

**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)

**За темою № 1.4 – Сталість вертольоту**

**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. Сталість вертольоти
2. Поздовжньому статична стійкість
3. Поздовжньому статична стійкість по куту атаки
4. Поздовжньому статична стійкість по швидкості польоти
5. Бічна статична стійкість
6. Бічна статична стійкість по куту ковзання
7. Поперечна стійкість по куту ковзання
8. Динамічна стійкість

### **література:**

1. Ромасевич В.Ф., Аеродинаміка і динаміка польотів вертольотів, М., Воениздат, 1982.
2. Зозуля В.Б., Іванов Ю.П., Практична аеродинаміка вертольота Мі-8, М., Машинобудування, 1977.
3. Базов Д.І., Аеродинаміка вертольотів, М., Транспорт, 1972.
4. Яцуновіч М.С., Практична аеродинаміка вертольота Мі-8, М., Машинобудування, 1973.
5. Ромасевич В.Ф., Самойлов Г.А., Практична аеродинаміка польотів, Воениздат, М., 1980.

## **СТІЙКІСТЬ ВЕРТОЛЬОТА**

*стійкiстю* руху називається здатність вертольота відновлювати без втручання пілота вихідний режим польоту після припинення дії зовнішнього збурення. Якщо ж відхилення від заданого режиму з плином часу зростає, то вертоліт є динамічно нестійким. Характеристики стійкості змінюються в залежності від режиму польоту. Тому слід розглянути окремо стійкість вертольота на висінні і в поступальному польоті.

Якщо на висить вертоліт раптово подіє порив вітру спереду, то повна аеродинамічна сила несучого гвинта збільшиться і разом з конусом обертання відхилиться назад. При цьому виникає момент від відцентрових сил внаслідок розносу ГШ. Нахил сили  $R_{nv}$  призведе до появи поздовжнього кабріруючого моменту і поздовжньої складової тяги. Під дією кабріруючого моменту вертоліт почне збільшувати кут тангажу, а поздовжня сила викличе переміщення вертольота назад. Внаслідок демпфірування і косою обдування ззаду (так як вертоліт почав переміщатися назад) конус несучого гвинта почне завалюватися в іншу сторону, сила  $R_{nv}$  буде відставати від осі вала гвинта. В результаті виникнуть сила і поздовжній момент, спрямований в інший бік, і вертоліт буде прагнути відновити вихідний кут тангажу і зменшити швидкість до нуля. Однак момент, що виникає внаслідок наявності стійкості несучого гвинта за швидкістю, виявляється занадто великим і розвиває таку швидкість зворотного руху, що вертоліт проходить через рівноважний стан і відхиляється в протилежну сторону на більшу величину. Рух вертольота ставати коливальним зі збільшенням амплітуди. Така ж

поведінка у вертольота і по крену, але рульової гвинт значно впливає на коливальний рух по крену. Отже, вертоліт на режимі висіння динамічно нестійкий по тангажу і крену. Рух вертольота ставати коливальним зі збільшенням амплітуди. Така ж поведінка у вертольота і по крену, але рульової гвинт значно впливає на коливальний рух по крену. Отже, вертоліт на режимі висіння динамічно нестійкий по тангажу і крену. Рух вертольота ставати коливальним зі збільшенням амплітуди. Така ж поведінка у вертольота і по крену, але рульової гвинт значно впливає на коливальний рух по крену. Отже, вертоліт на режимі висіння динамічно нестійкий по тангажу і крену.

Нестійкість можна зменшити збільшенням моменту інерції лопатей несучого гвинта щодо ГШ (збільшенням маси лопаті), збільшенням висоти несучого гвинта над ЦТ вертольота, збільшенням розносу ГШ і зменшенням моменту інерції фюзеляжу.

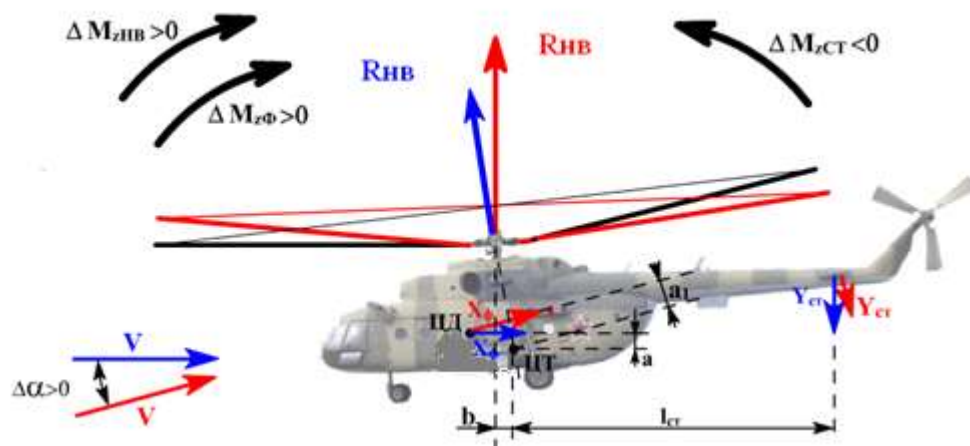
За кутку нищпорення і висоті висіння вертоліт нейтральний - він не прагнути відновити заданий курс і висоту. Курс і висота будуть змінюватися до тих пір, поки діє обурення. Це відбувається через наявність демпфірування у гвинтів при переміщенні їх уздовж осі обертання. Тому рульової гвинт створює великий демпфуючий момент нищпорення, а несучий гвинт - демпфуючу силу при вертикальних переміщеннях.

При зовнішньому впливі в поздовжньому русі вертольота спочатку можуть виникнути відхилення за кутом атаки або величиною швидкості польоту. У сталого вертольота ці відхилення після припинення дії збурень з плином часу зникають і вертоліт відновлює вихідний режим польоту.

### Поздовжньої статичної СТІЙКІСТЬ

#### Поздовжньої статичної СТІЙКІСТЬ ПО РОЗІ АТАКИ

Під поздовжньої статичної устійчивістю по куту атаки розуміють початкову тенденцію вертольота при випадковій зміні кута атаки повернутися під впливом аеродинамічних сил і їх моментів до вихідного його значенням. Фізично це означає, що на стійкому вертольоті при випадковій зміні кута атаки повинен виникнути поздовжній момент ( $M_z$ ), Який буде прагнути повернути вертоліт до вихідного кута атаки.



**Рис. Вплив випадкового збільшення кута атаки на  
і зміну продольних моментів несучого гвинта, фюзеляжу і  
стабілізатора**

Результуючий поздовжній момент складається з моментів аеродинамічних сил НВ, фюзеляжу і стабілізатора.

Несучий гвинт сприяє статичній нестійкості вертольота за кутом атаки у всьому діапазоні швидкостей. При збільшенні кута атаки результуюча сила тяги НВ відхиляється назад і дає приріст поздовжнього моменту, спрямований на подальше збільшення кута атаки. Дестабілізуючий момент НВ пропорційний тязі НВ, кутку її відхилення та вертикальній центрі.

Фюзеляж вертольота (без стабілізатора) також сприяє статичній нестійкості по куту атаки. Центр тиску фюзеляжу зазвичай розташовується попереду центру мас, тому при збільшенні кута атаки буде появлятися додатковий позитивний момент, що сприяє подальшому збільшенню кута атаки.

Стабілізатор сприяє підвищенню статичної стійкості вертольота за кутом атаки, тому що при збільшенні кута атаки вертольота зростає і місцевий кут атаки стабілізатора. В результаті відповідної зміни підйомної сили стабілізатора створюється додатковий момент, спрямований на відновлення вихідного кута атаки.

Ступінь статичної стійкості по куту атаки істотно залежить від поздовжньої і вертикальної центровок.

Вертоліт Мі-8МТВ у всьому експлуатаційному діапазоні швидкостей польоту володіє незначним ступенем статичної стійкості по куту атаки.

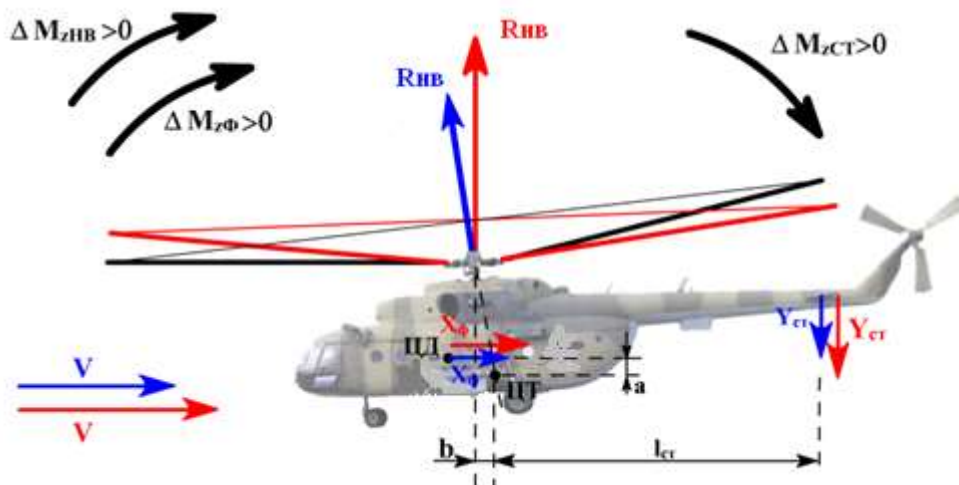
**Поздовжньої статичної УСТОЙЧИВОСТІ ПО ШВИДКОСТІ ПОЛЬОТУ**

Під поздовжньої статичної устійчивістю по швидкості польоту розуміють початкову тенденцію вертольота при випадковому її зміні повернутися під впливом аеродинамічних сил і їх моментів до початкового значення швидкості польоту. Фізично це означає, що на стійкому вертольоті при випадковій зміні швидкості польоту повинен виникнути поздовжній момент

( $M_z$ ), Який буде прагнути повернути вертоліт до вихідної швидкості польоту.

Результуючий поздовжній момент складається з моментів аеродинамічних сил НВ, фюзеляжу і стабілізатора.

Несучий гвинт сприяє статичній стійкості вертольота за швидкістю польоту в усьому діапазоні швидкостей. При збільшенні кута атаки результуюча сила тяги НВ відхиляється назад, створюючи позитивний приріст поздовжнього моменту. Цей приріст викликає збільшення кута тангажу вертольота на кабрування, а отже зменшення швидкості польоту.



**Рис. Вплив випадкового збільшення швидкості польоту на зміну  
подовжніх  
моментів несучого гвинта, фюзеляжу і стабілізатора**

Фюзеляж вертольота сприяє статичної стійкості по швидкості, внаслідок зміни сили лобового опору. Однак на великих швидкостях польоту, дестабілізуючий момент сили лобового опору фюзеляжу при збільшенні швидкості помітно зростає і сприяє нестійкості вертольота.

Стабілізатор сприяє стійкості вертольота за швидкістю з урахуванням того, що на моторних режимах польоту його підйомна сила спрямована вниз. Тому при збільшенні швидкості польоту зростає кабіруючий момент від стабілізатора, а при зменшенні - падає.

### **БОКОВАЯ СТАТИЧНА СТИЙКІСТЬ**

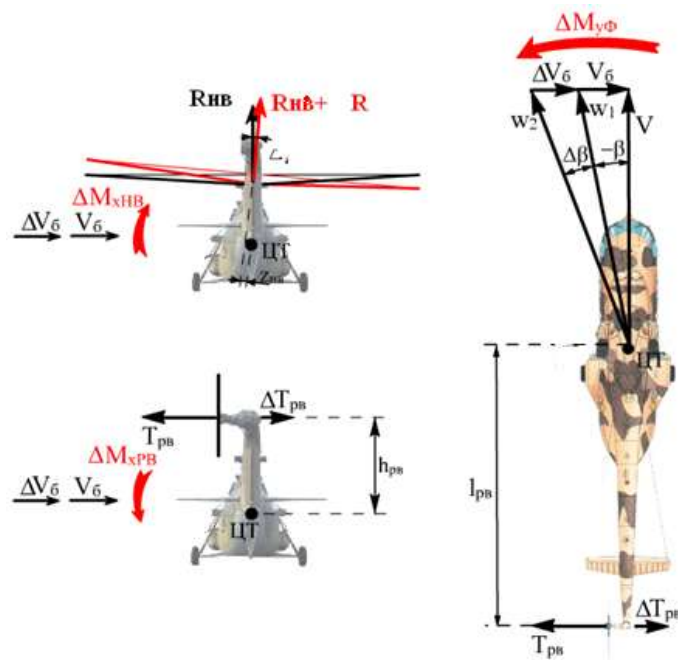
Зміна кута ковзання вертольота призводить до одночасної зміни як моментів нишпорення  $M_x$ , Так і моментів крену  $M_x$ . Останнє обумовлює рух крену, і навпаки, рух вертольота по крену, викликає рух нишпорення. Взаємозв'язок цих рухів у міру збільшення швидкості польоту безперервно зростає. Тому ці два види руху не можна розглядати окремо, про них говорять, як про єдиний - бічному русі вертольота.

### **СТАТИЧНА СТИЙКІСТЬ ПО РОЗІ КОВЗАННЯ (Шляхова стійкість).**

Під статичної шляхової стійкістю розуміють початкову тенденцію вертольота відновлювати вихідний кут ковзання після випадкового його зміни.

На висінні в штиль вертолiт за кутом нишпорення (поняття кут ковзання тут відсутня) статично нейтральний, тому що після випадкового зміни кута рискання (курсу) шляхові моменти від фюзеляжу і рульового гвинта не змінюються і вертолiт залишається в новому положенні.

При поривах вітру зліва і справа (малій швидкості) зміна моментів від тяги РВ і бічний сили фюзеляжу викликають розворот вертольота на вітер, тобто вертолiт є статично стійким. При великих швидкостях вітру справа ( $U > 5 \text{ м / с}$ ) тяга РВ падає і вертолiт стає нестійким в дорожньому відношенні (розгортається хвостом на вітер).



**Рис. Схема зміни колійного і поперечного моментів при появі ковзання вліво**

При польоті вперед всі вертольоти мають статичної шляхової стійкості. Цьому сприяє РВ, кіль, а також фюзеляж, якщо центр тиску в бічному русі розташований позаду центру мас (у вертольота Мі-8 МТВ це спостерігається на всіх основних режимах польоту).

Статична шляхова стійкість збільшується з ростом швидкості польоту і негативного кута атаки фюзеляжу.

#### **Поперечної стійкості ПОУГЛУ КОВЗАННЯ**

Під статичної поперечної стійкості розуміють прагнення вертольота відновити вихідний кут крену після випадкового його зміни. Вертоліт безпосередньо на появу крену не реагує, але зміна крену веде до зміни рівноваги бічних сил і появи ковзання, яке призводить до появи поперечних моментів.

Всі елементи вертольота сприяють статичної поперечної стійкості, яка збільшується зі збільшенням швидкості польоту і кута атаки вертольота.

Вертоліт Мі 8МТВ у всьому діапазоні швидкостей польоту має досить великим ступенем статичної стійкості по куту ковзання і крену. При досить великих витратах ручки в поперечному напрямку на одиницю кута крену при ковзанні стійкість зменшується, а при нахилі 9-140 вертоліт стає нейтральним в поперечному відношенні.

#### **ДИНАМІЧНА СТІЙКІСТЬ**

Під динамічною стійкістю вертольота розуміють його здатність самостійно (без втручання льотчика) після припинення дії зовнішніх збурень повертатися до вихідного режиму польоту при випадковому його зміні.

Поздовжнє рух вертольота (без автопілота) зазвичай являє коливальний процес, в якому можна виділити два види коливань:

- короткоперіодические з періодом коливань 0,5-3с;

- длінноперіодіческіє з періодом 10-50с.

Перші пов'язані з обертанням вертольота навколо центра мас, другі - зі зміною траєкторії руху центру мас внаслідок зміни величини і напрямку швидкості польоту. Вертолїт є нестійким на висінні літальним апаратом. Однак, період поздовжніх коливань вертольота на висінні досить великий (12-16с), а час подвоєння амплїтуди одно 3,5-4с, тому льотчик встигає відхиленням важелів управління погасити виникає рух.

У міру збільшення швидкості польоту нестійкість поздовжнього руху вертольота зменшується, тому що зменшуються характеристики нестійкості по куту атаки і збільшується демпфірування.

Поведінка вертольота в процесі бічного обуреного руху визначається в кінцевому рахунку величиною і співвідношенням ступенів його поперечної і шляхової стійкості, інерційними характеристиками.

На висінні і малих швидкостях польоту (до 30-40 км / ч) бічний рух усіх одновинтових вертольотів коливально нестійкий внаслідок того, що на цих режимах взаємозв'язок рухів крену і нишпорення ще не велика, а рух по крену нестійкий.

На великих швидкостях польоту все вертольоти володіють стійкістю бічного обуреного коливального руху, тому що збільшується колійна і поперечна стійкість і демпфірування.

Рух вертольота Мі - 8МТВ після обурення має явно виражений коливальний характер по швидкості, кутів крену і тангажа зі змінною за часом амплїтудою цих параметрів. Крім того, спостерігається повільний апериодический догляд вертольота з режиму. Тобто, вертолїт Мі-8МТВ не володіє динамічною стійкістю у всьому діапазоні швидкостей польоту, в тому числі і на висінні. Разом з тим, ступінь динамічної нестійкості вертольота цілком прийнятна, про що говорить досить великий час польоту вертольота з звільненням управління в спокійній атмосфері при досягненні зміни кута нахилу на 100 як найбільш швидкоплинний параметра (без автопілота) - дві і більше хвилини. З включенням автопілота характеристики обуреного руху вертольота поліпшуються і пілотування вертольота значно спрощується.