

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

**Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання**

## **ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

навчальної дисципліни  
**«Вступ до спеціальності (Основи авіації МВС України)»**  
обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми  
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

***173 Авіоніка  
(Авіоніка)***

**за темою № 4 - Принцип керування гелікоптером автомат перекосу**

**Кременчук 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 авіаційного і радіоелектронного обладнання, протокол від 28.08.2023р № 1

#### ***Розробники:***

- 1. Викладач циклової комісії Авіаційного та радіоелектронного обладнання, спеціаліст вищої категорії Хебда А.С.*
- 2. Викладач циклової комісії Авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., доцент, спеціаліст вищої категорії, Юрко О.О.*

#### ***Рецензенти:***

- 1. К.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання Шмельов Ю.М.*
- 2. Заступник директора з ОЛР, командир авіаційного загону ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Гетьман Ю.Ю.*

### **План лекції:**

1. Повітряний гвинт.
2. Крок гвинта.
3. Автомат перекосу.
4. Класифікація вертольотів.

### **Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в Інтернеті**

#### **Основна:**

1. Савін В. С. Авіація в Україні: Нариси історії. Харків: Основа, 1995. 264 с.
2. Матвійчук А. Я., Стінянський В. Л. Електротехніка: навчально-методичний посібник. Вінниця, 2017. 270 с.
3. Харченко В. П., Остроумов І. В. Авіоніка: навч. посіб.. Київ: НАУ, 2013. 272 с.

#### **Допоміжна:**

1. Стущанський Ю. В. Комп'ютерні інтегровані системи авіоніки. Навчальний посібник. Кременчук: КЛК НАУ, 2011. 180 с.
2. Закон України «Про загальну структуру і чисельність Міністерства внутрішніх справ України».

#### **Інформаційні ресурси в Інтернеті**

1. Офіційний сайт Портал МВС. Авіація МВС Режим доступу: <https://mvs.gov.ua/uk/ministry/aviaciya-mvs>.
2. Офіційний сайт Державної Авіаційної Служби України. Режим доступу: <https://avia.gov.ua/>

## Текст лекції

### 1. Повітряний гвинт.

Рушієм вертольота (пристроєм, що перетворює роботу двигуна в роботу, що забезпечує рух) є повітряний гвинт.

Повітряний гвинт - пропелер – створює при обертанні аеродинамічну силу  $T_a$  (рис. 1, а), яка є тягою літака з гвинтокорилою силовою установкою або підйомною силою і тягою у вертольота. Лопать гвинта можна розглядати як крило, яке вчиняє обертальний (щодо осі втулки гвинта) і поступальний (в напрямку, перпендикулярному до площини обертання) руху.

При роботі гвинта на місці (в режимі вентилятора) потік обтікає елемент лопаті під кутом атаки  $\alpha$ , відрізняється від кута установки (установчого кута перетину гвинта)  $\phi$  на кут  $\beta$ , званий кутом притікання струменя.

При роботі гвинта на місці (в режимі вентилятора) потік обтікає елемент лопаті під кутом атаки  $\alpha$ , відрізняється від кута установки (установчого кута перетину гвинта)  $\phi$  на кут  $\beta$ , званий кутом притікання струменя.

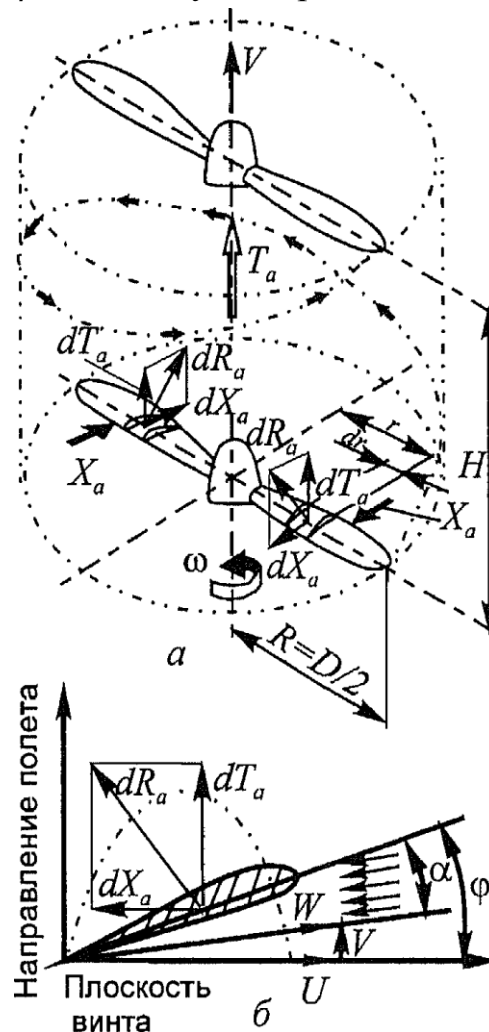


Рисунок 1 – Схема до пояснення принципу роботи гвинта

Змінювати тягу гвинта можна зміною частоти обертання гвинта і кута установки лопаті  $\varphi$ . При збільшенні частоти обертання збільшується не тільки істинна швидкість обтікання лопаті  $W$  за рахунок збільшення окружної швидкості  $U$  (див. рис. 1, б), але і кут атаки лопаті  $\alpha$ .

До збільшення кута атаки лопаті призводить і збільшення кута установки лопаті  $\varphi$  або, як прийнято говорити, збільшення кроку гвинта  $H$  (див. рис. 1, а).

## 2. Крок гвинта.

Теоретичний (геометричний) крок гвинта  $H$  шлях, який пройшов би в осьовому напрямку гвинт за один оборот, якби він угвинчувався в повітря, як в гайку. З розгортки шляху, пройденого за один оборот кінцем лопаті при постійному за розмахом лопаті кута установки, отримаємо

$$\operatorname{tg} \varphi = H / (2\pi R),$$

звідки

$$H = 2\pi R \operatorname{tg} \varphi.$$

Спеціальні механізми, що застосовуються в гвинтах змінного кроку (ГЗК) (рис. 2) дозволяють змінювати крок гвинта (кут установки лопатей  $\varphi$ ), повертаючи щодо поздовжньої осі комель лопаті - її кореневу частину 1, шарнірно закріплену у втулці гвинта 2.

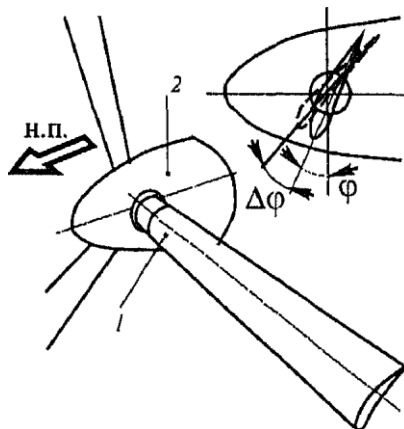


Рисунок 2 – Гвинт змінного кроку

Несучий гвинт (НВ) вертольота. В умовах осьового обдування (швидкість потоку, що набігає перпендикулярна до площини обертання гвинта) НВ вертольота працює тільки на режимах висіння і вертикального зльоту і посадки.

На всіх інших режимах польоту НВ вертольота працює в умовах косого обдування, коли характер обтікання лопатей несучого гвинта періодично змінюється.

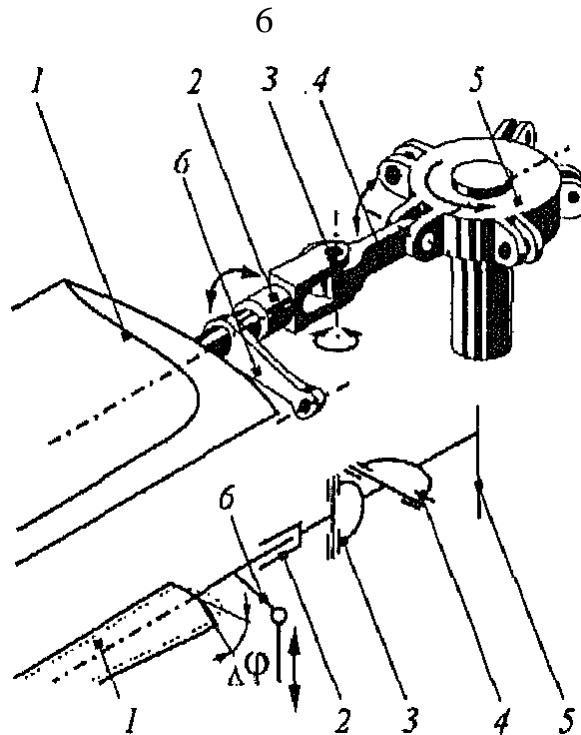


Рисунок 3 – Шарнірне кріплення лопаті несучого гвинта

Періодичність аеродинамічних сил і, відповідно, моментів цих сил на втулці гвинта при жорсткому кріпленні лопаті до втулки гвинта призводить до вібрації і тряски. Для зменшення цих несприятливих явищ застосовують різні способи кріплення лопатей до втулки, через яку при механічному приводі передається крутний момент від двигуна і яка передає на фюзеляж вертольота аеродинамічні і інерційні сили і моменти, що виникають на лопатях несучого гвинта.

Широко поширений шарнірний спосіб (рис. 3) кріплення лопаті 1 несучого гвинта до втулки 5. Для кріплення застосовуються осьовий шарнір 2, який за допомогою важеля зміни кроку лопаті 6 дозволяє змінювати кут її установки  $\Delta\phi$ ; вертикальний (ВШ) 3 і горизонтальний (ГШ) 4 шарніри.

У режимах осьового обдування несучого гвинта (висіння, вертикальний підйом і спуск вертольота) (рис. 4) при шарнірному кріпленні лопатей під дією сили тяжіння лопаті, аеродинамічних сил і відцентрової сили (яка значно більше за інших сил) лопать сама знаходить рівноважний стан, при якому сума моментів сил, що діють на лопать, щодо шарнірів дорівнює нулю. Таким чином, силовий вплив лопаті на втулку зменшується в порівнянні з впливом при жорсткому кріпленні лопатей до втулки. Лопаті при цьому відхиляються щодо ВШ в горизонтальній площині на кут  $\xi$  - кут відставання лопаті і щодо ГШ на кут  $\beta$  у вертикальній площині, в результаті чого рух лопатей відбувається по поверхні конуса. Тому кут  $\beta$  називається кутом конусності або кутом змаху. Він тим більше, чим більше тяга гвинта.

Шарнірна втулка несучого гвинта - один з найскладніших агрегатів вертольота, тому при її проектуванні конструктори, як правило, шукають

нові рішення. З'явилися втулки НВ з суміщеними горизонтальних і вертикальних шарнірами і втулки з сферичними еластомірними підшипниками, які за рахунок еластичності полімерних елементів конструкції забезпечують необхідні кути установки лопатей НВ.

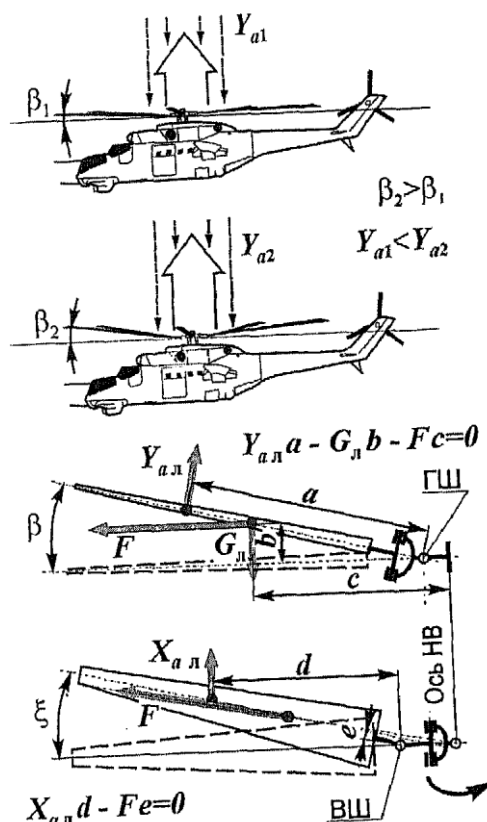


Рисунок 4 – Схеми до пояснення дії шарнірів кріплення лопаті

Переміщення вертольота в вертикальному напрямку відбувається під дією тяги (підйомної сили) несучого гвинта. Щоб збільшити або зменшити цю силу можна зміною потужності двигуна і одночасною зміною кута установки всіх лопатей несучого гвинта - зміною загального кроку гвинта.

Для переміщення вертольота в горизонтальній площині необхідно нахилити вісь конуса, по поверхні якого відбувається рух лопатей несучого гвинта, в напрямку руху. У цій ситуації при косій обдувці лопаті несучого гвинта в процесі обертання обтікаються потоком з різними швидкостями і, отже, на них діють аеродинамічні сили, що змінюються в залежності від азимутального положення лопаті. При цьому виникає махові рухи лопаті у вертикальній площині щодо горизонтального шарніра, причому амплітуда махових рухів лопатей зростає зі збільшенням швидкості польоту.

Коливальні рухи лопатей щодо горизонтального шарніра призводять до появи в площині обертання лопаті (горизонтальній площині) сил, що прагнуть в залежності від напрямку махового руху лопаті (вгору або вниз) прискорити або сповільнити обертання лопаті, так званих коріолісових сил,

які спільно зі змінними по азимуту силами опору викликають коливальні рухи лопаті в горизонтальній площині щодо вертикального шарніра.

Наявність горизонтального і вертикального шарнірів дозволяє за рахунок махового і коливального рухів лопаті значно зменшити нерівномірність силового впливу лопаті на втулку при поступальному русі вертольота і зменшити вібрації і тряску.

Зміна значень аеродинамічних сил на лопатях несучого гвинта в залежності від їх азимутального положення можна зменшити, і змінюючи кут установки лопаті в залежності від її азимутального положення - змінюючи циклічний крок несучого гвинта. У цьому випадку кут установки лопаті автоматично збільшується (поворотом лопаті в осьовому шарнірі), коли результуюча швидкість руху лопаті зменшується; при збільшенні результуючої швидкості лопаті кут її установки зменшується.

Керуючи циклічним кроком несучого гвинта таким чином, щоб для лопаті, спрямованої в бік бажаного горизонтального переміщення вертольота, зменшувався кут установки, а для лопаті, спрямованої в зворотну сторону, кут її установки збільшувався, ми відповідно змінимо підйомні сили лопатей, і вісь конуса гвинта (і, відповідно, тяга) відхилиться в необхідному напрямку.

### **3. Автомат перекоосу.**

Зміна загального і циклічного кроків несучого гвинта вертольота з шарнірним кріпленням лопатей проводиться за допомогою автомата перекоосу, принципова схема якого представлена на рис. 5, а.

Автомат перекоосу розташований на валу (осі обертання) 5 несучого гвинта безпосередньо під його втулкою 4 і являє собою універсальний шарнір, зовнішнє кільце якого при обертанні може переміщатися вгору і вниз уздовж осі обертання несучого гвинта і нахилитися щодо будь-якої осі, що лежить в площині, перпендикулярній до осі обертання 5.

Зовнішнє кільце 6 є обоймою шарикопідшипників і обертається одночасно з валом 5 несучого гвинта за рахунок повідків - тяг 12, що з'єднують кільце з важелями управління кроком 2 лопатей 1 гвинта. Кільце 7, що є внутрішньою обоймою шарикопідшипників, нерухомо в площині обертання зовнішнього кільця, однак ця площину може змінювати своє положення в просторі, повертаючись з допомогою сферичного шарніра 8, яким внутрішнє кільце 7 рухомо з'єднується з повзуном 9, здатним переміщатися уздовж вала 5.



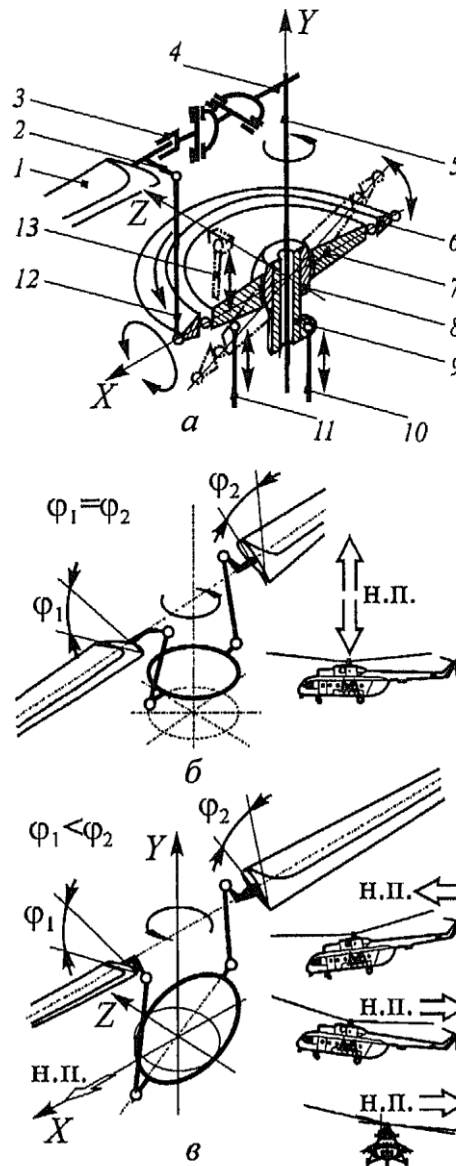


Рисунок 5 – Схеми до пояснення дії автомата перекосу

При переміщенні повзуна за допомогою тяги 10 за рахунок одночасного переміщення поводками 12 важелів 2 управління кроком всі лопаті несучого гвинта повертаються в осьових шарнірах 3 на однакові кути, які при горизонтальному положенні площині зовнішнього кільця не змінюються по азимуту в процесі обертання несучого гвинта. Так здійснюється управління спільним кроком гвинта (рис. 5, б), яке одночасно зі зміною потужності двигуна змінює тягу несучого гвинта і забезпечує режими висіння, вертикального зльоту, набору висоти і посадки.

При відмові двигуна він спеціальної муфтою вільного ходу автоматично відключається від несучого гвинта, а загальний крок несучого гвинта встановлюється таким чином, щоб забезпечити безпечне вертикальне зниження і посадку на режимі авторотації (самообертання) несучого гвинта. Об'єднане управління системою "спільний крок несучого гвинта - двигун"

льотчик здійснює важелем "крок-газ", який пов'язаний проводкою управління з повзуном автомата перекоосу і регулятором насоса подачі палива в двигун.

Зовнішнє кільце 6 автомата перекоосу (див. рис. 5, а) за допомогою тяги 11 можна нахилити щодо осі Z-Z, а за допомогою тяги 13 - щодо осі X-X. В цьому випадку повідки 12, що зв'язують зовнішнє кільце, що обертається 6 з важелями 2 управління кроком, в процесі обертання гвинта будуть циклічно (рис. 5, в) змінювати по азимуту крок лопатей від  $\varphi_1 = \varphi_{\min}$  в напрямку польоту до  $\varphi_2 = \varphi_{\max}$  в протилежному напрямку.

Управління циклічним кроком льотчик здійснює за допомогою ручки поздовжньо-шляхового управління, рух якої вперед-назад або убік призводить до аналогічного переміщенню вертольота.

Необхідно відзначити, що автомат перекоосу, який є найважливішим агрегатом кожного вертольота, винайшов в 1911 р Б.Н. Юр'єв, що був у той час студентом і працював під керівництвом Н.Є. Жуковського в повітроплавного гуртку Московського технічного училища.

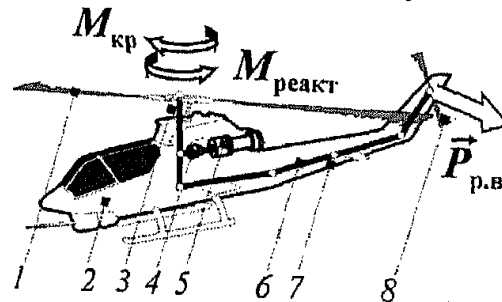


Рисунок 6 – Вертоліт одногвинтової схеми

Несучий гвинт 1 вертольота (рис. 6), управління яким здійснюється за допомогою автомата перекоосу 3, приводиться в дію двигуном 5 через головний редуктор 4 (від лат. Reduktor - відвідний тому, що приводить назад). Редуктор служить для зменшення частоти обертання несучого гвинта в порівнянні з частотою обертання валу двигуна і, отже, збільшення крутного моменту на валу несучого гвинта, щоб подолати момент сил опору несучого гвинта. При передачі крутного моменту  $M_{кр}$  несучого гвинта на фюзеляж вертольота 2 діє реактивний крутний момент  $M_{реакт}$ , який прагне розгорнути фюзеляж в сторону, протилежну напрямку обертання несучого гвинта. Рульовий гвинт 8, встановлений на хвостовій балці 7, приводиться в обертання від двигуна через трансмісію 6. При обертанні рульового гвинта виникає аеродинамічна сила, яка врівноважує реактивний крутний момент. Льотчик за допомогою ногожного управління впливає на механізм зміни кроку рульового гвинта, змінює значення сили  $P$  і розвертає вертоліт щодо вертикальної осі.

Проблема парирування реактивного моменту від рушія - гвинта виникає і на літаках з гвинтокорилою силовою установкою. Однак при однаковій

потужності двигуна  $W$  крутний момент на валу  $M_{кр}$  і, відповідно, реактивний момент  $M_{реакт}$  у вертольота значно більше, ніж у літака, оскільки частота  $\omega$  обертання гвинта літака близько  $2000 \dots 3000 \text{ хв}^{-1}$ , а у вертольота -  $200 \dots 500 \text{ хв}^{-1}$ . Тому ця проблема навіть для одномоторних гвинтових літаків вирішується досить просто, наприклад за рахунок практично непомітної аеродинамічної асиметрії крил, створюють постійний момент крену, зворотний реактивному моменту гвинта.



Рисунок 7 – Класифікація вертольотів за способом компенсації реактивного моменту несучого гвинта

Компенсація великого реактивного моменту, що виникає від роботи несучого гвинта вертольота (тобто балансування вертольота щодо осі  $OY$ ) вимагає спеціальних технічних рішень, і ці рішення фактично визначають обличчя - аеродинамічну схему вертольота (рис. 7).

У вертольотів двогвинтової схеми реактивні моменти від несучих гвинтів компенсуються за рахунок протилежного напрямку їх обертання.

При реактивному приводі несучого гвинта момент від сил опору лопатей (момент опору обертанню) долається моментом тяги реактивних двигунів, встановлених на кінцях лопатей. Це можуть бути реактивні двигуни, до яких через втулку і лопаті несучого гвинта подаються паливо і стиснене повітря (гарячий цикл). Це можуть бути і просто сопла, до яких подається стиснене повітря (холодний цикл).

Оскільки в цих випадках несучий гвинт вільно підвішений на валу, то на корпус вертольота передається тільки відносно невеликий момент сил тертя в підвісці несучого гвинта.

Максимальна швидкість сучасних вертольотів, виконаних по чисто

вертолітній схемі, обмежена виникненням зриву потоку на лопатях несучого гвинта, в тому числі і хвильового зриву при досягненні кінцевими перетинами лопатей швидкостей, відповідних критичному числу  $M$ . Тому вона не перевищує 330 ... 350 км / год.

Відсунути появу зриву потоку на лопатях, до швидкостей 350 ... 400 км / год і, відповідно, збільшити швидкість вертольота можна, якщо застосувати на вертольоті крило літакового типу, яке в горизонтальному польоті створює 30 ... 40% необхідної підйомної сили і розвантажує таким чином несучий гвинт, дозволяючи лопатям несучого гвинта працювати на менших кутах атаки.

Збільшити швидкість ЛА з несучим гвинтом і крилом до 400 ... 500 км / год можна, якщо на режимах горизонтального польоту передати функцію рушія від несучого гвинта до спеціальних тягових гвинтів або реактивним двигунам. В цьому випадку можна використовувати збільшену швидкість польоту для самообертання несучого гвинта і без підведення потужності до нього створювати з його допомогою додаткову підйомну силу. Такі ЛА називаються гвинтокрилами. За дальності і швидкості польоту вони наближаються до транспортних турбогвинтових літаків, поступаючись їм, однак, по собівартості перевезень.