

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ
Циклова комісія аеронавігації**

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни «ПРИНЦИПИ ПОЛЬОТУ МІ-8 МТВ»,
обов'язковий компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
272 Авіаційний транспорт (Аеронавігація)

м. Харків 2021

СХВАЛЕНО

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

СХВАЛЕНО

Секцією Науково-методичної
ради ХНУВС зі спеціальних
дисциплін
Протокол від 22.09.2021 № 8

Розглянуто на засіданні циклової комісії аеронавігації
Протокол від 30.08.2021 № 1

Розробник: викладач циклової комісії аеронавігації, спеціаліст вищої категорії,
викладач-методист Яцина Є.В.

Рецензенти:

1. Викладач циклової комісії аеронавігації, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, викладач-методист Тягній В.Г.
2. Професор кафедри аеронавігаційних систем навчально-наукового інституту Аеронавігації, електроніки та телекомунікації Національного авіаційного університету, доктор технічних наук, доцент Шмельова Т.Ф.

План лекції:

1. Політ у турбулентній атмосфері.
2. Політ у супутньому сліді.

Література:

1. Ромасевич В.Ф., Аеродинаміка і динаміка польотів вертольотів, М., Воєніздат, 1982.
2. Зозуля В.Б., Іванов Ю.П., Практична аеродинаміка вертольота Мі-8, М., Машинобудування, 1977.
3. Крилов А.А., Методика виконання польоту на вертольоті Мі-8, М., Повітряний транспорт, 1980.
4. Ромасевич В.Ф., Самойлов Г.А., Практична аеродинаміка польотів, Воєніздат, М., 1980.
5. Керівництво з льотної експлуатації вертольота Мі-8-МТВ, М., 1994.

ПОЛІТ У ТУРБУЛЕНТНІЙ АТМОСФЕРІ

Вертоліт піддається в польоті впливу різних зовнішніх збурень, найбільш важливим і небезпечним з яких є турбулентність атмосфери. Особливо часто інтенсивна турбулентність атмосфери спостерігається в нижніх шарах тропосфери до висоти 3 км, де в основному здійснюються польоти вертольотів.

В авіаційній метеорології інтенсивність атмосферної турбулентності оцінюється зазвичай по збільшенню вертикальних перевантажень в центрі мас літального апарату в такий спосіб: слабка - $\Delta n_y \ll 0,2$; помірна - $\Delta n_y = 0,2 - 0,5$; сильна - $\Delta n_y = 0,5 - 1,0$ і штормова - $\Delta n_y > 1$.

Польоти в слабку і помірну бовтанку виконуються постійно, не уявляючи загрози для безпеки, тому основну увагу необхідно приділяти питанням забезпечення безпеки польотів вертольоту Мі-8МТВ в умовах сильної бовтанки. Безпека польоту вертольоту в інтенсивній турбулентній атмосфері визначається маховим рухом і динамічної міцністю лопатей несучого і рульового гвинтів, динамічної міцністю життєво важливих елементів конструкції і зусиллями в системі управління, характером збуреного руху і керованістю вертольоту.

При польотах в умовах помірної і сильної бовтанки, коли приріст вертикального перевантаження в центрі мас вертольоту досягає по абсолютній величині $\Delta n_y = 0,5 - 0,7$, небезпечного наростання махового руху лопатей несучого і рульового гвинтів, зближення кінців лопатей з хвостовій балкою не відбувається.

Крім того, для реально можливих у приземному шарі атмосфери швидкостей поривів вітру (вертикальних для НГ і бічних для РГ) удар комлей лопатей по обмежувача помаху практично виключається для будь-яких стабілізованих

режимів польоту вертольоту. Це справедливо за умови, що стабілізація обуреного руху вертольоту в турбулентній атмосфері здійснюється автопілотом і невеликими пропорційними корегуючими керуючими діями пілота. Якщо ж пілот реагує на бовтанку вертольоту різкими, енергійними відхиленнями важелів управління, можливо таке поєднання параметрів руху вертольоту, управління і вітрового обурення, що Комлів лопатей НГ в певному азимутному положенні торкнуться нижніх обмежувачів помаху. Зокрема, таке явище можливо при впливі на вертоліт, що летів з крейсерською швидкістю, досить потужного спадного пориву вітру і енергійному відхиленні пілотом ручки управління на себе і вбік для парирування самовільного пікірування і крен вертольоту або гальмування швидкості його польоту. При торканні лопатями НГ обмежувачів змаху на конструкцію вертольоту передається імпульсне силове і моментне обурення, яке сприймається екіпажем як удар, ривок і може бути в складній польотній обстановці витлумачено як руйнування елементів конструкції вертольоту, хоча в дійсності ніяких руйнувань не відбувається.

Важливо відзначити, що саме завдяки маховому руху лопатей значна частка енергії вітрових збурень демпфуюча і рівень перевантаження вертольоту виявляється в цілому порівняно невисоким. Наприклад, для одних і тих же умов атмосферної турбулентності рівень перевантаження вертольоту Мі-8 МТВ в 1,5 - 2 рази нижче, ніж літака Ан-24. При польотах в інтенсивну бовтанку, наприклад над морем поблизу гірського хребта, коли на вертоліт Мі-8 впливають вертикальні пориви вітру зі швидкістю близько 10 м / с, бовтаночне вертикальне перевантаження $\Delta p_y = 0,5 - 0,7$.

Взагалі, в реальних умовах атмосферної турбулентності перевантаження вертольота не перевищує експлуатаційну, що забезпечує безпеку польотів по міцності конструкції фюзеляжу.

Найбільше збільшення навантажень при польоті в турбулентній атмосфері виникає в системі управління НГ. Навіть при слабкій бовтанці, коли $\Delta p_y = 0,2$, змінні навантаження в поздовжньому і поперечному управлінні, вимірювані на тарілці автомата перекосу, зростають на 20 - 25% в порівнянні з їх значеннями в спокійній атмосфері, а при $\Delta p_y = 0,4 - 0,5$ ці навантаження зростають майже в 3 рази. Хоча навіть при такому збільшенні навантажень в системі управління НГ залишаються вельми далекими від руйнівних, небезпечним виявляється значне зростання втомної пошкоджуваності системи управління, що може привести до неприпустимого зниження втомної міцності найбільш навантажених її елементів в межах встановленого ресурсу. Тому для польотів в бовтанку встановлені відповідні обмеження,

Зусилля в системі управління НГ зростають в середньому пропорційно збільшенню перевантаження, але в будь-яких екстремальних умовах не досягають критичних значень за потужністю гідропідсилювачів. Таким чином, при польотах в сильну бовтанку ніяких помітних порушень розрахункової управляємості вертольоту не відбувається, проте техніка пілотування значно ускладнюється. Це викликається безперервним розбалансуванням вертольоту під дією атмосферних збурень, що вимагає постійного втручання пілота в управління, так як можливості автопілота виявляються в цих умовах зазвичай недостатніми.

Польоти в умовах сильної турбулентності з вимкненим автопілотом вимагають істотно більшої витрати органів управління, т. ч. відповідно роботи і

напруги пілота для витримування режиму польоту, ніж при включеному автопілоті. Тому польоти в бовтанку рекомендується виконувати з включеним автопілотом, але з вимкненим каналом висоти. Справа в тому, що включення каналу висоти автопілота в розглянутих умовах призводить до помітного зростання коливань кута тангажу вертольота на малих швидкостях польоту і вертикальної перевантаження на великих швидкостях польоту, тоді як сама висота польоту стабілізується також зі значними коливаннями, амплітуда яких може досягати 20 м. Тому канал висоти автопілота доцільно використовувати тільки при тривалих польотах на висотах більше 50 м і в умовах слабкої бовтанки.

Основною умовою полегшення пілотування і підвищення безпеки польотів в сильну бовтанку є витримування рекомендованого КЛЕ діапазона швидкостей польоту, що становить для вертольоту Мі-8 МТВ по приладу 150 - 175 км / ч. У цьому вузькому діапазоні швидкостей польоту вертоліт найбільш щільно «сидить в повітрі», має близький до максимального запас наявної потужності двигунів, надійні запаси по зриву і стисливості на лопатях НГ, помпажу двигунів, порівняно низький рівень вібрацій конструкції, що в цілому покращує умови пілотування.

Слід мати на увазі, що внаслідок впливу атмосферної турбулентності на вхід приймачів повітряного тиску цілком можливі коливання показань вказівників швидкості польоту з амплітудою, що досягає 15 - 20 км / год і періодом 5 - 8 с.

При польотах з вантажем на зовнішній підвісці під впливом атмосферної турбулентності стійкість вантажу погіршується, виникає його розгойдування. Для усунення розгойдування вантажу необхідно плавно зменшити швидкість польоту вертольоту.

ПОЛІТ У СУПУТНЬОМУ СЛІДІ

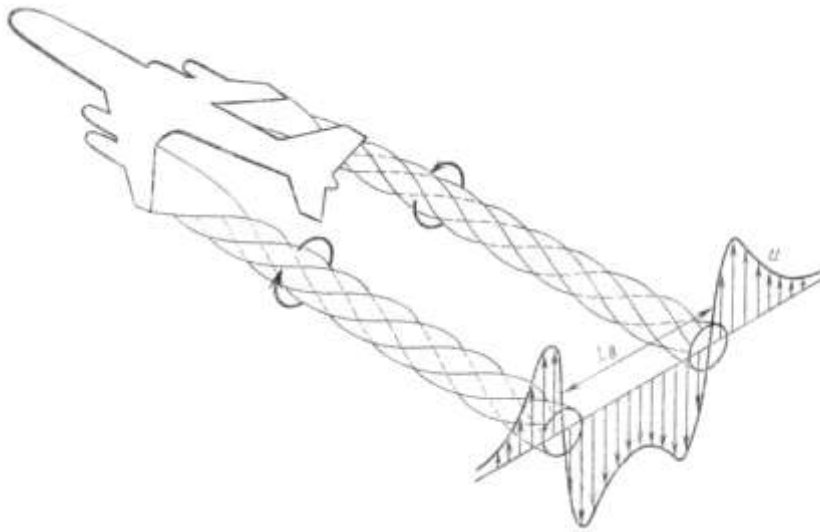
Супутний слід утворюється за летящим літаком або вертольотом і зберігається в атмосфері ще деякий час після його польоту.

Основну роль у формуванні супутного сліду грають вільні вихори, що утворюються при циркуляційному обтіканні крила літака або НГ вертольоту. Взаємодіючи між собою, вільні вихори скручуються в два потужних, стійких по довжині поздовжніх джгута, які мають однакову за величиною і протилежний за знаком циркуляцію, $G = \frac{Y}{\rho V L_b}$ де Y - підйомна сила крила або тяга НГ, L_b - відстань між осями вихрових джгутів, що становить в середньому 0,8 - 0,9 розмаху крила або діаметра НГ.

У середині вихрового джгута існує зона поблизу осі, звана ядром, в якій окружні швидкості і обертального руху повітря зростають від нуля до максимальної величини, що досягає 30 - 40 м / с, т. ч. швидкості ураганного вітру. Поза ядра вихору швидкість обертального руху частинок повітря, індукованого вихором, швидко зменшується в міру збільшення відстані від осі вихору.

Інтенсивність супутного вихрового сліду, зокрема максимальна індуктивній швидкості повітряного потоку на кордоні ядра вихору і0, пропорційна польотної масою і розмірами літального апарату, навантаженні на крило або ометаємий диск НГ і обернено пропорційна швидкості польоту літального апарату. Отже, найбільша інтенсивність супутного сліду спостерігається на режимах зльоту і розгону швидкості важких літаків і вертольотів.

У незбуреній атмосфері супутний слід опускається зі швидкістю 2 - 5 м / с, а при наближенні до поверхні землі швидкість зниження вихрових джгутів зменшується, і вони починають розходитися в сторони. Внаслідок турбулентного перемішування і хвильової нестійкості вихрові джгути згасають за часом



і розмиваються, але тим не менше можуть зберігати істотну інтенсивність протягом 2 - 5 хв після прольоту літального апарату, генерувати супутний вихровий слід. При цьому протягом перших 10 – 15 с вихрові джгути залишаються в основму прямолінійними, а потім під впливом атмосферної турбулентності і взаємодії вихорів починається їх викривлення в просторі, з'являються розриви, що призводять до подальшого розсіювання вихорів.

У зв'язку з неухильно зростаючими інтенсивністю польотів і щільністю повітряного руху вертоліт цілком може потрапити в супутний вихровий слід пролетів поблизу літака або вертольоту, що іноді супроводжується несподіваними і неприємними явищами, які загрожують безпеці польотів.

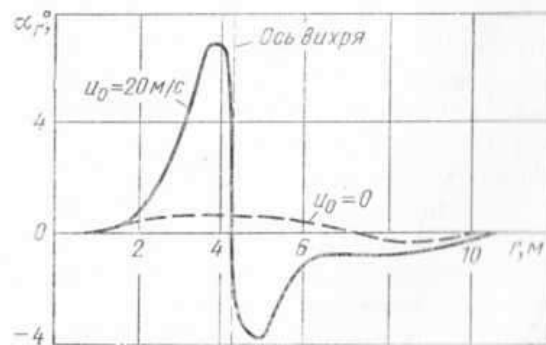
При попаданні вертольоту в супутний слід змінюються місцеві кути атаки і ковзання, а також швидкості обтікання елементів лопатей і фюзеляжу, що призводить до виникнення невірноважених аеродинамічних сил і моментів. В результаті цього зміниться розрахункове усталене махове рух лопатей несучого і рульового гвинтів, зростуть динамічні напруги в лопатях, шарнірні моменти і зусилля в системі управління, почнеться збурений рух вертольоту в просторі. Характер і інтенсивність зазначених явищ визначається складною сукупністю параметрів літального апарату, генерувати супутний слід, і вертольота, який потрапив в цей слід, режимів польоту обох літальних апаратів, орієнтації і часу перебування вертольоту в сліді, часу існування сліду, атмосферних умов, керуючих дій пілота.

Якщо вертоліт перетинає слід під великим кутом, час перебування в сліді обчислюється десятими частками секунди, так що параметри руху вертольоту практично не встигають помітно змінитися, будуть лише відчуватися один або два поштовхи вертольоту. Основну небезпеку становить потрапляння в слід під малими кутами, що не перевищують 20 - 30 °, коли вісь одного з вихрових джгутів сліду проходить поблизу площини обертання несучого або рульового гвинта. У цьому випадку найбільш важкі умови аеродинамічного навантаження лопатей

створюються в момент, коли вісь супутного вихрового джгута проходить в площині обертання гвинта на відстані приблизно половини радіуса гвинта паралельно поздовжньої осі вертольоту. При цьому кути атаки перетинів лопатей, що входять в зону індуктивного впливу спутного вихрового джгута, інтенсивно змінюються за величиною, а в перетинах,

Це призводить до інтенсивних сплесків аеродинамічного навантаження на лопаті, зміни усталеного махового руху і розмиву конуса обертання лопатей, появи низькочастотних вібрацій (тряски) корпусу вертольоту. Зазначені явища ускладнюються турбулентної неоднорідністю самого індуктивного повітряного потоку, викликаного Супутні слідом. Рівень сумарних динамічних напружень в лонжероні лопаті в розглянутих умовах зростає приблизно вдвічі в порівнянні з вихідним. Однак навіть при максимальній інтенсивності супутного сліду він не досягає значень, при яких можлива зміна механічних властивостей і руйнування лопаті в польоті. Чи не відбувається також і удару лопатей по обмежувача помаху (упорів на втулці). В принципі все сказане справедливо для лопатей як несучого, так і рульового гвинтів.

Таким чином, супутний вихровий слід практично не може безпосередньо зруйнувати обертові лопаті несучого і рульового гвинтів або несучі елементи конструкції вертольота, але на нетривалий час здатний викликати несподівану і незрозумілу для пілота тряску і бовтанку вертольота, що ускладнить пілотування, особливо при польоті в складних метеоумовах або обмеженому повітряному просторі. Відзначаючи нетривалість часу впливу спутного вихрового сліду на вертоліт, ми маємо на увазі, що під дією сліду розвивається збурений рух вертольота. В результаті вертоліт навіть без втручання пілота виходить з порівняно невеликої зони істотного індуктивного впливу вихрового джгута, тим більше що і сам вихровий джгут безперервно спускається до землі.



Розподіл кутів атаки перетинів по довжині лопаті при перетині вихрового джгута.

При аналізі обуреного руху вертольота основний інтерес представляє випадок, коли в початковий момент впливу вісь супутного вихрового джгута паралельна поздовжній осі вертольота, але віддалена від неї на відстань, рівну приблизно радіусу гвинта. Якщо, наприклад, спутний вихровий джгут проходить зліва від вертольота, тоді у всій лівій половині ометаємую НГ диска індуктивні швидкості від вихрового джгута мають незмінне напрямком (від низу до верху) і інтенсивно зростають від комлевої до зовнішньої несучої частини лопатей гвинта. Це і визначає максимально можливі значення незбалансованих аеродинамічних сил і моментів НГ, що викликають збурений рух вертольота в просторі.

У найбільш несприятливих умовах впливу спутного сліду на НГ вертолiт мимовiльно крениться, розгортається i змiщується вбiк, змiнює висоту польоту, однак параметри динамiчної реакцiї вертольота Ми-8 МТВ на вплив спутного слiду в загальному невеликi. Перекидання i руйнування вертольота в повітрі, втрата стійкості i керованості руху практично виключаються, хоча в льотній практиці легких зарубiжних вертольотiв з польотної масою 12 т подiбнi випадки мали місце.

При впливі спутного слiду на РГ збурений рух вертольота розвивається менш iнтенсивно, нiж у випадку впливу слiду на НГ. Однак, якщо вплив спутного вихрового джгута призводить до зменшення сили тяги РГ, вертолiт крениться вправо, але одночасно розгортається за курсом влiво, т.ч. робить мимовiльний некоординованих бiчний маневр. Якщо в цьому випадку пiлот спочатку вiдреагує на розворот вертольота по курсу i вiдхилить вперед праву ногу з одночасним рефлексорним вiдхиленням ручки управлiння вправо, вертолiт додатково накренився в первiсному напрямку.

Попадання в супутний вихровий слiд, як правило, несподiвано для пiлота i тому нерiдко сприймається ним як раптова вiдмова системи управлiння, а збурений рух вертольота парирується рефлексорно i з запiзненням. Подiбнi розгубленiсть i замiшання пiлота i представляють основну загрозу безпецi польоту, тодi як в практично реальних польотних ситуацiях технiчна безпека польотiв вертольота при попаданнi в супутний вихровий слiд, як правило, забезпечена. Тут також слiд мати на увазi, що включений автопiлот ефективно парирує рiвноваги вплив спутного слiду, якщо, звичайно, кермовi агрегати вiдповiдних каналiв автопiлота при попаданнi вертольота в супутний слiд випадково не знаходились поблизу «малого упору».

Вплив спутного слiду, упорядкована структура якого порушилася, а iнтенсивнiсть ослабла, незалежно вiд кута входу в нього нагадує звичайну помiрну «бовтанку» в турбулентнiй атмосферi i не створює загрози нацiональнiй безпецi польотiв. Разом з тим не слiд забувати, що порушення однорiдної структури повітряного потоку на вході в двигуни за рахунок спутної турбулентності i, тим бiльше, динамiчне пiдвищення температури повітря за рахунок впливу вихлопнiї струменя реактивних двигунiв пролiтає поблизу лiтального апарату може викликати помпаж i самовиключенiє двигунiв вертольота.

Таким чином, для забезпечення безпеки польотiв вертольотiв в зонi аеродрому, а також групових польотiв гелiкоптерiв необхідно строго дотримуватися часовi та просторовi iнтервали мiж лiтальними апаратами, встановленi правилами повітряного руху. У всякому разi доцiльно, щоб часовий iнтервал був не менше 1 хв.