

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

Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни
«Поршневий двигун»
вибіркових компонент
освітньо-професійної програми
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

272 Авіаційний транспорт
(Технічне обслуговування та ремонт повітряних суден і авіадвигунів)

за темою № 8 – Система охолодження

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

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

СХВАЛЕНО

Методично радою Кременчуцького
льотного коледжу
Протокол від 28.08.2023 р. № 1

ПОГОДЖЕНО

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

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

Розробники: викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки *Яніцький А.А.*

Рецензенти:

1. Завідувач кафедри технологій аеропортів Національного авіаційного університету, д.т.н., професор *Тамаргазін О.А.*
Викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки Кременчуцького льотного коледжу Харківського національного університету внутрішніх справ, к.т.н., с.н.с. *Тягній В.Г.*

План лекції

1. Призначення, основні елементи системи охолодження і їх розташування на двигуні і вертольоті.
2. Контроль і регулювання температурного режиму двигуна і контроль за роботою системи охолодження. Несправності системи охолодження, їхні зовнішні ознаки, причини, наслідки.

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

Основна:

1. Крученюк І.Л., Кеба І.В. «Авіаційний двигун М-14В26», 2004 р.
2. Лабазін П.С. «Авіаційний двигун АШ-62ІР», 2004 р.

Допоміжна:

3. Лапшин А.М., Анохін П.І. «Авіаційний двигун М-14П», 2006 р.

Інформаційні ресурси в інтернеті

4. <https://www.youtube.com/watch?v=cIBWNu9fIro>
5. <https://www.youtube.com/watch?v=ZuvtJqDm2vs&t=1s>

Текст лекції

1. Призначення, основні елементи системи охолодження і їх розташування на двигуні і вертольоті

Авіаційні поршневі двигуни відносяться до двигунів внутрішнього згоряння. Це означає, що паливо в ПД згоряє усередині самого двигуна. Камера згоряння ПД обмежена внутрішньою поверхнею циліндра й поршнем.

Існуючі авіаційні поршневі двигуни можуть бути класифіковані по різних ознаках, залежно від способу охолодження розрізняють двигуни рідинного й повітряного охолодження.

У двигунів рідинного охолодження циліндри зовні обмиваються рідиною. Потім нагріта рідина, проходячи через спеціальний теплообмінник (радіатор) віддає тепло атмосферному повітрю й знову повертається до циліндрів.

У двигунів повітряного охолодження циліндри прохолоджуються при обдуве їхнім повітрям. Циліндри в таких двигунах розташовані у потоці повітря, що йде від повітряного гвинта, і для поліпшення охолодження мають ребріння. Тому що необхідно забезпечити охолодження всіх циліндрів, кожний з них повинен перебувати в повітряному потоці. Тому циліндри розташовуються по колу (зіркоподібно), що приводить до значного збільшення поперекових розмірів двигуна.

Найбільше розповсюдження отримали зіркоподібні двигуни з повітряним охолодженням. До них ставляться двигуни М-14 (рис. 1) і АШ-62ІР.

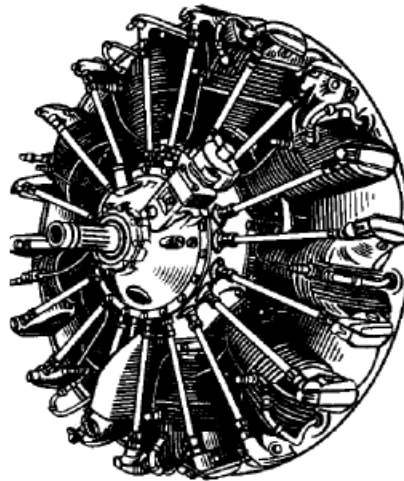


Рис.1. Авіаційний двигун М-14

ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

При роботі двигуна гарячі гази, омиваючи внутрішню поверхню головки й стінок циліндра, дно поршня, головки клапанів й електроди свічок, віддають їм тепло й сильно нагрівають їх. Крім того, всі тертьові деталі двигуна нагріваються внаслідок перетворення роботи тертя в тепло. Якщо не приймати спеціальних мір для охолодження двигуна, то температура зазначених деталей підвищиться до такої величини, при якій робота двигуна стане неможливою, тому що при великій температурі (800—1000°) механічна міцність деталей знижується й вони можуть зруйнуватися. Навіть при температурах більше низьких, чим зазначені вище, робота двигуна може виявитися неможливою внаслідок заїдання тертьових деталей (у першу чергу поршнів у циліндрах), викликуваного зміною робочих зазорів через теплове розширення.

Крім зниження механічної міцності й можливості заїдання тертьових деталей, робота двигуна при підвищених температурах викликає також:

- 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 проохолоджувати, причому це охолодження повинне бути таким, щоб температура деталей двигуна забезпечувала їхню нормальну роботу.

Необхідно мати у виді, що 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.

Кількість тепла, який необхідно відводити від двигуна для підтримки нормальної температури його деталей, досить значно й становить на номінальному режимі роботи 40 - 50% від тепла, еквівалентного його ефективної потужності.

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. Крім цього, незначна частина тепла (1-3% від тепла, внесеного паливом) приділяється від двигуна циркулюючий у системі маслом.

ПОВІТРЯНЕ ОХОЛОДЖЕННЯ ДВИГУНА

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, що дає можливість підтримувати їхню температуру на рівні, безпечному для роботи двигуна.

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

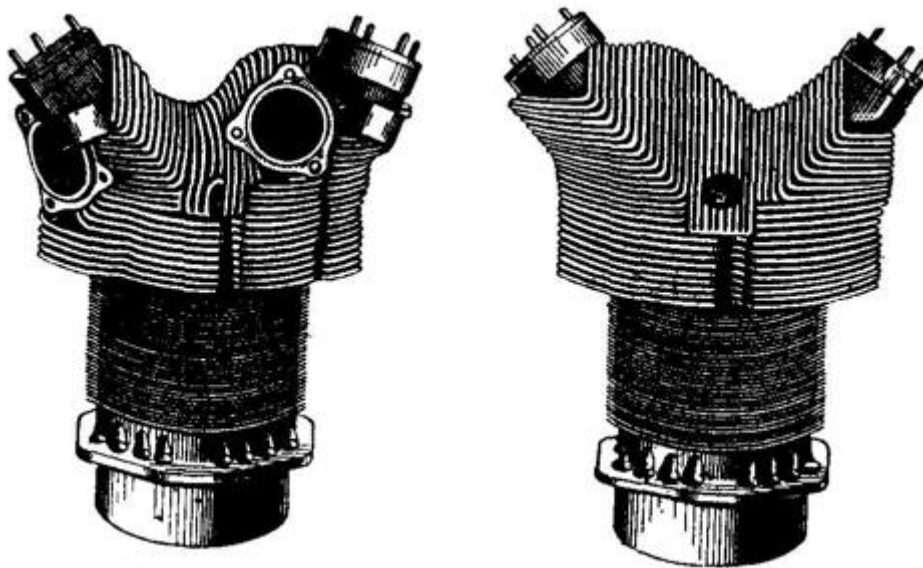


Рис.2. Циліндр двигуна повітряного охолодження

У сучасних двигунів величина охолодної поверхні циліндрів лежить у межах $150 \div 220$ див²/л. с. При зазначених співвідношеннях загальна поверхня охолодження виходить дуже великий і тим більшою, ніж більша потужність двигуна, що знімає з одного літра робочого обсягу, становлячи, наприклад, для двигуна АШ-82 ФН близько 1,8 м² на один циліндр.

Розташування ребер на циліндрі повітряного охолодження показано на рис. 6.19. Близько $65 \div 70 \%$ всієї поверхні охолодження розміщується на головці. Нижня частина головки циліндрами коробки впускного клапана звичайно мають більше ребренню поверхню, чим коробка впускного клапана. Це викликано тим, що головка циліндра нагрівається більше, ніж гільза, а коробка впускного клапана - значно сильніше коробки впускного клапана.

Поперечний переріз (профіль) ребер робиться звичайно прямокутним або трапецієподібним (рис. 6.20). Товщина 5 сталевих ребер на склянці циліндра перебуває в межах $0,4 - 0,8$ мм, а алюмінієвих ребер на головці циліндра $2 - 4$ мм. Висота ребра h звичайно в $15 - 20$ разів перевищує його товщину.

При такій конфігурації забезпечується необхідний відвід тепла, а також достатня механічна міцність ребер.

Ефективність і рівномірність охолодження циліндрів двигуна залежать від розташування циліндрів і від підведення охолодного повітря. Найбільш ефективне й рівномірне охолодження циліндрів спостерігається у двигунах із зіркоподібним розташуванням циліндрів. У дворядних зіркоподібних двигунах охолодне повітря до циліндрів заднього ряду підводить через проміжки між циліндрами переднього ряду.

Однак навіть при правильному розміщенні ребер і раціональному розташуванні циліндрів не вдається повністю забезпечити рівномірне їхнього охолодження, якщо не прийняти спеціальних мір для підведення до них охолодного повітря.

При вільному обтіканні циліндра повітрям за ним утвориться вихрова зона, що погіршує тепловіддачу в повітря від стінок циліндра із задньої його сторони. Разом з тим частина повітря, що протікає між циліндрами, зовсім не використовується для відводу тепла.

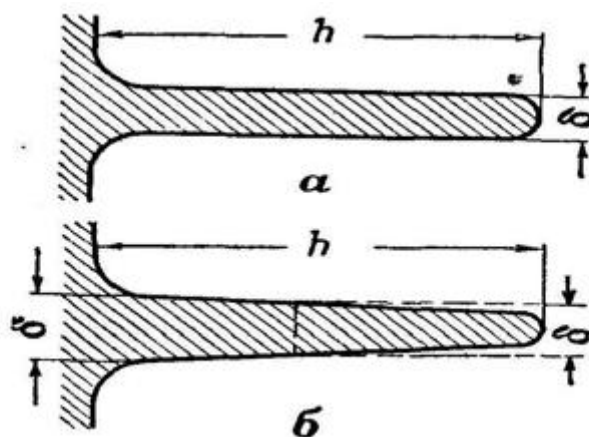


Рис.3. Профіль ребер: а. прямокутний, б. трапеція

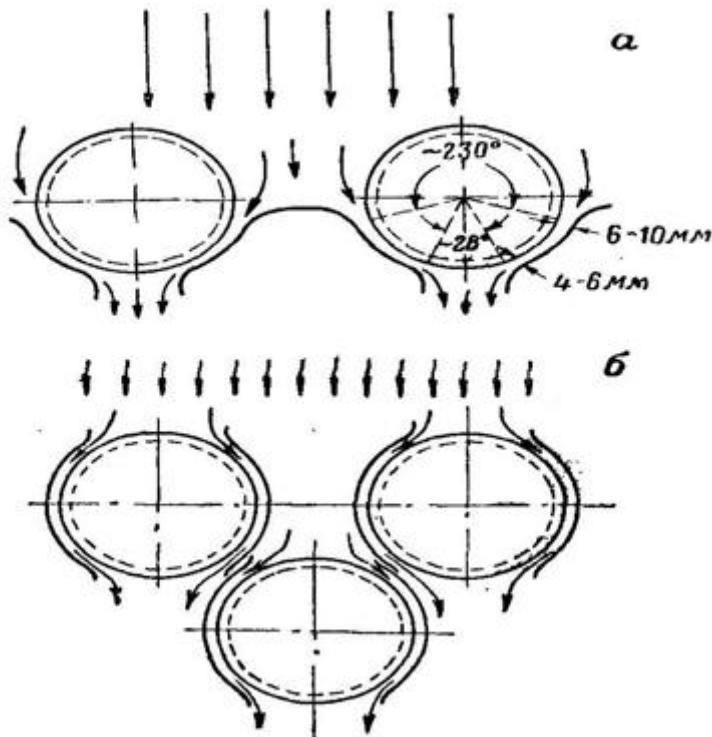


Рис.4.Розташування дефлекторів на циліндрах: а. однорядна зірка, б. дворядна зірка

Для рівномірного охолодження циліндрів і зменшення їхнього лобового опору застосовують дефлектори. Дефлектори виготовляються з дюралюмінію або стали й установлюються по контуру ребренної частини гільзи й головки циліндра, образуя закриті канали - тунелі, проходячи по яких повітря обмиває майже рівномірно всі ділянки циліндра. Схема розташування дефлекторів для однорядної й дворядної зірок наведена на рис. 4, а й б.

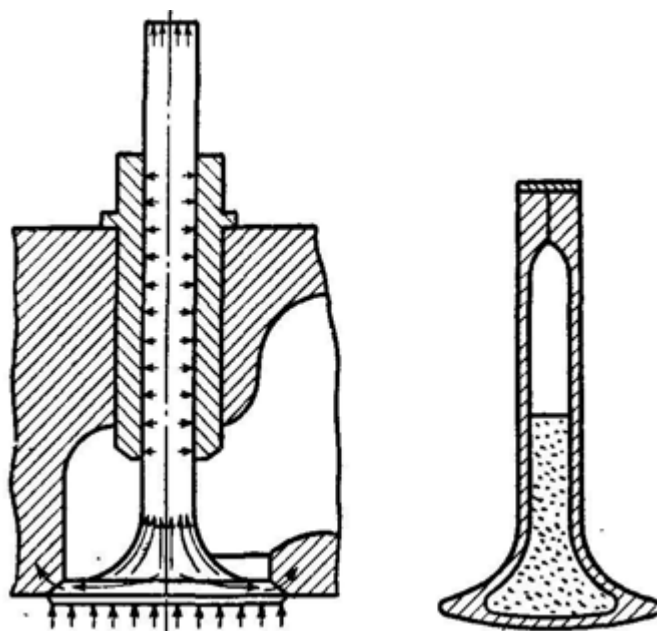


Рис.5 Відвід тепла від клапанів

При цьому все повітря, що проходить між циліндрами, бере участь у теплообміні, що дає можливість зменшити загальну кількість охолодного повітря й знизити тим самим опір двигуна. Ефективність дефлекторів у системі повітряного охолодження дозволяє успішно використати їх і для охолодження двигунів повітряного охолодження з рядним розташуванням циліндрів (рис. 6.22), які в порівнянні із зіркоподібними двигунами мають меншу лобову площу.

При охолодженні деталей головки циліндра сутужніше всього забезпечити достатній відвід тепла від випускного клапана, що перебуває під впливом дуже високих температур. Тепло від грибка клапана приділяється до циліндра через сідло клапана, а також через напрямну втулку клапана (рис. 6.23, а).

Для кращого відводу тепла від випускних клапанів їх роблять пустотілими й заповнюють металевим натрієм (рис. 6.23,б), температура плавлення якого близько 90°C . При роботі двигуна натрій плавиться й при русі клапана безупинно збовтується й переносить тепло від грибка до більше холодного штока.

ДЕФЛЕКТОРИ

Дефлектори циліндрів (рис. 1) призначені для направлення потоку охолоджуючого повітря до меншобдуваних задніх поверхонь головки і гільзи циліндра. Дефлектори підвищують інтенсивність і рівномірність охолодження циліндрів. На двигун встановлюються вісім бічних межциліндрових дефлекторів (І) і дев'ять верхніх (головних) дефлекторів (5).

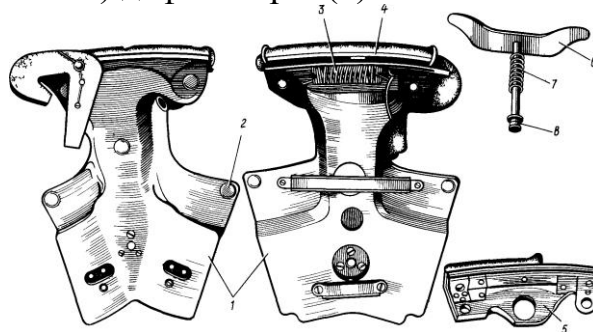


Рис. 6 Дефлектори циліндрів:

1. Міжциліндровий дефлектор
2. Гумовий упор
3. Замок
4. Гумовий упор
5. Верхній дефлектор
6. Скоба
7. Пружина
8. Гайка

Дефлектори виготовлені з листового алюмінію штампуванням.

Верхні дефлектори кріпляться на голівці кожного циліндра двома шпильками і гайками. Вони мають отвори з вмонтованими гумовими кільцями для установки проводів запалювання.

Міжциліндрові дефлектори (1) кріпляться вгорі до двох дефлекторів сусідніх циліндрів замками (3), а внизу - до гільз циліндрів за допомогою скоби (6), яка встановлюється між ребрами гільз двох сусідніх циліндрів.

На дефлектори встановлені гумові упори (2) для запобігання торкання дефлекторів до ребер циліндрів.

Охолодження двигуна здійснюється повітрям, що поступає через керовані жалюзі в передній частині капота (рис. 2).

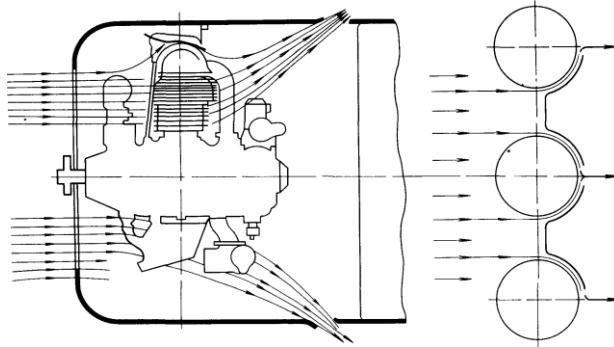


Рис. 7 Схема охолодження двигуна

Дефлектори головок циліндрів утворюють суцільне кільце, в яке вмонтовані м'які прокладки для ущільнення простору між дефлекторами і капотом двигуна. Кріплення дефлекторів циліндрів 4, 5 і 6 на двигуні не передбачено. Вихід охолоджуючого повітря здійснюється через щілину між задньою кромкою капота і поверхнею фюзеляжу.

КАПОТИ ДВИГУНІВ ПОВІТРЯНОГО ОХОЛОДЖЕННЯ

Для зменшення лобового опору літака двигуни розміщують у спеціальних капотах.

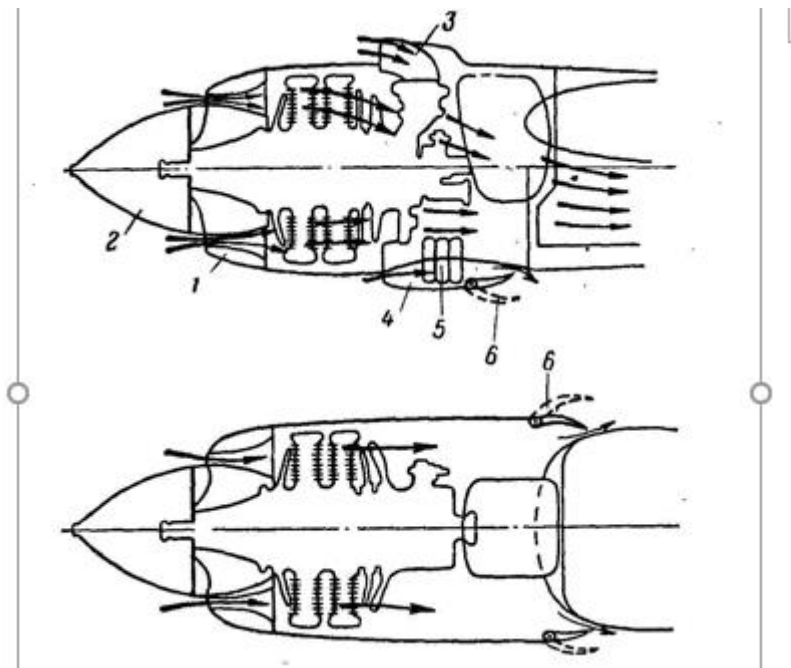


Рис.8 Схема капота двигуна: 1 - переднє кільце капота, 2 - кок гвинта, 3 - повітрязабірний патрубок, 4 - тунель, 5 - мастильний радіатор, 6 - заслінка

На рис. 8 Показана схема капота зіркоподібного двигуна повітряного охолодження. Переднє кільце капота 1 утворить із коком гвинта 2 кільцеву щілину, через яку повітря надходить до циліндрів для їхнього охолодження. У верхній частині капота встановлений воздухозаборный патрубок 3 для підведення повітря у двигун, а в нижньої, у спеціальному тунелі 4, - масляний радіатор 5.

Прохід повітря через капот і тунель маслорадиатора регулюється заслінками 6 з кабіни льотчика. Регулюючі заслінки можуть установлюватися як на вході, так і на виході з капота.

Заслінки, установлені на вході, створюють більший лобовий опір у порівнянні із заслінками, установленими на виході з капота.

Кількість повітря, необхідне для підтримки певної температури двигуна, називається потрібним кількістю повітря, а кількість повітря, що фактично проходить через капот, називається розрахованою витратою.

Надійне охолодження двигуна забезпечується тоді, коли розрахована витрата повітря дорівнює потрібною. Якщо розрахована витрата повітря менш потрібною, то двигун перегрівається, якщо ж витрата повітря перевищує потрібну, те можливе переохолодження двигуна.

Розрахована витрата повітря залежить від геометричних розмірів капота, швидкості польоту, опору двигуна й капота й від щільності повітря. '

Потрібна витрата повітря залежить від режиму роботи двигуна й припустимого підвищення температури охолоджуваного повітря.

Потрібна витрата повітря на рівні землі для двигунів потужністю 1200÷1800 к. с. становить 8÷12 кг/сек. Підігрів повітря в капоті досягає в середньому 50 ÷70° С.

ПРИМУСОВЕ ПОВІТРЯНЕ ОХОЛОДЖЕННЯ

Охолодження циліндрів двигунів повітряного охолодження різко погіршується зі зменшенням швидкості охолоджувального потоку повітря (швидкості польоту), що обдуває циліндри, а також зі зменшенням щільності повітря. Перше спостерігається в умовах зльоту й набору висоти, а друге - при польоті на великих висотах. Особливо важке охолодження двигунів, встановлених на вертольотах, швидкість переміщення яких мала, а на режимі висіння дорівнює нулю.

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

Вентилятор (рис. 6.25) виготовляється у вигляді многолопастного гвинта й приводиться в обертання від двигуна із числом обертів, рівним числу обертів двигуна або підвищеним. Потік повітря, створюваний вентилятором під деяким надлишковим тиском, обдуває циліндри двигуна. Крім того, частина повітря по спеціальних каналах може бути спрямована до повітрязбірних патрубків для підвищення тиску повітря, що надходить у двигун.

На обертання вентилятора двигун затрачає близько 5-10% потужності.

Висотність двигунів, обладнаних турбокомпресорами, значно перевершує висотність атмосферних двигунів. У цьому випадку примусове охолодження здобуває важливе значення.

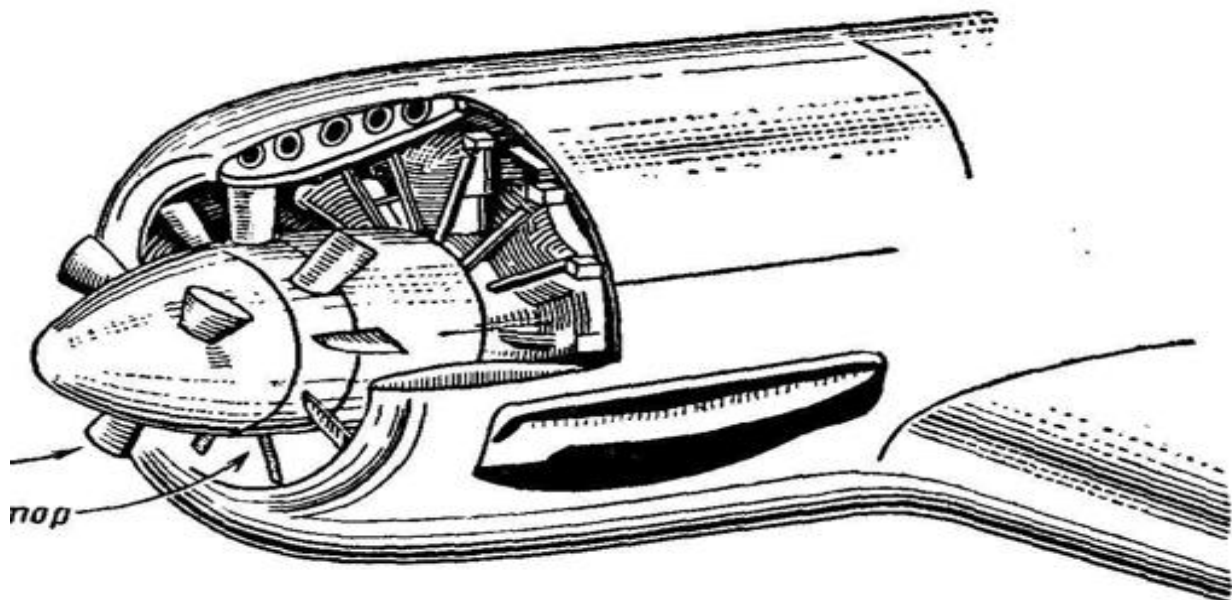


Рис.9 Розташування вентилятора на двигуні з примусовим охолодженням

2. Контроль і регулювання температурного режиму двигуна і контроль за роботою системи охолодження. Несправності системи охолодження, їхні зовнішні ознаки, причини, наслідки

КОНТРОЛЬ І РЕГУЛЮВАННЯ ОХОЛОДЖЕННЯ ДВИГУНА

В умовах експлуатації необхідно систематично стежити за тим, щоб тепловий стан двигуна не виходило за межі, що забезпечують його надійну роботу.

У двигунах повітряного охолодження тепловий стан двигуна контролюється по температурі головок циліндрів, вимірюваної під задньою свічею за допомогою термопари, а також по температурі масла на виході із двигуна й по тиску мастила в системі.

Температура головок вимірюється звичайно тільки в одному циліндрі, що має при роботі більше високу температуру, чим інші.

У двигунах рідинного охолодження контроль за тепловим станом виробляється по тиску мастила в системі і його температурі на виході із двигуна й по температурі охолоджувальної рідини на виході з двигуна.

Для кожного типу двигуна на підставі досвіду встановлені норми для температури головок, температури охолоджувальної рідини, температури мастила і його тиску, у межах яких гарантується надійна робота двигуна. Так, наприклад, для двигуна АШ-82ФН температура головки повинна бути в межах $140 \div 215^{\circ} \text{C}$, а температура вихідного мастила — у межах $85 \div 115^{\circ} \text{C}$. Для

двигуна М-11ФР-1 відповідні значення температур головки й вихідного мастила становлять $100 \div 220^{\circ}\text{C}$ и $80 \div 100^{\circ}\text{C}$.

Тепловий стан двигуна можна регулювати зміною кількості тепла, що виділяється у двигуні, або зміною кількості тепла, що відводить від двигуна система охолодження.

Кількість тепла, що виділяється у двигуні, регулюють зміною режиму його роботи. Так, наприклад, зменшуючи наддування й число обертів двигуна й збагачуючи суміш, ми тим самим зменшуємо кількість тепла, що виділяється у двигуні в одиницю часу, а збільшуючи наддування й число обертів двигуна й збіднюючи суміш, навпаки, збільшуємо кількість тепла.

Відвід тепла від системи охолодження регулюється зміною кількості повітря, що охолоджує двигун або радіатори. Кількість охолоджувального повітря регулюється зміною положення заслінок у системах з регульованим охолодженням або зміною режиму (швидкості) польоту.

В умовах експлуатації звичайно доводиться застосовувати обидва методи регулювання температурного стану двигуна. Так, наприклад, при наборі висоти навіть при наявності регульованого охолодження двигун може перегрітися. У цьому випадку необхідно, зменшивши газ і перейшовши на горизонтальний політ, дати двигуну можливість остудитися. Навпаки, при тривалому плануванні для запобігання переохолодження двигуна буває необхідно періодично переходити на горизонтальний політ, прогріваючи двигун.

Переваги й недоліки повітряного й рідинного охолодження. Особливості експлуатації системи охолодження

До переваг двигуна повітряного охолодження можна віднести:

- надійність в умовах бойових обставин внаслідок меншої уразливості від вогню супротивника;
- полегшення умов експлуатації й підвищення надійності роботи двигуна внаслідок відсутності охолоджувальної рідини й агрегатів системи рідинного охолодження (радіатора, насоса, розширювального бачка, трубопроводів);
- деяке зменшення ваги силової установки (при однакових потужностях) через відсутність охолоджувальної рідини й агрегатів системи охолодження.

До недоліків двигуна повітряного охолодження ставляться:

- великий лобовий опір силової установки внаслідок зіркоподібного розташування циліндрів;
- менша можливість форсування в порівнянні із двигунами рідинного охолодження (двигуни повітряного охолодження проохолоджуються менш ефективно й менш рівномірно, внаслідок цього через небезпеку перегріву обмежується їхнє форсування);
- запуск двигуна повітряного охолодження в зимовий час здійснити значно важче, ніж запуск двигуна рідинного охолодження.

Переваги двигуна рідинного охолодження:

- менший лобовий опір двигуна, що дозволяє збільшити максимальну швидкість польоту;

- більш ефективне і рівномірне охолодження циліндрів, що дозволяє значно більш форсувати двигун;

- полегшення запуску в зимових умовах завдяки тому, що двигун можна швидко підігріти шляхом заливання гарячої води в систему.

Недоліки двигуна рідинного охолодження:

- більша уразливість від вогню супротивника (радіатори, трубопроводи);

- більша складність в експлуатації через наявність охолоджувальної рідини й агрегатів системи охолодження;

- трохи більша вага силової установки (при однакових потужностях).

Системи охолодження на сучасних літаках звичайно виконуються так, що при роботі двигуна на номінальному режимі й розрахованій висоті в, горизонтальному польоті забезпечується рівність між кількістю тепла, що підводиться до охолоджувальних поверхонь, і кількістю тепла, що відводиться від них. При польоті на форсованих режимах ця рівність порушується й двигун починає поступово перегріватися. Тому тривалість польоту на форсованих режимах обмежена за часом.

Не можна виконувати зліт при недостатньо прогрітому або перегрітому двигуні. При зльоті на недостатньо прогрітому двигуні до моменту початку набору висоти температура двигуна може не досягти мінімально припустимої величини; це може привести до відмови двигуна при наборі висоти.

При польоті при знижених потужностях (планування, пікірування) двигун може переохолодитися. Щоб не допустити переохолодження двигуна, необхідно прикривати заслінки радіаторів і капотів, а також періодично переходити при плануванні на горизонтальний політ для прогріву двигуна.

Необхідно пам'ятати, що надійність охолодження двигуна багато в чому залежить від чистоти поверхні ребріння циліндрів і радіаторів, а також від кількості накипу в системі рідинного охолодження, тому що забруднення ребріння й наявність накипу різко погіршують тепловіддачу й викликають перегрів двигуна.