

**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**

за ТЕМОЮ 7. «Аеродинамічні характеристики профілю і несучих поверхонь  
літальних апаратів»

### **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 аеронавігації, протокол від  
10.09.2021 № 2

**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 Професор Кременчуцького Державного національного  
університету ім. Михайла Остроградського, д. ф - м. н., професор, лауреат  
Державної премії України в галузі науки і техніки, Єлізаров О. І.

2 Викладач-методист циклової комісії природничих дисциплін КЛК  
ХНУВС, к. т. н., доцент, спеціаліст вищої категорії, лауреат Державної  
премії України в галузі науки і техніки, Лісовенко В. Д.

## **ЛЕКЦІЯ 7.6: Керуючі поверхні крила, види и засоби механізації крила**

### **План лекції:**

- 1 Загальні відомості про керуючі поверхні крила, засоби і види механізації.
- 2 Характеристика засобів механізації крила і їх вплив на аеродинамічні коефіцієнти.

### **Рекомендована література:**

#### **Основна література:**

- 1 Котельников Г. Н., Мамлюк О. В., Аеродинаміка літальних апаратів. Підручник. -К.: Вища школа, 2002. – 255 с.
- 2 Навчальний посібник «Аеродинаміка та динаміка польоту вертольота». Частина І, «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 заг. 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 І «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.

#### **Допоміжна література:**

- 1 Мхитарян А. М., Аеродинаміка. Підручник. - М.: Машинобудування, 1968. – 430 с.
- 2 Кокуніна Л. Х., Основи аеродинаміки. Підручник.-М.: Транспорт, 1976.– 208 с.
- 3 Прицкер Д. М., Сахаров Г. И., Аеродинаміка. Підручник. - М.: Машинобудування, 1968. – 310 с.

- 4 Володко А. М., Вертолiт в особливiй ситуацiї. Пiдручник. – М.: Транспорт, 1992. – 262 с.
- 5 Володко А. М., Безпека польотiв вертольотiв. Пiдручник. – М.: Транспорт, 1981. – 224 с.
- 6 Володко А. М., Горшков В. А. Вертольоти: Довiдник по аеродинамiцi, динамiцi польоту вертольоту. Навчальний посiбник. – М.: Воєнвидат, 1992. – 557 с.
- 7 Алаян О. М., Ромасевич В. Ф., Аеродинамiка i динамiка польоту вертольоту. Пiдручник. - М.: Воєнвидат, 1973. – 446 с.
- 8 Бураго Г. Ф. Аеродинамiка, Ч.1. Пiдручник. - М.: ВПА iм. М. Є. Жуковського, 1957. – 350 с.
- 9 Вотяков В. Д., Аеродинамiка ЛА i гiдравлiка iх систем, Ч.1. Аеродинамiка. Пiдручник. - М.: ВПА iм. М. Є. Жуковського, 1972. – 652 с.
- 10 Дьяченко А. А., Лiтальнi апарати i безпека польоту. Пiдручник. - М.: ВПА iм. М. Є. Жуковського, 1987. – 626 с.
- 11 Базов Д. И., Аеродинамiка вертольотiв. Пiдручник. - М.: Транспорт, 1972. – 184 с.
- 12 Ромасевич В. Ф., Самойлов Г. А., Практична аеродинамiка вертольотiв. Пiдручник. - М.: Воєнвидат, 1984. – 484 с.
- 13 Володко А. М., Основи льотної експлуатацiї вертольотiв. Аеродинамiка. Пiдручник. - М.: Транспорт, 1984. – 256 с.
- 14 Ковалев Е. Д., Удовенко В. А., Основи аеродинамiки i динамiка польоту легких вертольотiв. Навчальний посiбник. - Х.: КБ Аерокopter, 2008. – 280 с.
- 15 Нашукевич А. В., Аеродинамiка лiтака. Пiдручник. - М.: Воєнвидат, 1966. – 208 с.
- 16 Мхитарян А. М., Збiрник задач по курсу “Аеромеханiка”. Навчальний посiбник - К.: КiПЦА, 1976. – 100 с.

#### Нормативна лiтература:

- 1 ДСТУ 22499 - 77. Апарати винтокрилi. Механiка польоту в атмосферi. Термiни. Визначення i лiтернi позначення. Видавництво стандартiв, 1981.
- 2 ДСТУ 23281 - 78. Аеродинамiка летальних апаратiв. Термiни. Визначення i лiтернi позначення. Видавництво стандартiв, 1981.
- 3 ДСТУ 20058 - 80. Динамiка лiтальних апаратiв в атмосферi. Термiни. Визначення i лiтернi позначення. Видавництво стандартiв, 1976.
- 4 ДСТУ 23199 - 80. Газодинамiка. Термiни. Визначення i лiтернi позначення. Видавництво стандартiв, 1978.

- 5 ДСТУ 221890 - 76. Фюзеляж, крила і оперіння літаків і вертольотів. Терміни. Визначення і літерні позначення. Видавництво стандартів, 1976.

## **\ЛЕКЦІЯ 7.6: КЕРУЮЧІ ПОВЕРХНІ КРИЛА, ВИДИ І СПОСОБИ МЕХАНІЗАЦІЇ КРИЛА**

### **План лекції:**

7.6.1 Загальні відомості про керівників поверхнях крила, способи і види механізації.

7.6.2 Характеристика засобів механізації крила і їх вплив на аеродинамічні коефіцієнти.

### **7.6.1 Загальні відомості про керівників поверхнях крила, способи і види**

#### **його механізації**

Одним з основних вимог до ЛА є вимоги зменшення посадочних і злітних швидкостей, так як вони безпосередньо пов'язані з безпекою на самих відповідальних ділянках польоту.

Реалізація цих вимог можлива за рахунок збільшення несучих властивостей крила.

Несучі властивості крила можуть бути підвищені за рахунок:

- збільшення площі крила;
- збільшення кривизни профілю крила;
- збільшення критичного кута атаки крила.

Відповідно до формули М. Є. Жуковського:

$$Y = G = C_{ya} \cdot \frac{\rho V^2}{2} \cdot S;$$

Тоді мінімальну посадкову швидкість можна визначати за формулою:

$$V_{min} = \sqrt{\frac{2G}{\uparrow C_{ya,max} \cdot \rho \cdot S \uparrow}}$$

З формули випливає, що для зменшення посадкової швидкості польоту необхідно збільшити несучі властивості крила ( $C_{ya,max}$ ) і його площу ( $S$ ). При цьому  $C_{ya,max} = C_{ya}^a \cdot (\alpha_{кр} - \alpha_0)$  можна збільшити за рахунок збільшення інтенсивності росту підйомної сили ( $C_{ya}^a$ ) при збільшенні кута атаки ( $\alpha$ ) і збільшення критичного кута атаки ( $\alpha_{кр}$ ).

1 Задачі: 7.6.1:

- 1) Визначити мінімальну посадкову швидкість літака з посадкового вагою **100 Тс**, якщо похідна коефіцієнта підйомної сили від кута атаки рівняється  $C_{ya}^a = 4,8$ , критичним кут атаки  $\alpha_{кр} = 15^\circ$ , кут атаки при нульовій підйомній силі  $\alpha_0 = \text{мінус } 2^\circ$ , висота знаходження аеродрому  $H = 1000 \text{ м}$ , площа крила складає **120 м<sup>2</sup>**.
- 2) Визначити максимальну посадкову вагу літака на аеродромі, що знаходиться на висоті **1500 м**, якщо похідна коефіцієнту підйомної сили від кута атаки рівняється  $C_{ya}^a = 5,4$ , критичним кут атаки  $\alpha_{кр} = 20^\circ$ , кут атаки при нульовій підйомній силі  $\alpha_0 = \text{мінус } 4^\circ$ , площа крила рівняється **200 м<sup>2</sup>**, посадкова швидкість  $V = 170 \text{ км/год}$ .

У загальному випадку на крилі розміщується різна механізація, яка дозволяє зменшити злітно-посадкову швидкість, поліпшити поздовжньо-поперечну стійкість і керованість ЛА на всіх режимах польоту (рис 7.6.1).

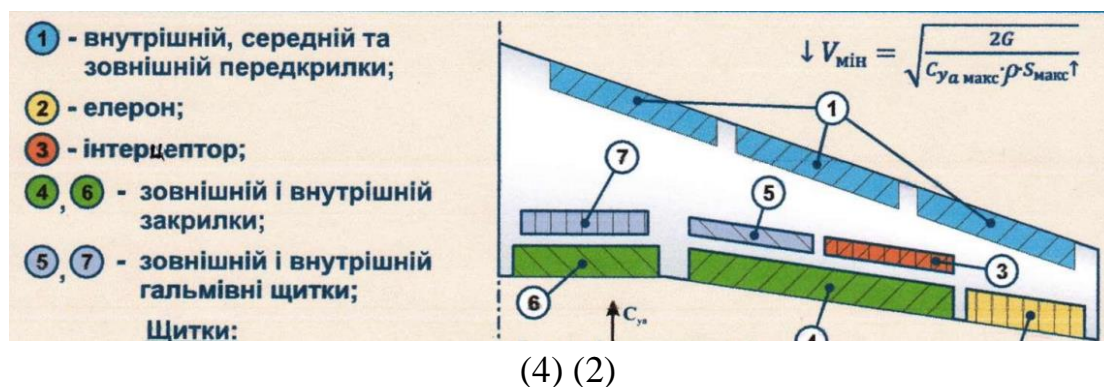


Рис 7.6.1 Схема розміщення механізації на крилі

1- внутрішній, середній, зовнішній передкрилки; 2 - елерон;  
 3- інтерцептори; 4,6 - зовнішній і внутрішній закрилки;  
 5,7 - зовнішній і внутрішній гасителі підйомної сили (гальмівні щитки).

1) **Площа** крила можна збільшити за рахунок установки на ньому відповідної механізації: передкрилків, закрилків, щитків.

2) **кривизну профілю** крила можна збільшити встановивши на ньому відповідну механізацію, що дозволить збільшити  $C_{yamax}$ :

- щитків;
- закрилків;
- передкрилків;
- відхиляються шкарпеток і носових щитків.

3) **Збільшення критичного кута атаки** досягається запобіганням зриву потоку з крила шляхом управління прикордонним шаром:

- здуву;
- отсосом;
- установкою струминного (реактивного) закрилка.

Сдув погранслоя досягається застосуванням предкрилків і щілинних закрилків, що утворюють з крилом профільюючі щілини, через які повітря із зони підвищеного тиску під крилом перетікає на верхню поверхню профілю (рис 7.6.2). Проходячи профільовану щілину, потік збільшує свою швидкість і його кінетична енергія передається прикордонному прошарку, запобігаючи його відрив від поверхні крила.

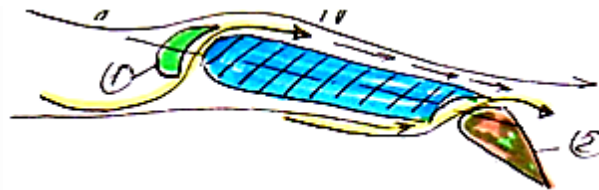


Рис 7.6.2 Схема видуву примежового шару, застосуванням предкрилків і закрилків

Перспективними засобами механізації крила є системи управління прикордонним шаром (рис 7.6.3):

- здування погранслоя - *а*);
- відсмоктування погранслоя - *б*);
- реактивний закрилків - *в*).



Рис 7.6.3 Схема здуву і відсмоктування повітря з поверхні профілю

Для здування погранслоя або освіти струминного закрилка використовується стиснене повітря, що відбирається від компресорів двигунів або від автономних компресорів.

В результаті здування або відсмоктування прикордонного шару повітряний потік притискається до верхньої поверхні крила, знижується його схильність до

відриву і збільшуються швидкості обтікання верхньої поверхні, що веде до зменшення тиску і як наслідок до збільшення  $C_{ya}$  і  $\alpha_{кр}$ .

Реактивний закрилок дозволяє отримати значно більшу за величиною значення  $C_{y_{max}}$ , ніж при звичайному закрилки.

## 7.6.2 Характеристика засобів механізації крила і їх вплив на аеродинамічні коефіцієнти

### 1 Аеродинамічні щитки

Щитки являють собою плоскі пластини, закріплені на нижній поверхні крила, які при відхиленні вниз призводять до виникнення зони розрідження і визивають відсмоктування повітря з верхньої поверхні крила в область між профілем і щитком і таким чином перешкоджає відриву прилежого шару на верхній поверхні профілю.

По конструкції і розташуванню щитки можуть бути поворотними і висувними (рис 7.6.4):

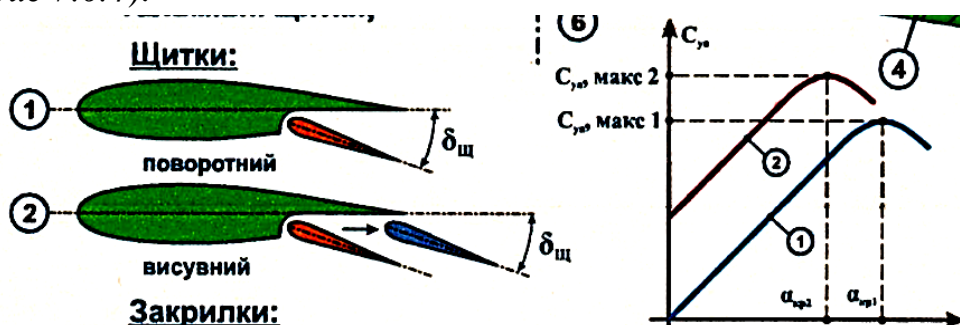


Рис 7.6.4 Схема аеродинамічних щитків

При великих кутах відхилення щитків відбувається зростання лобового опору, що дозволяє скоротити посадкову дистанцію ЛА.

Висувний щиток крім повороту одночасно зсувається назад і тим самим збільшує кривизну і площу крила.

### 2 Закрилки

Закрилки являють собою профільовану рухливу хвостову частину профілю крила, яка збільшує кривизну і площу крила (рис 7.6.5).

По конструкції і розташуванню закрилки можуть бути поворотними і висувними, одно і багато щілинними.

Вплив закрилків на протікання аеродинамічного коефіцієнта підйомної сили (рис 7.6.6).



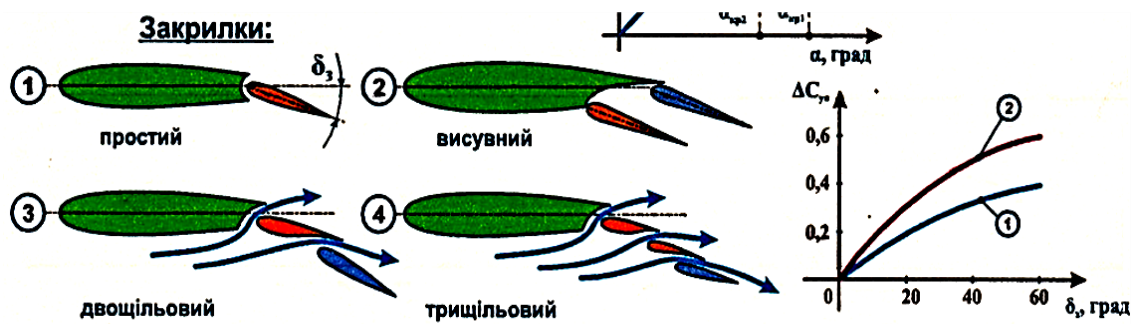
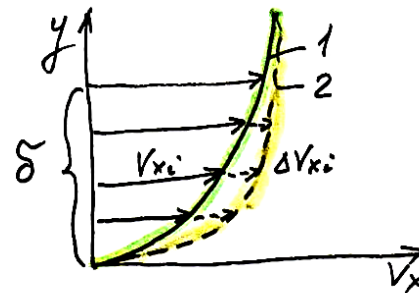


Рис 7.6.5 Схема закрилків крила



1. - закрилок без щілини  
2. - закрилок з щілиною

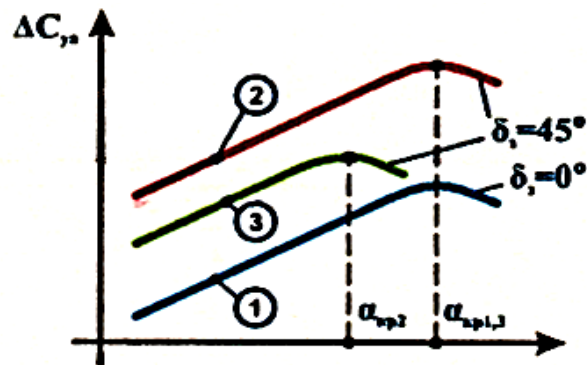


Рис 7.6.6 Схема градієнта швидкості і залежностей  $\Delta C_{ya}(\delta)$  і  $\Delta C_{ya}(\alpha, \delta)$

### 3 Предкрилки

*Предкрилки* являють собою відхиляему профільовану частина носика профілю крила, відхилення яких призводить до збільшення несучої здатності крила збільшуючи швидкість потоку над профілем за рахунок щілинного ефекту, збільшення кривизни профілю і збільшення площі крила (рис 7.6.7).

При відхиленні предкрилка утворюється профільована щілина для перетікання повітря з великою швидкістю з нижньої поверхні крила на верхню, тим самим створюється щілинний ефект, що затулює відрив потоку з поверхні профілю на великі кути атаки і  $\uparrow C_{y_{max}}$ .

За конструкцією і способом застосування предкрилки можуть бути:

- автоматичними;

- керованими;
- фіксованими.

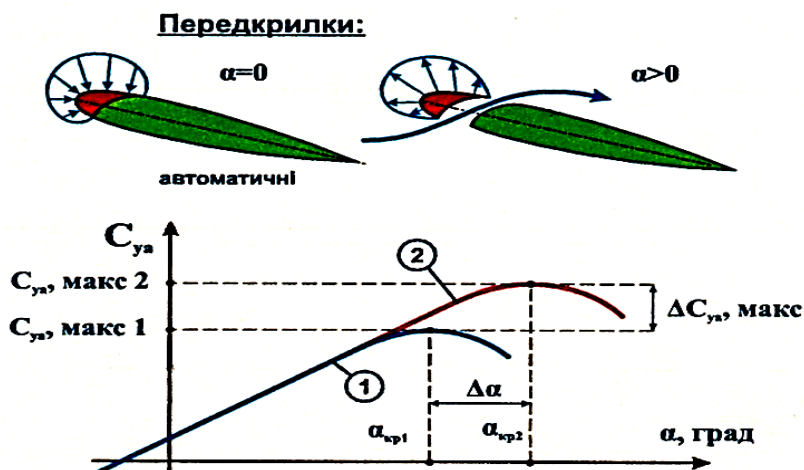


Рис 7.6.7 Схема предкрылков крила

**3.1 Автоматичні предкрылки** в польоті при куті атаки ( $\alpha \approx 0$ ) потоком повітря притиснуті до профілю крила. При збільшенні кута атаки ( $\alpha$ ) внаслідок виникнення підсмоктувальної сили предкрылки висуваються вперед. Автоматичні предкрылки розміщуються зазвичай на кінцевих частинах крила перед елеронами з метою підвищення поперечної стійкості і керованості літака при польоті на великих кутах атаки.

**3.2 Керовані предкрылки** висуваються за допомогою спеціальних систем управління, які включаються автоматично одночасно з включенням закритків або вручну - окремо.

**3.3 Фіксовані предкрылки** зазвичай встановлюються на стабілізаторах.

#### **4 Відхиляємі носки і носові щитки.**

Відхиляються носки і носові щитки зазвичай застосовується на крилах з тонкими профілями (рис 7.6.8).

Відхилення носків при польоті на великих кутах атаки запобігає зриву потоку з гострої передньої кромки профілю крила.

Носові щитки зазвичай застосовують разом з предкрылками: в кореневій частині крила встановлюють щиток, в кінцевий - предкрылок.

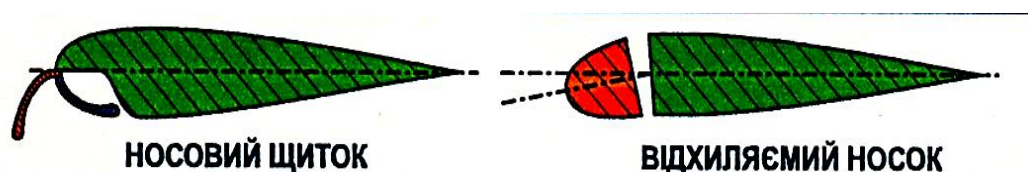


Рис 7.6.8 Схема відхиляємих щитків і носків

### **5 Гасителі підйомної сили**

*Гасителі підйомної сили* призначені для появи зриву потоку на верхній поверхні профілю крила, що веде до зменшення підйомної сили і збільшенню лобового опору крила (рис 7.6.9).

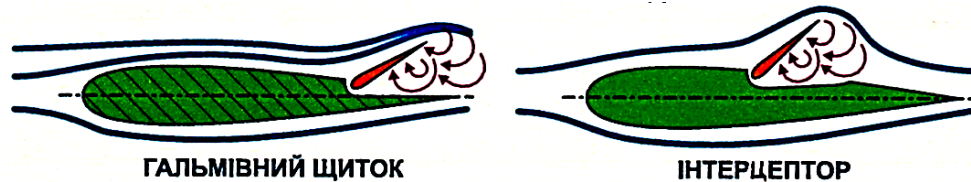


Рис 7.6.9 Схема гальмівних щитків і інтерцепторів

Гасителі підйомної сили використовуються в польоті у вигляді гальмівних щитків, які дозволяють збільшити крутизну планування при посадці, а після посадкового пробігу літака для інтенсивного гальмування і підвищення ефективності гальмування коліс.

### **6 Інтерцептор**

*Інтерцептори* призначені для поліпшення керованості літаком по крену. У польоті вони відхиляються вгору при відхиленні елерона вгору, викликаючи при цьому додаткове зменшення підйомної сили на поверхні консолю крила.

### **7 Елерони**

*Елерони* встановлюються на кінцях крила в хвостовій частині профілю і призначені для забезпечення керованості літаком по крену.

### **8 Аеродинамічні перегородки і запили.**

*Аеродинамічні перегородки і запили* служать для запобігання зриву потоку з кінцевих частин стрілоподібного крила. На стрілоподібному крилі складова швидкості повітряного потоку ковзає уздовж розмаху крила, викликає потовщення прилежового шару, що веде до більш раннього зриву потоку на кінцях крила (рис 7.6.10).

**8.1 Аеродинамічні перегородки** виготовляються з алюмінієвого сплаву висотою 15 ... 20 см, встановлюються на верхній поверхні крила і перешкоджають перетіканню повітря вздовж крила, набухання прилежового шару і його відриву від поверхні.

**8.2 Уступи (запили) на передній кромці крила** викликають появу вихрових жгутів, які створюють повітряну перегородку у вигляді вихрового жгута, що працює подібно аеродинамічній перегородці.

**8.3 Вертикальні гребені на кінцях крила,** що перешкоджають перетіканню повітря через кінцеві частини крила, що виключає перетікання повітря з нижньої поверхні крила на верхню і появи вихрових жгутів і тим самим зменшують індуктивний опір крила.

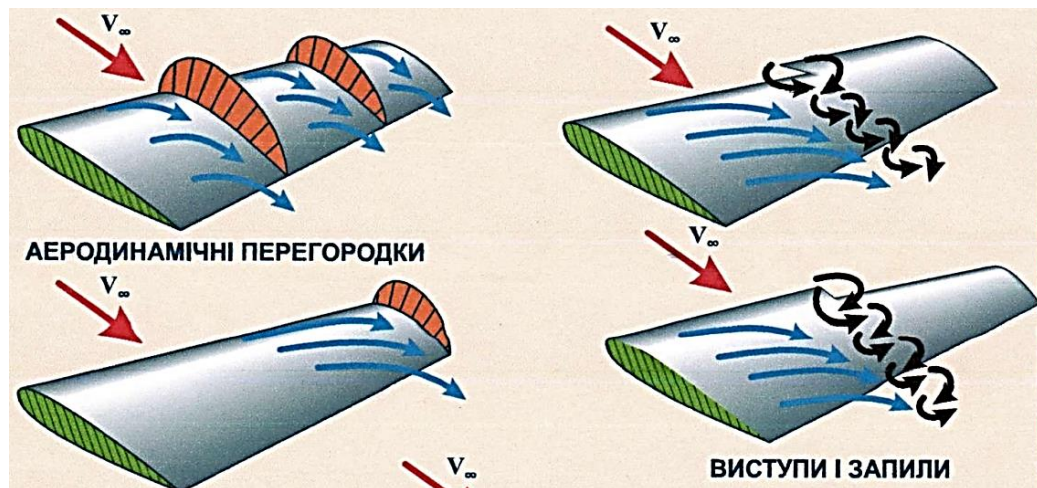


Рис 7.6.10 Схема аеродинамічних перегородок і запилів.

**8.4 Турбулізатори** представляють собою невеликі поганообтікаємі пластинки с гострими кромками, які встановлюються на верхній поверхні крила. Вони створюють невеликі вихори, які змішують примежовий шар з повітряним потоком, збільшують кінетичну енергію примежового шару, прижимають його до поверхні крила, що дозволяє переміщати початок зриву потоку на великі кути атаки. Зазвичай турбулізатори ставляться перед елеронами і закрилками для попередження відриву потоку з них при великих кутах їх відхилення (рис 7.6.11).

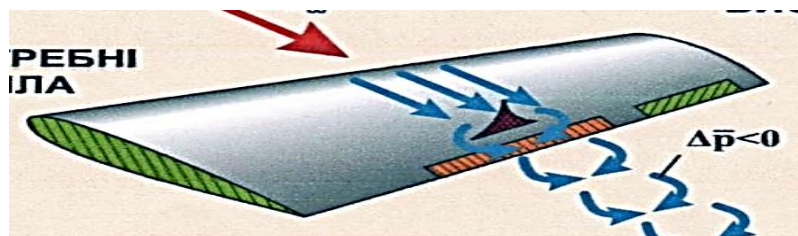


Рис 7.6.11 Схема розміщення турбулізатора