

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

**Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

навчальної дисципліни  
«Аеродинаміка, конструкції і системи вертольотів»  
обов'язкових компонент  
освітньої програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

**Технічне обслуговування та ремонт повітряних суден і авіадвигунів**

**за темою 6 - Крило й оперення ПС**

**Харків 2021**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

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

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 22.09.2021 № 8

Розглянуто на засіданні циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, протокол від 30.08.2021 р. № 1

**Розробник:**

1. Викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки Дерев'янка Іван Григорович
2. Викладач циклової комісії аеронавігації Ножнова Марина Олександрівна
3. Викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки Копичко Руслана Русланівна

**Рецензенти:**

1. Кандидат технічних наук, доцент Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського Павленко Олександр Володимирович.
2. Викладач циклової комісії аеронавігації Кременчуцького льотного коледжу Харківського університету внутрішніх справ, викладач-методист, к.т.н., с.н.с Тягній В.Г.

## План лекції

1. Загальні відомості про крило.

2. Оперення повітряних суден.

## Рекомендована література:

### Основна:

1. Бойко А.П., Мамлюк О.В., Терещенко Ю.М. «Конструкція літальних апаратів», К.: Вища освіта, 2001. – 383 с.
2. Дерев'янюк І.Г.. «Модуль 12. Аеродинаміка, конструкції і системи вертольотів (категорія В1). Конспект лекцій», Кременчук: КЛК НАУ, 2013.

### Допоміжна:

1. Кузнецов А.Н. "Основы конструкции и технической эксплуатации воздушных судов", М., Транспорт, 1990.
2. Комаров А.А. и др. "Конструкция и эксплуатация воздушных судов", М., Транспорт, 1986.
3. Зайцев В.Н., Рудаков В.Л. "Конструкция и прочность самолетов", Киев, Вища школа, 1978.
4. Миртов К.Д. и др. "Конструкция и прочность летательных аппаратов гражданской авиации", М., Машиностроение, 1991.
5. Матвеев А. М. и др. "Системы оборудования летательных аппаратов", М., Машиностроение, 1986.
6. Домотенко М.Т. и др. "Авиационные силовые установки". М., Транспорт, 1976.

## Інформаційні ресурси в Інтернеті:

1. [www.google.com.ua](http://www.google.com.ua), [Www.meta.ua](http://Www.meta.ua), [www.yandex.ua](http://www.yandex.ua) - пошукові ресурси
2. <https://ru.wikipedia.org> - енциклопедія онлайн

## Текст лекції

### 1. Загальні відомості про крило

**Крило**- несуча поверхня, яка створює аеродинамічну підйомну силу, що забезпечує політ літака. Крило також бере участь в забезпеченні поперечної стійкості і керованості літака. Воно може використовуватися для кріплення двигунів, опор шасі, для розміщення палива, обладнання, озброєння та іншої корисної навантаження. Крило має володіти високою несучою здатністю і мінімальним аеродинамічним опором на основних режимах польоту, мати достатню міцність і жорсткість при найменшій масі конструкції, а також хороші технологічні та експлуатаційні якості.

Основними елементами крила є:

#### Обшивка

Зовнішня поверхня крила утворюється обшивкою. У літаків з невеликими швидкостями польоту може використовуватися полотняна обшивка з

бавовняних або синтетичних тканин. На більшості сучасних літаків використовується металева обшивка з алюмінієвих сплавів. На надзвукових швидкостях польоту знаходять застосування обшивки зі сталі або титанових сплавів. Останнім часом все ширше починають використовуватися обшивки з композиційних матеріалів (КМ) - скло, вугле-, боропластики.

Конструктивно обшивка може виготовлятися з металевих листів постійної або змінної товщини. В якості обшивки можуть використовуватися монолітні оребрені панелі, одержувані фрезеруванням, штампуванням або пресуванням, клеєні або зварні панелі зі стільниковим заповнювачем, клеєні панелі з КМ. Поверхня обшивки повинна бути дуже гладкою, допустима шорсткість не більше 5 мкм. З цією метою на обшивку наноситься лакофарбове покриття з наступним поліруванням.

Обшивка повинна забезпечувати герметичність конструкції. Перетікання повітря через щілини в стиках обшивки збільшує опір крила і погіршує його аеродинамічні якості.

Одна обшивка, як правило, не може забезпечити необхідної міцності і жорсткості крила, тому її зсередини доводиться підкріплювати каркасом, що складається з поздовжнього і поперечного набору. До поздовжньому набору відносяться лонжерони, поздовжні стінки і стрингери. Поперечний набір складається з нервюр.

### **Лонжерони**

Лонжерони є тонкостінні силові балки, що складаються з поясів і зв'язують їх стінок.

Лонжерони можуть бути складовими, що збираються з окремих елементів, або монолітними, що виготовляються штампуванням або фрезеруванням у вигляді однієї деталі. Силові елементи лонжеронів виготовляються з високоміцних алюмінієвих сплавів, сталей, титанових сплавів, КМ. При вигині крила пояса лонжерона працюють на розтяг - стиск, а стінка сприймає дотичні зусилля. Для зниження маси конструкції матеріал поясів повинен розташовуватися на найбільшій відстані від нейтральної осі перерізу лонжерона.

У крилах з великою будівельною висотою замість балкових лонжеронів застосовуються лонжерони ферменние

### **Поздовжні стінки**

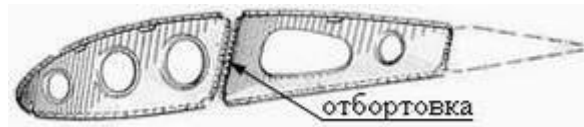
Ставляться для отримання замкнутого контуру крила в разі, коли його хвостова частина вирізана під елерони або закрилки, а також для збільшення жорсткості крила в вертикальному напрямку. Від лонжеронів стінки відрізняються відсутністю силових поясів. Слабкі пояса у вигляді пресованих або гнутих куточків можуть використовуватися для зручності прикльопування до стінки обшивки.

### **Стрингери**

Використовуються для підкріплення обшивки. Конструктивно виконуються у вигляді гнутих чи пресованих профілів різного перетину. Стрингери кріпляться до обшивки і до нервюрам.

## Нервюри

Забезпечують збереження в польоті заданої форми профілю і сприйняття місцевої повітряної навантаження крила. Зазвичай нервюри розрізаються в місцях перетину з лонжеронами і поздовжніми стінками і стикуються з ними по всій висоті за допомогою отбортовок або стійок.



Іноді нервюри розрізаються в площині хорд для поліпшення технологічних властивостей крила.

Найбільшого поширення набули нервюри, що виготовляються штампуванням з листа. Краї нервюр відгинаються для прикльопування до вертикальних стінок і до обшивки. Надлишкова міцність нервюри дозволяє вирізати в ній отвори полегшення. Для підвищення стійкості отвори полегшення отбортовиваються, а в стінці нервюри штампуються глухі канавки - зиги.

У місцях докладання великих зосереджених навантажень встановлюються посилені нервюри.

## 2. Оперення повітряних суден

**Оперення** складають несучі поверхні, призначені для забезпечення поздовжньої і шляхової стійкості і керованості літака. Воно складається зазвичай з горизонтального і вертикального оперень (рис. 4.1). Горизонтальне оперення (ГО) служить для поздовжньої стійкості і керованості літака,

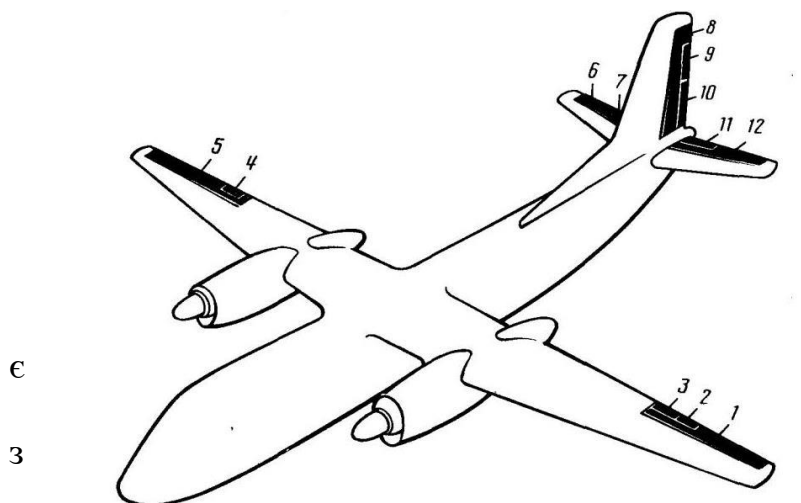


Рис. 4.1. Оперение и элероны самолета:  
1, 5 – элероны; 2 – триммер элеронов; 3, 4 – сервокомпенсаторы элеронов; 6, 12 – рули высоты; 7, 11 – триммеры руля высоты; 8 – руль направления; 9, 10 – триммер и пружинный сервокомпенсатор руля направления

вертикальне оперення (ВО) - для шляхової стійкості і керованості літака.

Горизонтальне оперення складається з стабілізатора і керма висоти (РВ). Стабілізатор зазвичай нерухомою частиною ГО, він спільно РВ забезпечує поздовжню стійкість літака в польоті. Кермо висоти - рухома частина горизонтального оперення, призначена для

керування літаком щодо поперечної осі.

Вертикальне оперення складається з кіля і керма напрямку (РН). Кіль - нерухома частина ВО - спільно з РН забезпечує шляхову і поперечну стійкість

літака в польоті. Кермо напряму є рухомою частиною вертикального оперення, призначеної для керування літаком щодо вертикальної осі.

До рульових поверхнях, крім РВ і РН, відносяться елерони - рухливі частини крила, відхиляються одночасно в протилежні сторони (вгору і вниз), призначені для керування літаком щодо його поздовжньої осі.

Під стійкістю розуміють здатність ВС самостійно, без участі пілота, зберігати заданий стан руху і повертатися до вихідного режиму польоту після мимовільного відхилення, викликаного дією зовнішніх збурень.

Під керованістю ВС розуміють його здатність змінювати режим польоту при відхиленні кермових поверхонь.

*Стійкість і керованість відносяться до найбільш важливих властивостей ВС, від них залежать безпека польоту, простота і точність пілотування.*

За допомогою керма і елеронів забезпечується балансування літака, тобто урівноваження діючих на нього сил і моментів. Досягається балансування відхиленням рульових поверхонь на певний, так званий балансування кут. У нормальних умовах польоту пілот (автопілот) періодично балансує літак кермом висоти в зв'язку зі зміною центрування, викликаного виробленням палива або переміщенням пасажирів і вантажів. У разі відмови двигуна, нерівномірної вироблення палива з лівої і правої половин крила і в деяких інших випадках балансування літака досягається відхиленням керма напряму і елеронів. Балансувальне положення рульових поверхонь бажано мати близьким до їх нейтрального положення. В іншому випадку істотно збільшується лобове опір літака. так,

Таким чином, керма і елерони виконують дві функції: забезпечують рівновагу діючих на літак сил і моментів при польоті в сталому режимі і служать для управління, тобто навмисного порушення цієї рівноваги з метою зміни режиму і траєкторії польоту.

*На вертольотах функції оперення виконують несучі і кермові гвинти, Але часто в якості допоміжних пристроїв застосовується оперення літакового типу.*

Двогвинтовий вертоліт співвісні схеми забезпечується кілем і кермом напрямку, які покращують шляхову стійкість і керованість вертольота; РН, крім того, підвищує шляхову керованість на режимі самоврацання несучого гвинта.

На одnogвинтових вертольотах роль кіля виконує кінцева балка, перетинах якої надається форма несиметричного профілю. Така кільова балка підвищує шляхову стійкість вертольота і розвантажує в горизонтальному польоті рульової гвинт. Кермо напряму на одnogвинтових вертольотах не застосовується, оскільки достатня колійна керованість досягається за допомогою рульового гвинта.

Горизонтальне оперення складається зазвичай з керованого стабілізатора, призначеного для підвищення поздовжньої стійкості вертольота. Стабілізатори можуть передбачатися на вертольотах різних схем. Управління стабілізатором здійснюється через систему управління несучим гвинтом. Деякі вертольоти мають некеровані стабілізатори.

**Конструкція** оперення вертольотів аналогічна конструкції оперення літаків. Оскільки вертольоти мають відносно невеликі швидкості польоту, обшивка оперення може бути полотняною.

**Схеми оперення** розрізняються в основному в залежності від взаємного розташування ГО і ВО і їх розташування щодо фюзеляжу. У традиційній схемі ГО і ВО кріпляться на хвостовій частині фюзеляжу. Така схема оперення найбільш вигідна щодо маси і вібро міцності, але не завжди прийнятна. Так, при верхньому розташуванні крила або розташуванні двигунів на хвостовій частині фюзеляжу застосовують Т-образне оперення. У цій схемі ГО кріпиться на кілі з метою винесення його з скошеного потоку за крилом і струменя газів двигунів. На деяких літаках з цією метою замість Т-образного застосовують У-образне оперення.

Досить часто кили встановлюють на кінцях стабілізатора. Таке рознесення ВО підвищує ефективність і зменшує індуктивний опір ГО, оскільки кили виконують в цьому випадку роль кінцевих шайб. Рознесення ВО особливо вигідно для літаків з турбогвинтовими двигунами, так як струменя повітря від повітряних гвинтів збільшують ефективність ВО на малих швидкостях польоту. Крім того, у рознесеного ВО центр тиску нижче, ніж у ВО звичайної схеми, отже, менше крутний момент фюзеляжу. Недоліками Т-образного оперення і оперення з рознесенням ВО є необхідність посилення кіля і стабілізатора, а отже, збільшення маси оперення, а також необхідність ускладнення проводки управління кермом.

На літаках типу "качка" ГО розташовується попереду крила. Така схема погіршує огляд з кабіни екіпажу, проте забезпечує більш високі несучі властивості в порівнянні з літаками звичайної схеми, оскільки урівноважує аеродинамічна сила на ГО спрямована вгору, а не вниз.

Літаки типу "бесхвостка" можуть не мати горизонтального оперення. У такій схемі поздовжня стійкість забезпечується застосуванням 5-образного профілю і відповідними обрисами крила в плані. Функції керма висоти виконують елевони, які діють в якості елеронів і керма висоти. Відмова від ГО в схемі "бесхвостка" дозволяє зменшити лобовий опір і масу літака. Недоліком схеми є зменшення несучих здібностей крила через необхідність застосування 5-образного профілю і елевонов, відхиляються вгору в процесі поздовжньої балансування літака.

**Геометричні характеристики оперення**- форма профілю, форма в плані, кут поперечного V - аналогічні характеристикам крила. Крім того, оперення характеризується відносними площами горизонтального і вертикального оперень, керма висоти і керма напрямку.

Оперення зазвичай має симетричні профілі, що дозволяє зберегти однаковий характер аеродинамічних навантажень при відхиленні керма в різні боки і забезпечити менший лобовий опір. Для стабілізатора іноді застосовується несиметричний профіль, встановлений в перевернутому положенні (зворотного кривизни). Такий профіль створює при нульовому куті

атаки ГО аеродинамічну силу, спрямовану вниз і врівноважує момент підйомної сили крила при мінімальному балансувальному опорі літака.

Профілі оперення вибираються такими, щоб зрив потоку і скачки ущільнення виникали на оперення пізніше, ніж на крилі. Цим досягається збереження стійкості і керованості літака на всіх режимах польоту. З цією ж метою оперення надають стреловидність на  $5 - 10^\circ$  більше стрілоподібності крила.

Маневрені навантаження виникають при різкому відхиленні керма і залежать від темпу його відхилення. При польоті в неспокійному повітрі на ГО діють навантаження від поривів вітру. Ці навантаження пропорційні швидкості потоку при пориві і площі ГО.

На ВО урівноважує навантаження виникає при ковзанні літака. Вона досягає великих значень при відмові двигуна, що знаходиться на відстані від поздовжньої осі літака.

При відхиленні керма стабілізатор і кіль додатково навантажуються зосередженими силами з рулів через вузли підвіски. Напрямок цих сил залежить від напрямку відхилення рулів.

### **Конструкція оперення і елеронів**

Оскільки навантаження, що діють на оперення, аналогічні навантаженням, які діють на крило, конструкція і навантаження силових елементів оперення такі ж, як і відповідних силових елементів крила.

**Стабілізатор і кіль** кріпляться до фюзеляжу зазвичай жорстко, за допомогою точкових або контурних з'єднань. Однак на швидкісних літаках часто застосовують рухоме кріплення стабілізатора, що дозволяє в польоті змінювати кути його установки. Цим досягається можливість пілотування літака в широкому діапазоні центровок і при відхиленні потужної механізації крила або ж використовувати стабілізатор в якості органу поздовжньої керованості літака. У такого стабілізатора одне кріплення, зазвичай заднє, роблять шарнірним, друге кріплення має рухливість по вертикалі. Переміщення стабілізатора з одного положення в інше досягається за допомогою електричних або гідравлічних приводів.

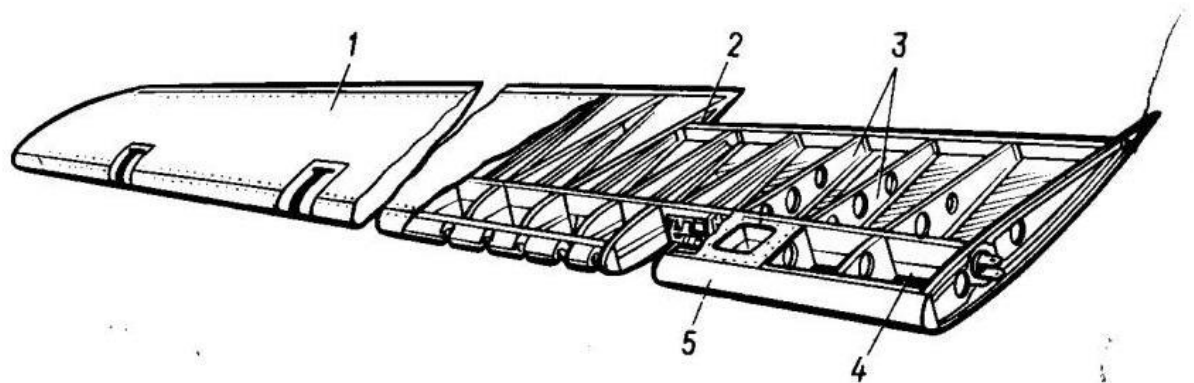


Рис. 4.3. Конструкція руля висоти:

1 — обшивка; 2 — профиль крепления триммера; 3 — нервюры; 4 — лонжерон; 5 — балансирующий груз



Типова конструкція керма і елеронів складається з балочного лонжерона, нервюр і дюралюмінієвої обшивки (рис. 4.3). Кермові поверхні великих розмірів можуть мати стрингери. Для кронштейнів навішування керма і елеронів в їх шкарпетках роблять вирізи, підкріплені для передачі крутного моменту, в зоні вирізу. Іноді лонжерони виконують трубчастими. Трубчастий лонжерон сприймає все навантаження, що діють на рульову поверхню: вигинає і крутний моменти і поперечну силу. Тому кермо з трубчастим лонжероном може мати непрацюючу обшивку, в тому числі і полотняну.

На кермі і елеронах широке застосування знаходять стільникові конструкції, все більше впроваджуються композиційні матеріали.

Рулі та елерони навішують за допомогою шарнірних опор з кульковими підшипниками. Для зменшення деформації рульових поверхонь великого розмаху і для підвищення надійності число опор зазвичай робиться більше двох. При значному вигині крила (стабілізатора, кіля) опори рульової поверхні перестають лежати на одній прямій, що може викликати защемлення вузлів навішування. Для усунення цієї небезпеки в опорах застосовують сферичні шарикопідшипники, роблять кермо (елерон) розрізним, що складається з двох або більше частин. Розподіл керма і елеронів на секції підвищує також живучість органів управління літаком, якщо кожна секція має самостійний привід.