способи розрахунку авіаційно-кліматичних показників ступенів складності погоди ви знаєте? Для яких випадків вони застосовуються?
3. Яким чином розраховують середню кількість випадків умов погоди різного ступеню складності на місяць? Яка умова при цьому має виконуватись?
4. Як розраховується середнє число випадків з погодою нижче заданого мінімуму
5. Які авіаційно-кліматичні показники використовуються при виборі запасних аеродромів?
6. За якими формулами розраховується імовірність погоди нижче мінімуму та імовірність умов погоди, не придатних для посадки на запасному аеродромі у той час, коли посадка є неможливою і на основному аеродромі?

Лекція № 6

Кліматичні показники, що враховуються при плануванні заходів з підтримки поверхні аеродрому у робочому стані і необхідні для проєктування водостічно-осушувальної мережі і підземних комунікацій аеродрому

1. Кліматичні показники, що застосовуються для аеродромів зі штучним покриттям

Стан льотного поля є головним чинником у визначенні готовності аеродрому до проведення аеродромних польотів, прийому та відправки літаків. Час, протягом якого льотне поле є придатним для зльоту і посадки літаків, залежить від низки фізико-географічних та кліматичних умов даного району. Тому мінімізація негативного впливу цих факторів на етапі проєктування та будівництва аеродрому є актуальним завданням. Зрозуміло, що найбільший ефект досягається при створенні штучного покриття, яке дозволяє експлуатувати аеродром у ті періоди року, коли внаслідок погодних умов аеродроми без нього (ґрунтові аеродроми) виходять з ладу.

Для підвищення експлуатаційної готовності ґрунтових аеродромів та безперебійної експлуатації аеродромів зі штучним покриттям, необхідно враховувати характер багаторічного режиму низки метеорологічних величин.

Стосовно аеродромів зі штучним покриттям найбільші перепони для їх безперебійної експлуатації створюються у зимовий період року. Вони зумовлюються дією двох головних факторів – сніговими заметами та утворенням ожеледі.

Кліматичні показники, які характеризують режим снігового покриву у даному районі, є важливими для визначення обсягу снігоприбиральних робіт на ЗПС та внутрішніх аеродромних шляхах, порядок їх виконання і необхідні для цього технічні засоби.

У цьому відношенні найважливішими кліматичними показниками є:

- дати появи і сходження снігового покриву та їх різна забезпеченість;
- середня декадна висота снігового покриву;

- повторюваність різних висот снігового покриву за декадами;
- середня щільність снігового покриву за декадами.

Усі ці характеристики снігового покриву можуть бути розрахованими за даними багаторічних спостережень або узятими з кліматичних довідників.

Розчищення аеродрому від снігу бажано проводити відразу ж після його випадіння, оскільки з часом щільність снігу збільшується, а разом з цим збільшується потреба у снігоприбиральних машинах.

Технічні засоби, необхідні для прибирання снігу безпосередньо після його випадіння, можна оцінити на підставі даних про кількість опадів, що випали. За штильових умов кількість опадів A (мм), вимірюваних на метеостанції, відповідає висоті снігового покриву h (см), яка визначається

$$h = \frac{0.1A}{\rho}$$

де ρ – щільність свіжого снігу ($\text{г}/\text{см}^3$), яка у день його випадіння на поверхні ЗПС становить приблизно $0,15\text{--}0,18 \text{ г}/\text{см}^3$.

Відповідно, висота снігу, який необхідно прибирати $h = 0,6\text{--}0,7A$.

Таким чином, обсяг снігоприбиральних робіт на ЗПС і внутрішньо аеродромних шляхах, порядок їх виконання і необхідні для цього технічні засоби залежать від кліматичних показників, які характеризують режим снігового покриву у даному районі.

Іншим чинником, який впливає, як було зазначено вище, на зимову експлуатацію аеродромів, є явище утворення ожеледі. Це явище зумовлює відкладення шару льоду (іноді значної товщини), який вкриває наземні предмети, у тому числі поверхні літальних апаратів, що знаходяться на відкритих стоянках, а також рульові доріжки і ЗПС. Це зумовлює необхідність проведення спеціальних робіт з видалення льоду з поверхні літальних апаратів. Льодяний покрив, що вкриває ЗПС, створює небезпеку ковзання, юзу, викочування зі смуги, відхилення від курсу при розбігу та пробігу літака. Небезпечний вплив ожеледі посилюється зі збільшенням злітної (посадкової) швидкості літака та у разі наявності у нього безпротекторних шин високого тиску.

Відповідно до цього, кліматичні показники ожеледі повинні характеризувати повторюваність та інтенсивність цього явища. Це дозволяє планувати заходи з визначення кількості спеціальних теплових машин, які залучатимуться для видалення льоду з покриття аеродрому.

Кліматичними показниками, які характеризують повторюваність, є середня і найбільша кількість днів з ожеледдю. Інтенсивність ожеледі головним чином залежить від характеру рельєфу та інших фізико-географічних і кліматичних умов місцевості. Зокрема, до такого складного комплексу факторів відносяться абсолютна висота місця, тип рельєфу, крутість та експозиція схилів та ступінь захищеності місця.

2. Кліматичні показники, що застосовуються для ґрунтових аеродромів

Грунтові аеродроми протягом року характеризуються великою мінливістю фізико-механічного стану поверхні аеродрому, яка являє собою ущільнений і у більшості випадків вкритий шаром дерну ґрунт, а взимку ущільнений сніговий покрив.

На підставі даних вимірювань метеовеличин і розрахунків за методикою, вказаною нижче, для оцінки експлуатаційного стану аеродрому метеопідрозділи визначають:

- строки настання кліматичних показників експлуатаційних періодів;
- величину зміни вологомісту ґрунту аеродрому за період тривалістю не більше 10 днів;
- час осідання (знесення) пилової або сніжної хмари на ЗПС при різних метеоумовах зльоту (посадки) літаків на аеродромі.

Експлуатаційний стан ґрунтового аеродрому визначається у першу чергу носійною здатністю (міцністю) ґрунту злітно-посадкової смуги, рульових доріжок та місць стоянки літальних апаратів.

Під експлуатаційним періодом ґрунтового аеродрому розуміється період, протягом якого виконуються зліт і посадка літаків на ґрунт ЗПС одного і того ж агрегатного стану (розталий, мерзлий), а середня величина змін міцності верхнього шару ЗПС має однакову спрямованість. Загальна

кількість, строки і тривалість експлуатаційних періодів на кожному аеродромі визначаються зміною міцності ґрунту протягом року.

Нормальна експлуатація літальних апаратів можлива лише у тих випадках, коли міцність ґрунту є такою, що його опір котінню коліс не перевищує припустимих значень і забезпечує розбіг літака у межах дистанцій, передбачених технічними вимогами.

Міцність ґрунту залежить від його вологості, складу та щільності. Вплив вологості на міцність ґрунту показаний на рис. 9.

Вологість ґрунту залежить від його щільності, а також низки гідрометеорологічних факторів, таких як режим опадів, температура повітря, поверхневий стік та рівень ґрутових вод.

Періоди, протягом яких внаслідок сильного перевозначення різко знижується носійна здатність ґрунту, і рух літаків по ньому ускладнюється, носять назву бездоріжжя.

Чим нижче температура повітря і чим більше випадає опадів, тим вищою є вологість ґрунту і тривалість періоду бездоріжжя. Найтриваліші періоди бездоріжжя спостерігаються весною і восени, коли ґрутові аеродроми можуть виходити з ладу на тривалий час.

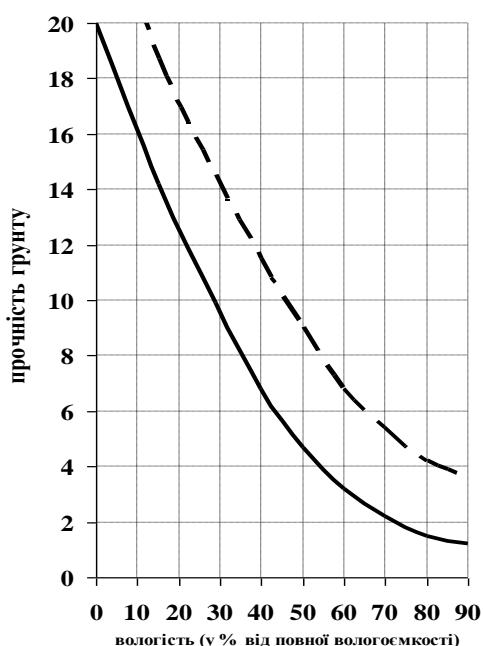


Рисунок 9 – Залежність міцності ґрунту від його вологості

— — — з дерновим покриттям; — відкритий ґрунт.

Менш тривалі періоди бездоріжжя можуть спостерігатися взимку і влітку.

Осіннє бездоріжжя зазвичай наступає у період, коли середня добова температура повітря знижується до $+5^{\circ}\text{C}$ (що сприяє зменшенню випаровування вологи) і зростає повторюваність облогових опадів, котрі насичують вологою верхній шар ґрунту й сприяють підвищенню рівня ґрутових вод. Осіннє бездоріжжя припиняється з настанням стійких від'ємних температур повітря, коли верхній шар ґрунту промерзає на мінімально

необхідну глибину.

Промерзання ґрунту на глибину 6 см забезпечує нормальні умови експлуатації легких літаків.

Навесні бездоріжжя настає після сходу снігового покриву, коли починається танення верхнього шару ґрунту і досягає найбільшої інтенсивності, коли ґрунт відмерзає до глибини 30-40 см. Припинення бездоріжжя співпадає з моментом висихання верхнього шару ґрунту на достатню глибину (для легких літаків на глибину 20 см).

Влітку бездоріжжя може продовжуватися від декількох годин до декількох днів і спостерігається як результат сильних і тривалих дощів.

Зимове бездоріжжя може виникати у випадку інтенсивної і тривалої відлиги.

Час настання і тривалість бездоріжжя залежать від фізико-географічних особливостей району аеродрому.

Послабити негативний вплив фізико-географічних факторів і тим самим збільшити тривалість періоду експлуатації ґрутового аеродрому можна:

- шляхом правильного вибору земельної ділянки під аеродром;
- створення дернового покриву, що збільшує носійну здатність ґрунту;
- підтриманням достатньо високої щільності ґрунту протягом усього періоду експлуатації аеродрому.

При виборі місця розташування аеродрому варто віддавати перевагу відносно високо розташованим ділянкам, де нижчий рівень ґрутових вод і менш ймовірні тумани. У той же час на цих ділянках не повинні виникати локальні орографічні посилення вітру, які помітно ускладнюють експлуатацію аеродрому.

Не рекомендується розташовувати аеродром поряд з лісом, оскільки для літаків погіршуються підходи до аеродрому. Крім того, біля лісу затримується більше снігу, що збільшує тривалість весняного бездоріжжя.

Літня смуга повинна мати схили, що забезпечують швидке відведення поверхневих вод. Схили льотного поля при інших рівних умовах у районах з підвищеною вологістю мають бути більшими, ніж у посушливих районах.

Аеродроми рекомендується створювати на ґрунтах, які мають достатню міцність, малу пильність і властивості, що сприяють утворенню дернового покриву.

Для планування заходів, спрямованих на підвищення експлуатаційної готовності ґрунтових аеродромів і визначення необхідних для цієї мети технічних засобів, необхідно знати кліматичні показники, що характеризують режим снігового покриву. Крім того, необхідні деякі кліматичні показники режиму температури повітря і ґрунту. Частина з них міститься у кліматичних довідниках. До них відносяться:

- середня місячна температура повітря;
- середні дати переходу середньодобової температури повітря через -5, 0 +5, +10 та +15°C;
- середня місячна швидкість вітру;
- напрямок вітру і середнє число штилів для найбільш холодних і теплих місяців;
- середня місячна кількість опадів;
- висота снігового покриву по декадам;
- дати утворення і руйнування стійкого снігового покриву;
- середня місячна відносна вологість повітря;
- товщина мерзлого шару ґрунту по декадам;
- кількість днів з відлигою;
- дати першого і останнього морозу в ґрунті на різних глибинах.

Для уяви про імовірність виникнення бездоріжжя і її можливу інтенсивність корисно використовувати такі кліматичні показники опадів:

- найбільшу місячну кількість опадів, що спостерігалися один раз на 10, 20 та 30 років;
- найбільшу добову кількість опадів, що спостерігалися один раз на рік, 10 та 20 років;
- середню кількість днів з різною кількістю опадів;
- повторюваність дощових періодів різної тривалості.

3. Кліматичні показники, необхідні для проектування водостічно-осушувальної мережі та підземних комунікацій аеродрому

Показники, необхідні для розрахунку поверхневого стоку злив. Водостічно-осушувальна мережа призначена для відводу талих, снігових та

дощових вод, що надходять на аеродром. Одним з основних параметрів, який визначає спосіб розміщення і розміри усіх елементів цієї мережі, є величина максимального поверхневого стоку Y , що формується при весняному сніготаненні і зливах. Від значення величини Y залежать відстані між дощоприймальниками, з оглядовими колодцями, розміри магістральних і нагірних каналів, а також форма елементів мережі.

Формування максимального поверхневого стоку Y залежить від фізико-географічних умов аеродрому. В одних районах найбільша кількість води, що потрапляє на аеродром за одиницю часу Y , зумовлюється таненням снігу у межах всієї водозбірної площини аеродрому (Y_1). В інших районах максимальний поверхневий стік Y формується за рахунок рідких зливових опадів (Y_2).

Як правило, у кожному фізико-географічному районі не спостерігається рівності між значеннями максимального поверхневого стоку дощового (зливового) і снігового походження ($Y_1 \neq Y_2$), як зазвичай $Y_1 < Y_2$ або $Y_1 > Y_2$. Тому одні і ті ж елементи водостічно-осушувальної мережі на аеродромах, що розташовані в різних фізико-географічних умовах мають не однакові розміри. Ці розміри визначаються на основі переважаючої величини максимального поверхневого стоку (Y_1 або Y_2) у цьому районі.

Механізм формування Y_1 і Y_2 багато в чому відмінний. У зв'язку з цим методи розрахунку Y_1 та Y_2 не однакові і для їх практичного застосування вимагаються різні кліматичні показники.

Максимальний поверхневий стік характеризує кількість води, що стікає за одиницю часу з одиниці площини водозбірного басейну, і виражається в л/сек·км². При розрахунках Y_2 зливового походження максимальний поверхневий стік виражають у виді шару стоку в мм за одиницю часу. У цьому випадку шар стоку розраховується шляхом ділення всього об'єму води, що стікає з водозбірного басейну за один дощ, на площину водозбору.

В практиці проектування гідротехнічних споруд аеродрому досить часто зустрічаються випадки відсутності даних гідрометричних вимірювань поверхневого стоку злив для району, що розглядається. Відсутність таких даних, а також розташування і значне віддалення аеродромів від гідрометричних створів зумовлює неможливість побудови кривої забезпеченості для розрахунку поверхневого стоку злив. У таких випадках

розрахунковий шар стоку злив може бути визначений за допомогою наближених методів. Один з таких методів, запропонований Г.О. Алєксєєвим, базується на врахуванні основних закономірностей формування зливового стоку. Розрахунковий шар вододільного дощового стоку повторюваністю один раз на N років дорівнює:

$$Y_N = \left(\sqrt{H_N} - \sqrt{H_0} \right)^2; \quad H_N = \alpha (\lg \bar{m} - \lg N)^{\frac{1}{\Delta}};$$

$$\alpha = k_{\Delta} \frac{\bar{H}}{\bar{m}}; \quad H_0 = \frac{K_{\Pi}}{\nabla}$$

H_N – розрахункова кількість опадів за один дош (добовий шар опадів) у міліметрах повторюваністю один раз на N років;

α – параметр середньої кількості опадів за один дош в $мм$;

\bar{H} – середня кількість опадів за теплий період року в $мм$;

\bar{m} – середня кількість днів з опадами за теплий період року;

Δ – числовий коефіцієнт, що визначається по карті;

k_{Δ} – числовий коефіцієнт, який визначається за таблицею 10;

Таблиця 10 – Значення коефіцієнту k_{Δ}

k_{Δ}	2,58	2,68	2,64	2,57
Δ	0,45	0,55	0,65	0,75

H_0 – шар початкових втрат опадів до моменту утворення поверхневого стоку за рахунок інфільтрації дощової води в ґрунт і заповнення мікрозападин в $мм$;

K_{Π} – інтенсивність інфільтрації дощової води в ґрунт в $мм/хв.$;

∇ – кліматичний коефіцієнт, що дорівнює відношенню миттєвої інтенсивності опадів до їх шару. Величина ∇ приймає значення 0,05-0,06 у степовій зоні, 0,04-0,05 у лісостеповій та 0,03-0,04 у лісовій зоні.

Показники, необхідні для розрахунку поверхневого стоку талих снігових вод. Поверховий стік талої снігової води Y_1 формується під впливом багатьох факторів, які представлені на рис. 10.

У практиці проєктування і будівництва водостічно-осушувальної мережі, призначеної для збору і відведення талої снігової води, її

максимальний поверхневий стік найчастіше характеризують не у виді максимального поверхневого стоку Y_1 , а у виді максимального витрати води Q_{max} . Під максимальними витратами розуміють найбільший об'єм води, що проходить за одиницю часу в період весняного водопілля і виражається у $\text{м}^3/\text{сек}$. Добові значення Y_1 (мм/добу) та Q_{max} співвідносяться між собою

$$Y_1 = \frac{86,4 \cdot Q_{max}}{F},$$

де Q_{max} – максимальні витрати води у $\text{м}^3/\text{сек}$; F – площа водозбору у км^2 .

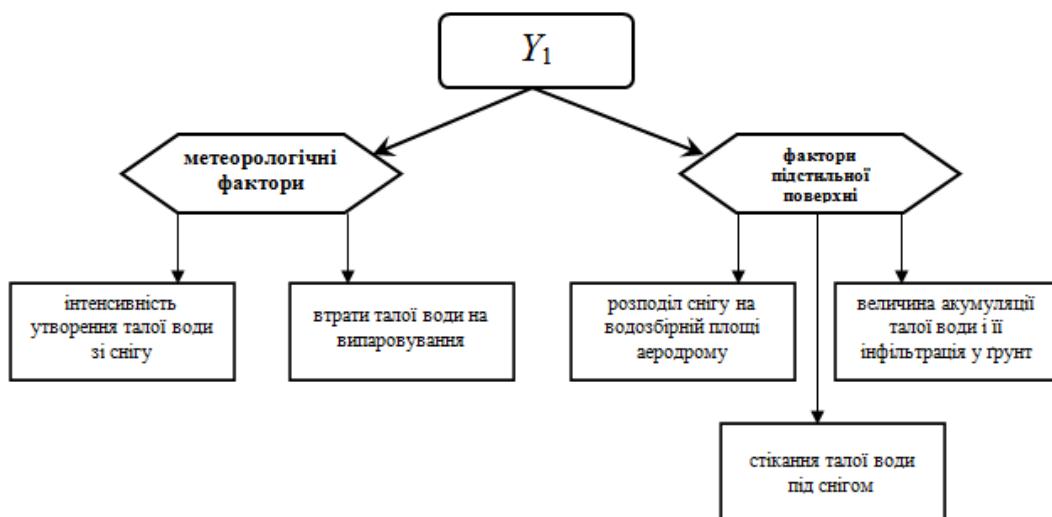


Рисунок 10 – Фактори, що впливають на формування поверхневого стоку талої снігової води

Найбільш теоретично обґрунтованою і зручною для широкого практичного використання формулою максимальних витрат води сталого режиму є формула, одержана Д.Л.Соколовським

$$Q_{max} = k \underbrace{a_{max}}_{A_{max}} \alpha \varphi F, \quad (6)$$

де Q_{max} – максимальні витрати води у $\text{м}^3/\text{сек}$;

a_{max} – гранична інтенсивність сніготанення у $\text{мм}/\text{год}$;

α – коефіцієнт стоку;

$\varphi = \frac{\bar{a}_F}{a_{\max}}$ – коефіцієнт переходу від граничної інтенсивності сніготанення на одиничній площині a_{\max} до середньої інтенсивності сніготанення \bar{a}_F для всієї площині басейну F ;

k – коефіцієнт розмірності (якщо a_{\max} вимірюється у мм/год, то $k = 0,28$).
 φ – для степової та лісостепової зони змінюється від 0,28 до 0,30.

Якщо урахувати діапазон змінюваності коефіцієнту φ , то його величина може бути прийнятою $\varphi = 0,25$, і тоді залежність φ від F можу бути такою

$$\varphi = \frac{1}{(F + 1)^{0,25}}. \quad (7)$$

Зважаючи на складові A_{\max} є максимальна інтенсивність сніготанення і стоку з одиничної площині, формула (6), із врахуванням співвідношення (7), можу бути записана

$$Q_{\max} = \frac{0,28 \cdot A_{\max} \cdot F}{(F + 1)^{0,25}}.$$

Величина A_{\max} є складною функцією метеорологічних (температура повітря, сонячна радіація), гідрологічних (запас води у снігу, озерність і заболоченість території) та інших факторів стоку талих снігових вод.

Її значенню притаманний зональний розподіл і визначається за спеціальними картами.

Для розрахунку максимальних витрат талої снігової води заданої забезпеченості i , відповідно, при проектуванні гідротехнічних споруд аеродрому необхідні такі показники:

- середні багаторічні значення максимальної і мінімальної добової температури повітря за період сніготанення;
- середні багаторічні значення максимальної температури повітря і максимальної швидкості вітру у денні і нічні години;
- площа озер, болот і лісових насаджень у водозбірному басейні.

Перший і останній з цих показників по дослідженням районам можуть бути одержані з матеріалів систематичних гідрологічних спостережень,

опублікованих у виданнях гідрометеорологічної служби. Інші показники визначаються за даними кліматологічних довідників.

Показники, необхідні для розрахунку глибини промерзання ґрунту. Стійкість обладнаних гідротехнічних споруд водостічно-осушувальної мережі аеродрому, а також глина закладки фундаменту інших інженерних споруд (об'єктів) багато в чому залежить від деяких параметрів промерзання ґрунту. Найбільш важливим з них є максимальна глина сезонного промерзання ґрунту.

Промерзання ґрунту супроводжується утворенням у ньому льоду і переміщенням вологи. Обидва процеси пов'язані з тепло- і волого обміном, що постійно протікає у ґрунтах з різною інтенсивністю.

У мерзлому ґрунті не вся влага знаходиться у твердій фазі. Найчастіше перехід вільної води в лід починається при температурах близьких до 0°C. Зв'язана вода переходить в лід при нижчих від'ємних температурах, нерідко нижчих ніж -3÷ -1,5°C. У той же час, в промерзлому ґрунті завжди знаходиться певна кількість незамерзлої води.

Максимальна глина сезонного промерзання сильно змінюється з року в рік залежно від фізико-географічних умов. Значення цієї величини для кожного аеродрому можна визначити двома способами.

Перший з них полягає в побудові кривих забезпеченості максимальної глибини промерзання. Такі криві будується за даними багаторічних вимірювань. У більшості випадків такі дані або відсутні, або ряд вимірювань величин не репрезентативний. Тому частіше максимальна глина сезонного промерзання вимірюється другим, розрахунковим способом.

Максимальна сезонна глина промерзання ґрунту у різних районах неоднакова, оскільки промерзання відбувається за різних умов при різних співвідношення складових рівняння теплового балансу, а також при неоднаковій структурі, висоті і щільності снігового покриву. Тому одержання розрахункових залежностей для визначення максимальної глибини промерзання доцільно здійснювати на основі емпіричних зв'язків такого типу

$$z_{\max} = f \left(\sum_{i=1}^{\tau} \bar{t}, \frac{\sum h_c}{n}, x \right)$$

$\sum \bar{t}$ – сума середніх декадних від'ємних температур повітря за розрахунковий період τ .

$\sum h_c$ – сума середніх декадних висот снігового покриву;

n – кількість днів зі сніговим покривом за розрахунковий період;

x – загальна кількість опадів за період τ .

Вплив снігового покриву на промерзання ґрунту настільки великий, що глибокий сніговий покрив сприяє більшому послабленню інтенсивності наростання z_{max} , ніж підвищення температури повітря.

Крім висот снігового покриву на промерзання ґрунту впливають й інші характеристики снігового покриву: час утворення стійкого снігового покриву, тривалість і рівномірність його залягання, а також щільність снігу.

Інтенсивному наростанню мерзлого шару ґрунту найбільше сприяє пізнє утворення стійкого снігового покриву при малій його висоті.

Таким чином, для розрахунку глибини промерзання ґрунту необхідні такі середні багаторічні показники:

- максимальна глибина промерзання ґрунту і дата її утворення;
- дати початку промерзання ґрунту і повного його від танення;
- кількість днів зі сніговим покривом за період утворення максимальної глибини промерзання;
- температура повітря за кожну декаду усього періоду наростання мерзлого шару ґрунту;
- дати утворення і повного розтанення снігового покриву.

Питання для самоперевірки

1. Які показники використовуються при проектуванні водостічно-осушувальної мережі та підземних комунікацій аеродрому?
2. Які показники використовуються для безперебійної експлуатації аеродромів зі штучним покриттям
3. Які показники розраховуються для оцінки глибини промерзання ґрунту?
4. Які фактори впливають на формування поверхневого стоку талої снігової води? Які показники використовуються для його розрахунку?

Тема 3

АВІАЦІЙНО-КЛІМАТИЧНІ ПОКАЗНИКИ МЕТЕОВЕЛИЧИН У ВІЛЬНІЙ АТМОСФЕРІ

Лекція 7

Авіаційно-кліматичні показники режиму вітру біля землі та у вільній атмосфері

1. Авіаційно-кліматичні показники режиму вітру

Залежно від відстані між пунктами зльоту і посадки, висоти ешелону польоту і заданої програми польоту, відстань, що долається літальним апаратом на ділянках набору висоти та зниження, змінюється у досить широких межах. У багатьох випадках ця відстань виявляється співставною з ділянкою крейсерського польоту і навіть перевищувати її. Тому при визначенні профілю польоту у вертикальній площині детально враховуються особливості просторових кліматичних полів, головним чином, вітру та температури.

По мірі зміни висоти літальний апарат може проходити через зони підвищеної небезпеки, які визначаються різними атмосферними явищами, що в них відбуваються. До таких явищ відносяться, наприклад, тропосферні струминні течії і струминні течії нижніх рівнів (мезострумені). Ці атмосферні утворення характеризуються підвищеною турбулентністю, яка зумовлює бовтанку літальних апаратів. Крім того, для них є характерними підвищені значення вертикальних і горизонтальних зсувів вітру. Визначити найімовірніші області струминних течій і взяти їх до уваги можна шляхом аналізу кліматичних даних про вітер.

Для оптимізації крейсерського польоту окрім режимів мінімальної тривалості і максимальної дальності досліджуються і економічні, які відповідають мінімуму собівартості перевезень і мінімуму витрати палива. Ці режими у теперішній час є основними. Успіх у виявленні найбільш вигідних

економічних режимів переважно визначається точністю і деталізацією подання кліматичних полів.

Кліматична інформація про вітер використовується також при складанні розкладу авіарейсів. Найбільшого поширення набув метод, в основу якого покладений облік переважаючого віtru. Параметри переважаючого віtru легко розрахувати за кліматичними характеристиками на підставі використання закону двовимірного нормальногорозподілу віtru. Цей метод добре зарекомендував себе для складання розкладу на внутрішніх і міжнародних авіалініях.

При обробці спостережень за вітром доводиться обчислювати велике число різних кліматичних показників. Це зумовлено, по-перше, широким використанням кліматичних показників віtru при дослідженні режиму загальної циркуляції атмосфери, в дослідженнях з теорії клімату, при вирішенні різноманітних прикладних задач. По-друге, вітер є векторною величиною. Тому для опису вітрового режиму потрібен ряд характеристик модуля вектора швидкості віtru, його напрямку, а також різних поєднань швидкості і напрямку віtru.

Основними авіаційно-кліматичними характеристиками віtru є:

- 1) кліматичні показники швидкості віtru – середня швидкість віtru, повторюваність різних градацій швидкості віtru, квантилі швидкості віtru, максимальна швидкість віtru;
- 2) кліматичні показники напрямку віtru – повторюваність різних напрямків віtru (за румбами).
- 3) кліматичні показники швидкості і напрямку віtru повторюваність різних напрямків (румбів) віtru, по градаціях швидкості, середня швидкість віtru при даному напрямку, середній вектор віtru (результатуючий вітер);
- 4) кліматичні показники мінливості (дисперсності) віtru – середнє квадратичне відхилення швидкості віtru, середнє квадратичне відхилення вектора віtru;
- 5) кліматичні показники вертикального градієнта швидкості віtru;
- 6) кліматичні показники еквівалентного віtru.

Обчислення перших двох характеристик принципово не відрізняється від обчислення аналогічних характеристик біля Землі і носить характер

стандартної процедури (стандартні методи розрахунку середніх і повторюваності).

Напрямки вітру, які у первинному матеріалі спостережень виражені в градусах, групують за вісімома румбами відповідно до табл. 11. і розраховують повторюваність кожного румба за весь період років і виражають у відсотках до загальної кількості випадків, коли відзначався вітер.

Таблиця 11 – Переведення напрямку вітру з градусів у румби

Градуси	338-22	23-67	68-112	112-157	158-202	203-247	248-292	293-337
Румби	Пн	ПнСх	Сх	ПдСх	Пд	ПдЗ	З	ПнЗ

Штилі, зазвичай, у це число не включають. Їх розраховують окремо і виражають у відсотках від загальної кількості спостережень. Це пов'язано з тим, що повторюваність штилів сильно залежить від якості встановлення і догляду за флюгером, а також від місцевих умов. Близькість дерев, будівель, погане змащування флюгеру, а також розташування станції у особливих умовах (наприклад, у низовині) можуть привести до різкого збільшення кількості штилів. Тому, якщо їх включати у загальну кількість спостережень, що приймається за 100% при підрахунку повторюваностей напрямків вітру, то це негативно відб'ється на порівнюваності кліматичних характеристик вітру сусідніх станцій.

При розрахунку повторюваності напрямків вітру по градаціям швидкості за 100% приймаються усі випадки спостережень за вітром, у тому числі і штилі. Потім розраховують повторюваність для кожного поєднання швидкості і напрямку вітру.

Штилі можна розглядати як дуже слабкі вітри у припущені того, що повний штиль спостерігається дуже рідко. Тоді правомірно повторюваність усіх штилів розподілити за напрямками вітру пропорційно повторюваності слабкого вітру (швидкістю до 1 м/с).

Іноді повторюваність напрямків вітру за градаціями швидкості розраховують дещо інакше. За 100% приймають не усі випадки спостережень, а лише ті з них, які входять у кожну градацію швидкості вітру.

Такий прийом обробки використовується для вивчення характеру розподілу напрямків вітру заданої швидкості.

Останніми роками набули широкого застосування і містяться в Аерокліматичному довіднику деякі інші кліматичні показники вітру. До них відносяться:

- результатуючий вітер (середній вектор швидкості вітру на фіксованому рівні);
- середнє значення зональної складової вітру;
- середнє значення меридіональної складової вітру;
- характеристики міливості вітру;
- середній вітер у шарі (середній вектор швидкості вітру у фіксованому шарі атмосфери);
 - вертикальний градієнт швидкості вітру;
 - еквівалентний вітер.

Зазначені кліматичні показники обчислюються для стандартних висот або для головних ізобаричних поверхонь. Обчислення виконують за місяцями (іноді за сезонами), використовуючи стандартні методи відбору і розрахунку середніх, які принципово нічим не відрізняються від тих, які застосовуються при обробці наземних даних.

2. Розрахунок результатуючого вітру та показників міливості (дисперсності) вітру

Розрахунок середнього вектора вітру (результатуючого вітру)

Результатуючим вітром u_r називається середній вектор вітру, який виходить шляхом усереднювання всіх векторів швидкості вітру на даному рівні за деякий період часу. Результатуючий вітер розраховують для всіх рівнів за місяцями і за рік. Модуль результатуючого вітру виражається формулою

$$|u_r| = u_r = \frac{1}{n} \left| \sum_1^n u_i \right|$$

$\left| \sum_1^n u_i \right|$ – модуль суми векторів вітру, а його напрямок визначається напрямком вектора суми векторів вітру.

Слід розрізняти результуючий вітер u_r і середню швидкість вітру u_s . На відміну від результуючого вітру u_r , що є векторною величиною, середня швидкість вітру u_s є величина скалярна

$$u_s = \frac{1}{n} \sum_1^n |u_i| = \frac{1}{n} \sum_1^n u_i ,$$

де $u_i = |u_i|$ – модуль вектора швидкості вітру в даний момент часу.

Якщо є дані вітрового зондування за ряд років і є дані про повторюваність різних напрямків вітру за 8 румбами і для кожного румба відома середня швидкість вітру, то результуючий вітер може бути одержаний за формулою

$$u_r = \frac{u_1 p_1 + u_2 p_2 + \dots + u_8 p_8}{100}$$

де u_1, \dots, u_8 – вектори швидкості вітру, модулі яких дорівнюють середній швидкості вітру відповідного румба, а напрям співпадає з напрямом румба;

p_1, \dots, p_8 – імовірність вітру за румбами, виражена у відсотках.

Чисельник – це геометрична сума векторів, модулі яких пропорційні імовірності вітрів відповідних румбів.

Модуль результуючого вітру u_r і середня швидкість вітру u_s не рівні між собою величини. Модуль результуючого вітру не перевищує середньої швидкості вітру. Відмінність між ними зростає зі збільшенням мінливості (дисперсності) напрямку вітру у даному пункті.

Розрахунок показників мінливості (дисперсності) вітру.

Поняття мінливості вітру включає:

- a) мінливість модуля швидкості вітру (скалярне середнє квадратичне відхилення σ_s);
- б) мінливість вектора швидкості вітру (векторне середнє квадратичне відхилення σ_r);

Скалярне середнє квадратичне відхилення σ_s характеризується величиною середнього квадрата відхилення індивідуальних швидкостей вітру від середньої швидкості вітру і розраховується за формулою

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (u_i - u_s)^2}{n}}.$$

Векторне середнє квадратичне відхилення σ_r характеризується величиною середнього квадрата відхилення індивідуальних векторів вітру від середнього вектора (результатуючого вітру)

$$\sigma_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (u_i - u_r)^2}{n}}. \quad (8)$$

Поняття векторного квадратичного відхилення можна з'ясувати з рис. 5, де u_1, u_2, u_3 – індивідуальні вектори вітру; u_r – середній вектор вітру (результатуючий вітер), $\Delta u_1 = u_1 - u_r$; $\Delta u_2 = u_2 - u_r$; $\Delta u_3 = u_3 - u_r$ і т.д.

Тобто

$$\sigma_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta u_i^2}{n}}.$$

Оскільки вектор вітру – це випадковий вектор, що підпорядковується нормальному круговому закону розподілу, то σ_r – це радіус кола (рис. 11), в якому у стількох випадках зі ста різниці між індивідуальними векторами вітру і результатуючим вітром не перевищують величину σ_r .

Приведемо формулу (8) до виду зручнішого для розрахунків. Зводячи обидві частини рівності в квадрат і враховуючи, що $u_r = \text{const}$, одержимо

$$\sigma_r^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i^2 - 2u_r \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i + u_r^2.$$

Оскільки квадрат вектора дорівнює квадрату його модуля, тобто

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{u}_i^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i^2 = \bar{u}^2 \quad \text{i} \quad \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{u}_i = u_r, \text{ маємо}$$

$$\sigma_r^2 = \bar{u}^2 - 2u_r^2 + u_r^2,$$

звідки

$$\sigma_r = \sqrt{\bar{u}^2 - u_r^2},$$

де \bar{u}^2 – середній квадрат модулів індивідуальних векторів вітру.

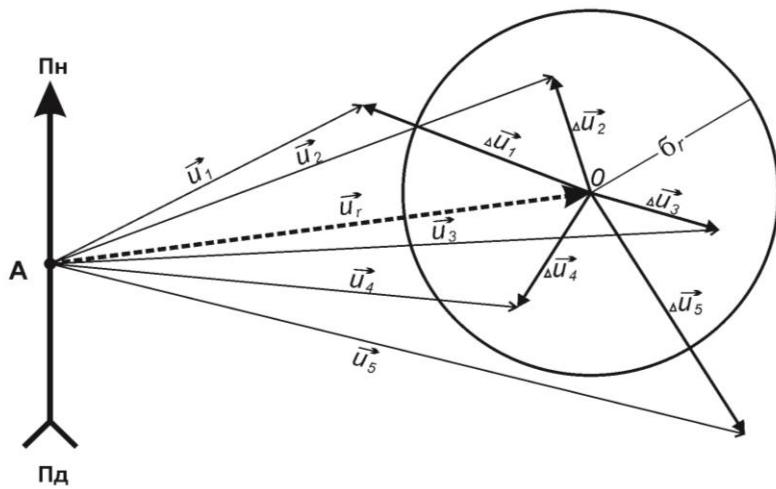


Рисунок 11 – До визначення середнього квадратичного відхилення вектору вітру σ_r

У випадках, коли вектор швидкості вітру задовільно підпорядковується нормальному круговому закону розподілу, величина σ_r може бути одержана з достатнім ступенем точності іншим, більш простим способом, якщо відома середня швидкість вітру u_s і модуль результуючого вітру u_r . З цією метою використовується параметр $q = \frac{u_r}{u_s}$. Величина q , яка може змінюватися від 0 до 1, певною мірою характеризує стійкість напрямку вітру у даному пункті. Якщо $q = 0$ (коли $u_r = 0$), то маємо найменшу стійкість вітру, оскільки u_r може дорівнювати нулю лише у тому випадку, коли у даному пункті дуже імовірна поява вітрів будь-якого напрямку. Якщо $q = 1$, то має місце найбільша

нестійкість напрямків вітру, оскільки рівність $u_r = u_s$ лише за умови сталості напрямку вітру у даному пункті.

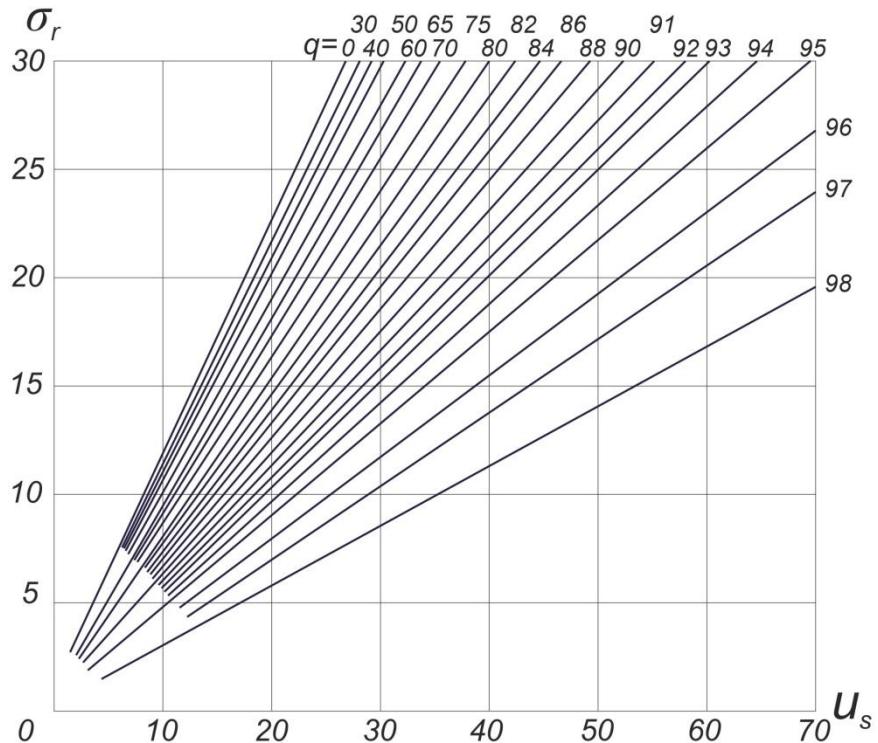


Рисунок 12 – Номограма для визначення σ_r

Параметр стійкості q досить тісно пов'язаний з відношенням σ_r / u_r . У табл. 12 наводяться величини σ_r / u_r для різних значень q .

Таблиця 12 – Відношення σ_r / u_r для різних значень q

q	0,01	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,99	1,0
σ_r / u_r	113	11,3	5,6	3,7	2,6	2,0	1,6	1,24	0,95	0,65	0,21	0,00

З таблиці випливає, що σ_r залежить від q та u_r : при сталому u_r й зростанні стійкості напрямку вітру величина σ_r зменшується, при незмінному q і збільшенні модулю результируючого вітру величина σ_r зростає. Також середнє

квадратичне відхилення можна розраховувати за допомогою номограми, представленої на рис. 12.

3. Кліматичні показники струминних течій та вертикального градієнту швидкості вітру

Актуальність одержання кліматичних показників СТ зумовлена практичними потребами авіації, умови роботи якої в значній мірі визначаються режимом вітру у верхній тропосфері і стратосфері. Зазначимо, що наявні наукові праці в області кліматології СТ відрізняються різними методичними підходами і у багатьох випадках їх результати є непорівнюваними між собою. Це пов'язано, головним чином, з різними підходами дослідників до ідентифікації СТ, коли у одному випадку абсолютнозуються кількісні критерії СТ, рекомендовані аерологічною комісією ВМО, а у іншому – ними нехтують, беручи до уваги специфічний характер поля вітру у зоні СТ. Проте у рамках лекції ми зупинимося на загальних принципах одержання кліматичних показників СТ.

Для одержання фізично обґрунтованих кліматичних показників СТ варто при відборі матеріалів спиратися на результати аналізу поля вітру (тиску). Найбільш доцільно для цього застосовувати карти баричної топографії, користуючись чітким уявленням, що в області висотної фронтальної зони на усіх її ділянках поле вітру буде мати характер СТ, або картами максимального вітру.

Для розрахунку кліматичних показників струминних течій (СТ) застосовується два підходи. Перший полягає у розрахунку показників для різних типів струминних течій (арктичного, північного помірних широт, південного помірних широт і субтропічного) незалежно від їх географічної локалізації, інший – у одержанні географічно локалізованих кліматичних показників струминних течій (для району, широтної зони, пункту).

Прийнято розраховувати такі кліматичні показники струминних течій (зазвичай за сезонами року):

- повторюваність СТ;
- середня висота віси СТ та її змінюваність;

- ширина і вертикальна протяжність СТ та їх змінюваність;
- середня інтенсивність СТ та її змінюваність;
- середні вертикальні градієнти швидкості вітру та їх змінюваність.

Середня висота вісей СТ розраховується за даними про розташування рівня максимального вітру у строки, що відповідають знаходженню вісі СТ над пунктом.

При відборі вихідних даних для розрахунку кліматичних характеристик ширини та вертикальної протяжності СТ необхідно визначитися зі значенням швидкості на її межах. Оскільки числові значення цих характеристик залежать від прийнятої величини швидкості на межах, то необхідно завжди зазначати, при якому її значенні одержані дані про ширину і вертикальну протяжність СТ. Середні значення ширини та вертикальної протяжності СТ найбільш точно розраховуються за даними вертикальних розрізів. Крім того, середнє значення вертикальної протяжності можна розрахувати за даними вертикального зондування у центральній частині СТ, а середню ширину (наблизено) – за картами максимального вітру. Статистичний розподіл даних про ширину і вертикальну протяжність СТ є асиметричним. Тому, крім середнього квадратичного відхилення, необхідно наводити відомості про повторюваність СТ за градаціями (< 300 км, $300-599$ км і т.д.), про повторюваність значень вертикальної протяжності – через 1 км, починаючи з < 1 км.

Середня інтенсивність СТ розраховується за даними про швидкість вітру на вісі СТ. Розподілу швидкості вітру на вісіах СТ притаманна значна асиметрія, тому середнє квадратичне відхилення дає досить наближену оцінку розсіяння і додатково треба проводити розрахунок повторюваності для різних градацій інтенсивності (< 30 м/с, $30-39$ м/с, $40-49$ м/с і т.д.).

У тих випадках, коли характеристики СТ підпорядковуються нормальному розподілу, то внутрішньосезонна змінюваність оцінюється середньоквадратичним відхиленням; в інших випадках находять повторюваність різних значень елемента.

Останніми роками велика увага приділяється вивченням вертикальних зсувів вітру у нижньому 60-метровому шарі, оскільки вони спричиняють значний вплив на зліт і посадку літальних апаратів. Незважаючи на існуючий інтерес до зсувів вітру, достатньо детальні кількісні результати з їх вивчення

одержані лише для кількох пунктів висотних спостережень на радіотелевізійних вежах і спеціальних метеорологічних мачтах. Враховуючи, що кількість таких пунктів незначна, інформація по ним може розглядатися лише у якості реперної.

При розрахунку вертикальних градієнтів швидкості вітру розрізняють:

- a) градієнт швидкості вітру (векторний градієнт), який ще називають вертикальним зсувом вітру;
- б) градієнт модуля швидкості вітру (скалярний градієнт).

Векторний вертикальний градієнт β_r відрізняється тим, що при його обчисленні беруть різницю векторів швидкості вітру. Середній вектор вертикального зсуву β_r характеризується модулем $|\beta_r| = \beta_r$ і напрямком α цього вектору. Модуль середнього вектору вертикального зсуву виражається формулою

$$\beta_r = \frac{1}{n} \left| \sum_1^n \beta_i \right|,$$

де $\left| \sum_1^n \beta_i \right|$ – модуль суми векторів окремих вертикальних зсувів.

Показником мінливості (дисперсності) вектору вертикального зсуву є векторне середнє квадратичне відхилення

$$\sigma_{\beta_r} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_1^n (\beta_i - \beta_r)^2} = \sqrt{\bar{\beta}^2 - \beta_r^2} .$$

Скалярним вертикальним градієнтом швидкості вітру β_s називається різниця модулів швидкості вітру на двох сусідніх рівнях, віднесена до одиничного шару атмосфери

$$\beta_s = \frac{1}{n} \sum_1^n |\beta_i| = \frac{1}{n} \sum_1^n \beta_i ,$$

де $\beta_i = |\beta_i|$ – модуль вертикального зсуву вітру у даний момент часу.

Скалярний градієнт, як правило, менше векторного. Різниця між ними збільшується зі збільшенням змінюваності напрямку вітру з висотою.

Показником мінливості (дисперсності) модулю вертикального зсуву вітру є скалярне середнє квадратичне відхилення

$$\sigma_{\beta_s} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\beta_i - \bar{\beta}_s)^2}{n}} = \sqrt{\bar{\beta}^2 - \beta_s^2}$$

При оцінці величини вітрового навантаження на літальні апарати більш показовим є векторний вертикальний градієнт. У процесі обробки для кожного випадку зондування векторні вертикальні градієнти швидкості вітру розраховуються як різниця векторів вітру на верхній і нижній межах деякого шару атмосфери, виражена у м/(с·км).

Розрахунок кліматичних показників вертикального векторного градієнта вітру виконується для кожного місяця або за сезонами за ряд років. При розрахунку повторюваності різних значень градієнта вітру за 100% приймається кількість значень градієнтів у даному шарі за весь період спостережень. Середній векторний градієнт у даному шарі розраховується як середнє значення векторів вертикальних градієнтів за весь період спостережень. Якщо для станції є у наявності багаторічні дані про результиуючий вітер на різних рівнях, то середній векторний вертикальний градієнт може бути одержаний простіше – як векторна різниця результиуючих вітрів на двох сусідніх рівнях.

Розрахунок середніх значень вертикальних градієнтів швидкості вітру проводиться у шарах товщиною 1 км; початком відліку є висота вісі СТ. Результат графічного оформлення результатів розрахунку середніх вертикальних градієнтів швидкості вітру наведений на рис. 13.

Розподіл вертикальних градієнтів швидкості вітру у центральних частинах СТ є асиметричним.



Рисунок 13 – Розподіл середніх вертикальних градієнтів швидкості вітру з висотою відносно вісі СТ над Києвом та Одесою (1) та Мінськом (2)

У зв'язку з цим, поряд з середнім квадратичним відхиленням необхідно проводити розрахунок повторюваності значень вертикальних градієнтів для кожного шару через 5 м/с на 1 км висоти (0 – 4,9 м/с, 5 – 9,9 м/с і т.д.).

Питання для самоперевірки:

1. На які групи поділяються авіаційно-кліматичні характеристики вітру? Які показники входять до кожної з них?
2. У чому полягає особливість розрахунку повторюваності штилів?
3. Що називається результиручим вітром? У чому його відмінність від середньої швидкості вітру?
4. Які показники характеризують мінливість вітру?
5. Як графічно представити середньоквадратичне відхилення вітру у рамках кругового нормального закону його розподілу?
6. Які кліматичні показники струминних течій ви знаєте? Які підходи застосовуються для їх розрахунку?

Лекція №8

Еквівалентний вітер і його авіаційно-кліматичні показники

1. Поняття еквівалентного вітру

Вплив вітру на політ літального апарату зводиться, в основному, до зміни швидкості руху (путьової швидкості) літального апарату відносно поверхні землі та до знення літального апарату відносно напрямку вектора повітряної швидкості. Бокове знення літального апарату компенсується внесенням до його курсу відповідних поправок. Тому найбільший інтерес полягає у врахуванні впливу вітру на величину путьової швидкості, від якої залежить час польоту і витрати палива.

З навігаційного трикутника швидкостей (рис. 14) видно, що путьова швидкість літального апарату залежить від повітряної швидкості і швидкості вітру і може бути розрахована за формулою

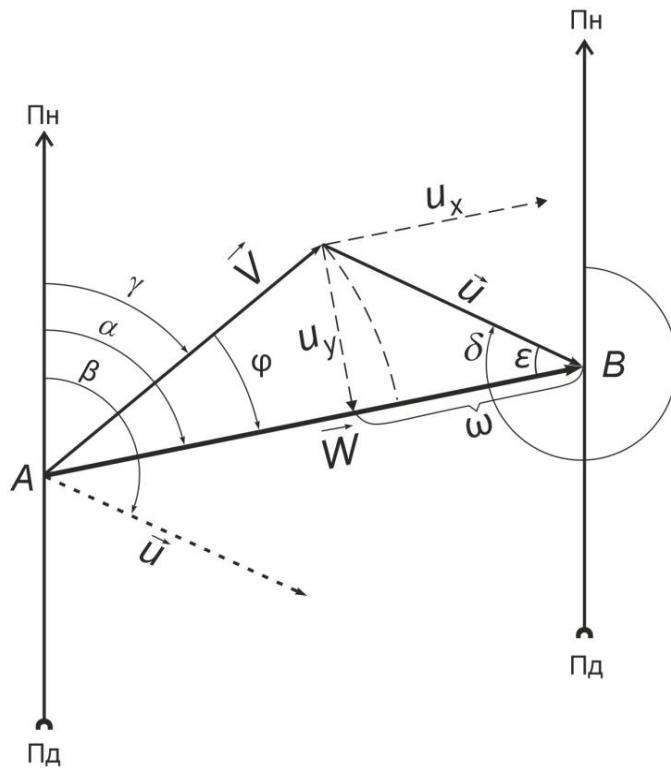


Рисунок 14 – Навігаційний трикутник швидкостей

$$W = V \cdot \cos \varphi + U \cdot \cos \varepsilon.$$

де \vec{W} (вектор AB) – путьова швидкість;
 \vec{V} – повітряна швидкість; \vec{U} – швидкість вітру;
 ω – еквівалентний вітер; φ – кут знесення; γ – курс;
 α – путьовий кут; β – навігаційний напрямок вітру;
 δ – метеорологічний напрямок вітру; ε – кут вітру;
 U_x, U_y – повздовжня і поперечна складові швидкості вітру.

Оскільки $V \cdot \cos \varphi = \sqrt{V^2 - U_y^2} = \sqrt{V^2 - U^2 \sin^2 \varepsilon}$, то

$$W = \sqrt{V^2 - U^2 \sin^2 \varepsilon} + U \cdot \cos \varepsilon, \quad (9)$$

де W, V, U – модулі путьової, повітряної швидкості та швидкості вітру відповідно.

Проте, путьова швидкість може бути визначена іншим способом

$$W = V + \omega. \quad (10)$$

Видно, що вплив вітру на путьову швидкість є еквівалентним впливу величини ω . Ця величина має називу еквівалентного вітру.

Таким чином, *еквівалентний вітер* – це деякий розрахунковий вітер, який завжди спрямований уздовж маршруту та чинить на величину путьової швидкості такий же вплив, як і фактичний вітер.

З (9) маємо

$$\omega = W - V. \quad (11)$$

Еквівалентний вітер є скалярною величиною, знак якої залежить від співвідношення модулів путьової і повітряної швидкостей.

Якщо $W > V$, то $\omega > 0$ – еквівалентний вітер попутній; якщо $W < V$, то $\omega < 0$ – еквівалентний вітер зустрічний.

З метою визначення залежності еквівалентного вітру від характеристик реального вітру і повітряної швидкості у деякій точці для певного моменту часу, врахуємо, що з (9) та (11) випливає

$$\omega = \sqrt{V^2 - U^2 \sin^2 \varepsilon} + U \cdot \cos \varepsilon - V.$$

Розкладаючи вираз під знаком кореня в ряд і обмежуючись у ньому першими двома членами, одержимо

$$\omega = U \cos \varepsilon - \frac{U^2}{2V} \sin^2 \varepsilon. \quad (12)$$

Вираз кута вітру через напрямок метеорологічного вітру матиме вид:

$$\varepsilon = \beta - \alpha \text{ або } \varepsilon = \delta - \alpha \pm 180^\circ. \quad (13)$$

Якщо $0^\circ \leq \delta \leq 179^\circ$, то у (13) береться знак «+», якщо $180^\circ \leq \delta \leq 359^\circ$, то у (13) береться знак «-».

З аналізу (12) випливає, що еквівалентний вітер мало залежить від зміни повітряної швидкості. Важливим є факт, що для протилежних напрямків польоту еквівалентні вітри не рівні між собою за абсолютною величиною і у більшості випадків мають різні знаки.

Для забезпечення повітряної навігації важливо знати значення еквівалентного вітру не в окремій точці, а в цілому по маршруту

$$\omega_m = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^n \omega_i S_i,$$

де S – загальна протяжність маршруту; S_i – протяжність i -ої ділянки маршруту.

У випадку, якщо $S_1 = S_2 = S_3 = \dots = S_n$, то

$$\omega_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \omega_i,$$

де n – кількість окремих ділянок маршруту.

Оскільки розрахунок за формулою (12) може зумовлювати певні ускладнення, для спрощення розрахунків можна скористатися номограмою. Перед цим перетворимо вираз (12) наступним чином:

$$\frac{\omega}{V} = \frac{U}{V} \cos \varepsilon - \frac{U^2}{2V^2} \sin^2 \varepsilon$$

і позначимо

$$\tilde{\omega} = \frac{\omega}{V}; \quad \tilde{U} = \frac{U}{V}. \quad (14)$$

Після цього одержимо

$$\tilde{\omega} = \tilde{U} \cos \varepsilon - \frac{\tilde{U}^2}{2V} \sin^2 \varepsilon. \quad (15)$$

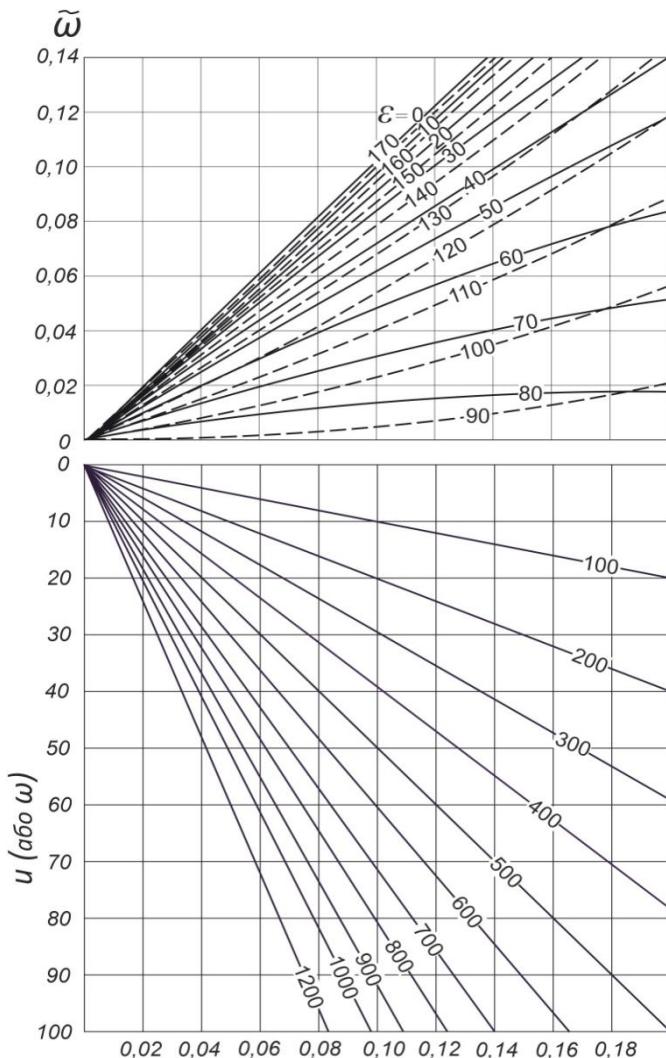


Рисунок 15 – Номограма С.В.Солоніна для визначення еквівалентного вітру

За формулами (14) та (15) С.В. Солоніним побудована номограма (рис. 15), в якій, для визначення величини еквівалентного вітру, необхідно:

- 1) увійти в нижню частину номограми зі значеннями швидкості вітру U та повітряної швидкості V ;
- 2) на горизонтальній вісі зняти значення \tilde{U} ;
- 3) зі значенням величини \tilde{U} і кутом ε входимо до верхньої частини номограми, де на вертикальній вісі знімаємо значення $\tilde{\omega}$.
- 4) знову входимо до нижньої частини номограми зі значеннями $\tilde{\omega}$ і V , де і визначаємо величину ω .

2. Розрахунок кліматичних показників еквівалентного вітру

Для виконання різноманітних інженерно-штурманських розрахунків, метою яких є завчасне планування польотів по повітряній трасі, необхідні відомості про кліматичні характеристики еквівалентного вітру (середні значення еквівалентного вітру та імовірності його градацій). З цією метою доцільно застосовувати непрямі методи розрахунку цих показників, а вибір методу їх розрахунку залежить від характеристик вихідних даних.

Відповідно до (12), середнє значення $\bar{\omega}$ у окремому пункті за деякий період часу дорівнює

$$\bar{\omega} = \overline{U \cos \varepsilon} - \frac{U^2}{2V} \sin^2 \varepsilon, \quad (16)$$

де риска означає осереднення у часі.

Виразимо у (16) U через U_x та U_y :

$$U_x = U \cdot \cos \varepsilon; \quad U_y = U \cdot \sin \varepsilon.$$

Тоді

$$\bar{\omega} = \overline{U_x} - \frac{\overline{U_y}^2}{2V}.$$

Оскільки середній квадрат дорівнює

$$\overline{U_y^2} = \overline{U_y}^2 + \sigma_y^2,$$

то

$$\bar{\omega} = \overline{U_x} - \frac{\overline{U_y}^2}{2V} - \frac{\sigma_y^2}{2V}.$$

Якщо вектор швидкості вітру підпорядковується круговому закону розподілу, тобто $\sigma_x = \sigma_y$, то

$$\sigma_r^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2 \approx 2\sigma_y^2,$$

де σ_r^2 – середньоквадратичне відхилення швидкості вітру.

Далі маємо

$$\bar{\omega} = \bar{U}_x - \frac{\bar{U}_y^2}{2V} - \frac{\sigma_r^2}{4V}.$$

Третій член останнього виразу малий. Оскільки $\bar{U}_x = U_r \cdot \cos \varepsilon$; $\bar{U}_y = U_r \cdot \sin \varepsilon$, де U_r – модуль результуючого вітру, маємо:

$$\begin{aligned}\bar{\omega} &= U_r \cos \varepsilon - \frac{U_r^2}{2V} \sin^2 \varepsilon - \frac{\sigma_r^2}{4V}; \\ \varepsilon &= \delta_r - \alpha \pm 180^\circ,\end{aligned}$$

де δ_r – напрямок результуючого вітру.

Знаючи $\bar{\omega}$ та σ_r у даному пункті можна визначити імовірність появи у ньому різних значень еквівалентного вітру за допомогою ймовірнісного паперу.

3. Розрахунок кліматичних показників еквівалентного вітру по маршруту

Вибір методу для розрахунку кліматичних показників еквівалентного вітру по маршруту прямо залежить від характеру вихідних даних про еквівалентний вітер у окремих пунктах цього маршруту. Найзручніше розраховувати необхідні характеристики, якщо є дані про середню швидкість

$\bar{\omega}$ та середньоквадратичне відхилення σ_ω еквівалентного вітру для окремих пунктів маршруту.

Багаторічна середня швидкість еквівалентного вітру по маршруту розраховується за формулою

$$\bar{\omega}_m = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^n \bar{\omega}_i S_i ,$$

де $\bar{\omega}_i$ – багаторічні середні значення еквівалентного вітру в i -ому пункті маршруту.

Якщо $S_1 = S_2 = S_3 = \dots = S_n$, то

$$\bar{\omega}_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{\omega}_i .$$

Змінюваність еквівалентного вітру у кожному з пунктів маршруту зазвичай більше змінюваності еквівалентного вітру в цілому для усього маршруту. Тому σ_{ω_m} не може бути одержано звичним осередненням $\sigma_{\omega i}$ у окремих пунктах маршруту. Між величинами σ_{ω_m} та $\sigma_{\omega i}$ існує наступний зв'язок

$$\sigma_{\omega_m} = K_\omega \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_{\omega i}^2} , \quad (17)$$

де K_ω – коефіцієнт пропорційності, який є функцією довжини маршруту. Він завжди менше або дорівнює одиниці і зменшується по мірі збільшення довжини маршруту.

Відповідно K_ω характеризує зменшення змінюваності еквівалентного вітру за маршрутом порівняно зі змінюваністю еквівалентного вітру у окремій точці маршруту. Значення K_ω в залежності від довжини маршруту наведені у табл. 13.

Таблиця 13 – Значення K_ω для різної довжини маршруту

Довжина маршруту, тис. км	0	1	2	3	4	5	6	7
Значення K_ω	1,00	0,86	0,73	0,64	0,57	0,51	0,47	0,44

Якщо за формулою (17) розрахувати середньоквадратичне відхилення еквівалентного вітру σ_{ω_m} і знати при цьому середнє значення еквівалентного вітру за маршрутом $\bar{\omega}_m$, то можна розрахувати імовірність різних значень еквівалентного вітру за маршрутом.

Питання для самоперевірки:

1. Що називається еквівалентним еквівалентний вітром? Як він спрямований?
2. Якими способами можна розрахувати еквівалентний вітер?
3. Які авіаційно-кліматичні показники еквівалентного вітру ви знаєте? Від чого залежить вибір методу їх розрахунку?
4. Як враховується вплив довжини маршруту на авіаційно-кліматичні показники змінюваності еквівалентного вітру?
5. Як розраховується середня швидкість еквівалентного вітру по маршруту?

Лекція 9

Авіаційно-кліматичні показники температурного режиму вільної атмосфери

1. Основні аерокліматичні показники температури повітря

Температура повітря здійснює суттєвий вплив на політ і льотно-технічні характеристики літака. Особливо суттєвим є її вплив на силу тяги турбореактивних двигунів і на витрату палива. Варто зазначити, що вплив температури на льотно-технічні дані літаків зростає разом з збільшенням швидкості польоту. Так, для надзвукових транспортних літаків цей вплив може бути настільки значним, що найбільш економічно доцільним, з погляду витрат палива, буде не найкоротший шлях і не той, де слабший зустрічний вітер, а шлях уздовж якого спостерігаються найнижчі температури. Тому правильне врахування особливостей температурного режиму у різних шарах атмосфери у різні сезони року має вагоме значення для забезпечення безпеки і економічності польотів.

Вихідним матеріалом при обчисленні кліматичних показників температури повітря на різних висотах є дані радіо- та літакозондування без диференціювання по строкам.

У процесі обробки результатів спостережень не рекомендується механічно об'єднувати дані різних типів зондування, оскільки це зумовлює порушення однорідності матеріалу. Об'єднання допускається лише за умови введення відповідних поправок. Однак, навіть використовуючи дані лише одного типу зондування не можна не враховувати, що кожному спостереженню притаманні випадкові і систематичні помилки.

Випадкові помилки, що виникають за рахунок допущених неточностей у розрахунках вихідних даних, мають різні знаки і суттєво не впливають на величину середніх багаторічних значень температури. У той же час вони можуть спотворити значення екстремальних температур. Тому вибірку екстремальних значень слід супроводжувати критичним переглядом, спів

ставляючи їх з спостереженнями сусідніх станцій і враховуючи загальну синоптичну ситуацію.

Найсуттєвішими причинами систематичних помилок радіозондів є інерція термоприймачів та їх перегрівання при опроміненні прямою сонячною радіацією. Радіаційні помилки залежать від висоти підйому радіозонду, географічної широти станції, а також від часу доби та сезону року. Вони стають вагомими, починаючи з рівнів, розташованих вище 10 км. На висотах 20-25 км для деяких типів радіозондів помилка може становити 6-8°C.

Основними аерокліматичними показниками температури повітря є:

- середньомісячна і річна температури;
- абсолютний максимум температури;
- абсолютний мінімум температури;
- повторюваність різних градацій температури;
- середньоквадратичне відхилення;
- коефіцієнти асиметрії та ексцесу;
- середня міждобова змінюваність (визначається як середня різниця між середніми добовими температурами сусідніх діб).

Крім цих показників є низка кліматичних показників, які не прив'язані до фіксованих рівнів у атмосфері. До них відносяться:

- середня висота ізотерм 0°, -10°, -20°, -30°, -40°C;
- середні вертикальні градієнти температури;
- середня висота і температура нижньої межі тропопаузи;
- повторюваність висоти нижньої межі тропопаузи;
- повторюваність висоти нижньої межі інверсій та ізотермій.

Ці показники зазвичай розраховують за кожний місяць і в цілому за рік для зазначених вище стандартних висот.

Ці показники зазвичай розраховуються за кожний місяць і в цілому за рік для стандартних рівнів (0,2; 0,5; 1,0; 1,5 та 2,0 км над рівнем моря і далі через 1 км) або стандартних ізобаричних поверхонь.

У тих випадках, коли кількість спостережень різко зменшується з висотою, при обробці матеріалу корисно використовувати метод різниць, для

одержання порівнюваних між собою кліматичних показників на різних рівнях.

Крім розглянутих вище кліматичних показників, необхідно також мати показники, що характеризують змінюваність температури, а саме коливання фактичних температур біля середньої багаторічної та стандартної.

Уявлення про коливання температури біля середньої багаторічної надає повторюваність різних градацій температури. Проте цей показник є незручним, якщо доводиться порівнювати між собою змінюваність температури на різних висотах або у різних пунктах. З цієї позиції зручнішим показником є середнє квадратичне відхилення температури. Особливо зручно використовувати цей показник, коли величина, що розглядається, підпорядковується нормальному закону розподілу.

Крім середньоквадратичного відхилення температури, для штурманських розрахунків важливо знати величину відхилень фактичних температур від стандартної температури. Стандартна температура є одним з параметрів стандартної атмосфери. Її чисельні значення залежать лише від висоти і визначаються за «Таблицею стандартної атмосфери».

Дані про висоту і температуру тропопаузи дуже важливі для оцінки метеорологічних умов польотів на великих висотах, через те, що з тропопаузою пов'язана низка явищ, які ускладнюють виконання польоту – струминні течії, зони інтенсивної турбулентності, погіршення польотної видимості та різкі зміни температури. Тому режимним характеристикам тропопаузи традиційно приділяється значна увага.

2. Температурно-компенсований еквівалентний вітер

Поняття температурно-компенсованого еквівалентного віtru застосовується для врахування спільного впливу температури повітря і віtru на путьову швидкість і дальність польоту літальних апаратів.

Температурно-компенсований еквівалентний вітер ω_θ (ТКЕВ) – це розрахунковий вітер, який завжди спрямований уздовж маршруту при стандартній температурі повітря і чинить на питому дальність польоту такий самий вплив, як фактична температура й реальний вітер.

Виведемо формулу для розрахунку кліматичних характеристик ТКЕВ. Залежність питомої дальності польоту від температури повітря виражається

$$R_{\omega,\theta} = R_{\omega,t_{cm}} e^{-a\theta}, \quad (18)$$

де $R_{\omega,\theta}$ – питома дальність польоту при еквівалентному вітрі і відхиленні температури від стандартної $\theta = t - t_{cm}$;

$R_{\omega,t_{cm}}$ – питома дальність польоту при тому ж еквівалентному вітрі і стандартній температурі на висоті польоту;

a – коефіцієнт, що залежить від технічних даних двигуна.

Питома дальність польоту при еквівалентному вітрі ω і стандартній температурі повітря t_{cm} дорівнюватиме

$$R_{\omega,t_{cm}} = \frac{(V + \omega)}{C_h}, \quad (19)$$

а за умов штилю і стандартної температури

$$R_{cm} = \frac{V}{C_h}; \Rightarrow \frac{1}{C_h} = \frac{R_{cm}}{V}, \quad (20)$$

де V – повітряна швидкість літального апарату;

C_h – погодинна витрата палива.

З (19) та (20) маємо

$$R_{\omega,t_{cm}} = \frac{R_{cm}(V + \omega)}{V} = R_{cm} \left(1 + \frac{\omega}{V} \right). \quad (21)$$

Якщо у (16) еквівалентний вітер замінити величиною ω_θ і розуміти її як деякий вітер, що чинить на дальність польоту такий самий вплив, як і фактична температура і вітер, то (16) перетвориться

$$R_{\omega,\theta} = R_{cm} \left(1 + \frac{\omega_\theta}{V} \right). \quad (22)$$

Тоді на підставі (18), (21), (22)

$$\frac{\omega_\theta}{V} = e^{-a\theta} \left(1 + \frac{\omega}{V} \right) - 1.$$

Оскільки величина a мала і $\omega \ll V$, то

$$\omega_\theta = \omega - Va\theta.$$

Тоді середнє значення ТКЕВ в будь-якому пункті маршруту буде дорівнювати

$$\bar{\omega}_\theta = \bar{\omega} - Va\bar{\theta}. \quad (23)$$

Враховуючи, що:

$$\begin{aligned} \bar{\omega} &= U_r \cos \varepsilon - \frac{U_r^2}{2V} \sin^2 \varepsilon - \frac{\sigma_r^2}{4V}; \\ \theta &= \overline{(t - t_{cm})} = \bar{t} - \bar{t}_{cm}, \end{aligned}$$

де \bar{t} і t_{cm} – середня і стандартна температури у пункті маршруту, і підставляючи у (18), остаточно одержимо

$$\bar{\omega}_\theta = U_r \cos \varepsilon - \frac{U_r^2}{2V} \sin^2 \varepsilon - \frac{\sigma_r^2}{4V} - Va(\bar{t} - t_{cm}).$$

Якщо відомі середні значення ТКЕВ у окремих пунктах маршруту, то

$$\bar{\omega}_{\theta_m} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{\omega}_{\theta_i}.$$

Середньоквадратичне відхилення ТКЕВ по маршруту

$$\sigma_{\omega_m} = K_\omega \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_{\omega i}^2} + a^2 V^2 K_t \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \sigma_{t_i}^2},$$

де σ_ω та σ_t – середньоквадратичні відхилення у окремих пунктах еквівалентного вітру і температури;

K_ω та K_t – коефіцієнти залежності змінюваності еквівалентного вітру і температури від довжини маршруту.

Значення коефіцієнту K_t наведені у табл. 6.

Таблиця 6 – Значення K_t при різній довжині маршруту

Довжина маршруту, тис. км	0	1	2	3	4	5	6	7
Значення K_t	1,00	0,87	0,78	0,72	0,65	0,58	0,52	0,47

Розрахунки свідчать, що, наприклад, при значенні $a = 0,007$ різниця між середніми значеннями еквівалентного вітру і температурно-компенсованого еквівалентного вітру для досліджуваних маршрутів досить значні. Проте існують і певні застереження з розрахунком і використанням значень ТКЕВ, які пов'язані з такими чинниками, як висота польоту, потужність двигуна, закономірності розподілу температури та характер залежності коефіцієнта K_t від довжини маршруту на різних висотах.

Питання для самоперевірки:

1. Які основні аерокліматичні показники температури повітря ви знаєте?
2. Які авіаційно-кліматичні показники розраховуються для фікованих рівнів вільної атмосфери?
3. Які авіаційно-кліматичні показники не відносяться до фікованих рівнів вільної атмосфери?
4. Яка диференціація по строкам застосовується до авіаційно-кліматичних показників температурного режиму вільної атмосфери? Чому?
5. Що називається температурно-компенсованим еквівалентним вітром?
6. За допомогою чого враховується вплив довжини маршруту на змінюваність температурно-компенсованого еквівалентного вітру?

Лекція 10

Авіаційно-кліматичні показники хмарності, обледеніння та бовтанки

1. Авіаційно-кліматичні показники режиму хмарності

Хмарність є важливим чинником льотно-метеорологічної обстановки через її безпосередній вплив на умови пілотування. Це виражається у відсутності видимості наземних орієнтирів, наявності у ній таких явищ як гроза, обледеніння, електризація та інтенсивна бовтанка, що суттєво знижує комфортність і ступінь безпеки польоту.

Вихідними даними для отримання характеристик хмарності є:

- візуальні спостереження за кількістю хмар;
- інструментальні виміри нижньої межі хмарності (HMX);
- дані літакозондування хмарності;
- дані супутникових спостережень за станом хмарності.

При вивченні режиму хмарності прагнуть отримати такі авіаційно-кліматичні показники, котрі давали б статистичну характеристику як кількості хмар, так і параметрам їх просторової структури: висоти нижньої і верхньої межі хмарності, вертикальної і горизонтальної протяжності хмарних систем тощо.

Кількість хмар. Про кількість хмар роблять висновки за ступенем покриття небосхилу хмарами. Оцінка кількості хмар здійснюється спостерігачем візуально за 10-балльною шкалою.

Основними кліматичними показниками кількості хмар є:

- повторюваність (ймовірність) різних позначок хмарності;
- середня кількість ясних і похмурих днів.

Повторюваність кількості хмарності визначають не для кожного балу хмарності, а за градаціями: 0-2 бали (ясно), 3-7 балів (напівясно), 8-10 балів (похмуро). Цей показник обчислюють помісячно незалежно від строків спостережень або (з метою виявлення добового ходу хмарності) за окремими термінами.

Помісячно розраховується також середня кількість ясних та похмурих днів. Ясним днем прийнято називати такий день, коли середня кількість хмар за всіма строками спостережень протягом доби не досягає 2 балів, похмурим – коли вона перевищує 8 балів.

Повторюваність хмарності, а також середню кількість ясних і похмурих днів обчислюють як за загальною, так і за нижньою хмарністю. У першому випадку враховуються усі хмари, незалежно від їхньої форми. У другому випадку – лише хмари нижнього ярусу. Дані по загальній і нижній хмарності можуть суттєво різнятися між собою.

Висота верхньої і нижньої межі хмарності. За результатами вимірювань висоти хмар обчислюються такі кліматичні показники:

- середня висота нижньої або верхньої межі хмар;
- повторюваність різних градацій висоти нижньої або верхньої межі хмар.

Починаючи обробку спостережень, слід мати на увазі, що висота хмар повинна розраховуватися не над рівнем моря, а над поверхнею землі.

Використовуючи для практичних застосувань дані про повторюваність різних градацій висоти хмар, слід розрізняти відносну й абсолютну повторюваність. Відносна повторюваність – це виражене у відсотках відношення кількості випадків з хмарами даної висоти до загальної кількості вимірюваних висот хмар за той же період. Абсолютна повторюваність – це виражене у відсотках відношення кількості випадків з хмарами даної висоти до загальної кількості всіх спостережень за той же період, включаючи випадки як наявності, так і відсутності хмарності.

Відносна повторюваність є незручною для практичного використання. Якщо, наприклад, на двох станціях відносна повторюваність низької хмарності однаакова, то це ще не значить, що з однаковою імовірністю можна очікувати низьку хмарність на цих станціях. Абсолютна повторюваність позбавлена цього недоліку і дозволяє говорити про імовірність появи у цей період року хмар відповідної висоти. Проте вона може бути обчислена на основі регулярних щоденних вимірювань. Оскільки через різні причини регулярність вимірювань хмарності часто порушується, то доводиться обмежуватися розрахунком відносної повторюваності, а абсолютну повторюваність розраховувати непрямим шляхом.

Вертикальна структура хмарних систем. Вивчення характеру вертикально структури хмарних систем проводиться з використанням матеріалу літакозондування хмарності.

Розрізняють такі елементи вертикальної структури хмарних систем:

- вертикальна протяжність хмарної системи – відстань по вертикалі між нижньою межею нижнього хмарного шару і верхньої межі найвищого хмарного шару;
- товщина хмарного шару – відстань між його нижньою і верхньою межею;
- товщина безхмарного прошарку – відстань між верхньою межею шару, розташованого нижче і нижньою межею вищеозначуваного шару;
- розшарованість хмарної системи – кількість хмарних шарів у даній хмарній системі;
- загальна товщина хмар – сума товщин хмарних шарів, що входять до цієї хмарної системи;
- повторюваність хмарності на різних висотах.

Як авіаційно-кліматичні показники вертикальної структури хмарних систем використовується, як правило, повторюваність різних значень кожного з елементів вертикальної структури (наприклад, повторюваність різної протяжності хмарних систем, повторюваність різних товщин хмарних шарів тощо). Повторюваність бажано розраховувати для кожного місяця або сезону, а за наявності достатнього матеріалу – і за частинами доби.

Як кліматичні показники горизонтальної структури полів суцільної хмарності пропонується застосовувати забезпеченість суцільної хмарності різної протяжності у заданому напрямку. Цей показник розраховується для заданих повітряних трас за даними, котрі знімаються з синоптичних карт за декілька років. На кожній з синоптичних карт визначається протяжність тієї ділянки траси, на якій спостерігається суцільна хмарність. Потім обирається імовірність (забезпеченість) того, що суцільною хмарністю буде вкрита ділянка траси, протяжність якої перевищує (або не перевищує) задану величину.

Такий показник може використовуватися і для вивчення протяжності суцільної хмарності у деякому районі. У цьому випадку у межах району визначають декілька умовних трас, що розходяться від центру району

радіально у різних напрямках. Для кожної з умовних трас розраховують забезпеченість суцільної хмарності різної протяжності і роблять висновки щодо закономірностей поширення суцільної хмарності у просторі обраного району.

2. Розрахунок імовірності обледеніння та бовтанки літальних апаратів

Для безаварійної експлуатації літальних апаратів та регулярності виконання польотів є важливим врахування кліматичних показників обледеніння та бовтанки.

Прямі розрахунки обледеніння і бовтанки ускладнюються низкою обставин.

По-перше, достатньо регулярна реєстрація цих явищ можлива лише у пунктах літакозондування атмосфери, кількість яких порівняно невелика. При цьому, висота зондування обмежується стелею літака-зондувальника, а регулярність реєстрації і тут нерідко порушується у дні з особливо складними метеорологічними умовами. Іншими словами, зондування не проводиться у дні, коли бовтанка чи обледеніння найімовірніші.

По-друге, обледеніння і бовтанка залежать не лише від метеорологічних умов, а й від аеродинамічних властивостей літального апарату і режиму його польоту. Тому навіть регулярне зондування за допомогою літака якогось одного типу дозволяє одержати кліматичні характеристики обледеніння і бовтанки тільки для цього типу літака. Щоправда, отримані у цьому випадку дані можуть використовуватися для характеристики умов обледеніння і бовтанки аналогічних літальних апаратів і режимів польоту.

Усе зазначене робить найбільш доцільним, а в деяких випадках і єдино можливим, отримання кліматичних характеристик умов обледеніння і бовтанки непрямим шляхом. Непрямі розрахунки зазначених характеристик полягає у тому, що замість імовірності дійсних випадків обледеніння і бовтанки розраховується імовірність деякого комплексу метеорологічних величин, при якому вони найчастіше виникають. Надзвичайно важливо, щоб у обраний комплекс входили такі метеорологічні величини, за якими ведуться регулярні спостереження.

У переважній більшості випадків обледеніння відбувається при суцільній хмарності і від'ємній температурі повітря. Тому для висновків про імовірність умов можливого обледеніння пропонується розраховувати комплексний показник, до якого входить повторюваність поєднань похмурого неба (8-10 балів) з різними градаціями від'ємної температури. Цей показник можна розраховувати для різних шарів тропосфери і різних місяців (сезонів), використовуючи матеріал спостережень за ряд років.

Варто зазначити, що цей комплекс є необхідною, але недостатньою умовою обледеніння. За різними причинами, до яких відносяться аеродинамічні властивості літаків, характер маневру, швидкість літака, тривалість польоту у хмара тощо, обледеніння не завжди відзначається при вказаному метеорологічному комплексі. Таким чином, імовірність обледеніння того чи іншого типу літака при даному комплексі неоднакова і помітно відрізняється від одиниці.

Бовтанка літаків зумовлюється невпорядкованими хаотичними рухами повітря. Рівень турбулентної енергії у вільній атмосфері головним чином залежить від вертикального розподілу температури повітря і вітру і, зазвичай, оцінюється числом Річардсона Ri

$$Ri = \frac{g}{T} \frac{\gamma_a - \gamma}{\beta^2}$$

g – прискорення сили тяжіння;

T – середня температура шару атмосфери, що розглядається, K .

γ_a і γ – сухоадіабатичний і фактичний вертикальні градієнти температури повітря;

β – модуль векторного вертикального градієнту швидкості вітру у тому ж шарі атмосфери.

Зі збільшенням вертикальних градієнтів температури і вітру, що відповідає зменшенню числа Ri , рівень турбулентної енергії збільшується і створюються сприятливі умови для виникнення бовтанки.

При оцінці умов бовтанки у хмарних шарах застосовують формулу

$$(Ri)_{ea} = \frac{g}{T} \frac{\gamma_{ea} - \gamma}{\beta^2}$$

де γ_{ea} – вологоадіабатичний градієнт температури повітря.

Ознакою наявності бовтанки будуть значення $Ri < 1$ та $(Ri)_{ea} < 1$, якщо розрахунки виконуються для шарів товщиною 1 км, якщо ж розрахунок виконується для шарів 1,5-2 км, за критичне значення числа Ri варто брати 2.

За матеріалами аерологічних спостережень за ряд років у деякому пункті для кожного кілометрового шару розраховують суму випадків, коли $Ri < 1$ та $(Ri)_{ea} < 1$, і ділять його на загальну кількість випадків. Це відношення буде характеризувати імовірність підвищеної турбулентності атмосфери у даному шарі, і, відповідно, опосередковано вказувати на імовірність бовтанки.

Питання для самоперевірки

1. Які авіаційно-кліматичні показники розраховуються для фіксованих рівнів атмосфери?
2. Які авіаційно-кліматичні показники не залежать від фіксованих рівнів атмосфери?
3. Перелічіть авіаційно-кліматичні показники хмарності. Які підходи використовуються для їх розрахунку по повітряній трасі (маршруту)?
4. Який спосіб розрахунку авіаційно-кліматичних показників бовтанки і обледеніння є переважним? Чому?

ТЕМА 4 АВІАЦІЙНО-КЛІМАТИЧНІ ОПИСИ АЕРОДРОМІВ ТА ПОВІТРЯНИХ ТРАС

Лекція 11

Зміст авіаційно-кліматичних описів (довідок) аеродромів і повітряних трас, вимоги до їх складання

1. Призначення авіаційно-кліматичних описів аеродромів

Авіаційно-кліматичний опис містить систематизовані дані про якісні та кількісні характеристики клімату деякого району і призначається для вивчення й оцінки впливу кліматичних особливостей конкретного географічного району на діяльність авіації.

Авіаційно-кліматичні описи можуть використовуватися :

- 1) керівним складом авіаційних підрозділів повітряного транспорту при організації і плануванні польотів на нових або діючих трасах;
- 2) технічним складом для планування заходів, що забезпечують експлуатаційну готовність аеродромів і авіаційної техніки;
- 3) льотним складом для ознайомлення з особливостями льотно-метеорологічних умов на повітряній трасі у різні сезони року;
- 4) метеорологами для врахування місцевого впливу на атмосферні процеси при складанні авіаційних прогнозів погоди;
- 5) фахівцями, які займаються проектуванням і будівництвом аеродромів, проектуванням авіаційної техніки тощо.

Залежно від об'єкту дослідження і розмірів досліджуваної території авіаційно-кліматичні описи поділяються на описи аеродромів та повітряних трас. При описі аеродромів розглядаються райони радіусом у десятки кілометрів, основна увага приділяється клімату приземного шару атмосфери. При описі повітряних трас мова йде про території протяжністю у сотні і тисячі кілометрів, а основна увага приділяється клімату вільної атмосфери.

Складаючи авіаційно-кліматичний опис аеродрому, потрібно використовувати дані, опубліковані в кліматичних довідниках, та результати спостережень за погодою на аеродромі, що проводилися протягом періоду часу не менше 5 років. Якщо спостереження на аеродромі проводилися менше 5 років, то складаються тимчасові описи (довідки), які щорічно уточнюються.

Кліматологічні дані, що стосуються нових аеродромів або додаткових ЗПС на наявних аеродромах, слід збирати якомога раніше до введення їх в експлуатацію.

Дані, що використовуються, мають відповідати вимогам до точності метеорологічних вимірювань і бути перевіреними на достовірність методами первинного критичного контролю.

Відомості з авіаційно-кліматичного опису необхідно включати до інструкції з виконання польотів на аеродромі.

Авіаційна кліматологічна інформація, на якій базується авіаційно-кліматичний опис аеродрому, подається у вигляді аеродромних кліматологічних зведенъ та аеродромних кліматологічних таблиць. Зміст аеродромних кліматологічних таблиць і кліматологічних зведенъ має відповідати рекомендаціям ВМО.

Для якомога повного врахування специфічних метеорологічних умов аеродрому дозволяється включати додаткові кліматологічні таблиці за результатами спостережень за метеорологічними величинами.

Авіаційно-кліматичні довідки складаються в метеорологічних підрозділах видів Збройних Сил України під час планування льотно-тактических навчань, льотно-методичних зборів та в інших випадках за вказівкою командування.

Авіаційно-кліматичні довідки складаються на основі авіаційно-кліматичних описів. Обсяг і зміст довідок залежать від їх призначення. Авіаційно-кліматичні довідки повинні бути короткими та наочними.

Авіаційно-кліматична довідка, як правило, містить в собі текстову та графічну частину. Текстова частина довідки являється короткою поясннюальною запискою до графічної частини. В окремих випадках довідка може складатися тільки з графічної частини. Авіаційно-кліматична довідка розробляється по району, маршруту та пункту.

2. Вимоги до складання авіаційно-кліматичних описів

Авіаційно-кліматичний опис аеродрому має складатися і оновлюватися для кожного (основного і запасного) аеродрому не рідше одного разу на 5 років. При перенесенні пункту спостережень слід складати новий авіаційно-кліматичний опис.

Авіаційно-кліматичний опис має уточнюватися, якщо у найближчому оточенні аеродрому (пункту спостережень) відбулися зміни, які можуть позначитися на однорідності ряду спостережень, а також при використанні іншого типу вимірювального приладу.

За відсутності змін розташування пункту спостережень (АМСЦ) кліматичний опис уточнюють шляхом перерахунку даних, розміщених в аеродромних кліматичних таблицях і кліматологічних зведеннях, за більш тривалий період, доповнюючи дані спостережень за роки після початкового складання авіаційно-кліматичного опису.

На аеродромах, обладнаних сучасними автоматичними метеорологічними вимірювальними системами повинно бути передбачено створення архіву у електронній формі з чітко організованою структурою записів і перекодуванням явищ погоди за кодом КН-01.

Архів повинен постійно поповнюватись і зберігатись на аеродромі у формі зручній для перевірки правильності його складання, для перевірки розрахунків, проведених за цим архівом, а також для отримання додаткових вибірок за запитами споживачів і перерахунку інформації за новими критеріями ICAO та WMO.

Перший авіаційно-кліматичний опис аеродрому, оснований на цьому матеріалі, має бути розроблений не менше ніж за 5-річний період. У подальшому архів слід збільшувати шляхом негайногого додавання нових даних.

Архів має складатися за всіма спостереженнями незалежно від їх регулярності і постійно поповнюватися. На станціях, де проводяться спостереження лише у світлий час доби, архіви створюються за наявними строками.

Авіаційно-кліматична інформація має містити найпоширеніші характеристики метеорологічних величин і явищ:

- середні значення за конкретні періоди (термін, доба, декада, місяць, рік, багаторічний період);
- екстремальні значення метеорологічної величини;
- повторюваності значень метеорологічних величин чи явищ.

3. Зміст авіаційно-кліматичного опису аеродрому

Авіаційно-кліматичний опис аеродрому має складатися з таких елементів:

Титульний аркуш

Вступ

1. Фізико-географічний опис району аеродрому

2. Загальна інформація про клімат району аеродрому

3. Характеристика даних та методика обробки інформації

4. Умови погоди різного ступеня складності

5. Видимість

6. Висота хмарності

7. Вітер

8. Температура повітря та атмосферний тиск

9. Атмосферні явища

10. Синоптичні процеси, що зумовлюють складні умови погоди на аеродромі

Висновки

Бібліографія

На титульному аркуші наводять назву документа із зазначенням повної назви аеродрому, назву метеорологічного підрозділу, який розробив опис, та рік видання.

У вступі зазначають відомості про порядок використання авіаційно-кліматичного опису аеродрому, джерела вихідної метеорологічної інформації, період спостережень, методику обробки даних. Крім того, у

Вступі зазначають виконавців-роздробників кожного розділу опису, рецензенти і редактори.

У розділ «Фізико-географічний опис району аеродрому» слід помістити відомості про пункт спостереження та стислий фізико-географічний опис району аеродрому та його околиць у радіусі від 30 км до 50 км.

Інформація про пункт спостережень має містити:

- називу аеродрому, його географічні координати (широту та довготу);
- абсолютну відмітку аеродрому (метеорологічного майданчика над рівнем моря, нуль барометра);
- різницю між поясним (місцевим) та всесвітнім скоординованим середнім (грінвічським) часом (ВСЧ), між середнім сонячним та поясним часом;
- значення магнітного схилення;
- положення, тип та стан злітно-посадкової(их) смуги (смуг), а також магнітні курси посадки, наявність світлосигнальної системи, категорію аеродрому.

До стислого фізико-географічного опису району аеродрому необхідно помістити:

- стислі геоморфологічні характеристики (країна, область, ландшафт, рельєф, водний басейн тощо);
- рельєф та орографію району аеродрому, гідрологічні характеристики (ріки, канали, озера, болота тощо);
- опис макрорельєфу (рівнина, передгір'я, гори, низовина, пагорби та інші переважаючі у цій зоні форми рельєфу);
- відомості про водні об'єкти (відстань до кожного, характеристика, назва, розмір);
- характер рослинності (лісова, степова, лісостеп, болото, тундра, пустеля);
- населені пункти, промислові підприємства (зазначити відстань від аеродрому), їх вплив на клімат району аеродрому.

В радіусі до 5 км від пункту спостережень рельєф місцевості описується більш детально – водні об'єкти, наявність підтоплюваної території, особливості рослинності та підстильної поверхні).

Розділ «Загальна інформація про клімат району аеродрому» містить кліматичні норми метеорологічних величин. Відомості про середні багаторічні величини вибирають із кліматичних довідників (в Україні останній кліматичний довідник було видано в 2006 році під назвою «Кліматичний кадастр України»). Якщо у кліматичному довіднику відсутня інформація для конкретного аеродрому, то в надзвичайних випадках використовують кліматичні норми найближчої метеорологічної станції. Як правило, використання кліматичних норм сусідніх метеорологічних станцій можливе тільки за умов рівнинної місцевості.

Для опису клімату аеродрому рекомендується використовувати такі метеорологічні величини та їх характеристики:

- середні місячні та річні, максимальні та мінімальні значення температури повітря;
- середні дати першого та останнього заморозків, тривалість безморозного періоду, кількість днів з відлигами в зимовий період;
- середні місячні та річні значення абсолютної та відносної вологості повітря;
- середня кількість загальної та нижньої хмарності, кількість ясних та похмурих днів;
- середня річна кількість опадів, розподіл їх по місяцях, кількість днів з опадами;
- переважаючий напрямок вітру;
- середні дати появи та сходу снігового покриву, середня декадна висота снігового покриву;
- кількість днів з туманами, грозами, хуртовиною, ожеледдю, градом, шквалом, пиловими бурями по місяцях та за рік.

Дані про кліматичні норми бажано оформляти у вигляді таблиць; аналіз кліматичних умов, що впливають на роботу аеродрому, слід подавати у вигляді пояснень до таблиць.

У розділ «Характеристика даних та методика обробки інформації» необхідно включити відомості про період та кількість спостережень, їх особливості та регулярність. Методична частина має пояснювати особливості обробки даних спостережень: як розраховувалися середні, екстремальні значення метеорологічних величин, їх повторюваність, як визначалися

тривалість явищ на станціях, де в нічний час спостереження не ведуться, тощо.

Кожний із розділів 4-8 авіаційно-кліматичного опису обов'язково містить:

- аеродромні кліматологічні зведення (табличні форми) для кожного місяця та за рік (13 шт.);
- аеродромні кліматологічні таблиці;
- графічне представлення даних аеродромних кліматологічних зведень;
- текстову частину з аналізом наведених у зведеннях та таблицях даних, їх впливу на роботу аеродрому.

За бажанням до кожного з розділів 4-8 можна включати додаткові кліматологічні таблиці, що виявляють зв'язок між певними метеорологічними величинами, наприклад залежність висоти хмарності та видимості від напрямку та швидкості вітру або від температури повітря та дефіциту точки роси.

Розділ 9 не містить кліматологічного зведення.

Якщо на аеродромі (АМСЦ) проведені додаткові синоптико-кліматологічні дослідження утворення низької хмарності, погіршення видимості, появи небезпечних явищ погоди, впливу місцевих фізико-географічних умов, то стислі результати таких досліджень необхідно відобразити у розділі «Синоптичні процеси, що зумовлюють складні умови погоди на аеродромі».

Аналіз умов польоту залежно від характеристик вітру на висотах, умов турбулентності, обледеніння, граду рекомендується включати у розділ за умови наявності відповідних даних.

Розділ «Висновки» є заключною частиною авіаційно-кліматичного опису аеродрому. Стисло викладаються кліматичні особливості аеродрому на основі аналізу всіх матеріалів. Надаються рекомендації про умови використання аеродрому, найбільш сприятливі або несприятливі періоди його експлуатації.

У розділі «Бібліографія» наводяться використані при складанні авіаційно-кліматичного опису аеродрому праці.

4. Авіаційно-кліматичні описи повітряних трас

На відміну від авіаційно-кліматичних описів аеродромів, опис повітряних трас передбачає вивчення не лише часових, а й просторових закономірностей клімату у межах деякої території. Це є специфікою таких описів. Авіаційно-кліматичні описи повітряних трас можуть охоплювати як невелику територію (авіатраси місцевого значення), так і територію масштабу континентів (трансконтинентальні і між континентальні траси). Розмірами досліджуваної території визначається обсяг і деякою мірою методика складання описів.

Зміст авіаційно-кліматичних описів повітряних трас доцільно доповнювати розділом «Обледеніння і бовтанка», розділи «Вітер» і «Температура повітря і атмосферний тиск» пунктами «Режим вітру на висотах» та «Режим температури на висотах» або доповнювати цими пунктами кліматологічну інформацію про режим цих характеристик біля поверхні землі. Крім цього, авіаційно-кліматичний опис повітряної траси доповнюється розділом «Місцеві умови у окремих аеропортах», а розділ «Загальні відомості про клімат» пунктом «Кліматичне районування».

При складанні опису авіатраси основна увага приділяється рельєфу підстильної поверхні у зоні траси шириною близько 100-200 км.

У деяких випадках не слід обмежуватися фізико-географічним оглядом тільки досліджуваного району. Необхідне відображення в огляді мають знайти гірські височини, водні басейни та інші об'єкти, що знаходяться за межами досліджуваної території, якщо вони чинять помітний вплив на формування клімату в районі траси.

Як ілюстрація до фізико-географічного огляду наводиться фізична карта району траси, а також профіль траси.

Розділ «Загальні відомості про клімат» корисно ілюструвати типовими схемами синоптичних процесів, картами районів утворення і шляхів переміщення циклонічних та антициклонічних утворень, положень кліматичних фронтів. Необхідно також помістити типові графіки річного ходу й карти просторового розподілу середньорічних значень метеорологічних величин.

У ході аналізу кожного кліматичного елементу можна виділяти деякі особливості (якщо вони є), притаманні окремим, дрібним районам території.

Якщо траса має велику протяжність і пролягає різними кліматичними районами, то опис доцільно проводити по окремим ділянкам траси. Необхідно, окрім тих показників, що використовуються при описі клімату окремого аеропорту, навести також відомості про:

- струминні течії;
- місячні або сезонні характеристики еквівалентного вітру на різних ізобаричних поверхнях;
- середні місячні або середні сезонні карти модулю і напрямку результуючого вітру;
- середнє квадратичне відхилення вітру;
- середню температуру;
- відхилення середньої температури від стандартної на різних ізобаричних поверхнях.

При складанні авіаційно-кліматичних описів траси важливо знати просторовий розподіл метеорологічних явищ. З цією метою дані, що містяться у кліматичних довідниках про повторюваність явищ по окремим станціям, часто виявляються недостатніми, оскільки вони не відповідають на питання щодо імовірності зустрічі літака, що летить даною трасою, з тим чи іншим метеорологічним явищем. Оскільки це метеорологічне явище, наприклад, гроза, яка спостерігається у окремих пунктах траси, не співпадає у часі, то легко зрозуміти, що середня кількість днів з грозою на кожній із станцій, розташованих уздовж траси, буде меншою кількості днів з грозою в цілому на трасі. Ця відмінність буде зростати зі збільшенням довжини траси.

Така характеристика просторового розподілу метеорологічних явищ стає наразі дедалі актуальнішою, оскільки безперервно зростає дальність і швидкість сучасних літаків. Через ці ж причини в опис корисно помістити дані про горизонтальну протяжність хмарних систем.

Аналізуючи наявні матеріали необхідно, насамперед, звернути увагу на закономірності просторового розподілу метеорологічних величин і на можливі зміни цих закономірностей у часі. Тому, крім карт, що дають уяву про горизонтальний розподіл величин, до опису слід включати вертикальні розрізи атмосфери.

У розділі «Місцеві умови в окремих аеродромах» необхідно зупинитися на тих особливостях клімату окремих аеродромів, врахування яких особливо важливе для забезпечення авіації. Часто під впливом близькості водних об'єктів, гірських систем та інших причин на деяких аеродромах спостерігається незвичний для інших ділянок траси добовий хід елементів погоди, аномально висока чи низька повторюваність деяких метеорологічних явищ. Важливо знайти причини таких аномалій і дослідити при яких атмосферних процесах виникають на цьому аеродромі небезпечні для авіації явища погоди. Для кожного аеродрому, де здійснюється посадка рейсових літаків, необхідно вказати запасні аеродроми.

У висновках необхідно зробити висновок про те, на яких ділянках траси, в які сезони року і в який час доби найімовірніші складні льотно-метеорологічні умови.

Питання для самоперевірки

1. З якою метою розробляється авіаційно-кліматичний опис аеродрому (повітряної траси)?
2. Які вимоги до рядів спостережень висуваються при першому складанні авіаційно-кліматичного опису?
3. Які розділи містить авіаційно-кліматичний опис аеродрому (повітряної траси)?
4. Які відомості включає розділ «Фізико-географічний опис аеродрому»?
5. З якою періодичністю оновлюються авіаційно-кліматичні описи?
6. У яких випадках авіаційно-кліматичні описи корегуються (уточнюються)?
7. У чому полягає різниця між аеродромними таблицями та табличними формами у авіаційно-кліматичному описі аеродрому?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Авиационная климатология / Труды научно-исследовательского института аэроклиматологии. 1972. Вып. 84. 100 с.
2. Кобышева Н.В., Наровлянский Г.Я. Климатологическая обработка метеорологической информации. – Л.: Гидрометеоиздат, 1978. – 295 с.
3. Методика учета гидрометеорологических условий при эксплуатации грунтовых аэродромов // Материалы научно-исследовательских работ по авиационной метеорологии. – Вып. 9. – М.: Воениздат МО СССР. – 1968. – С. 3-34.
4. Наровлянский Г.Я. Авиационная климатология. – Л.: Гидрометеоиздат, 1968. – 267 с.
5. Рекомендации по составлению авиационно-климатических описаний районов аэродрома и базирования // Материалы научно-исследовательских работ по авиационной метеорологии. – Вып. 10. – М.: Воениздат МО СССР. – 1970. – С.3-117.
6. Требования к составлению климатического описания аэродрома. Руководящий документ РД 52.21.692-2007. – М.: Метеоагентство Росгидромета. – 2007. – 37 с.

Навчальне електронне видання

Грушевський Олег Миколайович

АВІАЦІЙНА КЛІМАТОЛОГІЯ

Конспект лекцій

Видавець і виготовлювач

Одесський державний екологічний університет
вул. Львівська, 15, м. Одеса, 65016

тел./факс: (0482) 32-67-35

E-mail: info@odeku.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК № 5242 від 08.11.2016