

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

Циклова комісія аеронавігації

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

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

за темою № 6 – Небезпеки польоту. 6.5. Гроза

Харків 2021

ЗАТВЕРДЖЕНО

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

СХВАЛЕНО

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

ПОГОДЖЕНО

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

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

Розробник:

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

Рецензенти:

1. професор кафедри аеронавігаційних систем навчально-наукового інституту Аеронавігації, електроніки та телекомунікації Національного авіаційного університету, доктор технічних наук, доцент Шмельова Т.Ф.

2. викладач циклової комісії аеронавігації Кременчуцького льотного коледжу Харківського університету внутрішніх справ, викладач-методист, к.т.н., с.н.с Тягній В.Г.

План лекції:

1. Грози, умови створення та стадії розвитку.
2. Класифікація гроз.
3. Методи спостереження за грозами.

Рекомендована література:

Основна

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

Додаткова

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

Інформаційні ресурси

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

Текст лекції

1. Грози, умови утворення і стадії розвитку

Гроза - це складне атмосферне явище, що характеризується інтенсивним хмароутворенням і багаторазовими електричними розрядами у вигляді блискавок.

Грози виникають в купчасто-дощових хмарах, які в цьому випадку називаються грозовими. Площа добре розвинених купчасто-дощових хмар

звичайно не перевищує 50 - 100 км².

Для утворення грозової хмари необхідні наступні умови:

1. Вертикально спрямовані висхідні потоки повітря (конvekція).
2. Великий вологовміст повітря (абсолютна вологість $a > 13$ г/м³ або пружність водяної пари $e > 15$ гПа).
3. Велика позитивна енергія нестійкості в тропосфері (до 400 гПа).
Вертикальний температурний градієнт $\gamma > 0,65$ °C/100 м.

Умовно розвиток грозові хмари можна розділити на три стадії (рис. 1.1).

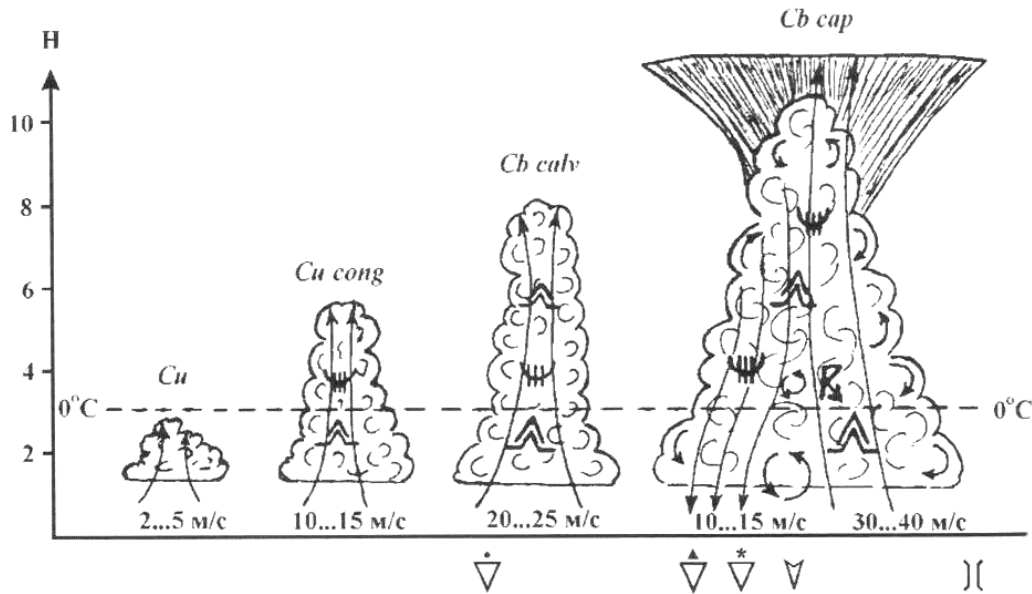


Рис. 1.1. Стадія розвитку грозової хмари

I стадія - початковий розвиток - від появи купчастої хмари до початку випадання зливових опадів. У цій стадії купчасті хмари поступово переростають в потужно-купчасті, а потім в купчасто-дощові "лисі", з яких і починають випадати опади. В хмарах переважають висхідні потоки, які посилюються від 2...5 м/с в купчастих хмарах до 10...15 м/с в потужно-купчастих. Верхня межа купчастих хмар 1,5 ... 2,5 км, а потужно-купчастих - 4... 6 км.

II стадія - максимальний розвиток - грозова хмара з купчасто-дощової "лисої" розвивається в купчасто-дощову "волохату". З хмари випадають зливі опади. Виникають електричні розряди у вигляді блискавок. У другій стадії в грозовій хмарі спостерігаються інтенсивні висхідні і низхідні рухи повітря. Висхідні потоки досягають максимальних швидкостей 30 ... 40 м/с і більше. Вони переважають в передній частині хмари. Швидкість висхідного потоку в хмарі майже лінійно зростає з висотою, починаючи з підстави, і досягає максимального значення в передвершинній частині хмари, після чого до вершини хмари швидкість починає лінійно спадати. За рахунок зливових опадів утворюються низхідні потоки зі швидкістю 10 ... 15 м/с. Спадні потоки найбільш розвинені в тилівій частині хмари. Особливістю вертикальних

потоків всередині хмари є їх сильна поривчастість. Пориви можуть досягати 15 м/с і викликати при кидках перевантаження літака до 2g і більш. Усередині хмари утворюється багато вихорів різного розміру, які призводять до інтенсивної турбулентності, що викликає сильну бовтанку ПС. Сильна турбулентність спостерігається також і над верхньою межею грозових хмар.

Над плоскою вершиною в шарі 200 ... 300 м спостерігається спадний потік. ПС, що потрапляють в ковадло або пролітають поблизу нього, що сходять вертикальними потоками можуть бути втягнуті в хмару.

У зовнішніх кордонів купчасто-дощових хмар найчастіше спостерігаються низхідні рухи повітря в поєднанні з турбулентністю. При підході до хмар бовтанка ПС може з'являтися на видаленні, приблизно рівному діаметру хмари.

Сильні висхідні потоки, характерні для купчасто-дощових хмар, здатні утримувати в підвішеному стані великі краплі води, які в зоні негативних температур знаходяться в переохолодженому стані, тому в грозових хмарах на всіх висотах вище нульової ізотерми спостерігається дуже сильне обмерзання ПС.

Велику небезпеку для польотів в грозових хмарах і під ними являє град. Випадання граду відбувається не при кожній грозі. Над Європою в рівнинній місцевості випадання граду відбувається один раз в середньому на 10 ... 15 випадків. У гірських районах грози з градом бувають частіше.

Випадання крупного граду є стихійним лихом. Від нього сильно страждають посіви, фруктові сади, виноградники, домашню худобу на пасовищах. Град може пробивати обшивку ПС на стоянках аеродромів. У польоті, при попаданні в град, пошкоджуються: обшивка фюзеляжу, особливо перкалеву обшивку стабілізаторів вертольотів, скління кабіни екіпажу, обтічники антен і інші порівняно неміцні елементи конструкції ПС.

На другий стадії велику небезпеку становлять явища які спостерігаються під грозовими хмарами.

У передній частині грозової хмари іноді утворюється темний обертаючий вал з розірваних хмар, який називається шкваловим воротом. Він виникає на висоті 500 ... 600 м (може опускатися і до 50 м) на межі висхідного потоку в хмарі і низхідного потоку поза хмари. Шквалові ворота мають великі швидкості обертання і є вкрай небезпечним явищем. При високих температурах, великій вологості повітря і сильної нестійкості в атмосфері кінець шквалового ворота може опускатися до землі, утворюючи сильний вихор з приблизно вертикальною віссю обертання і діаметром в декілька десятків метрів. Цей вихор називається смерчем. Смерчі мають велику руйнівну силу. Їх проходження пов'язано з великими катастрофічними руйнуваннями на землі.

Друга небезпечна зона під грозовими хмарами спостерігається між висхідними і нисхідними потоками повітря в області зливових опадів. Це зона шквалів. Ширина її не перевищує 500 м. У висоту шквал простягається до 2 ... 3 км, його тривалість кілька хвилин. У землі шквал проявляється як різке

посилення вітру, що супроводжується зміною його напрямку майже на 180° . Вітер в зоні шквалів може досягати сили урагану (понад 29 м/с). Шквал небезпечний для повітряних суден, що знаходяться в польоті на малих висотах, а також для авіаційної техніки і різних легких будівель, розташованих на аеродромі.

III стадія - стадія руйнування - зливові опади, що випадають з грозової хмари, охолоджують повітря і підстилаючої поверхню під хмарою. Тому слабшають, а потім припиняються висхідні потоки. У даній стадії в грозовій хмарі переважають низхідні потоки, які розмивають цю хмару. Руйнування грозової хмари зазвичай починається з нижньої частини.

Весь період розвитку грозової хмари займає від 3 до 5 годин.

Керівні документи ЦА забороняють навмисно входити в грозові хмари в будь-якій стадії їх розвитку, так як в грозових хмарах і в безпосередній близькості від них пряму небезпеку для польотів представляють:

- рвучкі висхідні і низхідні потоківоздуха з великими швидкостями, що призводять до раптових кидків ПС;
- інтенсивне обмерзання на всіх висотах вище нульової ізотерми;
- електричні розряди у вигляді блискавок;
- град, викликає механічні пошкодження ПС;
- сильні атмосферні перешкоди, що порушують радіозв'язок;
- зливові опади з обмеженою видимістю;
- шквали і смерчі;
- зсуви вітру в приземному шарі.

Грозові хмари за своїм складом є змішаними (рис. 1.2). Вони складаються з крапель води, сніжинок і крижаних кристалів. Зазвичай на нижній межі хмар температура повітря $+5^\circ\text{C}$ до $+10^\circ\text{C}$, а на верхній межі, в залежності від вертикальної потужності хмари, вона може бути -40°C до -65°C . Це обумовлює неоднорідну структуру хмари по його складу.

Від основи хмари до рівня нульової ізотерми хмара складається з крапель води, від рівня нульової ізотерми до рівня ізотерми -20°C - з сніжинок і переохолоджених крапель води, які в цьому шарі переважають; вище рівня ізотерми -20°C переважають вже сніжинки і крижані кристали.

При грозі в атмосфері відбуваються електричні розряди. Для виникнення електричних розрядів необхідно утворення в грозовій хмарі об'ємних електричних зарядів. Такі заряди створюються в результаті електризації хмарних елементів - крапель крижаних кристалів.

Існує багато (близько 35) теорій утворення об'ємних електричних зарядів купчасто-дощових хмарах. Найбільш поширеною є теорія утворення електричних зарядів в грозовій хмарі внаслідок дроблення крапель і кристалів.

Під дією сильних поривів висхідних потоків великі краплі, що утворилися в нижній частині хмари, розбризкуються. При цьому відбувається їх електризація. Дрібні краплі заряджаються негативно і несуться вгору. Великі краплі з позитивним зарядом залишаються в нижній частині хмари. У верхній

частині грозової хмари електризація відбувається, мабуть, за рахунок тертя кристалів і їх розколювання при зіткненнях.

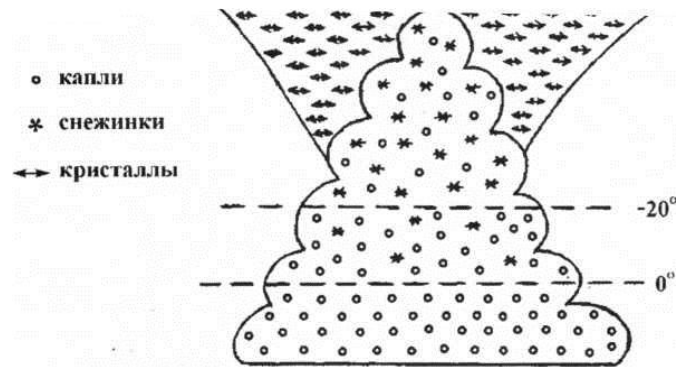


Рис 1.2. Мікроструктура грозової хмари

Дрібні осколки заряджаються позитивно, великі - негативно. Великі осколки опускаються вниз і підсилюють негативний заряд середини хмари. Дрібні осколки, заряджені позитивно, залишаються в підвішеному стані у верхній частині хмари.

Але не тільки так можуть заряджатися грозові хмари. Хмарні краплі при своєму русі замерзають і тануть. Кожен з цих процесів також призводить до електризації хмарних частинок. Таким чином, електризація може відбуватися при наступних процесах:

- при короткочасному контакті великих і дрібних крапель;
- при розбризуванні крапель і дробленні кристалів в результаті сильних висхідних і низхідних потоків всередині хмари;
- при терті кристалів.

В результаті електризації крапель і кристалів і перенесення їх повітряними потоками в хмарі утворюються області з потужними об'ємними зарядами. Середній розподіл електричних зарядів в грозовій хмарі наведено на рис. 1.3.

Негативні електричні заряди зосереджені в основному в тилівій і середній частині хмари від нижньої межі до ізотерми -20°C , а позитивні заряди - в передній частині хмари, де є потужні висхідні потоки повітря, а також вище ізотерми -20°C .

Якщо напруженість електричного поля між двома об'ємними зарядами в хмарі або між хмарами і землею досягає величини пробивної потенціалу повітря (близько $30\,000\text{ В/см}$), то відбувається електричний розряд. Такі розряди, що супроводжуються сліпучим спалахом світла і гуркотом грому, називаються *блискавками*.

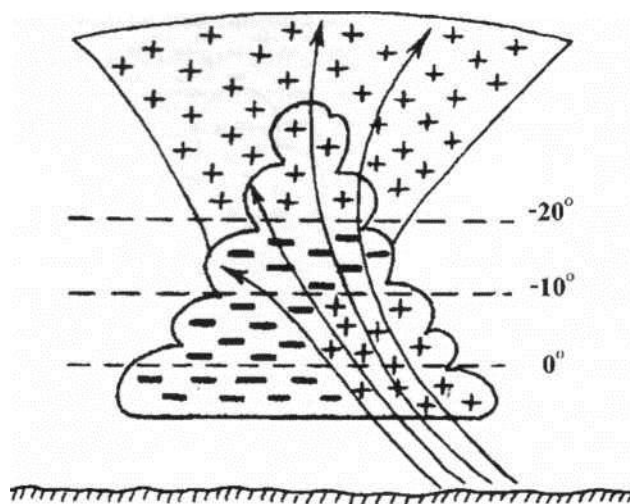


Рис. 1.3. Електрична структура грозової хмари

Грім - явище акустичне, основний його причиною є ударна хвиля, що виникає в результаті розриву розрядного каналу.

За зовнішнім виглядом і фізичним особливостям блискавки поділяються на лінійну розгалужену, плоску і кульову.

Лінійна розгалужена блискавка - це найбільш часто спостерігаємий гігантський іскровий розряд атмосферної електрики. Довжина блискавки в середньому становить 2-3 км, а іноді може досягати 20 км і більше. Від основного каналу є кілька відгалужень, тому лінійна блискавка схожа на вигляд на суху гілку листяного дерева. Швидкість блискавки становить близько $10^2 - 10^3$ км/с. Сила струму всередині каналу блискавки порядку десятків тисяч ампер. Температура плазми у блискавки перевищує $10\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Лінійна блискавка можлива всередині грозової хмари, між хмарою і землею, між двома хмарами.

Плоска блискавка являє собою безшумне червонувате світіння будь-якої частини хмари, що виникає за рахунок сумарного ефекту великої кількості коронних розрядів на хмарних частках. Тривалість такої блискавки близько 1 секунди. Плоску молнію не потрібно порівнювати з зарницею, коли хмари освітлюються віддаленою та безпосередньо невидимою лінійною блискавкою.

Кульова блискавка — рідкісне атмосферне явище, що має вигляд рухомого згустка плазми, яке виникає після звичайної лінійної блискавки, розміром від кількох до кількадесят сантиметрів, іноді видає звук, подібний до шипіння. Щодо природи цього явища досі не існує єдиної думки, втім, беззаперечно те, що кульова блискавка є однією з форм електричного розряду (блискавки у широкому розумінні цього слова).

При польоті в грозовій хмарі або поблизу неї може статися потрапляння блискавки в ПС. Це можливо в двох випадках:

- ВС знаходиться на шляху блискавки;
- напруженість електричного поля між об'ємним зарядом в хмарі і об'ємним зарядом ПС більше пробивної потенціалу повітря.

В результаті попадання блискавки в ПС може статися:

- розгерметизація кабіни;
- пожежа на ПС;
- осліплення екіпажу;
- руйнування обшивки, окремих деталей і радіотехнічних засобів;
- намагнічування сталевих сердечників в приладах та ін.

Імовірність поразки ПС блискавкою зростає зі збільшенням їх маси і швидкості польоту. Найбільш часто вражаються блискавкою радіоантени, крила, стабілізатор і фюзеляж. Значно рідше відбувається ураження паливних баків, але ці випадки зазвичай мають тяжкі наслідки.

З грозовими розрядами тісно пов'язані атмосферні радіоперешкоди (*атмосферики*). Це електромагнітні імпульси, які виникають в процесі грозового розряду. Поширюючись від місця свого виникнення, атмосферики викликають радіоперешкоди - особливо на довгих хвилях. Вони створюють шум і тріск в телефонах. Чим більше напруженість електричного поля в грозовій хмарі, тим сильніше атмосферні радіоперешкоди.

2. Класифікація гроз

Залежно від синоптичних умов утворення грози можуть бути внутрішньомасовими і фронтальними.

Внутрішньомасові грози утворюються в нестійких повітряних масах в теплу пору року, зазвичай, в другу половину дня і в залежності від причин утворення поділяються на: конвективні (теплові); адвективні; орографічні.

Конвективні грози утворюються в розмитих баричних полях - на периферії заповнюючих циклонів і в сідловині - через нерівномірний прогріву підстильної поверхні.

Адвективні грози утворюються в тилівій частині циклону і на східній периферії антициклону при переміщенні відносно холодної повітряної маси по теплій підстильній поверхні. Ці грози супроводжуються сильними вітрами у землі і на висотах.

Орографічні грози утворюються на навітряних схилах гір, коли по цих схилах вгору піднімається тепла волога нестійка повітряний маса.

Внутрішньомасові грози розташовуються на площі окремими очагами на значній відстані один від одного, тому в польоті їх можна обійти стороною. Провісниками внутрішньомасових конвективних гроз є високо-купчасті баштовидні хмари, які утворюються вранці на горизонті.

Фронтальні грози утворюються на холодних фронтах ($\approx 70\%$) і на теплих фронтах ($\approx 30\%$).

Грози на холодних фронтах (рис 2.1., 2.2) утворюються в будь-який час року і доби, але загострюються влітку в другу половину дня. Провісниками гроз холодного фронту є високо-купчасті сочевицеподібні хмари, які рухаються попереду фронту на відстані 80 ... 200 км.

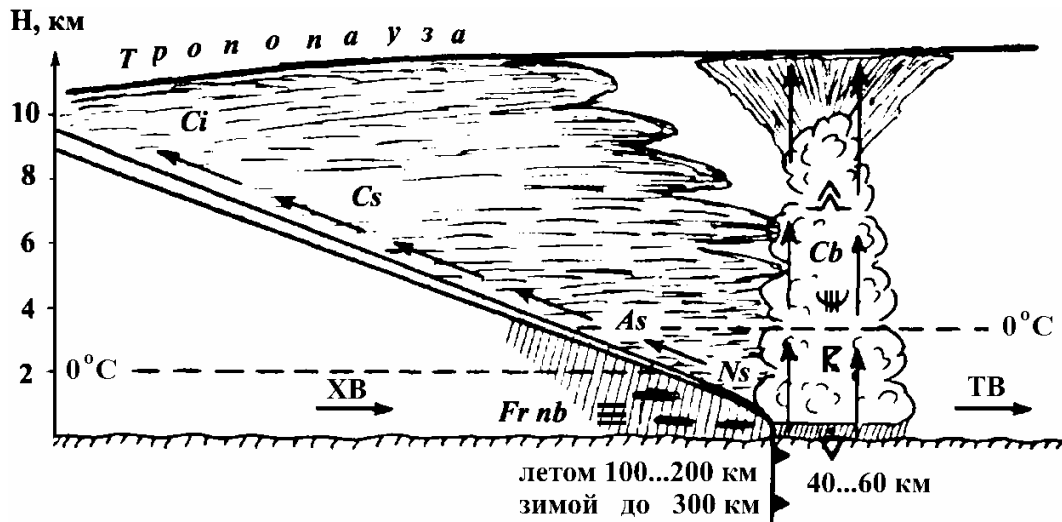


Рис. 2.1. Схема хмарності холодного фронту 1-го роду

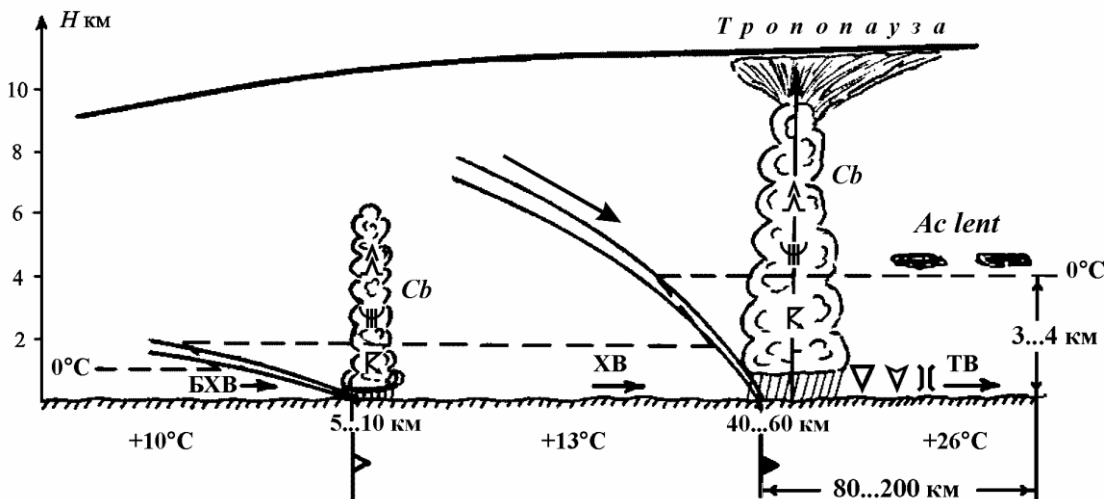


Рис. 2.2. Схема хмарності холодного фронту 2-го роду і вторинного холодного фронту

Грози на теплих фронтах (рис. 2.3) утворюються в теплу пору року переважно вночі або в ранкові години. Ці грози носять прихований характер, тому зустріч з ними може статися несподівано для екіпажу.

Грозова діяльність на атмосферних фронтах тим інтенсивніше, чим більше різниця температур між повітряними масами, які поділяються цими фронтами, і чим більше вологовміст теплого повітря.

Фронтальні грози розташовуються вздовж фронту у вузькій витягнутій зоні. Довжина цієї зони може досягати 1000 км і більше, а ширина 50 ... 100 км. Якщо в нижніх частинах грозові хмари можуть зливатися в загальний хмарний масив, то на висотах понад 3 км між ними, зазвичай, спостерігаються просвіти шириною 5 ... 180 км.

Фронтальні грози переміщуються разом з фронтом в напрямку

повітряних потоків на висотах 3 ... 5 км.

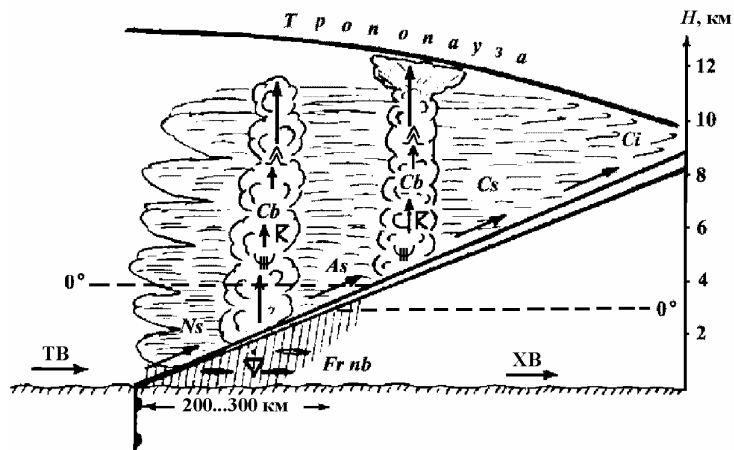


Рис. 2.3. Схема хмарності теплового фронту в теплу пору року

3. Методи спостереження за грозами

З метою гарантування безпеки польотів і регулярності руху ПС працівники аеродромних метеорологічних органів (АМО) інформують керівний, льотний та диспетчерський склад про наявність гроз в районах аеродромів вильоту, посадки і на повітряних трасах, а також складають прогнози виникнення гроз.

За грозами ведуться як візуальні, так і інструментальні спостереження.

В даний час спостереження за грозами, в основному, проводяться візуально слуховим методом. Для проведення спостережень залучаються АМО, гідрометеорологічні станції (ГМС) і метеорологічні пости (МП), розташовані навколо кожного аеродрому в радіусі до 200 км (штормове кільце), додаткова мережу ГМС і МП за межами штормового кільця, працівники аеродромів та посадкових майданчиків місцевих повітряних ліній, а також пілоти, що знаходяться на робочих аеродромах в період проведення авіаційних хімічних робіт.

При всьому різноманітті джерел інформації про грози, одержуваної візуально-слуховим методом, фіксується тільки близько однієї третини грозових осередків, а проміжки часу між початком (кінцем) явища на станції і надходженням інформації про нього, в середньому, дорівнюють 10 ... 15 (20...30) хвилин. У цих умовах особливого значення набуває інформація про грози, отримані за допомогою метеорологічних радіолокаторів (МРЛ), а також при спостереженнях за атмосферами.

Місцезнаходження близьких грозових осередків найточніше визначається радіолокаційними методами по віддзеркаленням від хмар посиленням штучних імпульсів. Купчасто-дощові хмари, що супроводжуються зливами і грозами, добре виявляються за допомогою МРЛ на відстанях до 150 км. Великою перевагою радіолокаційного методу є те, що він дозволяє

отримувати площі, зайняті хмарами, визначати їх еволюцію, переміщення, верхню межу, завдяки чому можна розширити відомості про характер метеорологічних процесів. За даними спостережень складаються карти радіолокаційної інформації, які передаються в АМО по фототелеграфу. Недоліком радіолокаційних спостережень за грозами є те, що наявність електричних розрядів у вогнищі хмарності визначається за непрямыми аерологічних даних про структуру і розвиток хмар. При цьому можуть виникнути труднощі з поділом зливових і грозових осередків. Крім цього, карта радіолокаційної інформації надходить в АМО зі значною затримкою після проведення спостережень, що знижує її цінність в оперативній роботі з метеорологічного забезпечення польотів.

Основною вимогою до оперативної інформації є швидкість отримання даних, що вказують на появу або розвиток тих явищ, за якими безперервно проводяться спостереження. Атмосферики приходять в кожную точку з максимальною принципово допустимою швидкістю, тому, при використанні цих даних безпосередньо в пункті прийому, виконання вимоги до оперативності забезпечується. Залежно від освітлюваної території наявна апаратура для інструментальних спостережень за атмосферами (грозами) може бути розподілена за трьома основними групами:

- лічильники грозових розрядів - район станції штормового оповіщення в радіусі 15 ... 20 км;
- установки для спостережень за ближніми грозами - зона штормового кільця в радіусі 150 ... 200 км;
- установки для спостережень за далекими грозовими вогнищами — повітряні траси і райони польотів у радіусі до кількох тисяч кілометрів.

Лічильники грозових розрядів (грозівідмітники, грозорегістратори) є автономними приладами, призначеними для сигналізації про наявність грозової діяльності в районі станції штормового оповіщення без вказівки наряду, а також для підрахунку числа грозових розрядів з метою отримання об'єктивної характеристики - середнього числа розрядів на одиницю площі.

Установки для спостереження за ближніми грозами дозволяють визначати розташування грозового очага (віддаленість і азимут) щодо пункту спостережень. При цьому інформація може бути отримана на екрані електронно-променевої трубки пеленгатора азимута гроз (ПАГ) або на стрічці самописця панорамного реєстратора близьких гроз. Дані прилади можуть бути використані автономно, як індикатори наявності грози в тому чи іншому напрямку на різних відстанях від пункту спостереження, але найбільший ефект в прогностичній роботі по метеозабезпеченню авіації виходить при використанні їх разом з виносним індикатором диспетчерського радіолокатора.

Установки для спостережень за далекими грозовими вогнищами дозволяють за 20...30 хвилин (в залежності від грозової активності) отримати інформацію про грозові осередки (віддаленість і азимут) на території радіусом до 10 тисяч кілометрів від пункту спостереження.

Для метеорологічного забезпечення польотів велике значення має прогнозування гроз. Прогноз фронтальних гроз проводиться синоптичним методом. Оскільки ці грози безпосередньо пов'язані з атмосферними фронтами, прогноз зводиться до розрахунку напрямку і швидкості переміщення фронту, а також оцінці його загострення чи розмивання (еволюції).

Для прогнозу внутрішньомасових гроз, зазвичай, застосовуються різні методи з використанням даних радіозондування атмосфери в ранкові години. При прогнозі враховується синоптична обстановка, енергія нестійкості атмосфери, яка визначається по аерологічній діаграмі, рівень розвитку купчасто-дощової хмари, вологовміст повітря в шарі від земної поверхні до рівня 500 гПа, швидкість вітру в середній частині тропосфери. Суттєву допомогу при прогнозуванні гроз можуть надавати місцеві ознаки погоди. Наприклад, поява в ранкові години на горизонті високо-купчастих баштовидних хмар вказує на нестійкий стан середніх шарів тропосфери і велику ймовірність виникнення грози в другій половині дня. Поява високо-купчастих сочевицеподібних хмар вказує на наближення холодного фронту 2-го роду і гроз, пов'язаних з цим фронтом.