

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

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни
«Принципи польоту: вертоліт Мі-2»
обов'язкових компонент освітньо-професійної програми першого
(бакалаврського) рівня вищої освіти

Аеронавігація

за темою № 14 – Складні та аварійні ситуації на землі

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2023 № 7

СХВАЛЕНО

Педагогічною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Протокол від 28.08.2023 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії Аеронавігації
протокол від 14.06.2023 № 13

Розробники:

1. Викладач циклової комісії аеронавігації, спеціаліст 2-й категорії Ємець В.В.

Рецензенти:

1. Викладач циклової комісії аеронавігації, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, професор 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. Перекидання вертольоту на землі
2. Дії пілота
3. «Земний резонанс»
 - 3.1 Фізична сутність «земного резонансу»
 - 3.2 Умови виникнення «земного резонансу»
 - 3.3 Ознаки виникнення «земного резонансу» і дії пілота

Рекомендована література

Основна

1. Зінченко А.Г., Бурсала О.О., Бурсала О.Л. та ін., Аеродинаміка та динаміка польоту вертольота, ч.1. Аеродинаміка вертольота: навч. посіб. – Х.:ХНУПС, 2017.
2. Зінченко А.Г., Бурсала О.О., Бурсала О.Л. та ін., Аеродинаміка та динаміка польоту вертольоту, ч.2. Динаміка польоту вертольота: навч. посіб. – Х.:ХНУПС, 2010.
3. Костенко В.М., Алімпієв А.М., Котов О.Б. та ін., Практична аеродинаміка навчального вертольота Мі-2: підр. – Х.:ХНУПС, 2016
4. Керівництво з льотної експлуатації вертольоту Мі-2.

Додаткова

Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. Перекидання вертольоту на землі

$$G \cdot l_G + Z \cdot h_Z > T_{PB} \cdot h_{PB} + Y \cdot l_y$$

При порушенні цієї нерівності може статися перекидання вертольота.

2. Дії пілота

Щоб не сталося перекидання вертольота на рулюванні, пілоту необхідно знати:

1. Рулювання виконувати при мінімальному кроці НВ, для дотримання умови: $Y < G$.
2. Керувати можна тільки по рівному і твердому ґрунті, майданчик повинен бути з ухилом не більше 3° т.к. при крен вертольота зменшується стабілізуючий момент через зменшення плеча l_G (рис.1), майданчик з лівим ухилом, більш небезпечна, ніж з правим, тому перекидаючий момент $T_{PB}h_{PB}$, спрямований вліво.
3. Збільшення завантаження і заправки палива збільшує стабілізуючий момент $G \cdot l_G$.
4. При недостатньому відхиленні РЦШ вправо і значному відхиленні правої педалі збільшується перекидаючий момент.
5. Бічний вітер не повинен перевищувати **10 м/с**, так як він створює додатковий перекидаючий момент і розгортає вертолёт проти вітру, при вітрі зліва для витримки напрямку пілот змушений відхиляти праву педаль, збільшувати тягу РВ - збільшується перекидаючий момент вліво. РЦШ необхідно відхиляти проти вітру.
6. При виконанні розвороту з'являється відцентрова сила, яка створює перекидаючий момент. Чим більше швидкість рулювання і менше радіус розвороту, тим більше перекидаючий момент, особливо небезпечний розворот вправо. При розвороті вправо перекидаючий момент від рульового гвинта посилюється перекидаючим моментом відцентрової сили.

Для виконання рулювання необхідно прибрати колодки з-під коліс, оглянути передню півсферу, розгальмувати колеса, підняти важіль крок-газ з одночасним відхиленням РЦШ від себе. Вирулювати зі стоянки і зарулює на стоянку можна тільки по команді авіатехніка, що стоїть попереду.

Страгивание з місця вимагає більше потужності, ніж для рулювання, особливо при стоянці на ґрунті. На початку рулювання необхідно перевірити гальма коліс. Швидкість рулювання не повинна перевищувати швидкості людини, яка швидко йде. Швидкість регулюється відхиленням РЦШ і кроком, а напрямок педалями. Розвороти виконувати на мінімальній швидкості з достатнім радіусом. При виникненні «юза» і прагнення до перекидання, необхідно РЦШ відхилити в сторону протилежну крену, зменшити крок НВ і відхилити педаль в сторону «юза».

При виникненні крену на руленні, забороняється його зменшувати за допомогою збільшення кроку, так як це сприяє зменшенню стабілізуючого моменту і збільшенню небезпеки перекидання.

3. «Земний резонанс»

3.1 Фізична сутність «земного резонансу»

«Земний резонанс» - це збіг частот коливань НВ з частотою власних коливань вертольота, що знаходиться на землі, коли амортизатори частково розтиснені і енергія коливань не може розсіюватися через амортизатори. Ці коливання відносяться до самозбуджуючих, вони відбуваються тільки в поперечній площині. З'явився «земний резонанс» внаслідок впровадження в конструкцію НВ вертикальних шарнірів. Він виникає при певних умовах, при знаходженні вертольота на землі в зваженому стані.

У польоті лопаті НВ робить коливання навколо вертикальних шарнірів за рахунок сил Коріоліса, а так само за рахунок зміни профільного опору лопаті, в залежності від її азимутального положення. Але ці коливання незначні тому більших обертів НВ створюють великі відцентрові сили, які утримують лопаті НВ вертольоту Мі-2 під кутом 120° один до одного, центр мас всіх лопатей збігається з центром обертання НВ - коливань немає.

Під час руху вертольота по землі (рулювання, розбіг, пробіг) обороти НВ менше ніж в польоті, менше відцентрові сили, виникають коливання вертольота через нерівності ґрунту, при цьому лопаті можуть виявитися в різних положеннях щодо вертикальних шарнірів, т.е. між лопатями буде кут не 120° , а більше або менше (рис.2). Лінії, що з'єднують центри мас лопатей утворюють нерівносторонній трикутник, центр мас НВ визначається на перетині медіан (ліній з'єднують кут трикутника з серединою протилежної сторони).

Загальний центр мас НВ зміщується від осі обертання НВ і буде рухатися по складній замкнутої траєкторії. На втулці НВ з'явиться невіднована відцентрова сила $R_{цв}$, яка і розгойдує несучу систему з певною частотою, джерелом енергії коливань є двигуни. Разом з несучою системою розгойдується вертолїт.

При невеликій частоті обертання НВ з обтиснутими амортизаторами шасі коливання вертольота демфіруючими амортизаторами, пневматиками коліс і гідродемферами вертикальних шарнірів і частота коливань вертольота не збігається з частотою коливань НВ - резонансу немає.

При збільшенні кроку НВ (рулювання по нерівному ґрунту) невіднована відцентрова сила зростає, а «робота» демфіруючими сил зменшується через зростання підйомної сили НВ і зменшення обтиску амортизаторів і пневматиків коліс. При недостатньо обтиснутих амортизаторах змінюється частота коливань вертольота і вона може збігтися з частотою коливань несучої системи, виникне резонанс цих частот - «земний резонанс». Коливання вертольота різко зростуть і при бездіяльності пілота можуть дійти до такого рівня, що призведуть до руйнування вертольота.

Рульовий гвинт, як потужний гіроскоп, буде відставати від поперечних коливань вертольота і може статися деформація або навіть руйнування хвостової балки.

3.2 Умови виникнення «земного резонансу»

Він може виникнути при порушенні правил експлуатації амортизаторів (особливо в літний період, коли за рахунок підвищення температури знижується в'язкість гідромастила), пневматиків коліс і гідродемферов вертикальних шарнірів.

Причиною початку коливань можуть бути:

- порив вітру;
- різке і значне відхилення РЦШ від нейтрального положення;
- наїзд на купину при русі на великій швидкості;
- посадка з пробігом або зліт з розгоном по не рівній майданчику.

Виникненню «земного резонансу» сприяють:

- великий спільний крок НВ при русі вертольота по землі;
- висока температура повітря - зменшується в'язкість масла в гідродемферах.

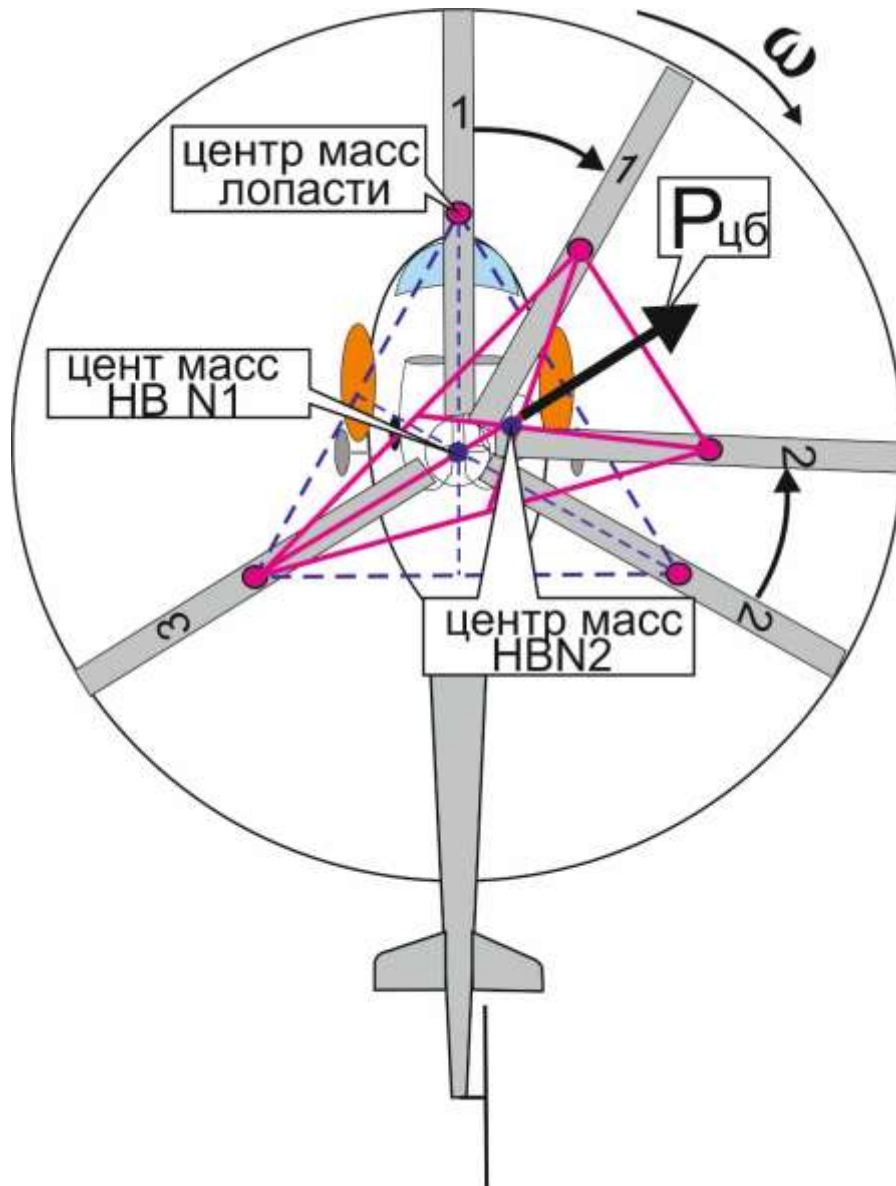


Рисунок 2. Земний резонанс.

3.3 Ознаки виникнення «земного резонансу» і дії пілота

При запуску двигуна, при русі вертольота по землі або при вертикальній посадці вертоліт мимовільно починає розгойдуватися з наростаючою амплітудою.

Дії пілота при виникненні «земного резонансу»:

Дії пілота повинні бути спрямовані на зменшення підведення енергії для розвитку коливань і усунення причин викликають коливання лопатей щодо вертикальних шарнірів. З огляду на швидкий розвиток «земного резонансу» (від початку до руйнування вертольота 6-7 сек.) Дії пілота повинні бути своєчасними і швидкими.

Пілотові необхідно:

1. Повністю вивести корекцію газу на мінімальні обороти і одночасно

енергійно опустити важіль «крок-газ» вниз до упору - зменшується підведення енергії для розвитку коливань, збільшується робота сил демфіруючими коливання.

2. Встановити РЦШ в нейтральне положення - зменшується розбалансування НВ.

Якщо «земної резонанс» виник при русі вертольота по землі, то крім зазначених дій необхідно зменшити швидкість руху гальмуванням коліс (не можна гальмувати відхиленням РЦШ «до себе») при необхідності до повної зупинки.

Якщо після зазначених дій поперечні коливання не припинилися - вимкнути двигуни. Після припинення «земного резонансу» зліт забороняється, необхідно ретельно оглянути вертоліт.

Заходи щодо запобігання виникненню «земного резонансу»:

1. Дотримуватися правил експлуатації амортизаторів, пневматиків коліс і гідродемферов вертикальних шарнірів.
2. Дотримуйтесь обмежень по швидкості рулювання і швидкості вітру при русі.
3. Чи не рулить при великому кроці НВ по нерівному ґрунту.
4. Чи не перевищувати рекомендовані швидкості при зльоті з розгоном і посадці з пробігом.
5. При зльоті і посадці по вертолітному не утримувати вертоліт в підвішеному стані тривалий час.