

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

**Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки**

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

з навчальної дисципліни  
«Загальні знання про ПС: Силова установка»  
обов'язкових компонент  
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

**272 Авіаційний транспорт (Аеронавігація)**

**за темою № 5 – Основи теорії та конструкції поршневих двигунів**

**Кременчук 2023**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

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

**СХВАЛЕНО**

Методичною радою Кремен-  
чуцького льотного коледжу  
Харківського  
національного університету  
внутрішніх справ  
Протокол від 28.08.2023р. № 1

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.08.2023р. № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, протокол від 28.08.2023р. № 1

**Розробники:**

1. Викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Царенко Андрій Олександрович

**Рецензенти:**

1. Завідувач кафедри технологій аеропортів Національного авіаційного університету, д.т.н., професор Тамаргазін О.А.
2. Професор циклової комісії аеронавігації КЛК ХНУВС, к.т.н., с.н.с. Тягній В.Г.

### **План лекції**

1. Загальні відомості про поршневий двигун.
2. Класифікація поршневих двигунів.
3. Принцип роботи поршневого двигуна.
4. Процес впуску.
5. Процес стиску.
6. Процес згоряння паливоповітряної суміші.
7. Швидкість згоряння ППС.
8. Випередження запалювання.
9. Передчасний спалах суміші.
10. Детонація.
11. Палива для поршневих двигунів.
12. Особливості процесу згорання в дизельних двигунах.
13. Процес розширення.
14. Процес випуску.
15. Основні вузли поршневого двигуна.
16. Системи змащення. Карбюратор.
17. Системи впорскування палива інжекторних двигунів.
18. Системи охолодження.
19. Системи запалювання.
20. Льотно-технічні характеристики.
21. Турбокомпресор.
22. Керування двигуном.

### **Рекомендована література:**

#### **Основна:**

1. Aviation Maintenance Technician. Handbook–Powerplant. Volume 1. U.S. Department of Transportation. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. Flight Standards Service, 2012. 282 p.
2. Aviation Maintenance Technician. Handbook–Powerplant. Volume 2. U.S. Department of Transportation. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. Flight Standards Service, 2012. 280 p.
3. Helicopter Flying Handbook. U.S. Department of Transportation. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. Flight Standards Service, 2012. 198 p.

#### **Додаткова:**

-

#### **Інформаційні ресурси:**

4. Aviation Maintenance Technician. Handbook–Powerplant. U.S. Department of Transportation. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. Flight Standards Service, 2023. 500 p.  
URL.: [https://www.faa.gov/regulations\\_policies/handbooks\\_manuals/aviation/amt\\_powerplant\\_handbook.pdf](https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/amt_powerplant_handbook.pdf) (дата звернення 26.08.2023)

5. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION: Helicopter Flying Handbook. URL.: [https://www.faa.gov/regulations\\_policies/handbooks\\_manuals/aviation/helicopter\\_flying\\_handbook](https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/helicopter_flying_handbook) (дата звернення 26.08.2023)
6. L'AVIONNAIRE: MOTEURS À PISTONS. URL.: <https://lavionnaire.fr/PistonPrincipe.php> (дата звернення 26.08.2023)

## Текст лекції

### 1. Загальні відомості про поршневий двигун.

Авіаційний поршневий двигун (ПД) працює на принципі перетворення теплової енергії, що виділяється при згорянні палива, в механічну роботу, яка забезпечує обертання вихідного валу двигуна. Для використання поршневого двигуна на літальних апаратах він повинен працювати спільно з повітряним гвинтом. Гвинт встановлюється на вал двигуна і при обертанні, взаємодіючи з навколишнім середовищем, переміщається щодо неї, захоплюючи за собою двигун і літальний апарат, на якому він встановлений. Поршневий двигун разом з повітряним гвинтом утворюють гвинтомоторну групу (ВМГ).

Як видно з рисунка 1 ВМГ має переваги перед ТРД на невеликих швидкостях польоту. Крім того, ПД дешевше у виробництві і експлуатації, більш економічні при польотах на невелику дальність. Перераховані переваги ПД визначають сфери їх застосування:

1. Легкі літаки для перевезення пасажирів і вантажів на невеликі відстані при відсутності доріг і підготовлених злітно-посадкових смуг (ЗПС).

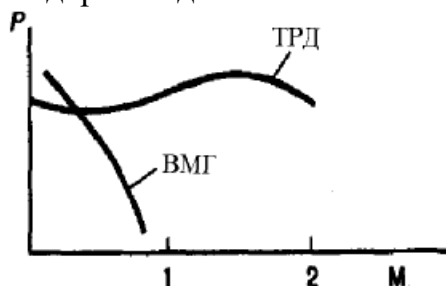


Рис.1. Залежність тяги від швидкості польоту  $V$

Де:  $P$ - сила тяги;

$$M = \frac{V}{a},$$

$V$ - швидкість польоту;

$a$ - швидкість звуку;

2. Навчальні літаки і вертольоти.
3. Літаки сільськогосподарської авіації.
4. Спортивні літаки.

Існують і інші області застосування ПД на літальних апаратах. Наприклад, ПД доцільно встановлювати на літаки для патрулювання лісових масивів, трубопроводів, викиду десанту для гасіння лісових пожеж, та ін.

### 2.Класифікація поршневих двигунів.

Існуючі авіаційні поршневі двигуни можуть бути класифіковані за різними ознаками:

1. *В залежності від застосовуваного палива:* легкого і важкого палива.

2. *За способом сумішоутворення:* із зовнішнім (карбюраторні й із розподіленим уприскуванням палива) і з внутрішнім сумішоутворенням (дизельні двигуни й бензинові двигуни з безпосереднім уприскуванням палива).

3) *Залежно від розташування циліндрів.*

*Опозитний* двигун — двигун внутрішнього згоряння, в якому поршні рухаються в одній, як правило, горизонтальній площині. Циліндри, завжди в парній кількості, розташовані з обох боків колінчастого вала (рис.2, а).

*Рядний* двигун — це двигун внутрішнього згоряння, в якому поршні рухаються в одній вертикальній площині (рис.2,б).

*V-подібний* двигун - це двигун внутрішнього згоряння, в якому поршні рухаються в одній майже вертикальній площині. Два ряди поршнів, що утворюють кут до  $135^\circ$  (фото справа).

*Зіркоподібний* двигун - радіальний двигун - це тип поршневого двигуна, циліндри якого розташовані на одній площині навколо колінчастого вала і вихідного вала двигуна.

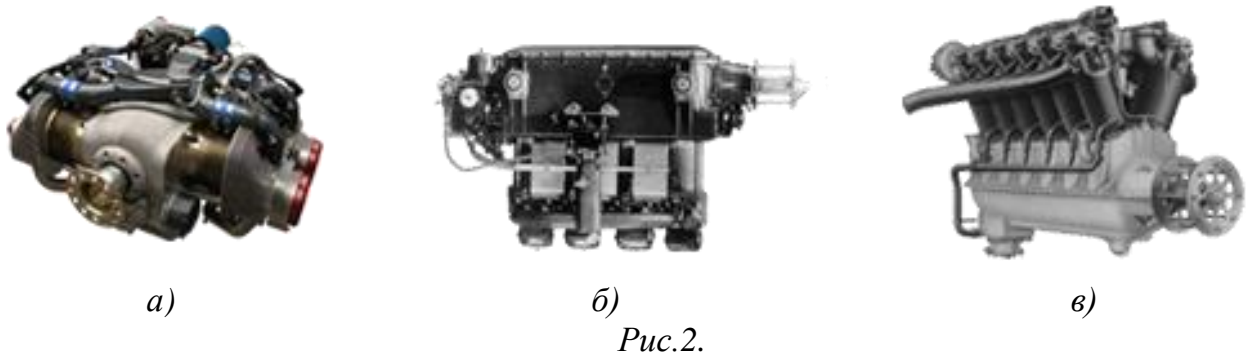


Рис.2.

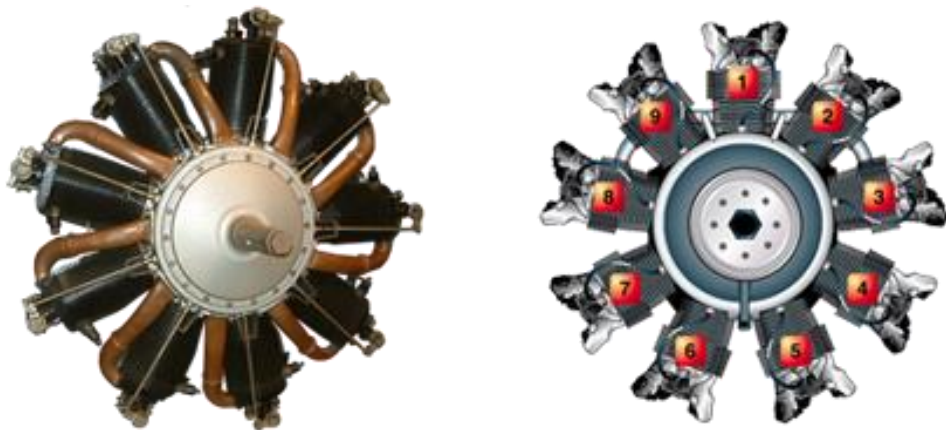


Рис.3. Зіркоподібний двигун

4. *За способом здійснення робочого циклу:* чотиритактні й двотактні;

5. *За способом займання робочої суміші:* з примусовим займанням (від електричного розряду) й із самозайманням від стиснення;

6. *Залежно від способу охолодження:* рідинного і повітряного охолодження.

7. Залежно від характеру зміни потужності при зміні висоти польоту: висотні і невисотні.

### 3. Принцип роботи поршневого двигуна.

Поршковий двигун працює на принципі перетворення теплової енергії в механічну. Розглянемо, як практично здійснюється цей принцип (рис. 4). Через трубопровід 4 подається паливоповітряна суміш (ППС) по стрілці "А". До моменту подачі палива в камеру згоряння 6 відкривається впускний клапан 5. Після заповнення камери згоряння впускний клапан закривається і до свічки 8 подається висока електрична напруга. В свічці виникає електрична іскра, яка запалює ППС. Паливоповітряна суміш, швидко згораючи, розширюється, в камері згоряння виникає значний тиск згорілих газів. Це тиск, діючи на поршень 3, змушує його рухатися вниз в циліндрі 2 і через шатун 9 рух передається колінчастого валу 10, який обертається по стрілці "В". Колінчастий вал, обертаючись, переміщує поршень вгору і через відкритий випускний клапан 7 продукти згоряння видаляються з двигуна в атмосферу (по стрілці "Б"). Колінчастий вал обертається в корпусі 1, який носить назву картера. До передньої частини колінчастого валу може бути приєднаний редуктор, обертання якого передається повітряному гвинту літака.

Розглянемо детально схему роботи чотиритактного поршневого двигуна, що застосовується сьогодні в авіаційному двигунобудуванні.

У чотиритактному поршковому двигуні внутрішнього згоряння чергуються процеси перетворення теплової енергії в механічну здійснюються в наступному порядку (рис. 1-5):

- надходження ППС в камеру згоряння - впуск (перший такт);
- стиснення надійшла суміші (другий такт);
- розширення після згоряння суміші (третій такт);
- випуск згорілих газів (четвертий такт).

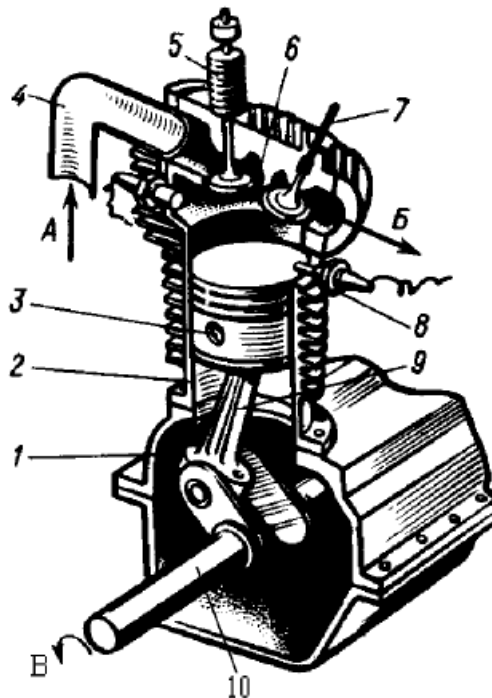


Рис.4. Принципова схема поршневого двигуна:

1 картер; 2 циліндр; 3 поршень; 4 трубопровід подачі ППС; 5 впускний клапан; 6 камера згоряння; 7- випускний клапан; 8- свічка; 9-шатун; 10 колінчастий вал

Всі чотири такту в чотиритактному поршневому двигуні відбуваються за два обороти колінчастого валу. Всі процеси, що відбуваються в циліндрі двигуна, виконуються за два оберти колінчастого валу або чотири ходу поршня і називаються *циклом* двигуна. Цикл двигуна починається з першого такту і закінчується четвертим. Потім весь процес знову повторюється, настає наступний цикл. Поршневі двигуни, що мають такий цикл, називаються *чотиритактними*.

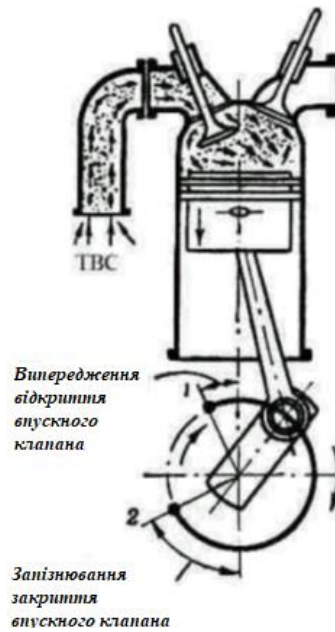
В описаній вище схемі на рис. 4 показаний ПД з одним циліндром. З наведеного опису випливає, що теплова енергія згорілої суміші перетворюється в механічну роботу тільки в третьому такті (розширення). Ось чому в одноциліндровий двигун обертання колінчастого валу не може бути рівномірним, та й потужність один циліндр видає дуже малу. Тому поршневі двигуни роблять багатоциліндровими.

#### 4.Процес впуску

Призначення процесу впуску складається в заповненні робочого обсягу циліндра двигуна ППС. Чим більше паливноповітряною суміші надійде в циліндр двигуна, тим більшу потужність розів'є двигун. Вагову кількість паливноповітряної суміші, що надійшла в циліндр за час такту впуску називають *ваговим зарядом циліндра*.

Збільшити ваговий заряд циліндра можна шляхом зниження температури і збільшення тиску ППС. У більшості сучасних авіаційних двигунів збільшення тиску суміші досягається за допомогою нагнітача. Живлення двигуна ППС, тиск якої попередньо збільшено в нагнітачі до тиску, що перевищує атмосферне, називається *наддуванням*. У двигунах з карбюратором сумішоутворення починається в карбюраторі, триває в усмоктувальних трубопроводах і закінчується в циліндрі двигуна. Для регулювання кількості суміші, що надходить у двигун, служить дросельна заслінка, установлювана між карбюратором і циліндрами.

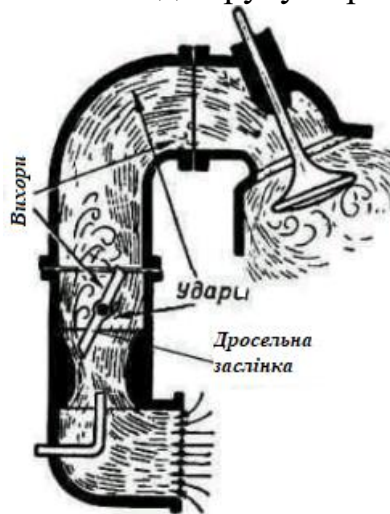
Початок впуску обумовлюється початком відкриття клапана впуску (рис.5), який відкривається з випередженням (точка 1), тобто наприкінці такту випуску, до приходу поршня у ВМТ. Це необхідно для збільшення заряду суміші.



*Рис.5. Процес впуску:*

*1- момент відкриття впускного клапана; 2- момент закриття впускного клапана*

Свіжа паливноповітряна суміш надходить у циліндр під впливом зниження тиску в циліндрі, що створюється внаслідок руху поршня від ВМТ до НМТ.



*Рис. 6. Опір руху ППС на шляху в циліндр*

Температура суміші в процесі впуску за рахунок випару палива знижується, а, надходячи в циліндр, нагрівається в результаті зіткнення з нагрітими деталями двигуна і змішання повітря із залишковими газами.

Закінчення наповнення циліндра сумішшю визначається моментом закриття впускного клапана, який закривається із запізнюванням (див. крапку 2 на рис.5), тобто після приходу поршня в НМТ, на початку такту стиску. Це збільшує кількість свіжої суміші, так як протягом процесу впуску суміш здобуває більшу швидкість і по інерції продовжує надходити в циліндр, незважаючи на зміну напрямку руху поршня.



### 5.Процес стиску

В процесі стиску відбувається збільшення тиску і температури суміші. Внаслідок цього збільшується швидкість поширення полум'я (після підпалювання) і швидкість згоряння, створюється можливість кращого використання тепла й одержання більшої роботи газів під час процесу розширення.

Умовно вважають, що процес стиску починається в НМТ і закінчується у ВМТ.

У процесі стиску поршень рухається в напрямку до ВМТ, при цьому обидва клапани - впускний і випускний - закриті.

Обсяг циліндра над поршнем, коли останній перебуває у ВМТ, називається *камерою згоряння* й позначається  $V_c$ .

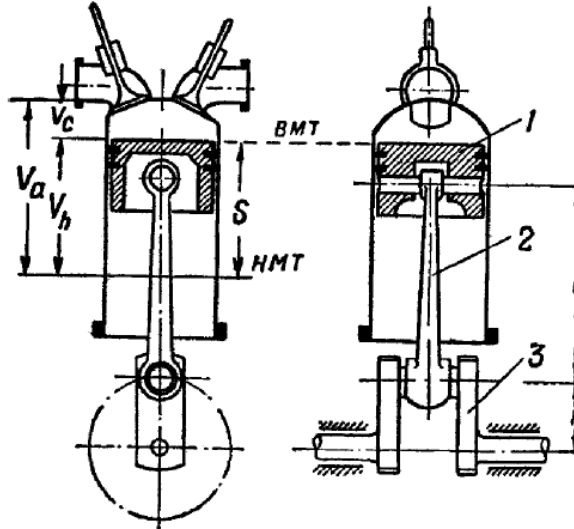


Рис. 7. Кривошипно-шатунний механізм:

1- поршень; 2 - шатун; 3- колінчатий вал

Обсяг циліндра, що відповідає ходу, поршня  $S$ , називається *робочим обсягом*. Він позначається  $V_h$ .

Обсяг циліндра, що обмежується поршнем при його положенні в НМТ, називається, *повним обсягом циліндра* й позначається  $V_a$ . Очевидно, що:  $V_a = V_c + V_h$ .

Відношення повного обсягу циліндра до обсягу камери згоряння називається *ступенем стиску* й позначається буквою  $\varepsilon$ , тобто

$$\varepsilon = \frac{V_a}{V_c} = \frac{V_h + V_c}{V_c}$$

При збільшенні степені стиску збільшується потужність та економічність двигуна. Разом з тим, збільшення степені стиску веде до збільшення питомої ваги двигуна (збільшенні степені стиску досягається збільшенням робочого обсягу циліндра, деталі виконують масивними для додання їм необхідної міцності) і до збільшення можливості виникнення детонації. В бензинових двигунах вона в середньому становить 10 - 12, а у дизелів значення може досягати 15-22. Тому дизельні двигуни більш економічні, але і більш важкі, внаслідок чого на повітряних судах використовуються рідко.

## 6. Процес згоряння паливоповітряної суміші

### Способи запалювання ППС

Запалення ППС можливе кожним із трьох нижче перерахованих способів.

1) Нагріти ППС до температури спалаху ( $t_{всп}$ ) і внести стороннє джерело вогню.

При такому запаленні потужність джерела вогню може бути мінімальна, наприклад, малопотужна електрична іскра. Джерело вогню буде служити каталізатором, що ініціює запалення ППС. При такому способі запалення полум'я буде поширюватися від джерела до інших обсягів ППС. Такий спосіб запалення називається *примусовим*. Таким способом здійснюється запалення ППС у чотиритактному поршневому двигуні.

2) Нагріти ППС до температури самозапалювання ( $t_{c/v}$ ) без стороннього джерела вогню.

При цьому умови для запалення виникають одночасно в повному обсязі ППС, відбувається згоряння ППС із великою швидкістю. При такому запаленні тиск у циліндрах зростає з великою швидкістю, деталі двигуна навантажуються значними ударними навантаженнями.

3) Внести у ППС деталь нагріту до високої температури ( $t_{дет}$ ).

При цьому від нагрітої деталі відбувається нагрівання ППС й її запалення.

Величини температури спалаху ( $t_{всп}$ ), температури самозапалювання ( $t_{c/v}$ ) і температури деталі ( $t_{дет}$ ) для бензину й гасу наведені в таблиці 1. З аналізу таблиці 1 можна зробити висновки:

—  $t_{всп}$  у бензину набагато менше ніж у гасу, тому бензинові двигуни (двигуни легкого палива) мають кращі пускові характеристики;

—  $t_{c/v}$  у бензину набагато більше чим у гасу, тому на двигунах легкого палива для запалення ППС необхідно встановлювати електричні свічі запалювання;

—  $t_{дет}$ , займаючої ППС із парами бензину значно вище чим гасу, тому на двигунах легкого палива рідше виникає ненавмисне запалення ППС при її контакті з нагрітими деталями.

### Основні фази горіння ППС

Процес горіння ППС у циліндрах ПД можна розбити на три фази:

I- фаза схованого горіння. Початок - подача напруги на свічу (точка 3 див. рис.8), завершення - ріст тиску в робочому обсязі циліндра, обумовлений підведенням теплоти (точка 3').

II- фаза видимого горіння. Початок - в крапці 3', завершення - у крапці Z, коли тиск у циліндрі досягає максимальної величини.

III- фаза завершення згоряння й догорання у такті розширення. Початок - в крапці Z, завершення - при повнім догоранні всього палива, що перебуває в циліндрі.

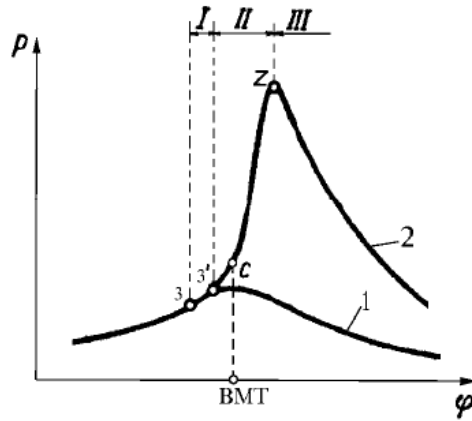


Рис.8 Зміна тиску ( $p$ ) у циліндрах ПД залежно від кута повороту коленвала ( $\varphi$ ) при відсутності горіння (графік 1) і при примусовому запаленні ППС (графік 2). I, II, III- фази горіння

### 7.Швидкість згоряння ППС

Згоряння ППС у двигуні відбувається протягом деякого часу ( $0,003 \div 0,01$  сек, що відповідає повороту коленвала на кут  $30 \div 45^\circ$ ).

Швидкість згоряння ППС звичайно оцінюють по середній швидкості поширення полум'я по обсязі камери згоряння, вираженої в метрах у секунду. Для нормально працюючого двигуна величина швидкості поширення полум'я в другій фазі становить  $20 \div 30$  м/сек. Температура й тиск у циліндрі в крапці Z (рис.8) досягають максимальної величини, становлячи для сучасних двигунів відповідно  $2600 \div 2800\text{K}$  и  $50 \div 80$  кг/см<sup>2</sup>.

Зі збільшенням температури і завихреності суміші, степені стиску, числа обертів колінчатого вала, числа свіч швидкість згоряння збільшується, тому що збільшується температура суміші до моменту її запалення.

Збільшення залишкових газів у кількості понад 10% від кількості свіжої суміші зменшує швидкість згоряння.

Сильний вплив на швидкість згоряння суміші робить її состав. Установлено, що при  $\alpha = 0,85 \div 0,90$  швидкість згоряння суміші найбільша (рис.9). При зміні состава суміші в порівнянні із зазначеним вище зменшується швидкість її згоряння. При дуже багатих або дуже бідних сумішах робота двигуна неможлива, тому що суміш хоча й запалюється від електричної іскри, але полум'я не в змозі поширитися по обсязі камери згоряння внаслідок недоліку кисню (багата суміш) або недоліку палива (бідна суміш). Коефіцієнти надлишку повітря, при яких припиняється поширення полум'я по обсязі суміші, називаються межами займистості. Як було сказано вище, для бензиновоздушних сумішей межі займистості становлять: для багатой суміші  $\alpha_{\min} \approx 0,3 \div 0,4$  й  $\alpha_{\max} \approx 1,3-1,5$ .

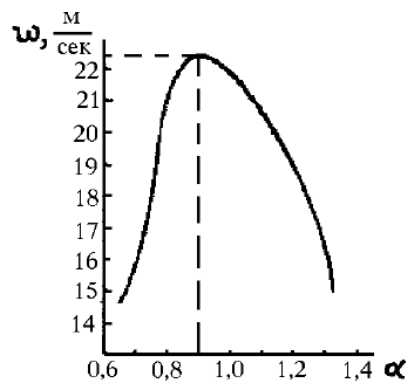


Рис.9. Залежність швидкості горіння ППС ( $\omega$ ) від коефіцієнта надлишку повітря ( $\alpha$ )

Ці властивості суміші необхідно враховувати при експлуатації авіаційних двигунів. Наприклад, у літню пору, при високій температурі навколишнього повітря, при запуску тільки що зупиненого (гарячого) двигуна не можна заливати багато бензину в циліндри, тому що бензин швидко випаровується й викликає надмірне збагачення суміші, при якому двигун не може давати спалахів, тобто не запускається при зовсім справних системах запуску й запалювання.

Навпаки, при низьких температурах навколишнього повітря (у зимовий час) необхідно збільшувати заливання бензину в циліндри перед запуском двигуна, тому що при недостатнім заливанні внаслідок слабкої випаровуваності бензину при низьких температурах суміш буде занадто бідної й двигун не запуститься.

## 8. Випередження запалювання

Найвигідніші умови для роботи двигуна створюються, коли максимальний тиск у циліндрі двигуна настає в такті розширення при положенні поршня, що відповідає  $10-15^\circ$  повороту колінчатого вала після ВМТ. Щоб виконати ця умова, необхідно підібрати момент запалювання суміші.

Якщо запалити суміш у момент знаходження поршня у ВМТ, то згоряння її буде відбуватися під час такту розширення й закінчиться значно пізніше по куті повороту колінчатого вала. Це приведе до того, що процес згоряння буде протікати в більшому обсязі циліндра, що збільшить втрати тепла в стінки циліндра; максимальний тиск і температура газів при цьому понизяться, внаслідок чого знизиться потужність й економічність двигуна. З огляду на цю обставину, напругу на свічу запалювання подається з випередженням, тобто наприкінці процесу стиску, до приходу поршня у ВМТ. Величина випередження вимірюється в градусах кута повороту колінчатого вала від моменту подачі напруги на свічу до моменту приходу поршня у ВМТ. Цей кут називається *кутом випередження запалювання* або *випередженням запалювання*.

Прі занадто раннім випередженні запалювання згоряння суміші може закінчитися до того, як поршень прийде у ВМТ. Це приведе до сильного збільшення тиску в циліндрі в такті стиску й, отже, до витрати зайвої роботи на стиск суміші й зменшенню потужності двигуна. Найвигідніший кут випере-

дження запалювання підбирається на заводі досвідченим шляхом. Для авіаційних двигунів цей кут становить  $10 \div 45^\circ$  до ВМТ.

При збагаченні або збіднінні суміші, зі збільшенням частоти обертання найвигідніший кут випередження запалювання збільшується.

При збільшенні ступені стиску, числа свіч у циліндрі (до двох) найвигідніший кут випередження запалювання буде відповідно зменшується.

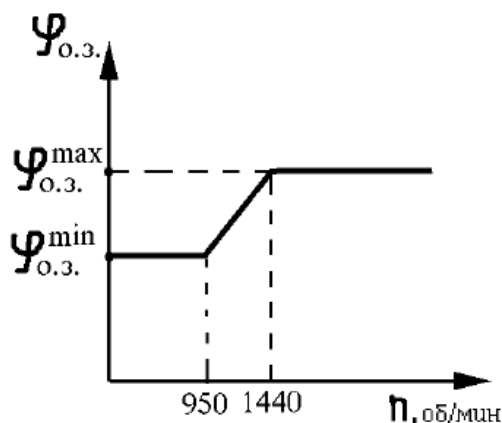


Рис.10. Залежність кута випередження запалювання ( $\varphi_{0.3}$ ) від частоти обертання коленвала ( $n$ )

### 9.Передчасний спалах суміші

Передчасний спалах відбувається внаслідок мимовільного, занадто раннього запалення суміші від якого-небудь стороннього джерела, наприклад, напружених вихлопних клапанів, електродів свічі й тощо, а не від електричної іскри. Виникає найчастіше при ненормальному температурному режимі двигуна, наприклад перегріві головок циліндрів внаслідок недостатнього охолодження тощо. За своїм характером передчасний спалах має подібність із занадто раннім випередженням запалювання.

### 10.Детонація

Детонацією називається таке згоряння суміші, що відбувається з дуже великою швидкістю, що досягає 1500—2000 м/сек, що відповідає швидкості згоряння вибухових речовин. Детонація відбувається внаслідок того, що при високих температурах і тисках у камері згоряння в незгорілій частині ППС температура суміші підвищується до температури samozapalювання ( $t_{c/v}$ ) і умови для горіння виникають, практично, у повному обсязі ППС одночасно. Детонації сприяє утворення у ППС нестійких хімічних сполук вуглеводнів палива з киснем повітря, так званих перекисів, які підвищують хімічну активність ППС.

Найбільший вплив на виникнення детонації роблять наступні фактори:

- підвищення тиску й температури ППС наприкінці такту стиску;
- величина коефіцієнта надлишку повітря суміші;
- сорт застосовуваного бензину.

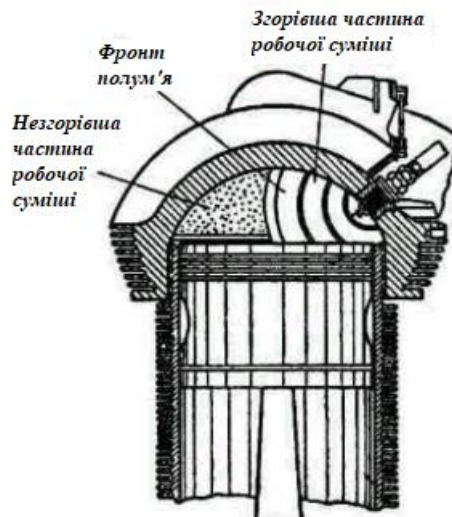


Рис. 11. Згоряння паливноповітряною суміші

Підвищення тиску й температури усмоктуваного повітря, а також підвищення степені стиску збільшують схильність суміші до детонації.

Звичайно багаті суміші ( $\alpha = 0,6-0,7$ ) значно менш схильні до детонації, чим більше бідні суміші ( $\alpha = 0,85-0,95$ ).

Авіаційні бензини різних марок залежно від способу їхнього одержання й сорту нафти, з якої вони отримані, мають різну стійкість стосовно детонації.

Детонаційна стійкість палива оцінюється його *октановим числом*, що визначають випробуванням палива на спеціальному двигуні: чим більше октанове число палива, тим вище його детонаційна стійкість. У сучасних авіаційних двигунах з нагнітачами повинні застосовуватися палива з октановим числом не нижче 93-95).

Основні ознаки детонації наступні:

1. З вихлопних патрубків двигуна періодично викидаються удари чорного диму. Чим сильніше детонація, тим частіше удари.
2. У циліндрах двигуна чутний нерегулярний металевий стукіт (дзенькіт), що виходить у результаті вібрації стінок циліндра, викликуваної ударними хвилями.
3. Порушується усталена робота двигуна, з'являється тряска.
4. Двигун перегрівається, що можна встановити по підвищенню температури масла, охолодної рідини або головок циліндрів.

Для боротьби з детонацією застосовуються як профілактичні міри, тобто попереджуючі її появу, так і міри, спрямовані на усунення вже виниклої детонації.

Профілактичні міри полягають у наступному:

1. Не допускати перегріву двигуна при роботі.
2. Правильно (по тривалості) використати режими максимальної потужності.
3. Не допускати роботи двигуна з більшим тиском на запуску при малих обертах.
4. Застосовувати тільки рекомендоване для даного двигуна паливо.

5. Виключити роботу двигуна з неприпустимо більшими кутами випередження запалювання.

У випадку виникнення детонації в польоті для її припинення необхідно прийняти наступні міри:

1. Полегшити режим роботи двигуна, знизивши подачу палива.
2. Понизити температуру двигуна шляхом більше інтенсивного охолодження.
3. Збагатити состав суміші (якщо є ручний коректор).

### **11. Палива для поршневих двигунів**

В поршневих двигунах внутрішнього згорання із примусовим запаленням (від іскри) застосовують бензини.

Сорту авіаційних бензинів маркуються, як правило, дробом: у чисельнику — октанове число або сортність на бідній суміші, у знаменнику — сортність на багатій суміші, наприклад, Б-91/115. Зустрічається маркування авіаційних бензинів і по одним октановим числах (наприклад, Б-70, Б-92).

У сучасній авіації застосовуються лише два основних сорти авіаційного бензину «Avgas» 100 й 100LL з низьким змістом тетраетилсвинцю.

Для спрощення визначення марки палива, воно офарблюється, наприклад, Avgas 100LL пофарбований у сині кольори, а Avgas 100 пофарбований у зелений.

### **12. Особливості процесу згорання в дизельних двигунах**

Дизельний двигун відрізняється від бензинового тим, що паливо підпалюється не від іскри - воно самозаймається при підвищенні тиску і розігріві, що відбувається від цього.

Відомо, що температура займання дизельного палива становить від 70 до 120 °С. Температура самозаймання коливається у діапазоні від 300 до 330 °С. У циліндрах дизеля рахунок стиснення повітря до тисків близько 30 бар він розігрівається саме до цих температур. Паливо, що впорскується в цей момент, самозаймається і горить, різко збільшуючи тиск в камері. Температура горіння дизельного палива становить приблизно 1100 °С.

Збільшений в циліндрі дизельного двигуна тиск штовхає поршень вниз, рахунок його переміщення відбувається корисна робота, що обертає колеса.

#### *Фази горіння дизельного палива*

Горіння дизельного палива в циліндрі поділяють на 4 періоди:

- затримки займання;
- поширення полум'я;
- прямого горіння;
- догорання.

Перший період – це час між початком упорскування палива та початком горіння. Паливо розпорошується кожною форсункою відразу в кількох напрямках. Але воно одразу не спалахує. Потрібен час, щоб дрібні краплі випарували-

ся, перемішалися з повітрям і нагрілися до самозаймання. Чим коротший перший період, краще проходить горіння палива на наступних етапах.

Протягом другого періоду полум'я поширюється від початкових точок горіння весь обсяг. Ця затримка пояснюється тим, що горіти може тільки суміш палива з повітрям, і на їхнє перемішування по всьому об'єму також потрібен час. Наприкінці цього періоду температура горіння дизельного палива наближається до максимальної, тиск у камері різко зростає.

Пряме горіння - це період від поширення полум'я по всьому об'єму до закінчення упорскування палива. Оскільки тиск у цьому періоді досягає максимуму, паливо, що впорскується, згоряє негайно. Регулювання паливної апаратури роблять так, щоб тиск досягав максимуму через 10 кутових градусів після ВМТ.

Останній період триває від закінчення упорскування палива до закінчення горіння.

### *Порушення умов правильного горіння*

Нормальне та повне згоряння палива в дизельному двигуні відбувається при правильному упорскуванні та високому тиску в циліндрі.

Якщо компресія з якоїсь причини низька, то:

- період затримки займання збільшується;
- палива накопичується більше за нормальну дозу;
- його подальше займання різко підвищує тиск;
- виникає ударна хвиля, що викликає металевий звук (дизельний стукіт).

Ще більше зниження тиску викликає неповне згоряння палива, у вихлопі з'являється білий дим.

До такого ж результату призводить раннє упорскування: збільшується період затримки займання і з'являється дизельний стукіт. Він же утворюється при низькому тиску впорскування - краплі виходять більшими, тому не встигають випаруватися. Збільшується період затримки займання, результат – дизельний стукіт.

При пізньому упорскуванні спалах палива відбувається вже після ВМТ, воно не встигає згоріти, залишки у вигляді білого диму викидаються з вихлопом. При впорскуванні занадто великої кількості палива утворюється нестача кисню для згоряння. Незгоріле паливо перетворюється на вуглець, що викликає чорний дим вихлопу.

## **13.Процес розширення**

Процес розширення є єдиним із чотирьох тактів двигуна, в якому відбувається корисна робота.

Починається процес розширення, коли поршень перебуває у ВМТ і ще триває горіння та закінчується – в НМТ, коли вже розпочався процес випуску. Поршень у процесі розширення переміщається під впливом високого тиску продуктів згоряння, обумовленого їх нагріванням від тепла, що виділилося при згорянні палива. На початку процесу розширення (до точки z, рис. 8) тиск продуктів згоряння збільшується. При подальшому русі поршня продукти згоряння



розширюються, їх тиск і температура падають, а тепло, підведене до продуктів згорання, перетворюється на механічну енергію.

#### 14. Процес випуску

Призначення процесу випуску - очистити циліндр від продуктів згорання і підготувати його до заповнення свіжою сумішшю в процесі впуску. Починається в момент відкриття клапан випуску, який відкривається до приходу поршня в НМТ у такті розширення та закривається після того, як він пройшов ВМТ у такті впуску.

На початку випуску витікання газів відбувається під дією надлишкового тиску в циліндрі, який у момент відкриття випускного клапана досягає 6-10 кг/см<sup>2</sup> і більше. У цьому газі виходять зі швидкістю, що дорівнює швидкості поширення звуку них, тобто 600-700 м/с, що супроводжується різким шумом (*вихлоп*). Тиск у циліндрі різко знижується, може досягти атмосферного і навіть нижче.

Другий період процесу випуску – виштовхування газів із циліндра поршнем, що переміщається до ВМТ. Протягом цього періоду тиск у циліндрі дещо підвищується в залежності від величини гідравлічних опорів вихлопної системи.

Так як клапан випуску закривається після ВМТ, а клапан впуску відкривається до ВМТ у такті випуску, то відбувається так зване «*перекриття клапанів*», коли обидва клапани деякий час відкриті одночасно. Це дозволяє поліпшити очищення циліндра за рахунок продувки камери згорання і підвищити ваговий заряд свіжої суміші і потужність двигуна.

#### 15. Основні вузли поршневого двигуна

Основними елементами поршневого двигуна є: картер, колінчастий вал, шатуни, розподільний вал, циліндри, поршні, клапани, механізм приводу клапанів.



Рис.12. Чотирициліндровий опозитний двигун  
Двигун Lyscoming від 100 до 300 к.с

Картер - картер (англійською мовою) складається з двох елементів з легко-го сплаву, зібраних уздовж середньої вертикальної площини двигуна. Дві на-півкорпуса з'єднані між собою болтами та гайками по всьому колу корпусів. Картер повинен забезпечувати герметичний корпус для мастила і підтримувати різні зовнішні (стартер, магнето тощо) і внутрішні (підшипники колінчастого вала) механізми двигуна. Він також забезпечує підтримку для фіксації набору циліндрів.



Рис.13. Схема 6-циліндрового плоского двигуна

### Колінчастий вал

Колінчастий вал - є основою поршневого двигуна. На нього діє більшість сил, що розвиваються двигуном. Його основне призначення — перетворення зворотно-поступального руху поршня в обертовий через шатун. Він повинен бути ідеально збалансований, щоб уникнути будь-яких вібрацій, які можуть спричинити поломку металевих конструкцій. Колінчастий вал, як правило, виготовлений із кованої сталі, може складатися з однієї або кількох частин.

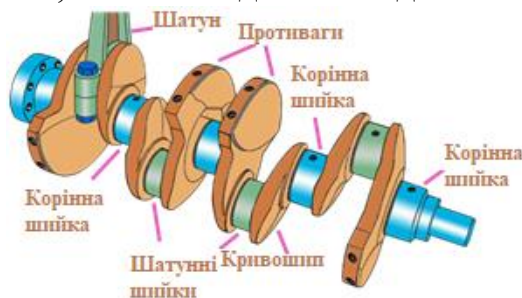


Рис.14. Колінчастий вал

### Шатуни

Шатуни - перетворюють прямолінійний зворотно-поступальний рух поршня в майже безперервний обертовий рух колінчастого вала. Вони повинні бути достатньо міцними, щоб залишатися жорсткими під навантаженням, але достатньо легкими, щоб зменшити сили інерції, які виникають під час зупинки

шатуна та поршня, зміни напрямку та повторного запуску в кінці кожного ходу. Шатуни мають два круглі отвори: одне малого діаметра, яке називається малим кінцем шатуна, а інше великого діаметра, яке називається великим кінцем шатуна.

Шатуни та їх кришки виготовлені з цілісного шматка кованої сталі. Плече шатуна має форму Н, а кришку отримують шляхом розпилювання головки шатуна навпіл. Дві напівподушки вистилають голову і тримаються на місці вушками. Капот кріпиться двома болтами. Лапа шатуна облицьована бронзовим підшипником.



Рис.14. Шатун

### Циліндри

Кожен циліндр - являє собою набір з двох основних частин: головки блоку циліндрів і стовбура циліндра. Стовбур циліндра є центральним елементом двигуна, в якому рухається поршень. Він виготовлений із сталевий поковки із загартованою поверхнею всередині, щоб протистояти зносу поршня та його кільця (сегментів). Він оснащений ребрами, які забезпечують охолодження зовнішнім повітрям.

Верхня частина закрита головкою блоку циліндрів. Вона містить клапани, впускну та випускні камери та отвори для кріплення свічок запалювання. Призначення головки блоку циліндрів - забезпечити місце для згоряння повітряно-паливної суміші та надати циліндру більшу теплопровідність для належного охолодження. Головка блоку циліндрів зазвичай виготовляється з алюмінієвого сплаву, оскільки алюмінієвий сплав є хорошим провідником тепла, а його вага зменшує загальну вагу двигуна. Головки циліндрів ковані або литі під тиском. Внутрішня форма головки блоку циліндрів зазвичай напівсферична.



Рис.15. Схема циліндра

### Поршні

Більшість поршнів авіаційних двигунів виготовлені з поковок з алюмінієвих сплавів. На зовнішній поверхні поршня виточені канавки для розміщення кілець, а всередині поршня передбачені ребра охолодження для більшої передачі тепла моторному маслу.

Верхня частина поршня, або головка, може бути плоскою, опуклою або увігнутою. У голівці поршня можна виконати виїмки, щоб уникнути перешкод для клапанів.

Навколо поршня можна виконати до шести канавок для розміщення поршневих компресійних та маслоущільнювальних кілець. Ці кільця вставляються в канавки поршня, але трохи виступають, щоб упиратися в стінки циліндра; при правильному змащуванні кільця створюють ефективне газове ущільнення.

Більшість авіаційних двигунів використовують три сегменти:

- сегмент вогню або пожежогаситель, який знаходиться найближче до камери згоряння, він зупиняє, як впливає з назви, горючі гази та знижує температуру стінки поршня під ним;
- ущільнювальний або компресійний сегмент (посередині) забезпечує додаткову герметизацію витоку газів, що проходять через пожежний сегмент. Виглядає майже так само, як брандмауер;
- найнижчий скребок або масляне кільце, як правило, складається з трьох елементів: двох дуже тонких рейок у верхній і нижній частині перфорованого еластичного розширювача, які використовуються для зіскрібання мастила, наявного в циліндрі під поршнем, для повернення його в картер під час Ця олива постійно викидається на циліндр під час руху шатунів (розбризування мастила), повернення мастила з поршневого пальця або спеціальних струменів, які викидають оливу на поршень для його охолодження.



Рис.16. Поршнева група

### Клапани



Клапани є механічними частинами розподільчого механізму чотиритактних двигунів, які забезпечують впуск свіжих газів і відведення згорілих газів.

Клапани в основному класифікуються на три категорії:  
 - штокові клапани, також звані клапанами-тюльпанами;  
 -поворотні клапани та поворотні муфти;



Найпоширенішими є клапани штока/тюльпана, які встановлюються майже на всіх сучасних двигунах внутрішнього згоряння. Ці клапани найчастіше приводяться в дію розподільним валом і підтримуються однією або кількома поворотними пружинами.

Клапани є важливими механічними компонентами теплових двигунів, оскільки вони забезпечують:

- надходження свіжих газів у камеру згоряння (повітряно-паливна суміш), тривалість її відкриття визначає кількість повітря, що надходить у циліндр;
- відведення згорілих газів назовні.

Клапани авіаційних двигунів піддаються впливу високих температур, корозії та робочих навантажень. Шток клапана виступає в якості напрямної для головки клапана.

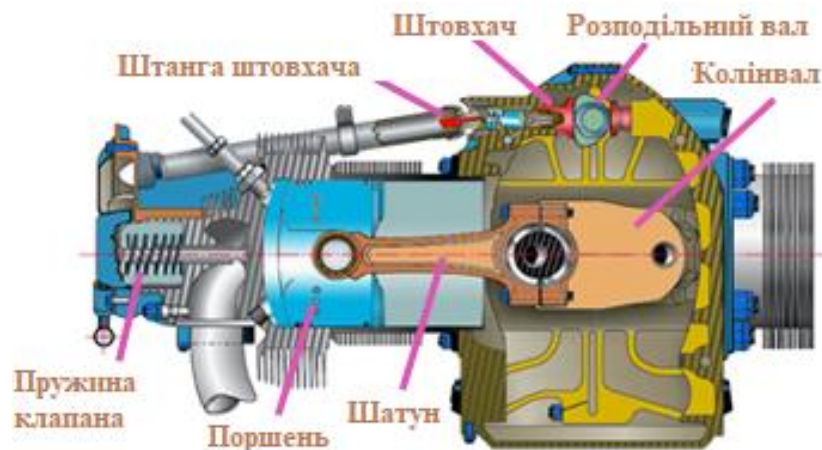
### Розподільний вал

Розподільний вал - виготовляється з кованої сталі. Розподільний вал - це механічний пристрій для синхронізації кількох рухів. Він перетворює безперервний обертовий рух вала в поступальний (наприклад, клапана). Він складається з циліндричного штока з такою кількістю кулачків, як клапани, якими можна керувати незалежно або групами, ковзаючи по штоку клапана або на механічній трансмісії. Синхронізація розподільного вала з коленвалом здійснюється через шестерні. У чотиритактних двигунах внутрішнього згоряння повний цикл згоряння вимагає двох обертів колінчастого вала для одного оберту розподільного вала. Тому останній повинен обертатися вдвічі швидше, ніж колінчастий вал двигуна.



### Клапанний механізм

Щоб поршневий двигун працював належним чином, кожен клапан повинен відкриватися в потрібний час і залишатися відкритим необхідний час. Впускні клапани відкриваються безпосередньо перед досягненням поршнем верхньої мертвої точки, а випускні залишаються відкритими після верхньої мертвої точки. Таким чином, у будь-який момент часу обидва клапани відкриті одночасно (кінець такту випуску і початок такту впуску). Цю фазу газорозподілу контролює механізм.



Функція вузла штовхача полягає в тому, щоб перетворювати обертальний рух пелюстка кулачка в зворотно-поступальний рух і передавати його на стрижень коромисла, а потім на кінчик клапана, відкриваючи його в потрібний момент. Нижче коромисел двох клапанів (впускний, випускний) з їх пружинами. Функції пружин полягають у тому, щоб закривати клапан і надійно утримувати його в гнізді. Для гасіння коливань і захисту від поломки на клапан використовується кілька пружин.

## 16. Системи змащення

*Вимоги та характеристики мастильних матеріалів  
для поршневих двигунів*

Хоча є кілька важливих властивостей, якими повинна володіти олива для поршневих двигунів, її в'язкість є найважливішою для роботи двигуна. Опір олії течії називається її в'язкістю. Масло, що тече повільно, є в'язким або має високу в'язкість; якщо він вільно тече, він має низьку в'язкість.

Олива, вибрана для змащування авіаційних двигунів, повинна бути достатньо легкою, щоб вільно циркулювати при низьких температурах, і водночас достатньо важкою, щоб утворювати належну масляну плівку при робочих температурах двигуна. Оскільки мастильні матеріали відрізняються за властивостями і оскільки жодна олива не підходить для всіх двигунів і всіх умов експлуатації, надзвичайно важливо використовувати лише схвалений клас або рейтинг Товариства автомобільних інженерів (SAE).

Щоб спростити вибір олів, їх часто класифікують за системою SAE, яка поділяє всі оливи на сім груп (SAE від 10 до 70) відповідно до в'язкості при 130 °F або 210 °F.

Буква W іноді включається в номер SAE, що дає позначення, наприклад SAE 20W. Це W вказує на те, що олива, окрім відповідності вимогам до в'язкості при специфікаціях температури випробування, є задовільною оливою для зимового використання в холодному кліматі.

Хоча кожен сорт масла оцінюється за номером SAE, залежно від його конкретного використання, він може бути оцінений за номером класу комерційної авіації або номером специфікації армії та флоту. Співвідношення між цими системами нумерації оцінок показано на малюнку.

Commercial Aviation No.	Commercial SAE No.	Army and Navy Specification No.
65	30	1065
80	40	1080
100	50	1100
120	60	1120
140	70	

#### *Типи систем змащування*

Є дві системи змащування:

- з мокрим картером - зберігає масло всередині блоку двигуна. Після того, як масло прокачується і розподіляється по двигуну, воно повертається в резервуар у нижній частині картера.
- для сухого картера використовується резервуар або кришка поза блоком двигуна. Масло перекачується та розподіляється через двигун, потім збирається другим насосом для зберігання у зовнішньому резервуарі.

Система мастила під тиском є основним методом змащування двигунів літаків. Змащування брызками також можна використовувати на додаток до змащування під тиском, але воно ніколи не використовується окремо.

Перевагами мастила під тиском є:

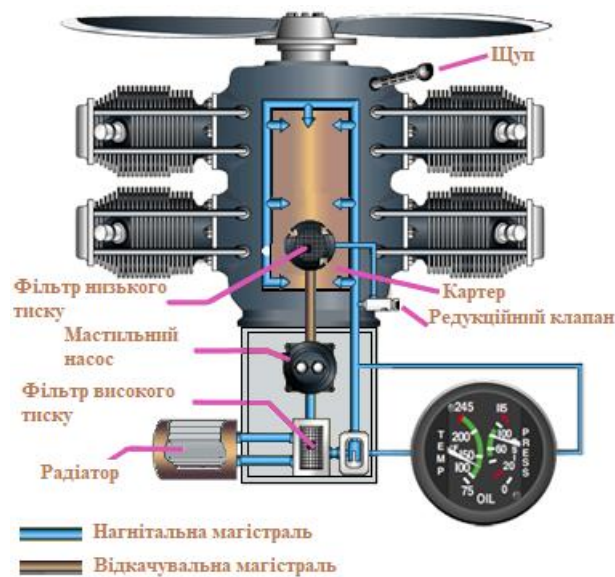
- позитивне введення масла в підшипники;
- ефект охолодження, викликаний великою кількістю масла, яке можна перекачувати або розподіляти;

- задовільне змащення в різних положеннях польоту (круті нахили або перевернуті польоти).

Система змащування двигуна повинна бути спроектована та виготовлена таким чином, щоб вона функціонувала належним чином у всіх положеннях польоту та атмосферних умовах, у яких очікується експлуатація літака.

### *Система змащування з мокрим картером*

Масло міститься в картері, розташованому в нижній частині двигуна. Він всмоктується шестеренчатим насосом, який розподіляє його по частинах, які потрібно змастити. У цьому випадку змащування колінчастого вала здійсню-



ється розбризкуванням.

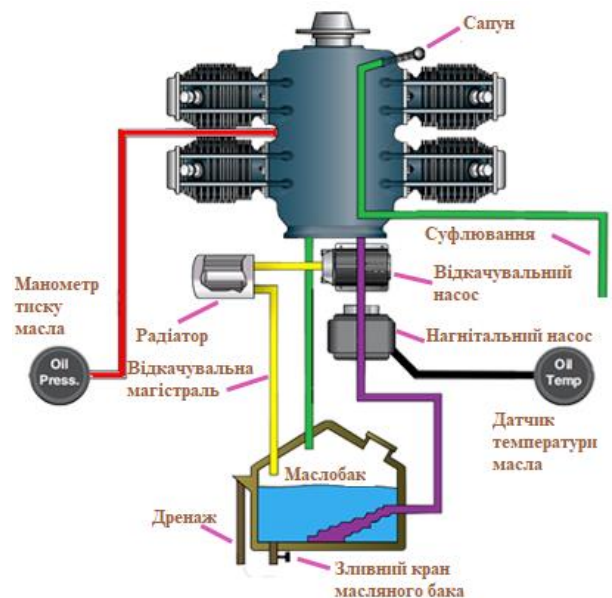
### *Схема системи змащування з мокрим картером*

### *Система змащування з сухим картером*

У системі масло не зберігається в картері, воно виконує лише роль рекуператора рідини, яка потім перекачується в бак. Потім змащування здійснюється розпиленням під тиском, а не барботажем. Масло відкачується, а потім перерозподіляється через маслопроводи двигуна. Після змащування рухомих частин воно знову потрапляє в картер, засмоктується відкачувальним насосом і повертається в бак.

Компоненти системи змащування:

- резервуар;
- один або два насоси;
- один або два фільтри;
- клапани або регулюючі клапани;
- радіатор;
- захисні клапани;





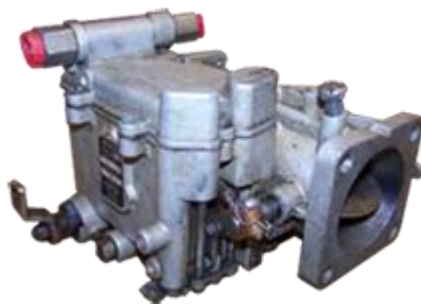
- контрольні прилади.

### Схема системи змащування з баком

## 17. Карбюратор

Карбюратор використовується для приготування суміші повітря (окислювача) і палива (бензину) для формування суміші відповідно до співвідношення паливо/повітря достатньої насиченості, що дозволяє їй ідеально горіти в камері згоряння. Він повинен зберігати ідеальну пропорцію в суміші незалежно від швидкості двигуна та її коливань. При приготуванні суміші слід дотримуватися двох умов:

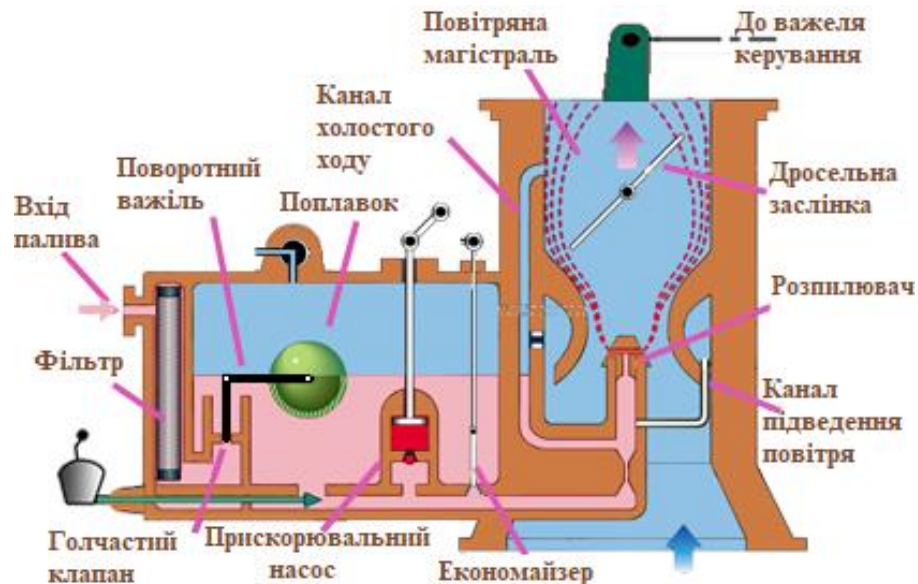
- однорідність, яка повинна забезпечити найкраще розпилення.
- дозування, яке повинно бути постійним на всіх швидкостях, однак не виключаючи можливості її зміни в конкретних умовах (холодний старт або швидке прискорення).



Склад карбюратора

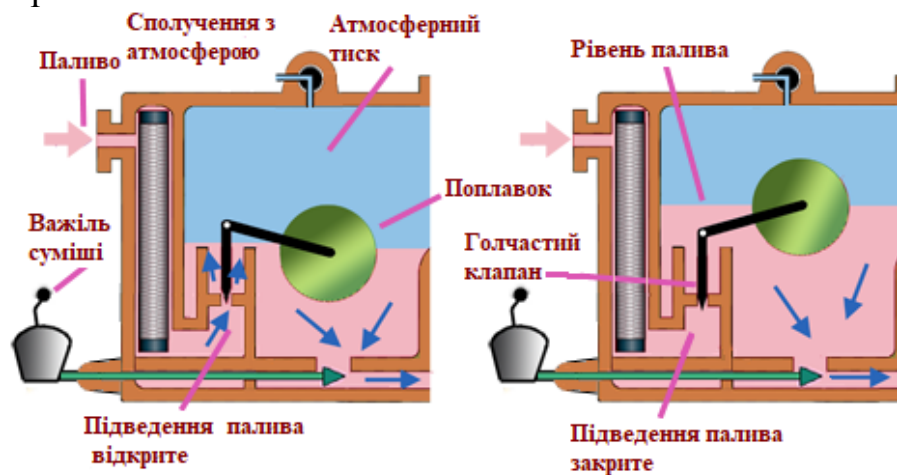
Карбюратор, як правило, складається з:

- поплавкової камери, у якій поплавець, оснащений голкою, дозволяє відкривати або закривати впускний отвір палива;
- дифузор, який має звуження і має форму трубки Вентурі - створює розрідження, необхідне для всмоктування палива;
- форсунка, яка служить для введення палива в зону низького тиску дифузора;
- дросельна заслінка, розміщена у каналі за дифузоровим - забезпечує розподіл кількості введеної суміші відповідно до потужності, яка вимагається від двигуна – управляється важелем;
- контур і жиклер холостого ходу;
- ручна або автоматична система регулювання змішування.



### Поплавкова камера

У камері голка, прикріплена до поплавця, контролює надходження палива з баку та забезпечує практично постійний рівень. При працюючому двигуні паливо всмоктується з камери, а голчастий клапан під дією поплавця займає проміжне положення, так що отвору вистачає якраз для подачі необхідної кількості палива і підтримки постійного рівня в камері. Вентиляційний отвір підтримує атмосферний тиск всередині бака. Нижня частина ємності з'єднується патрубком з дифузорею.



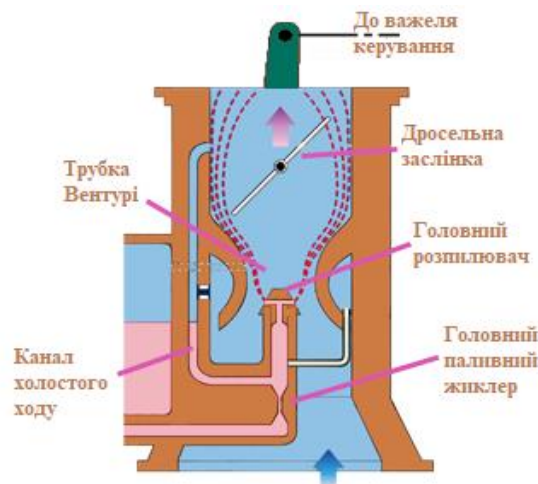
### Головна дозуюча система

Забезпечує двигун паливно-повітряною сумішшю, за винятком холостого ходу, і складається з:

- трубки Вентурі
- головного форсунки для дозування
- основного інжектора
- каналу, що веде до повільного руху
- дросельна заслінка.

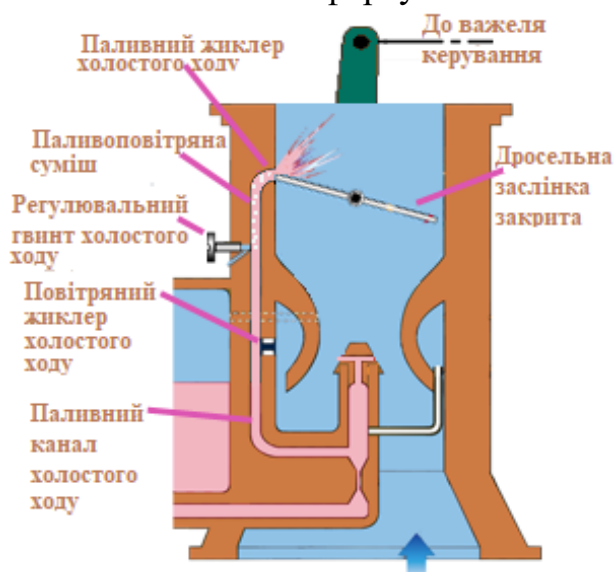
Робота карбюратора базується на фізичному принципі, який називається законом Вентурі: коли рідина (газ або рідина) стикається з звуженням, швид-

кість його потоку збільшується, а тиск, присутній на рівні звуження, зменшується, з ефектом всмоктування. Саме це явище використовує карбюратор, розміщуючи там впускний паливний отвір (жиклер). Оскільки тиск у резервуарі постійного рівня знаходиться під атмосферним тиском, паливо всмоктується в канал карбюратора. Мета полягає в тому, щоб мати можливість подавати однорідну суміш повітря та газоподібного палива на виході з сопла, зберігаючи при цьому ідеальну пропорцію на вході в циліндри, незалежно від швидкості двигуна. Ефект всмоктування буде змінюватись залежно від відкриття дросельної заслінки, керованої важелем.



#### Система холостого ходу

На низьких обертах, коли двигун працює на холостому ході приблизно від 1000 до 1300 об/хв, дросельна заслінка закрыта або злегка відкрита, а швидкість повітря (розрідження) через трубку Вентурі настільки низька, що вона не може в достатній мірі втягувати паливо з головного жиклера. Щоб забезпечити плавну роботу двигуна на холостому ході, збоку вбудовано паливний канал і повітрозабірник для живлення жиклера холостого ходу. Швидкість холостого ходу регулюється гвинтом. Це працює лише тоді, коли дросель закритий достатньо, щоб припинити розпилення з основного форсунки.

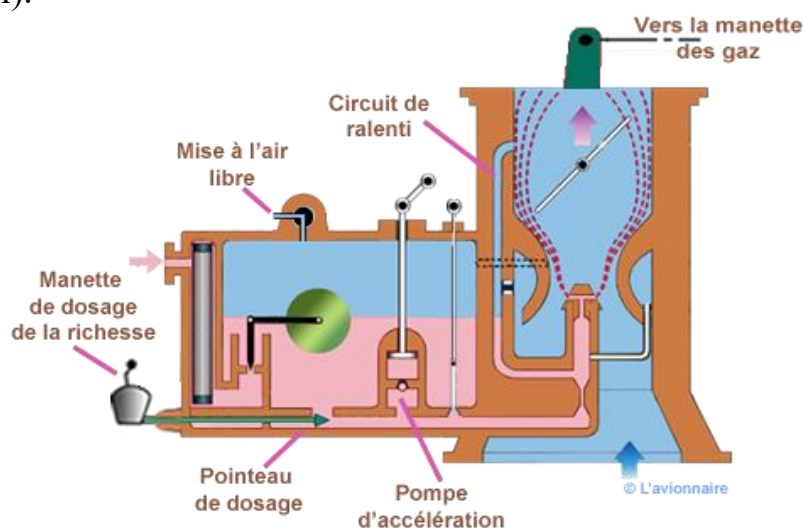


### Регулювання складу суміші

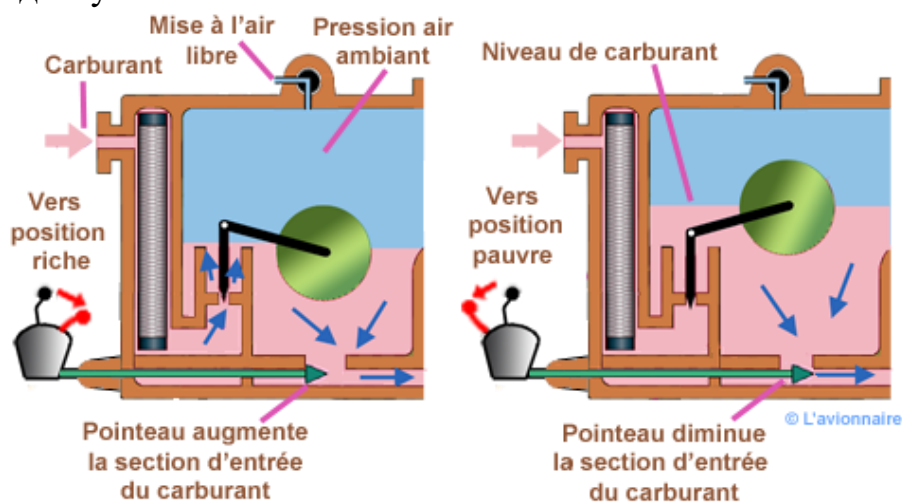
Паливо завжди вимірюється відносно його маси, а не його об'єму. Коли літак набирає висоту, щільність повітря, яка залежить від атмосферного тиску та зовнішньої температури, стає меншою. Таким чином, з висотою об'єм повітря, що проходить через карбюратор, залишиться пропорційним всмоктуванню в колекторі, але його маса зменшиться. Оскільки повітря менш щільне, кількість палива слід зменшити, щоб суміш не стала надто багатою. Ручне регулювання насиченості суміші дозволяє пілоту змінювати співвідношення паливно-повітряної суміші.

Дозування суміші безпосередньо впливає на:

- температуру головок циліндрів і вихлопних газів;
- кількість залишків, що утворюються в результаті горіння (незгоріле паливо, тверді залишки).



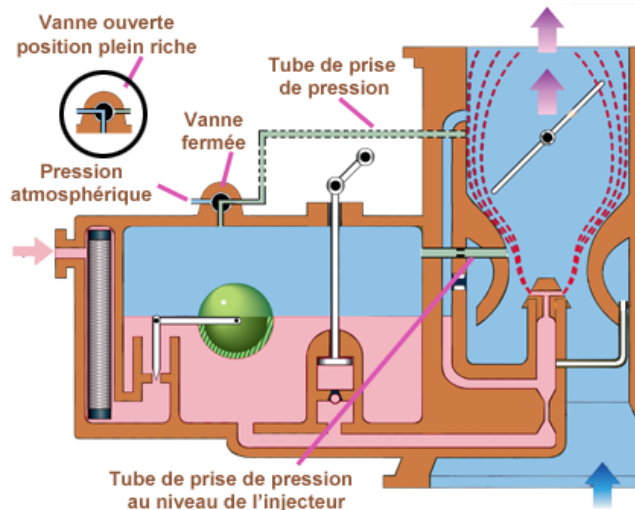
Зазвичай переміщення важеля суміші (дозування) вперед (натискання) збагачує суміш, а переміщення назад (тягнення) збіднює суміш. Контроль суміші також забезпечує допоміжну функцію, а саме повне перекриття потоку палива для зупинки двигуна.



### Автоматичне регулювання складу суміші

Існує кілька систем автоматичного регулювання насиченості, але найбільш широко використовується система контролю суміші з поверненням всмокту-

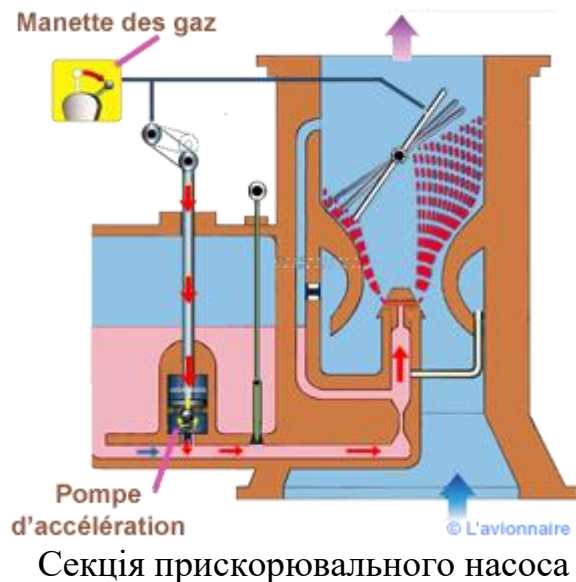
вання. У цій системі низький тиск у трубці Вентурі на дросельній заслінці діє на паливо в поплавковій камері так, що воно протистоїть низькому тиску, що існує в головному інжекторі. Вентиляційний отвір (атмосферний тиск), що містить регульований клапан, відкривається в камеру поплавця. Коли клапан повністю закритий, тиск палива в поплавковій камері та тиск біля головної форсунки майже однакові, а потік палива зменшується до мінімуму. Коли клапан широко відкритий, тиск на паливо в камері поплавця більший і паливна суміш багатша. Регулювання клапана в проміжних положеннях допомагає контролювати суміш.



### *Прискорювальний насос*

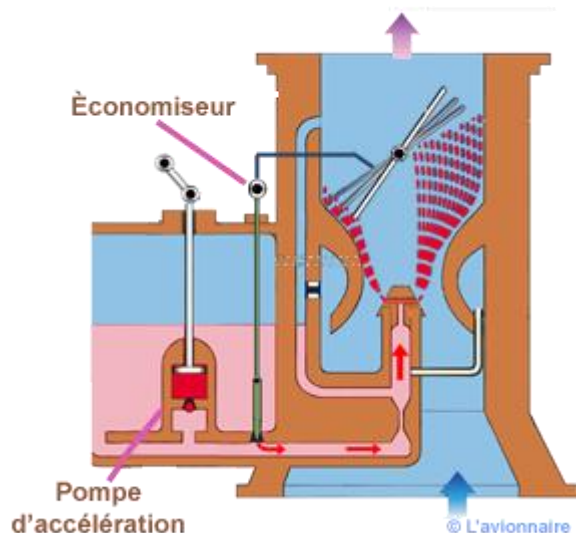
Коли дросельну заслінку швидко відкривають, великий об'єм повітря швидко проходить через дифузор карбюратора. Однак кількість палива, яке змішується з повітрям, менше, ніж зазвичай, через низьку швидкість реагування головної дозуючої системи. Тому після швидкого відкриття дросельної заслінки повітряно-паливна суміш стає бідною. Через це двигун може повільно розганятися або навіть «заглохнути». Щоб подолати цю тенденцію, карбюратор оснащений невеликим паливним насосом, який називається «прискорювальним насосом». Система складається з одного поршневого насоса, який приводиться в дію зв'язком із регулятором дросельної заслінки, створюючи додатковий впускний отвір у звичайному паливопроводі або в головному циліндрі карбюратора поблизу трубки Вентурі. Швидке натискання насоса збільшить потік палива та збагатить суміш у трубці Вентурі.





### Економізатор

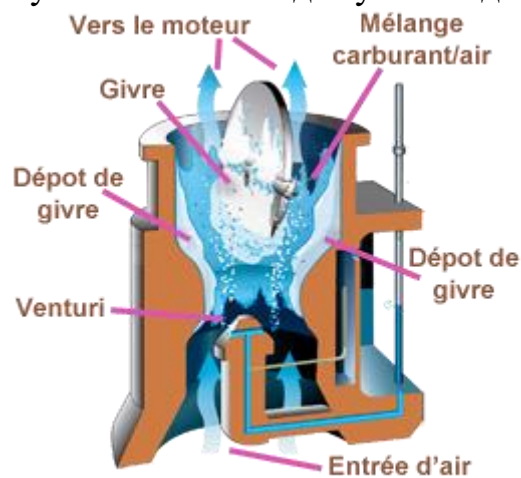
Щоб двигун розвивав максимальну потужність при повністю відкритій дросельній заслінці, повітряно-паливна суміш має бути багатшою, ніж для крейсерського режиму. Додаткове паливо використовується для охолодження двигуна та запобігання детонації. Економізатор - це, по суті, клапан, який закривається при потужності нижче 60-70% від номінальної. Ця система, як і прискорювальний насос, керується дросельною заслінкою. Типова система економізатора показана нижче. Він складається з голчастого клапана, який починає відкриватися, коли дросельна заслінка досягає заданої точки з відкритого положення. Коли дросель продовжує відкриватися, голчастий клапан впускає додаткове паливо, щоб доповнити потік з головного інжектора.



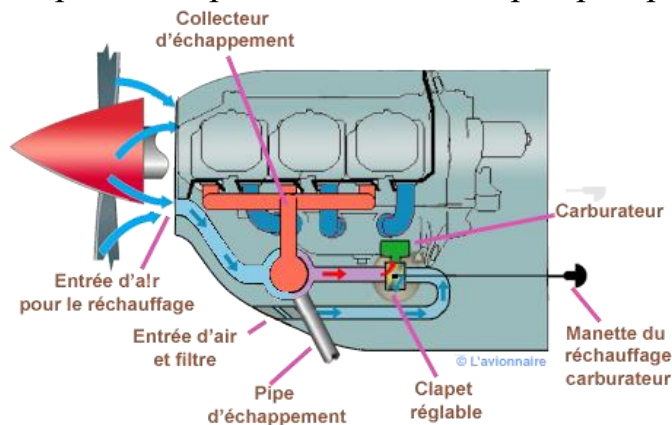
### Обледеніння карбюратора

На виході з трубки Вентурі, безпосередньо перед дросельною заслінкою, повітря раптово охолоджується внаслідок поєднання розширення повітря та падіння температури в результаті випаровування палива. Зниження температури може досягати мінус 30°C, і вода, що міститься в повітряно-паливній суміші,

може швидко перетворитися на іній та/або лід, і осідати на периферії трубки Вентурі та на дросельній заслінці. Це явище через блокування трубки Вентурі призводить до втрати потужності і навіть до зупинки двигуна.



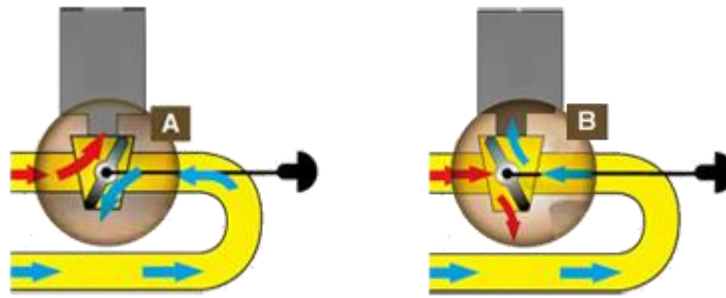
Більшість літальних апаратів обладнано карбюраторним обігрівом, щоб допомогти усунути цю загрозу. Пристрій впускає нагріте повітря шляхом циркуляції навколо випускного колектора. Дросель, що приводиться в дію рукояткою, спрямовує потік гарячого чи холодного повітря до карбюратора. Увага, цей пристрій має працювати в режимі «все або нічого». Зверніть увагу, що нагріте повітря надходить до карбюратора без фільтрації.



#### Принцип роботи:

А - працює підігрів карбюратора: в положенні «ВКЛ» заслінка блокує надходження свіжого повітря, в цьому випадку карбюратор втягує повітря, яке нагрілося від контакту з випускним колектором.

В - не працює обігрів карбюратора: в положенні «ВИМК.» заслінка перекриває надходження гарячого повітря, в цьому випадку свіже повітря проходить через фільтр перед входом в карбюратор.

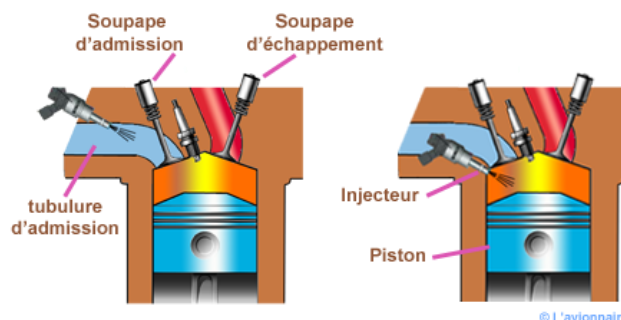


## 18. Системи впорскування палива інжекторних двигунів

У системі впорскування палива паливо впорскується безпосередньо в циліндри або безпосередньо перед впускним клапаном. Повітрязабірник для системи впорскування палива подібний до того, що використовується в карбюраторній системі, з альтернативним джерелом повітря, розташованим усередині капота двигуна. Це джерело використовується, якщо зовнішнє джерело повітря заблоковано. Аварійне джерело повітря, як правило, контролюється автоматично, з ручною резервною системою, яка може використовуватися для тривалих автоматичних несправностей.

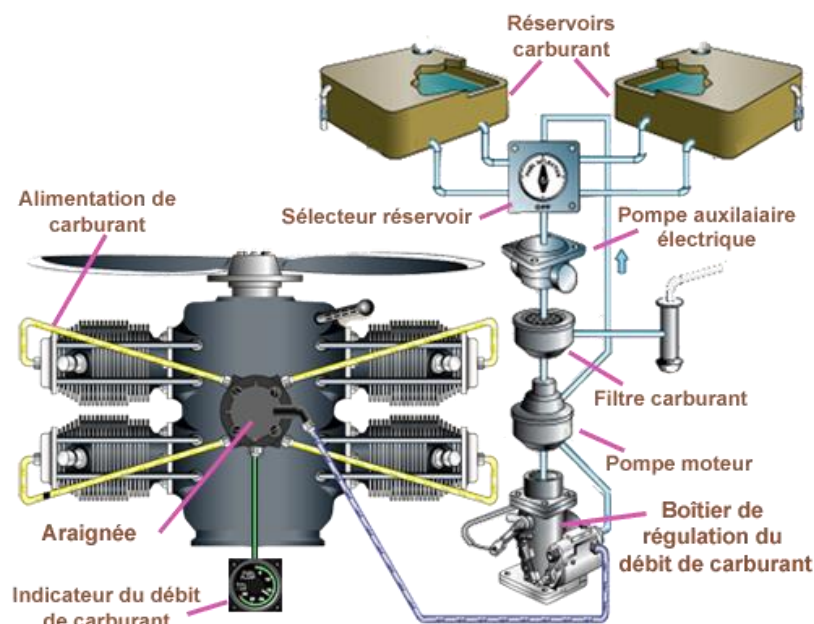
Два режими впорскування:

- впорскування у впускну трубу перед впускним клапаном;
- впорскування безпосередньо в циліндр.



Система впорскування палива зазвичай включає:

- допоміжний (електричний) паливний насос;
- паливний насос з приводом від двигуна;





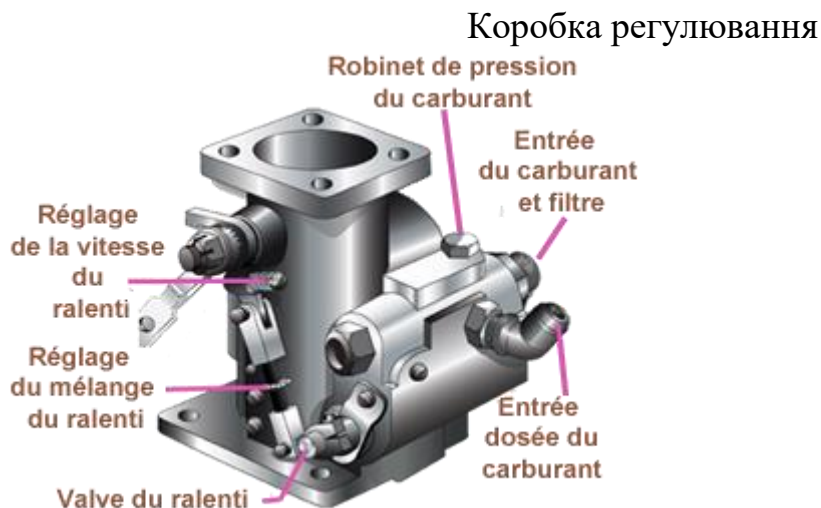
- паливний фільтр;
- блок контролю витрати палива;
- командний блок;
- розподільник палива;
- форсунки;
- манометр.

### Схема інжекторного двигуна

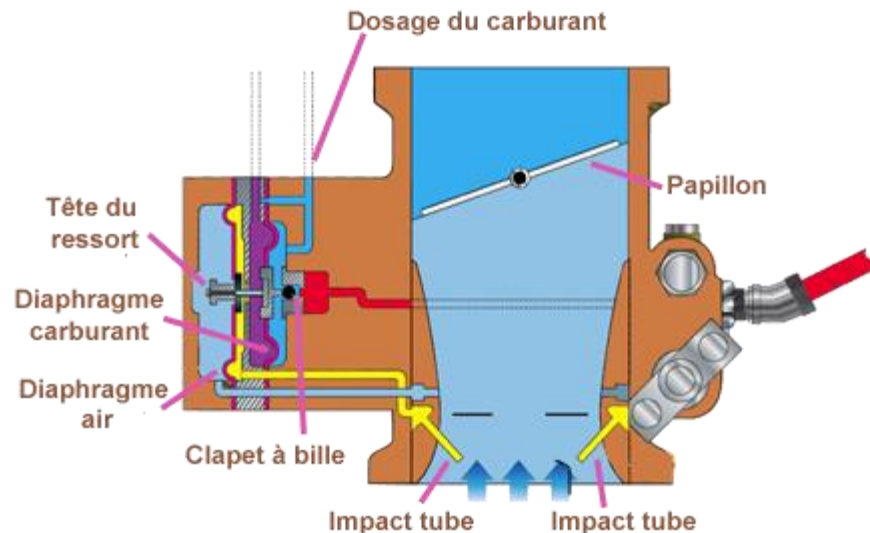
Існує кілька систем впорскування: Bendix, Continental/TCM тощо...

#### *Система впорскування Bendix*

Система впорскування палива Bendix — це система безперервного потоку, яка вимірює споживання повітря двигуном і використовує його для контролю надходження палива до двигуна.



Витрата повітря двигуном вимірюється датчиком ударного тиску та тиску всмоктування трубки Вентурі. Ці тиски направляються на обидві сторони мембрани. Кожна сторона відчуває тиск. Ця різниця тиску, яка називається «силою вимірювання повітря», пропорційна потоку повітря через інжектор. Відкриття дросельної заслінки викликає зміну споживання повітря двигуном, що призводить до зміни швидкості повітря в трубці Вентурі. Коли потік повітря через трубку Вентурі збільшується, тиск на лівій стороні діафрагми зменшується через падіння тиску в горловині трубки Вентурі. В результаті діафрагма зміщується вліво і відкриває кульовий кран, що збільшує потік палива. Таким чином, обсяг повітряного потоку визначає витрату палива.

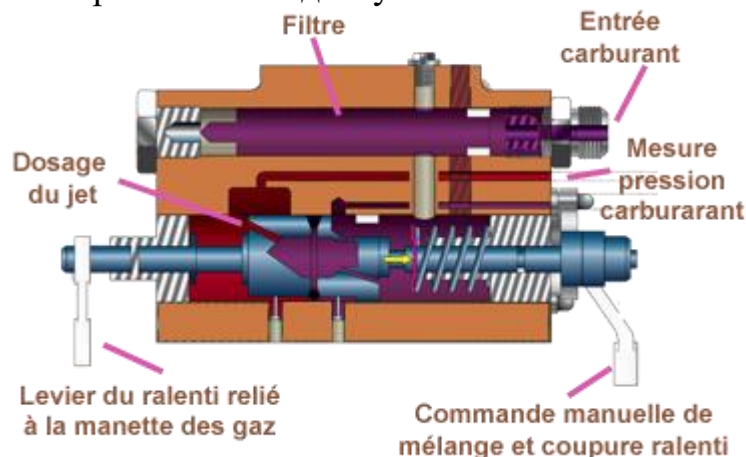


### Паливний регулятор

Паливний регулятор подає паливо в розподільник. Він складається з:

- паливного впускного отвору та фільтра;
- ручного регулятора суміші з відсіканням холостого ходу;
- важіля холостого ходу, з'єднаного з дроселем.

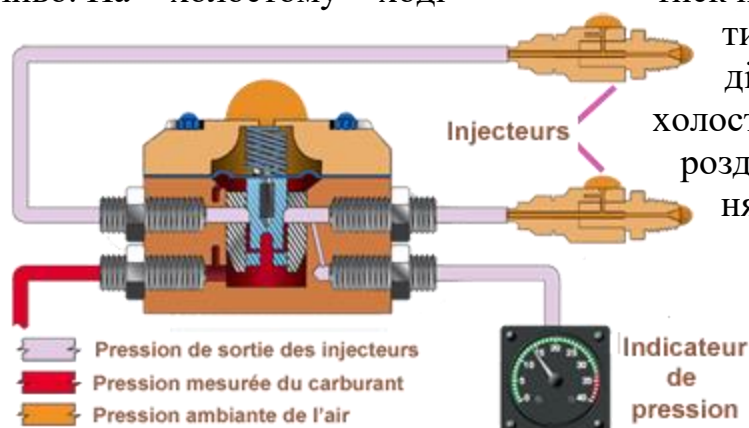
Швидкість холостого ходу та його суміш можна регулювати ззовні відповідно до індивідуальних потреб кожного двигуна.



### Розподільник палива

Дозоване паливо з блоку управління надходить у розподільник під тиском. Цей блок підтримує паливо під тиском і розподіляє його до кожної форсунки. Оскільки блок керування подає фіксовану кількість палива до розподільника, клапан має відкритися, щоб пропускати лише необхідне для форсунок паливо. На холостому ході

тиск палива в розподільнику має долати силу пружності, прикладену до діафрагми та клапанного вузла, на холостому ходу розподільник повинен розділяти низький потік для живлення кожного циліндра.





### Система Continental/TCM

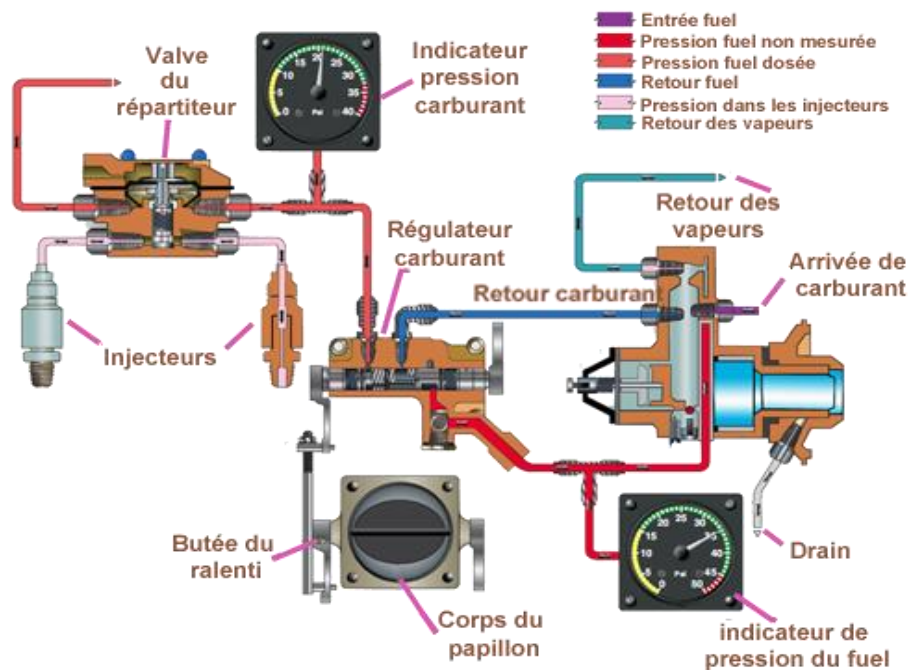
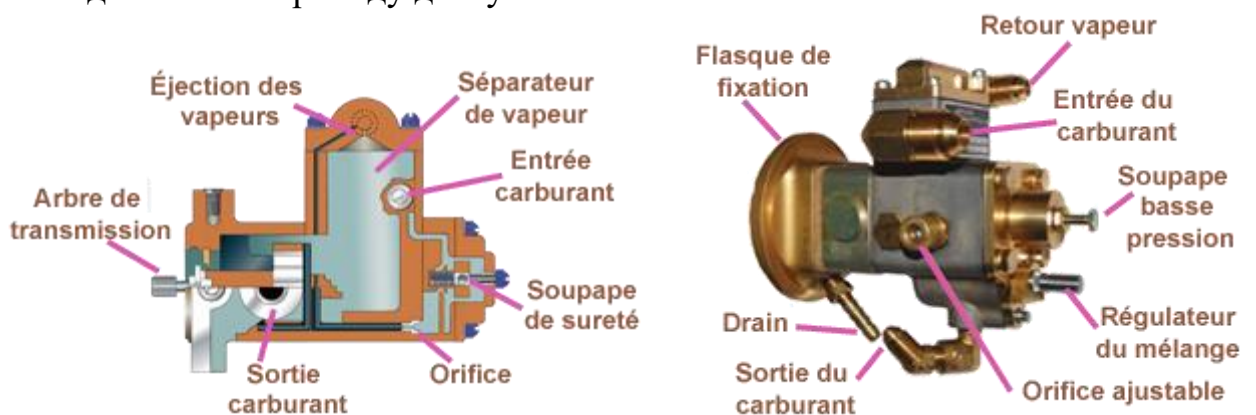


Схема системи Continental/TCM

### Насос системи Continental/TCM

Паливний насос роторно-лопатевого типу з шліцьовим валом для підключення до системи приводу двигуна.

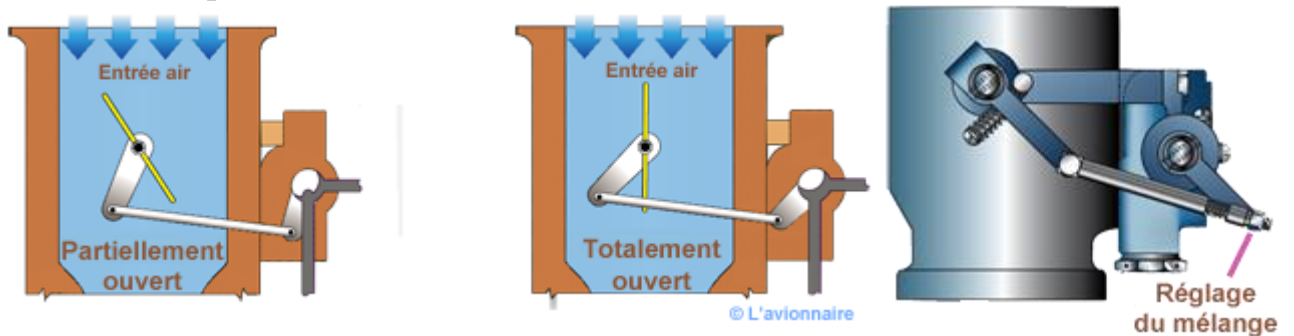


Паливо надходить у вихровий колодязь паровідділювача. Пари відокремлюються за допомогою вихрового руху, так що тільки паливо надходить до на-

соса. Пари втягуються у верхню частину свердловини невеликим струменем палива під тиском, а потім скидаються через лінію в паливний бак.

### Контроль палива/повітря

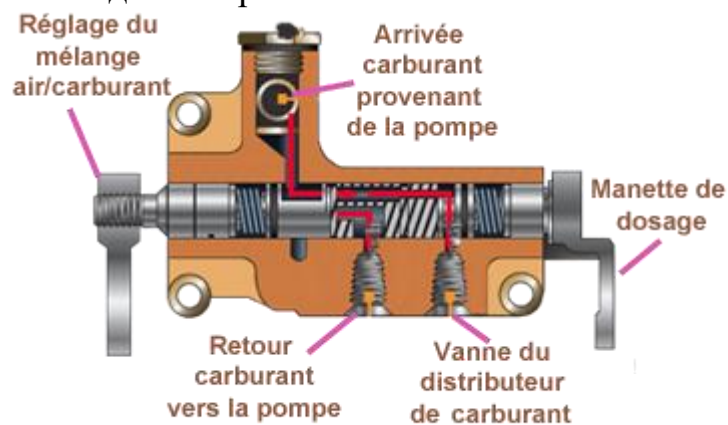
Дросельна заслінка контролює потік повітря до двигуна. Цей потік повітря дозволяє дозувати потік палива для отримання оптимального співвідношення паливо/повітря.



Регулятор суміші холостого ходу складається з пружини і звичайного гвинта, розташованого на штоку, що з'єднує важіль газу з дросельною заслінкою.

### Паливний регулятор

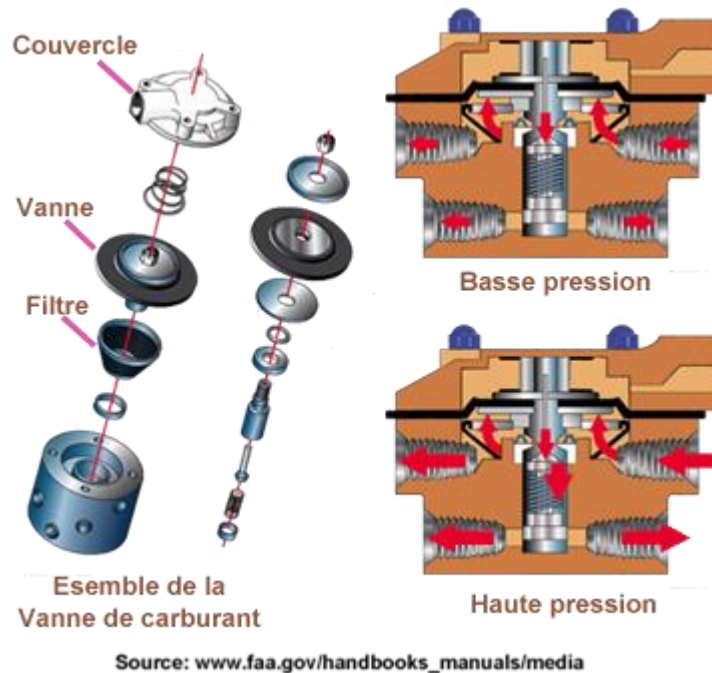
Регулятор палива складається з важеля дозування на одному кінці та клапана регулювання суміші повітря/паливо на іншому кінці. Його центральний отвір містить рифлений поворотний клапан, який утворює паливну камеру. Через сітку паливо надходить в блок управління і проходить через змішувальний клапан. При підключенні змішувального клапана до дросельної заслінки потік палива правильно пропорційний потоку повітря, щоб отримати правильне співвідношення палива до повітря.



Source: [www.faa.gov/handbooks\\_manuals/media](http://www.faa.gov/handbooks_manuals/media)

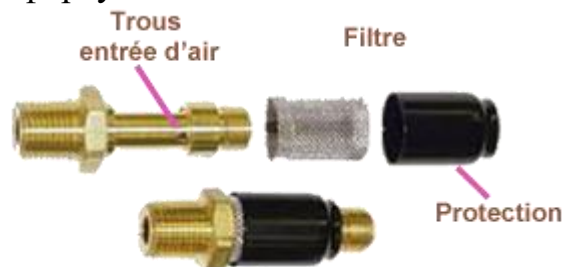
### Розподільник палива

Розподільник палива включає вхід палива, камеру діафрагми та випускні отвори для живлення форсунок. Будь-яке паливо, що надходить, повинно проходити через дрібне сито, встановлене в мембранній камері.



### Інжектори

Інжектори розташовані в головці блоку циліндрів, їх випуск спрямований до впускного отвору. Корпус інжектора містить центральний канал, пронизаний розточкою на кожному кінці. Нижній кінець використовується як камера для паливно-повітряної суміші перед розпиленням. Верхня частина містить знімний отвір для калібрування форсунок.



### Переваги та недоліки

Вважається, що система впорскування палива менш чутлива до обмерзання, ніж карбюраторна система, але обмерзання повітрязбірника можливе в обох системах.

#### Переваги:

- зменшення обмерзання внаслідок випаровування,
- кращий потік палива,
- швидша реакція дросельної заслінки,
- точний контроль суміші,
- кращий розподіл палива,
- легший запуск у холодну погоду.

#### Недоліки:

- труднощі при запуску гарячого двигуна,
- труднощі при повторному запуску двигуна після нестачі палива.



## 19. Системи охолодження

При роботі двигуна гарячі гази, обмиваючи внутрішню поверхню головки й стінок циліндра, днище поршня, головки клапанів й електроди свіч, віддають їм тепло й сильно нагрівають їх. Крім того, всі тертьові деталі двигуна нагріваються внаслідок перетворення роботи тертя в тепло.

Робота двигуна при підвищених температурах викликає:

- зниження механічної міцності й можливість заїдання тертьових деталей;
- зменшення потужності двигуна внаслідок зменшення вагового заряду циліндра й збільшення потужності, затрачуваної на тертя, через недостатнє змащення й коксування масла;
- можливість виникнення детонації й передчасних (мимовільних) спалахів.

Для забезпечення роботи двигуна його необхідно безупинно прохолоджувати, причому це охолодження повинне бути таким, щоб температура деталей двигуна забезпечувала їхню нормальну роботу.

Надмірне охолодження двигуна неприпустимо, тому що при цьому:

- погіршуються умови випару бензину, що порушує усталену роботу двигуна й внаслідок збідніння суміші викликає можливість виникнення небезпечних у пожежному відношенні спалахів у впускних трубопроводах (при зовнішнім сумішоутворенні);
- зменшується потужність двигуна за рахунок збільшення тертя, викликаного підвищенням в'язкості масла.

Відвід тепла від двигуна забезпечується шляхом обдува зовнішньої поверхні циліндрів і картера навколишнім повітрям (двигуни повітряного охолодження) або охолодженням циліндрів рідиною й обдувом картера повітрям (двигуни рідинного охолодження). В останньому випадку тепло, відведене від циліндрів охолодною рідиною, надалі також передається навколишньому повітрю в радіаторі.

При повітряному охолодженні теплообмін відбувається безпосередньо між деталями двигуна й атмосферним повітрям. Зустрічний потік повітря, обмиваючи зовнішню поверхню циліндрів й інших деталей, віднімає від них тепло.

Для збільшення кількості тепла, що відводиться від головок і гільз циліндрів їх постачають ребрами, збільшуючи тим самим у кілька разів поверхню, омивану повітрям.

Для рівномірного охолодження циліндрів застосовують дефлектори. Дефлектори виготовляються з дюралюмінію або сталі й установлюються по контуру оребреної частини гільзи й головки циліндра, створюючи закриті канали - тунелі, проходячи по яких повітря обмиває майже рівномірно всі ділянки циліндра.

Охолодження циліндрів двигунів повітряного охолодження різко погіршується зі зменшенням швидкості охолодного потоку повітря. Особливо утруднене охолодження двигунів, установлених на вертольотах, швидкість переміщення яких мала, а на режимі висіння дорівнює нулю.

Для того щоб забезпечити охолодження двигунів у зазначені вище умовах роботи, прибігають до примусового охолодження за допомогою спеціальних вентиляторів. На двигунах, призначених для вертольотів, установка вентилятора обов'язкова.

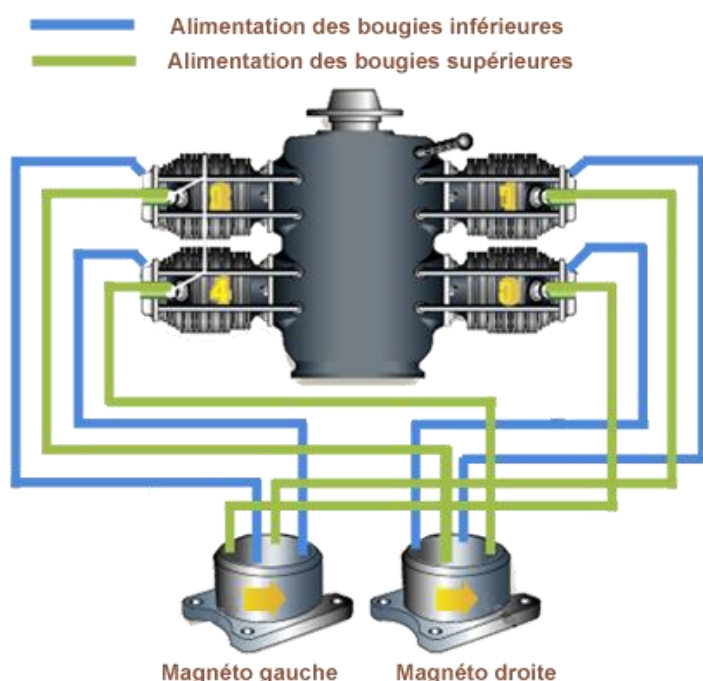
При рідинному охолодженні двигуна циліндри його оточуються спеціальними сорочками або загальною сорочкою (блок циліндрів), у якій циркулює охолодна рідина за допомогою насоса. Рідина, що відняла тепло від стінок циліндра, проохолоджується в радіаторі, що обдуває потоком повітря.

## 20. Системи запалювання

Система запалює повітряно-паливну суміш усередині циліндра. Ця операція виконується за допомогою іскри, що спалахує всередині газової суміші з високою різницею потенціалів порядку 10000-15000 вольт. Ця іскра виробляється свічкою запалювання, яка живиться від генератора, що забезпечує електричний струм високої напруги.

Система запалювання складається з:

- 2 магнето, що працюють одночасно і незалежно;
- 2 рампи запалювання, що складаються із загальною екранованих кабелів для передачі струму високої напруги до свічок запалювання;
- 2 свічки запалювання на циліндр, кожна з'єднана з магнето;



- 1 магнітний регулятор і селектор



тор  
зупин-  
ки.

Дроти з'єднують усі верхні праві свічки запалювання та нижні ліві свічки запалювання з лівими клемми магнето, а верхню ліву свічку запалювання та

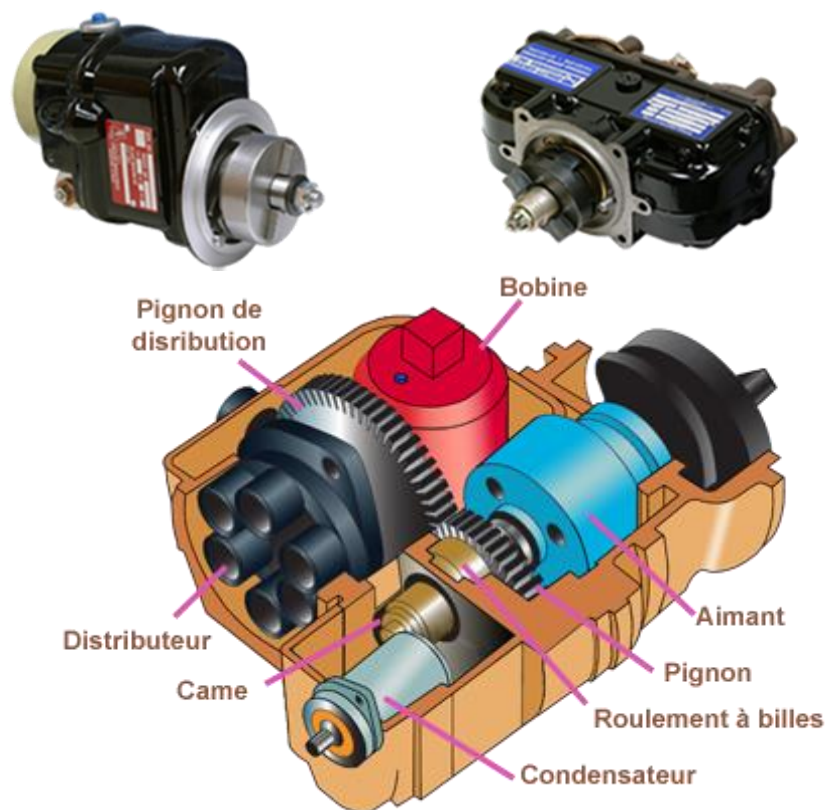
нижню праву свічки запалювання з правими клемми магнето.

На панелі приладів чотирьохпозиційний перемикач використовується для вибору ланцюгів:

- ВИМКНЕННЯ двох ланцюгів магнето;
- обрано 1 схема магнето "один";
- обрана 2 схема магнето "двійка";
- ON або BOTH дві вибрані схеми (контакт).

## Магнето

Магнето, що використовується в авіаційних двигунах, є автономними агрегатами з приводом від двигуна. Вони можуть бути одинарного або подвійного типу. Конструкція магнето простого типу об'єднує в одному корпусі: автоматичний вимикач, обертовий магніт, котушку та розподільник (внизу зліва). Магнето подвійного типу (внизу справа) має одну ведучу шестерню та містить два магнето в одному корпусі. Обертовий магніт і кулачок є спільними для обох магнето, але автоматичні вимикачі та котушки окремі. В магнето змонтовано два окремих розподільних блоки.



Розріз магнето





Деталізований вигляд магнето  
Структурна схема магнето  
Принцип дії

Для вивчення принципу роботи буде використовуватися так званий обертовий магніт. По суті, він складається з:

- магнітного кола;
- електричного кола.

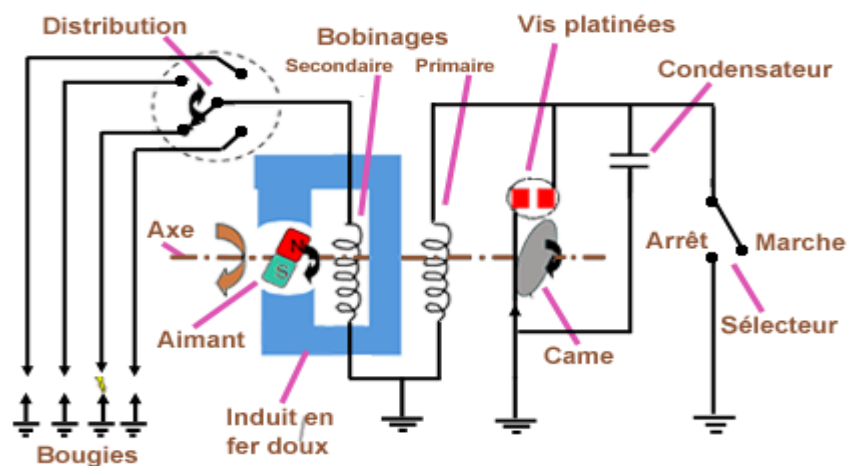
Магнітне коло складається з:

- серцевини з м'якого заліза у формі підкови, гілки якої утворюють увігнуту частину;
- постійного магніту зі сталі з дуже сильною намагніченістю.

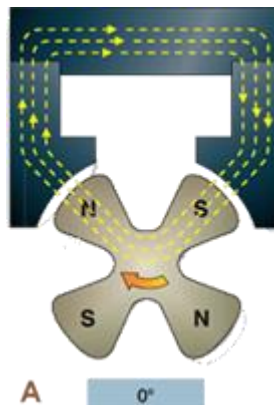
Цей магніт спеціальної форми має завитки та обертається між гілками підкови. Простір між магнітом і м'якою праскою має бути якомога меншим.

Серцевина піддається впливу магнітного потоку, створюваного магнітом, інтенсивність якого змінюється в залежності від положення, яке займає останній. Обертання магніту викликає швидкі зміни магнітного потоку в серцевині, яка є верхньою частиною магнітного кола.

Коли магніт знаходиться в положенні, показаному на малюнку А нижче, кількість магнітних силових ліній через сердечник котушки є максимальною,

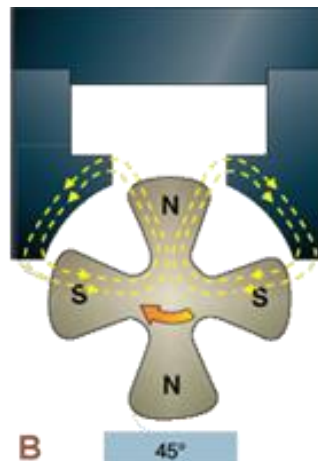


оскільки два протилежні магнітні полюси ідеально вирівняні з полюсними баншаками.

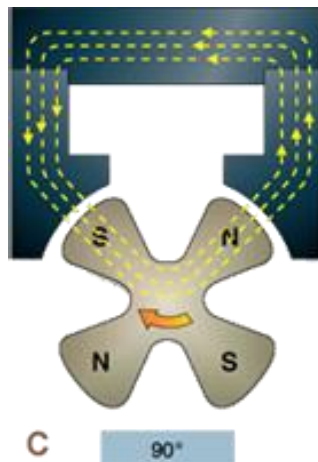


Коли магніт віддаляється від цього положення, величина потоку, що проходить через сердечник котушки, починає зменшуватися. У нейтральному по-

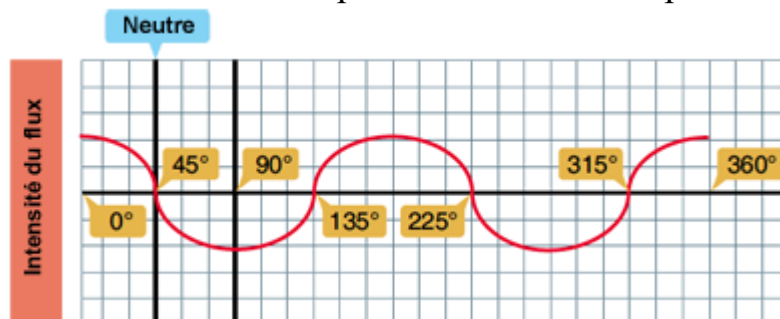
ложенні  $45^\circ$  усі лінії потоку закорочені, і потік не протікає через сердечник котушки - малюнок В нижче.



Коли магніт продовжує рухатися за годинниковою стрілкою, лінії потоку знову починають протікати через сердечник котушки, але у зворотному напрямку - малюнок С нижче.



Крива нижче показує зміну інтенсивності потоку залежно від положення магніту. Таким чином, для повороту на  $360^\circ$  є чотири максимальні позиції, чотири нульові позиції та чотири реверси потоку. Таким чином, на сердечник котушки впливає обертовий магніт. Він піддається впливу зростаючого та спадаючого магнітного поля та зміні полярності кожні  $90^\circ$  обертання.

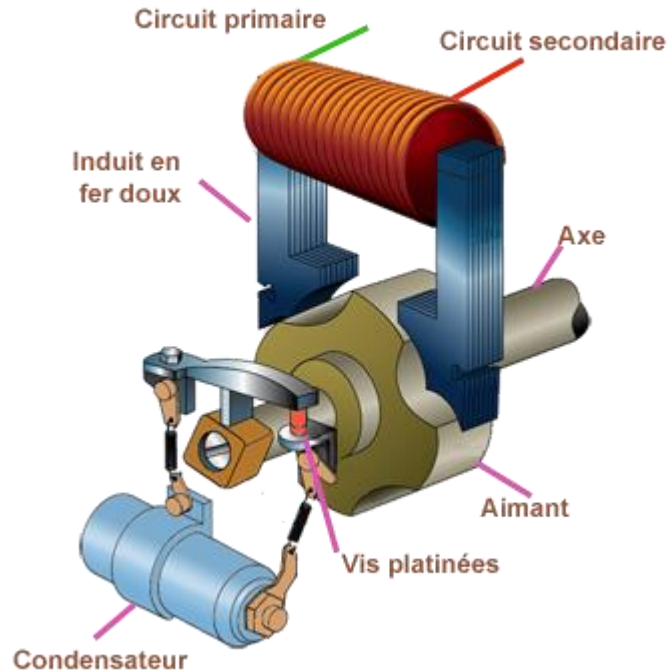


Електричне коло складається з двох обмоток:

- первинна обмотка, що складається приблизно з 2-300 витків ізолюваного мідного дроту від 5 до 6/10 міліметра, в якому електричний струм, викликаний змінами потоку в каркасі з м'якого заліза ;
- вторинна обмотка, що складається з кількох тисяч витків дуже тонкого ізолю-

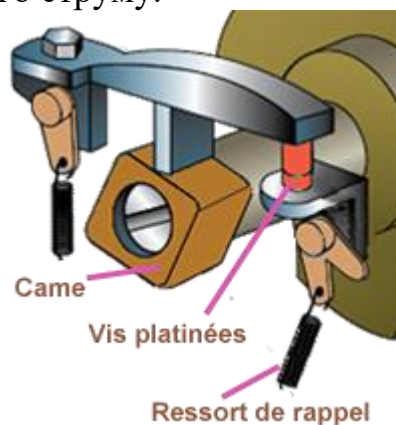
ваного мідного дроту (від 2 до 3/100 міліметра), намотаного на первинну обмотку.

Зміни первинного струму, у свою чергу, індукують у вторинній струм напруги, який є тим вищим, чим більше співвідношення між числом витків первинної та вторинної обмоток, а зміни первинного струму більші та швидші.



Для створення значних коливань, необхідних для первинного струму, його раптово переривають за допомогою відповідного пристрою, коли він досягає максимальної інтенсивності. Це призводить до дуже сильної зміни потоку, яка індукує струм високої напруги. Цей струм підключається до одного з електродів свічки. Оскільки інший електрод заземлений, між цими двома електродами буде летіти іскра.

Для створення цих іскор необхідний розрив первинного струму, необхідний для появи вторинного струму. Пристрій, який використовується для здійснення цих розривів, складається в основному з двох покритих платиною гвинтів, один з яких, закріплений, ізольований і підключений до одного з кінців первинної ланцюга, а інший, заземлений, утримується маленьким важелем, який називається молоток. (малюнок нижче). Кулачок, що діє на останній, періодично роз'єднує два платинові гвинти, які зазвичай контактують, таким чином викликаючи розрив первинного струму.



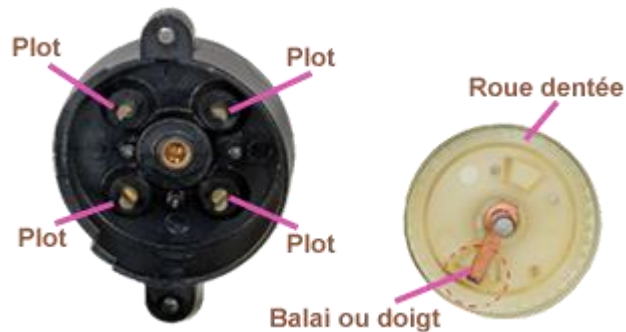
Якби відстань між платинованими гвинтами була недостатньою, швидкість зміни потоку під час іскри зменшилася б. Щоб уникнути цього явища, конденсатор встановлюється паралельно первинному контуру. Цей конденсатор, що складається з двох рядів тонких листів олова, ізолюваних між собою мідними стрічками, заряджається, коли він розривається, і розряджається в первинному ланцюзі, коли він замикається.

### Розподільник

Щоб забезпечити своєчасний розподіл вторинного струму на свічки запалювання різних циліндрів, використовується пристрій, який називається розподільником. Він складається з ізоляційної бакелітової коробки, у яку вмонтовані металеві шпильки, окремо з'єднані зі свічками запалювання. Нижчий розподільник для чотирициліндрового двигуна.



Обертова щітка (палець), підключена до одного з кінців вторинного ланцюга і приведена в рух зубчастим колесом, послідовно подає струм до кожної з колодок.



Опис екранованого дроту свічки запалювання.



Source: [www.faa.gov/handbooks\\_manuals/media](http://www.faa.gov/handbooks_manuals/media)

Приєднання дроту до свічки



### Свічки

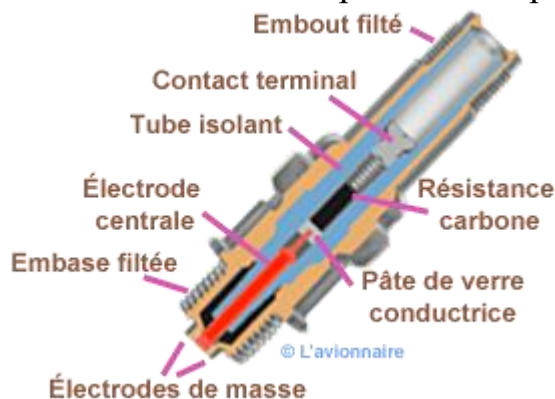
Роль свічки полягає в тому, щоб ініціювати запалювання повітряно-паливної суміші електричною іскрою, яка спалахує між електродами. Зліва свічка з електродом і заземленням. Права свічка запалювання з одним електродом і двома електродами заземлення



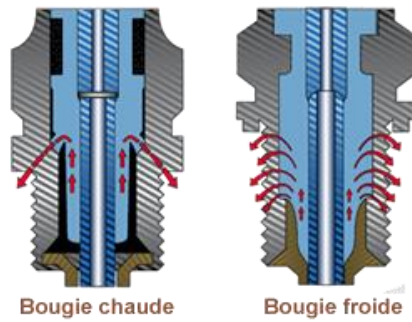
Свічка запалювання, яка зазвичай використовується в авіації, складається з трьох основних частин:

- металевий корпус – це видима частина свічки запалювання, яка складається з верхньої частини (різьбове з'єднання до високовольного кабелю) і нижньої частини (різьбова основа, яка прикручується гвинтом) в головку циліндра двигуна).
- Керамічна ізоляційна труба.
- Всі електроди.

Поперечний переріз свічки запалювання з трьома електродами

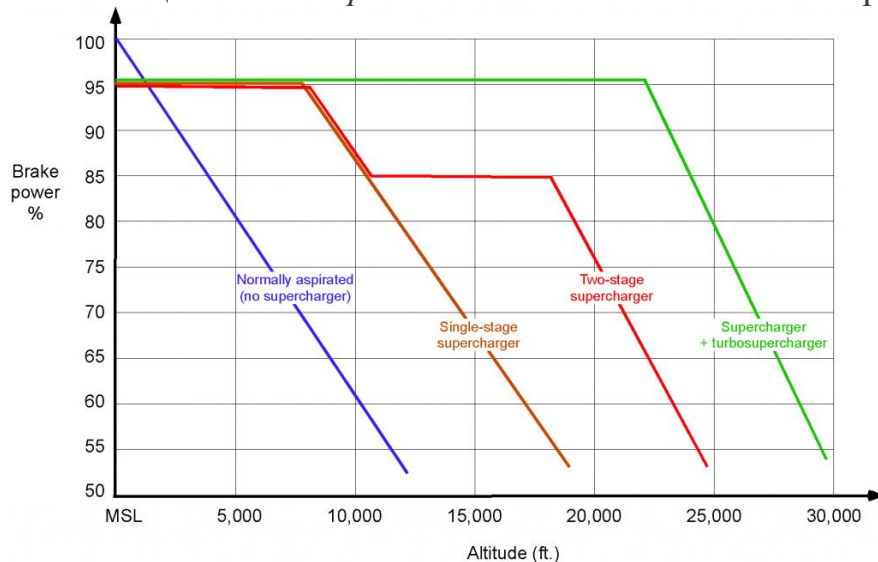


Тепловий рейтинг свічки запалювання – це те, наскільки ефективно вона відводить тепло від зони запалювання до головки циліндра двигуна. У випадку «гарячішого» двигуна свічки запалювання повинні будуть відводити більше калорій, ніж у випадку холодного двигуна. Це досягається шляхом зміни форми нижньої частини керамічної ізоляційної трубки. Якщо ми наблизимо ізоляційну трубку ближче до внутрішніх стінок різьбової основи (внизу праворуч), кількість тепла, що відводиться теплопровідністю, буде більшою, таким чином ми матимемо холоднішу свічку запалювання. Тому ми будемо використовувати так звану «холодну» свічку запалювання для прогрітого двигуна.



## 21. Льотно-технічні характеристики

Зі зміною висоти польоту літака змінюється і доступна потужність двигуна, як показано на малюнку нижче. Цей ефект виникає через те, що масовий потік і тиск у впускному колекторі двигуна зменшуються зі зменшенням щільності повітря на висоті, тобто вихідна потужність зменшується або втрачається зі збільшенням висоти щільності *через* менший вміст кисню в повітрі.



Вплив висоти на двигуни з нормальним наддувом і наддувом.

Хоча наддув може підтримувати потужність на великих висотах, це відбувається за рахунок ваги, вартості та, можливо, деякої втрати загальної надійності двигуна.

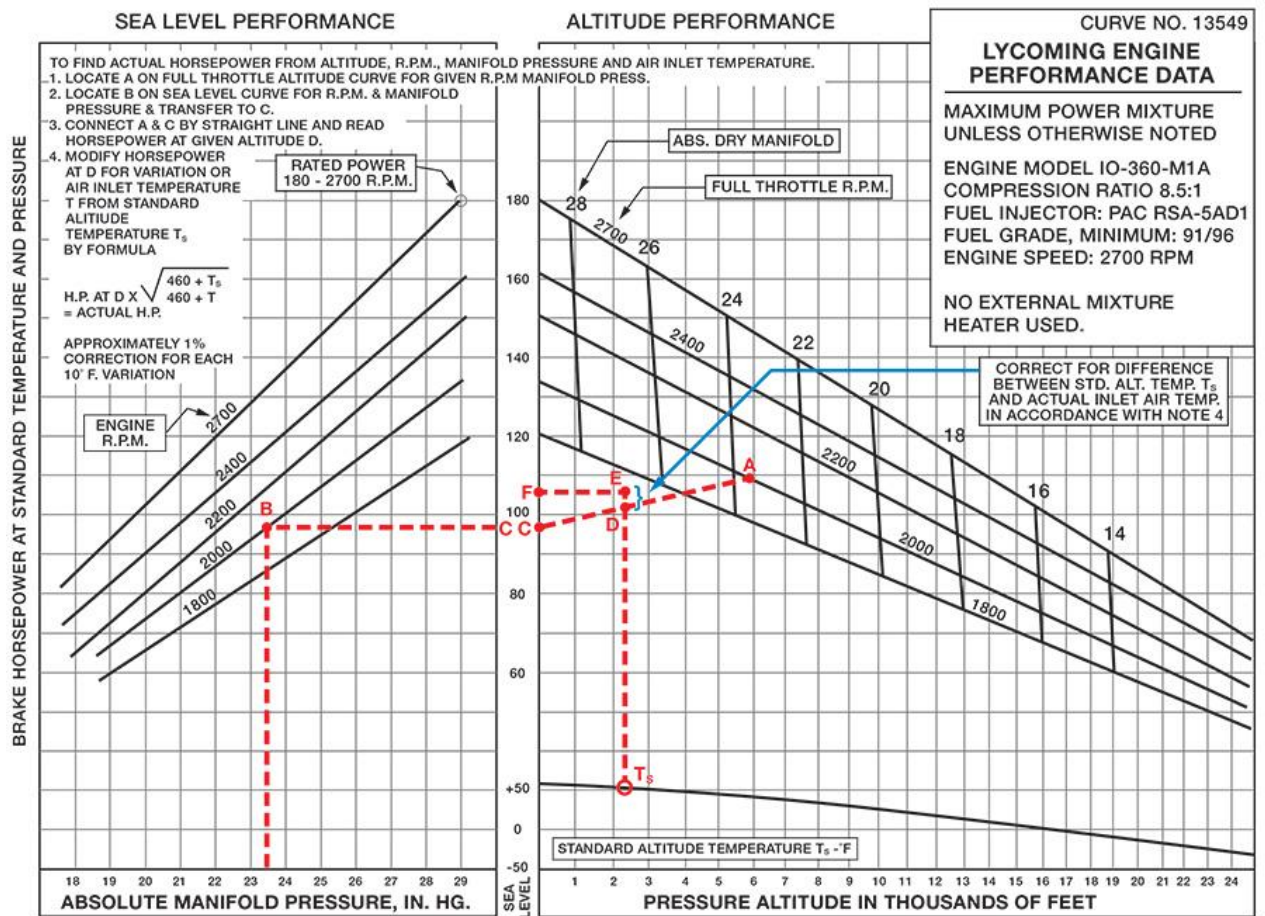
З наведеного вище малюнка також видно, що використання наддуву може підтримувати номінальну потужність поршневого двигуна на набагато більших висотах. Цей результат досягається тому, що нагнітач підвищує тиск і щільність повітря, що подається до впускного отвору двигуна, тобто підвищується тиск у колекторі та вміст кисню в повітрі, що надходить. Наслідком цього є те, що може спалюватися більше палива, тим самим збільшуючи потужність, доступну від двигуна на менших висотах, а також зберігаючи цю потужність на більших висотах.

Виробники двигунів надають детальні діаграми, які дозволяють інженерам розрахувати потужність на валу, доступну за будь-якої комбінації висоти та температури, приклад показано на малюнку нижче. Зверніть увагу, що на цій діа-



грамі є дві сторони: ліва сторона – вихідна потужність на середньому рівні моря (MSL), а права – продуктивність на висоті.

Інструкції в таблиці пояснюють, як її використовувати для визначення потужності гальмування двигуна. Цю діаграму не використовують пілоти під час польоту, але інженери використовують її для оцінки доступної потужності двигуна за різних умов польоту. Усі необхідні вимірювання для визначення вихідної потужності можна зробити за допомогою діаграми. Вимірювання барометричної висоти, обертів двигуна, тиску в колекторі та температури зовнішнього повітря можна проводити за допомогою стандартних приладів у кабіні, що дуже корисно з точки зору льотних випробувань.



Графік продуктивності поршневого двигуна, у цьому випадку, для безнаддувного Lycoming IO-360. Ліва частина діаграми може бути використана для визначення вихідної потужності MSL, тоді як права сторона визначає вихідну потужність на висоті.

## 22. Турбокомпресор

Зі збільшенням висоти щільність повітря відносно рівня моря на висоті 3000 м зменшується на 25%, а на 6000 м - на 50%. Отже, коли літак досягає висоти, на якій корисна потужність більше не дозволяє йому підніматися, кажуть, що він досяг своєї стелі.

Щоб збільшити потужність двигуна, є кілька рішень:

- 1 - збільшити робочий об'єм;
- 2 - збільшити швидкість обертання;

3 - забезпечити йому більше енергії, отже, більше палива.

Технологія турбокомпресора відноситься до третьої категорії. Це найефективніший спосіб збільшення потужності двигуна. Турбокомпресори працюють від вихлопних газів двигуна. Це означає, що турбокомпресор відновлює енергію з гарячих вихлопних газів, яка в іншому випадку була б витрачена даремно. Дійсно, більше 35% енергії, що виділяється при спалюванні палива, втрачається з вихлопними газами. Другою перевагою турбокомпресорів є їх здатність підтримувати постійний тиск у колекторі від рівня моря до певної висоти, яка називається висотою відновлення. Вище цієї критичної висоти тиск у колекторі починає знижуватися, як на стандартному двигуні без наддуву.

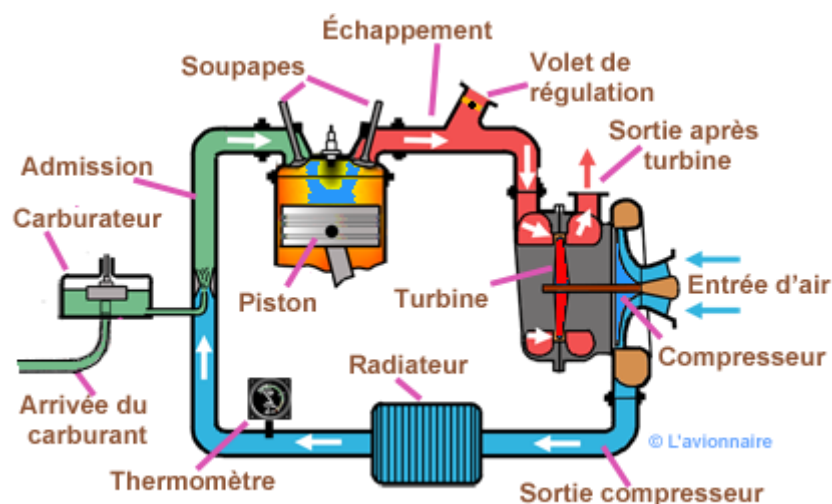
### *Принцип дії турбокомпресора*

Турбіна, розміщена в потоці вихлопних газів, що виходять з двигуна, приводиться в рух на високій швидкості (червона частина малюнка нижче). Він з'єднаний валом з компресором, розміщеним у впускному каналі двигуна (синя частина). Цей компресор відцентрового типу втягує та стискає навколишнє повітря, направляє його в циліндри, можливо, проходячи через повітряно-повітряний обмінник (проміжний охолоджувач) для його охолодження з наступних трьох причин:

- 1 стиснення нагріває гази та температуру цих газів також є одним із головних факторів, що призводять до самозаймання.
- 2 якщо гарячий газ є меншим за щільність, ніж холодний, він містить менше молекул кисню при тому самому об'ємі. Тому ми зможемо спалювати менше палива, а прибуток, пов'язаний з турбонаддувом, буде меншим.
- 3 ефективність двигуна частково залежить від температури повітря, що надходить, і від температури вихлопних газів. Чим більша різниця між цими температурами, тим краща продуктивність двигуна. Таким чином, підвищення температури впуску знижує ефективність двигуна.

Факт надходження стисненого повітря в циліндри дозволяє поліпшити наповнення останніх, які в іншому випадку заповнені депресією, а отже, дає можливість істотно збільшити кількість повітряно-паливної суміші. Потужність двигуна збільшується при зниженні його витрати. Таким чином досягається така ж потужність, як у двигуна з більшим робочим об'ємом, при цьому зменшуються механічні втрати, пов'язані з великим робочим об'ємом.

Спрощена блок-схема



Dessin effectué suivant les Archives Snecma



Типовий турбокомпресор (нижче) складається з трьох основних частин:

- 1 – компресор;
- 2 – турбіна;
- 3 - вал, встановлений на змащених маслом підшипниках, що з'єднує компресор з турбіною.

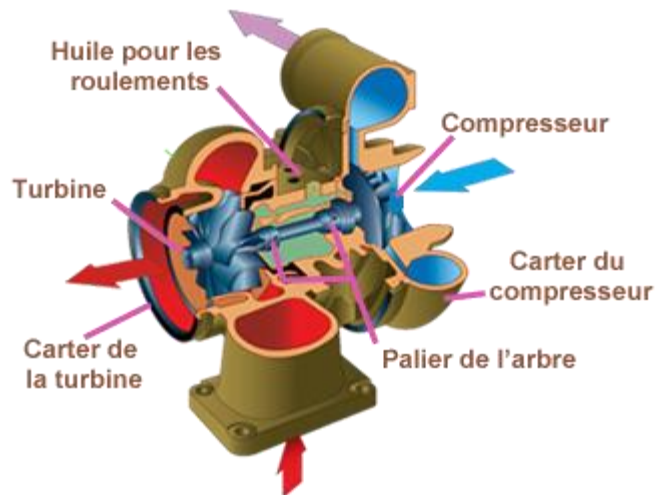
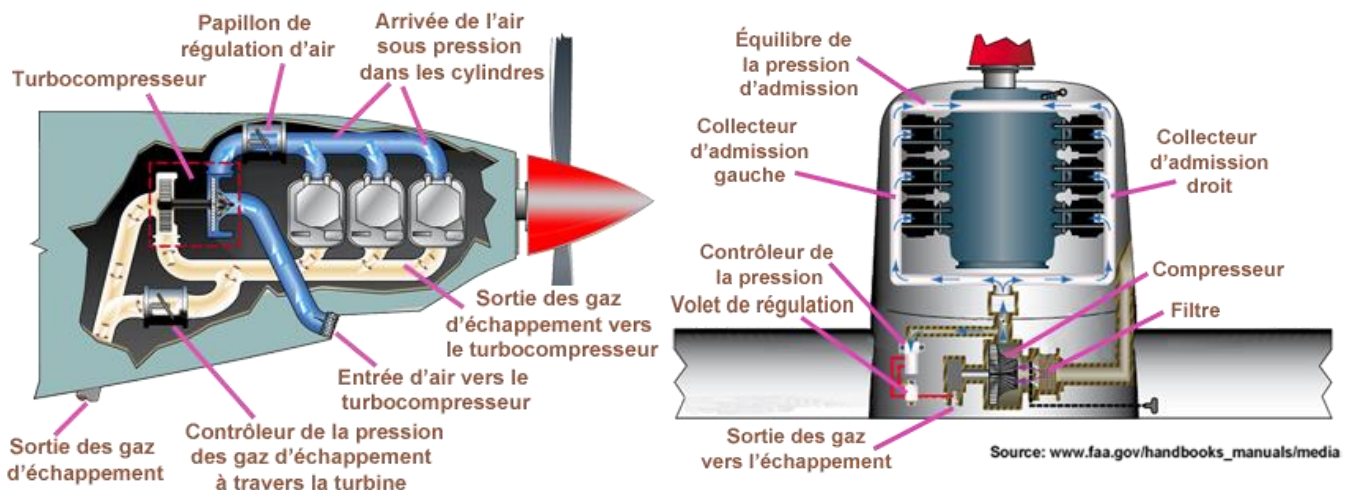
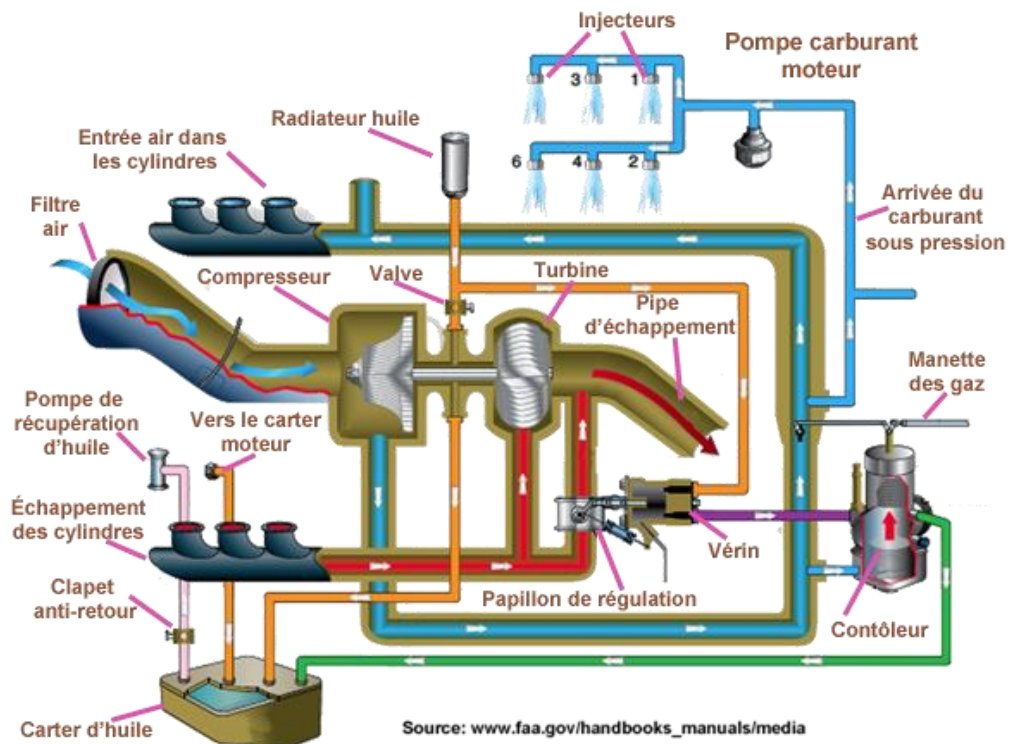


Схема 6-циліндрового двигуна з турбонаддувом



### Типовий турбокомпресор

Дросельна заслінка контролює об'єм вихлопних газів, що спрямовуються до турбіни, і таким чином регулює швидкість ротора. Якщо дросельну заслінку повністю закрито, усі вихлопні гази «зберігаються» та проганяються через турбіну. Якщо дросель частково закритий, відповідна кількість вихлопних газів спрямовується до турбіни. Коли дросельна заслінка повністю відкрита, майже всі вихлопні гази проходять безпосередньо у вихлопну трубу та забезпечують незначну кількість енергії для обертання турбіни.



### 23. Керування двигуном

Функція дросельної заслінки полягає в регулюванні обертів двигуна. Якщо система корелятора або регулятора не підтримує бажану частоту обертання, коли колектив піднімається або опускається, або якщо ці системи не встановлені, дросель потрібно пересувати вручну за допомогою поворотної рукоятки, щоб підтримувати оберти. Поворот дросельної заслінки назовні збільшує кількість обертів на хвилину, обертання її всередину зменшує кількість обертів на хвилину.

Коли загальний крок підвищується, навантаження на двигун збільшується, щоб підтримувати бажані оберти. Навантаження вимірюється манометром у колекторі в поршневих вертольотах або манометром крутного моменту в турбінних вертольотах. У поршневих вертольотах загальний крок є основним регулятором тиску в колекторі, а дросель є основним регулятором частоти обертання. Однак загальне керування кроком також впливає на оберти, а дросель також впливає на тиск у колекторі, тому кожен з них вважається вторинним регулятором функції іншого. Необхідно проаналізувати як тахометр (індикатор обертів), так і манометр у колекторі, щоб визначити, який контроль використовувати. Таблиця 1-1 ілюструє цей зв'язок і необхідні коригувальні дії.

Manifold Pressure	RPM	Corrective Action
Low	Low	Increase throttle
High	Low	Lower collective
Low	High	Raise collective
High	High	Reduce throttle

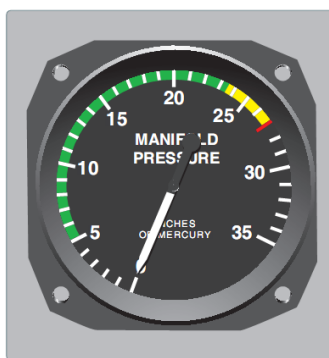
Table 1-1

Корелятор - це механічне з'єднання між важелем важеля і дроселем двигуна. При піднятті загального важеля потужність автоматично збільшується, а

при опусканні — зменшується. Ця система підтримує кількість обертів на хвилину близько до бажаного значення, але все одно вимагає регулювання дросельної заслінки для точного налаштування. Регулятор — це датчик, який визначає частоту обертання ротора та двигуна та вносить необхідні налаштування, щоб підтримувати частоту обертання ротора постійною. У нормальних умовах роботи, після встановлення частоти обертання ротора, регулятор підтримує частоту обертання на постійному рівні, і немає необхідності робити будь-які налаштування дросельної заслінки. Регулятори загальні для всіх турбінних вертольотів і використовуються на деяких поршневих вертольотах. Деякі вертольоти не мають корелятора або регулятора і вимагають узгодження всіх колективних і дросельних рухів. Коли колектив піднятий, дросель необхідно збільшити; при зниженні колективу потрібно зменшити дросель. Як і з будь-яким іншим керуванням літальним апаратом, слід уникати великих коригувань загального кроку або газу. Усі виправлення слід робити плавним натиском.

## 24.Обмеження силової установки

Область обмежень силової установки описує експлуатаційні обмеження двигуна вертольоту, включаючи такі пункти, як діапазон обертів, обмеження потужності, робочі температури та вимоги до палива та масла. Поршневі двигуни мають максимальну потужність і максимальну безперервну потужність. Режим «максимальної потужності» — це максимальна потужність, яку може генерувати двигун, і зазвичай обмежена часом.



Показчик тиску у впускному колекторі

«Максимальна безперервна потужність» — це максимальна потужність, яку може постійно генерувати двигун, і позначена зеленою дугою. Червона лінія на манометрі колектора вказує на максимальну потужність. Жовта дуга на манометрі попереджає про наближення тиску до межі номінальної потужності. На таблиці біля манометра вказано максимальні показання для конкретних умов.