

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

Циклова комісія аеронавігації

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни
ПРИНЦИПИ ПОЛЬОТУ
(Аерогідрогазодинаміка)
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
Аеронавігація
272 Авіаційний транспорт

за ТЕМОЮ 8- Аеродинамічні характеристики несучого гвинта вертольоту

Вінниця 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

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

СХВАЛЕНО

Методичною радою Кременчуцького
льотного коледжу Харківського
національного університету внутрішніх
справ
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 28.08.2023 № 1*

Розробник: професор навчального відділу КЛК ХНУВС, викладач циклової комісії аеронавігації, к. т. н., с. н. с., спеціаліст вищої категорії, викладач – методист, Тягній В. Г.

Рецензенти:

1 Головний науковий співробітник ТОВ «Науково-виробниче об'єднання» «АВІА», к.т.н., с.н.с., Зінченко В. П.

2 Професор навчального відділу КЛК ХНУВС, викладач-методист циклової комісії енергозабезпечення та систем управління, к. т. н., професор, спеціаліст вищої категорії, Гаврилюк Ю. М.

ЛЕКЦІЯ 8.1: Призначення, класифікація, види і основні елементи НГ вертольоту

План лекції:

- 1 Основні відомості про НГ вертольоту: призначення, класифікація і основні елементи НГ.
- 2 Геометричні характеристики і кінематичні параметри НГ.

Рекомендована література:

Основна:

1. Котельніков Г. Н., Мамлюк О. В., Аеродинаміка літальних апаратів. Підручник. -К.: Вища школа, 2002. – 255 с.
2. Навчальний посібник «Аеродинаміка та динаміка польоту вертольота». Частина I, «Аеродинаміка вертольота» / А. Г. Зінченко, О. О. Бурсала, О. Л. Бурсала та ін.; за заг. ред. А. Г. Зінченка. – Х.: ХНУПС, 2016.–402 с.: іл.
3. Навчальний посібник «Аеродинаміка та динаміка польоту вертольота». Часть II, «Динаміка польоту вертольота». / А. Г. Зінченко, І. Б. Ковтонюк, В. М. Костенко та ін.; за загальною редакцією В. М. Костенка та І. Б. Ковтонюка. – Х.: ХУПС, 2010. – 272 с.: іл.
4. Опорний конспект з навчальної дисципліни «Аеродинаміка, динаміка польоту та практична аеродинаміка». Частина I «Аеродинаміка вертольоту». Автор: Пчельников С. І.
5. Опорний конспект з навчальної дисципліни «Аеродинаміка, динаміка польоту та практична аеродинаміка». Частина II «Динаміка польоту». Автор: Пчельников С.І.
6. Аеродинаміка літальних апаратів: навчальний посібник /О.О. Бурсала. А. Г. Зінченко, Є. Ю. Іленко, І. Б. Ковтонюк, А. Л. Сушко – Х.: ХУПС, 2015. -333 с.: іл.
7. Лебідь В. Г., Миргород Ю. І., Аерогідрогазодинаміка. Підручник Х.: ХУПС, 2006. – 350 с.
8. Тягній В. Г., Ємець В. В., Основи аеродинаміки та динаміки польоту, частина I, Аерогідрогазодинаміка. Навчальний посібник, КЛК ХНУВС, 2022. – 384 с.

Допоміжна:

1. Ковалев Е. Д., Удовенко В. А., Основи аеродинаміки і динаміка польоту легких вертольотів. Навчальний посібник. - Х.: КБ Аерокоптер, 2008. – 280 с.

Інформаційні ресурси

Інформаційні ресурси в Інтернеті

<http://csm.kiev.ua/nd/nd.php?b=1>

Технічні засоби

- 1 Багатофункціональний плазмовий телевізор.
- 2 Персональний комп'ютер.
- 3 Мультимедійний проектор.

Наочні посібники

- 1 Опорний конспект лекцій.
- 2 Електронний конспект лекцій.
- 3 Презентація окремих тем дисципліни.
- 4 Схеми та таблиці по темам дисципліни.
- 5 Зразки інформаційної та службової документації.
- 6 Навчальні фільми за тематикою дисципліни «Принципи польоту (Аерогідрогазодинаміка)».
- 7 Стенди і плакати за тематикою дисципліни Принципи польоту (Аерогідрогазодинаміка)».
- 8 Курс лекцій по дисципліні «Принципи польоту (Аерогідрогазодинаміка)»
- 9 Начальний посібник по дисципліні “Аерогідрогазодинаміка”.

Текст лекції

ЛЕКЦІЯ 8.1: ПРИЗНАЧЕННЯ, КЛАСИФІКАЦІЯ, ВИДИ І ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ НГ ВЕРТОЛЬОТУ

План лекції:

8.1.1 Основні відомості про НГ вертольоту: призначення, класифікація і його основні елементи

8.1.2 Геометричні характеристики і кінематичні параметри НГ

8.1.1 Основні відомості про НГ вертольоту: призначення, класифікація і його основні елементи

8.1.1.1 Призначення НГ вертольоту

Несучий гвинт вертольоту є основним конструктивним елементом вертольоту, який аналогічно крилу створює підйомну силу, рушійну (*пропульсивну*) силу, аналогічно тязі двигунів і керуючі моменти аналогічно механізації крила і керуючих поверхонь хвостового оперення літака.

8.1.1.2 Види, класифікація та основні конструктивні елементи НГ

8.1.1.2.1 За способом передачі крутного моменту

За способом передачі крутного моменту від двигуна на НГ вертольоти поділяються на види (рис 8.1.1):

- з механічним приводом від поршневих двигунів через муфту зчеплення;
- з газодинамічним приводом від турбогвинтових двигунів через вільну турбіну;
- з реактивним приводом від реактивних двигунів встановлених на кінцях лопатей НГ.

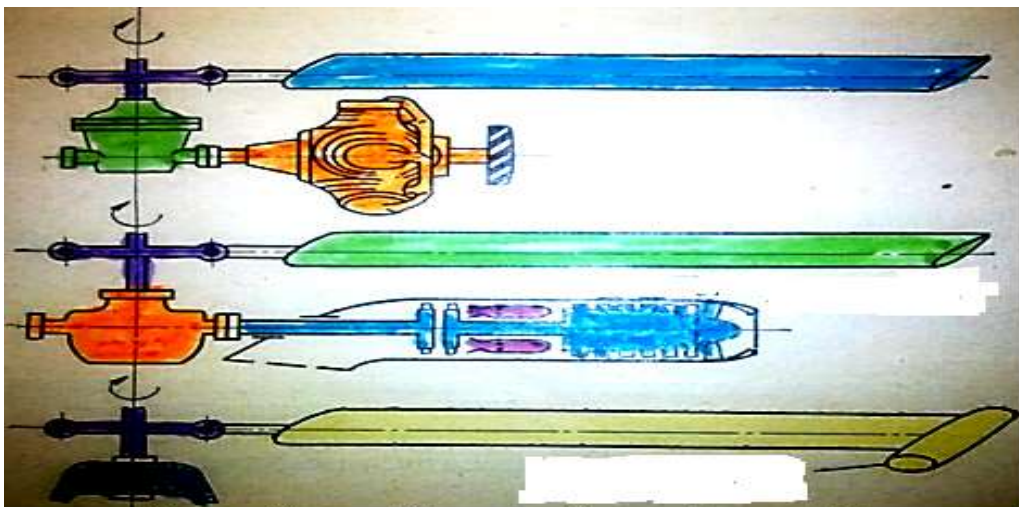


Рис 8.1.1 Схема способів передачі крутячого моменту до втулки НГ

НГ складається з лопатей, закріплених на втулці, посадженою на вал головного редуктора вертольоту. Лопаті до втулки *НГ* кріпляться за допомогою шарнірів або пружних елементів.

8.1.1.2.2 За способом кріплення лопатей до втулки *НГ*

За способом кріплення лопатей до втулки *НГ* розрізняються (рис 8.1.2):

- з шорстким кріпленням лопатей;
- з пружним кріпленням лопатей;
- з шарнірним кріпленням лопатей.

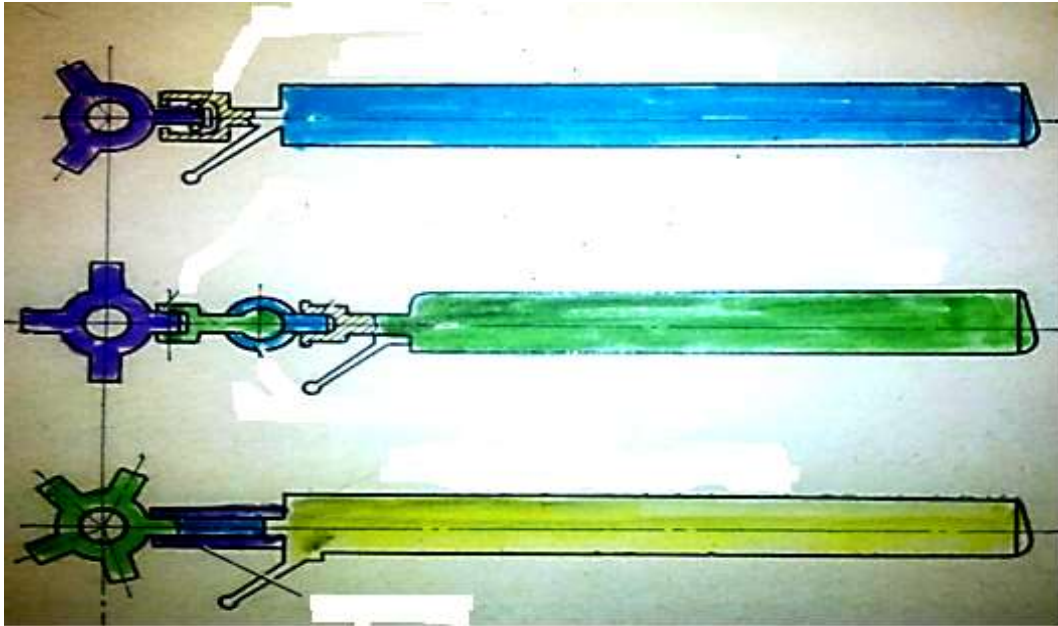


Рис 8.1.2 Схема способів кріплення лопатей до втулки *НГ*

У вітчизняному вертольотобудуванні найбільшого поширення набув *НГ* з 3-х шарнірних кріпленням лопатей на втулці *НГ*. Лопаті *НГ* з шарнірним кріпленням лопатей здійснюють в польоті складний просторовий рух:

- обертаються навколо вісі *НГ*;
- переміщаються разом з вертольотом в просторі;
- змінюють своє кутове положення щодо шарнірів (здійснюють махові і коливальні рухи).

Шарніри втулки *НГ* розташовані на певних відстанях від її центру в послідовності: горизонтальний, вертикальний і вісьовий шарніри:

- вісь **ГШ** знаходиться в площині обертання *НГ* і дозволяє лопаті здійснювати махові рухи у вертикальній площині ($\beta_{л}$).
- вісь **ВШ** розташована паралельно осі обертання *НГ* і дозволяє здійснювати коливальні рухи в площині обертання *НГ* ($\xi_{л}$).

- вісь вісьового шарніру (**Віс.Ш, ОШ**) знаходиться в поздовжній площині лопатей НГ і дозволяє змінювати кути установки перерізів лопатей при керуванні НГ (φ_l).

Віссю симетрії НГ є вісь валу головного редуктора. Площина перпендикулярна вісі обертання НГ і проходить через центр втулки НГ називається площиною обертання.

Несучий гвинт (НГ) характеризується певною сукупністю геометричних і кінематичних характеристик і параметрів.

8.1.2 Геометричні і кінематичні характеристики та параметри НГ

8.1.2.1 Геометричні характеристики НГ

До геометричним характеристикам НГ відносяться величини, що визначають лінійні розміри лопатей і в цілому НГ. Вони при інших рівних умовах істотно впливають на аеродинаміку НГ. Основні геометричні розміри НГ наводяться при нульових значеннях кутів змаху (β_l) і коливання лопатей (ξ_l).

До основних геометричних характеристик НГ відносяться:

- діаметр НГ ($D_{НГ}$);
- ометаєма площа НГ ($F_{НГ}$);
- питоме навантаження на НГ (p);
- коефіцієнт заповнення НГ ($\sigma_{НГ}$);
- розніс горизонтального і вертикального шарнірів втулки НГ - $l_{гш}, l_{вш}$).

1) **Діаметр НГ ($D_{НГ}$)** - це діаметр кола по якій рухаються кінці лопатей при обертанні НГ без їх переміщення в горизонтальній і вертикальній площинах (рис 8.1.3):

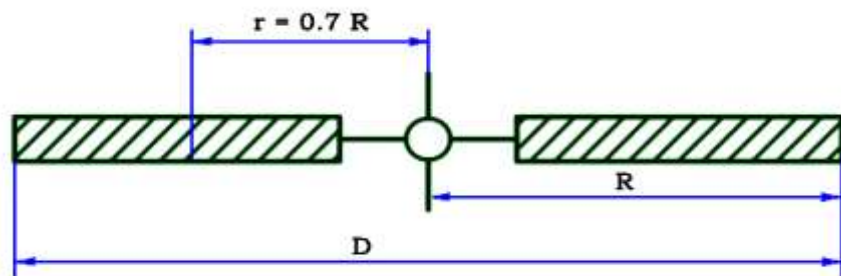


Рис 8.1.3 Схема несучого гвинта

У сучасних вертольотів діаметр НГ дорівнює $D = 13 \dots 35$ м, відносний радіус перетину лопаті позначається $\bar{r} = \frac{r}{R}$. Характерний радіус - $r = 0,7R$.

- 2) **Ометаєма площа ($F_{нГ}$)** - це площа кола, який описують при обертанні $НГ$ кінці лопатей без урахування махових рухів лопатей:

$$F_{нГ} = \pi R^2 = \frac{1}{4} \pi D^2.$$

Ометаєма площа $НГ$ аналогічна площі крила літака.

- 3) **Питоме навантаження на $НГ$ (p)** - відношення маси вертольоту до ометаємої площі $НГ$:

$$p = \frac{M_B}{F_{нГ}} = \frac{G_B}{F_{нГ}}$$

Кількість лопатей сучасних вертольотів дорівнює $z = 2 - 8$ лопатей, їх кількість залежить від маси вертольоту і діаметра $НГ$.

- 4) **Коефіцієнт заповнення ($\sigma_{нГ}$)** - характеризує ступінь заповнення лопатями ометаємої площі $НГ$ і дорівнює відношенню сумарної площі всіх лопатей до ометаємої площі:

$$\sigma = \frac{z_l \cdot F_l}{F_{нГ}} \approx 0,04 \dots 0,12$$

- 5) **Розніс шарнірів:** (горизонтального l_z і вертикального l_g шарнірів)- це відстань від осі відповідного шарніра до осі обертання $НГ$. Часто розглядаються відносні величини:

$$\bar{l}_i = \frac{l_i}{R}$$

У сучасних вітчизняних вертольотів:

$$\bar{l}_z = 0,02 \dots 0,05; \bar{l}_g = 0,04 \dots 0,06$$

1 Задача: 8.1.1:

- 1) Визначити ометаєму площу $НГ$ вертольоту **Ми-8**, питоме навантаження і коефіцієнт заповнення, якщо діаметр $НГ$ рівняється **21,3 м**, маса вертольоту - **12000 кгс**, кількість лопатей - **5**, хорда лопаті складає **580 мм**.

8.1.2.2 Кінематичні параметри $НГ$

До них відносяться:

- частота обертання $НГ$ ($\omega_{нГ}$);
- кут атаки ($\alpha_{нГ}$);
- кути загального і циклічного кроку $НГ$ (φ_0 і $\varphi_{цик}$).

1) **Частота обертання НГ**- ($\omega_{нг}$) - кількість обертань радіан в секунду.

У аеродинаміці вертольоту зазвичай розглядають не частоту обертання, а кількість обертів НГ за секунду (n_c):

$$\omega = 2\pi \cdot n_c$$

$$U = \omega \cdot R - \text{окружна швидкість}$$

$$M = \frac{\omega \cdot R}{a} - \text{число Маха}$$

У сучасних вертольотів $U = 180-220 \text{ м/с}$, $M = 0,5 \dots 0,7$.

На приладовій дошці пілота показчик оборотів НГ показує частоту обертання НГ у відсотках від номінального значення оборотів **НГ**.

2) **Кут атаки НГ**- ($\alpha_{нг}$) це кут між вектором швидкості набігаючого потоку і площиною обертання НГ. Кут атаки вважається позитивним, якщо незбурений повітряний потік набігає на площину НГ знизу (рис 8.1.4).

3) **Кут загального кроку** - (ϕ_0) - являє собою кут установки перерізів всіх лопатей НГ в перерізі на характерному радіусі ($0,7R$), $\phi_0 = 1 \dots 15^\circ$.

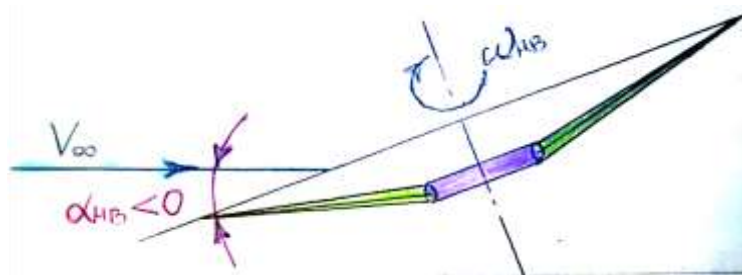


Рис 8.1.4 Схема кута атаки НГ ($\alpha_{нг}$)

4) **Кут циклічного кроку НГ** - ($\phi_{цик}$) - кути установки лопатей НГ у відповідних азимутах. Азимутальний кут ($\psi = 0^\circ$), при відсутності вітру, перебуває над хвостовою балкою і відлік здійснюється за годинниковою стрілкою в послідовності $\psi = 0^\circ - 90^\circ - 180^\circ - 270^\circ - 360^\circ$.

Аеродинамічні характеристики НГ зазвичай розглядаються в зв'язаній системі координат **охуз**. Початок координат розміщується в центрі втулки НГ на осі обертання, поздовжня вісь **ох** спрямована вперед в площині обертання НГ, нормальна вісь **оу** спрямована вгору по осі обертання НГ, поперечна вісь **оз** спрямована вправо, перпендикулярно площині **хоу**. Всі вітчизняні

вертольоти одно гвинтової схеми мають НГ лівого обертання (*НГ обертається за годинниковою стрілкою при погляді зверху*).

При визначенні аеродинамічних характеристик *НГ* на всіх режимах польоту вертольоту часто використовується безрозмірний коефіцієнт протікання потоку повітря через НГ - (λ):

$$\lambda = \frac{V \cdot \sin \alpha_{HB} - v_i}{\omega \cdot R}$$

де

v_i - індуктивна швидкість НГ.

На режимах горизонтального польоту використовують безрозмірну характеристику режиму роботи *НГ* (μ):

$$\mu = \frac{V \cdot \cos \alpha_{HB}}{\omega \cdot R}$$

2 Задачі: 8.1.2:

- 1) Визначити частоту обертання, колову швидкість обертання кінця лопаті НГ і число Маха, якщо число обертання *НГ* вертольоту Мі-24 рівняється **248 об/хв**, діаметр *НГ* - **17,4 м**, висота польоту вертольоту складає **1000 м**.
- 2) Визначити колову швидкість кінця лопаті *НГ*, коефіцієнт протікання і характеристику режиму роботи *НГ* вертольоту **Мі-2**, якщо частота обертання рівняється **26 1/с**, діаметр *НГ* - **14,5 м**, швидкість горизонтального польоту вертольоту рівняється **210 км/год**, кут атаки НГ - **5°**, індуктивна швидкість відкидання маси повітря рівняється **10 м/с**.