

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

Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни
«Конструкція і експлуатація двигуна: Двигун ГТД-350»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

Аеронавігація

за темою № 2 - Компресор двигуна

Харків 2022

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2022 № 8

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного
коледжу Харківського
національного університету
внутрішніх справ
Протокол від 22.08.2022 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2022 № 8

Розглянуто на засіданні циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, протокол від 10.08.2022р. № 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. Викладач циклової комісії аеронавігації КЛК ХНУВС, к.т.н., с.н.с. Тягній В.Г.

План лекції:

1. Загальні дані та основні технічні дані компресора.
2. Пристрій основних вузлів компресора. Умови роботи деталей компресора і діючі навантаження.
3. Фізична сутність помпажу, причини виникнення, його ознаки, наслідки, дії екіпажу, міри запобігання.
4. Можливі несправності компресора при експлуатації. Причини виникнення, ознаки, наслідки, дії екіпажу, міри запобігання.

Рекомендована література:

Основна:

1. Кеба І.В. Конструкція і льотна експлуатація авіаційного двигуна ГТД 350. М.: Транспорт, 1987.
2. Керівництво з льотної експлуатації вертольота Мі-2 з двигуном ГТД-350, Редвидав, М., 1983р.

Додаткова:

1. Царенко А.О. «Вертоліт Мі-2. Блок 3 Газотурбінний двигун. (Категорія В1.3). Конспект лекцій », Кременчук: КЛК НАУ, 2015.
2. Кеба І.В. «Льотна експлуатація вертолітних ГТД», М., "Транспорт", 1976.
3. Нікітін Є.І. «Турбовальний двигун ГТД-350», М.: ДОСААФ СРСР, 1978.

Текст лекції

1. Загальні дані та основні технічні дані компресора.

Тип осецентробежний
Число ступенів сім'ї осьових і одна відцентрова
Ступінь підвищення тиску
на злітному режимі π_k ($H = 0$; $V = 0$, МСА) 6,05
Секундний масова витрата повітря
на злітному режимі ($H = 0$; $V = 0$, МСА), кг / с 2,2
Витрата повітря з компресора для
систем вертольота на номінальному
режимі ($H = 0$; $V = 0$, МСА), кг / с 0,03
Місце відбору повітря з компресора на ПОС двигуна ... за 8-им щаблем
Зменшення потужності двигуна і
збільшення питомої витрати палива
при включенні відбору повітря, % 2
Система перепуску повітря при
запуску перепуск після 6-го ступеня

Частота обертання турбокомпресора
при закритті клапана перепуску

повітря, % визначається за графіком $n_{TK} = f(t_H)$

2. Пристрій основних вузлів компресора. Умови роботи деталей компресора і діючі навантаження.

Компресор складається (рис. 1) з вхідного направляючого апарату (ВНА), ротора з опорами, корпусу з направляючими апаратами і завитка.

Вхідний направляючий апарат складається з двох порожнистих обичайок, дев'яти профільованих стійок (лопаток) і кока-обтічника. Стійки і кок-обтічник обігріваються зсередини гарячим повітрям при включенні противообледенительной системи. Гаряче повітря подається в порожнину, утворену подвійними стінками зовнішньої обичайки, з завитка компресора через клапан протиобледеніння. З порожнини зовнішньої обичайки повітря входить у всі дев'ять стійок і дефлекторами прямує уздовж передньої і задньої крайок у кільцеву порожнину внутрішньої обичайки. Для збільшення витрати повітря в передній і задній кромках стійок виконані отвори для виходу повітря в проточну частину двигуна. З порожнини внутрішньої обичайки гаряче повітря надходить у внутрішню порожнину кока, звідки через щілини у його носовій частині виходить назовні на вхід в компресор.

У центральній частині внутрішньої обичайки ВНА розміщена опора роликового підшипника ротора, що сприймає радіальні навантаження (перша опора двигуна).

Ротор компресора складається з семи робочих коліс осевого компресора, крильчатки доцентрової ступені, стяжного болта з гайками і підшипників. Кожне робоче колесо складається з диска і комплекту лопаток. Лопатки кріпляться в пісках допомогою замкового з'єднання типу "ластівчин хвіст" і фіксуються штифтами. Відцентрове колесо виконана заодно з хвостовиком, на якому розташовується задня опора ротора компресора (друга опора двигуна). Всередині хвостовика виконані поздовжні шліци для з'єднання ротора компресора з ротором турбіни допомогою ресори.

Кульковий підшипник другої опори двигуна, сприймає радіальні і осьові навантаження.

Корпус компресора має роз'єм вздовж осі компресора. Усередині корпусу розміщуються направляючі апарати, виконані з двох половин. В зоні розташування направляючого апарату шостій сходинці корпус має кільцеву порожнину. Ця порожнина з'єднана з проточною частиною компресора отворами в корпусі і в зовнішній обоймі шостого направляючого апарату і служить для відбору повітря до ущільнення вихідному валу редуктора, четвертої опори двигуна і для перепуску повітря в атмосферу через клапан перепуску. Із зони розташування сьомого направляючого апарату через штуцер відбирається повітря до датчика сигналів.

На внутрішній поверхні внутрішніх кілець напрямних апаратів, а також на внутрішніх поверхнях завитка нанесений шар спеціальної ущільнювальної

мастики. Проти цієї мастикової поверхні розташовуються гребінці, виконані на барабанних частинах дисків робочих коліс. Гребінці і мастичні поверхні утворюють лабіринтові ущільнення, перешкоджають проходженню повітря з порожнин великого тиску в порожнині меншого тиску.

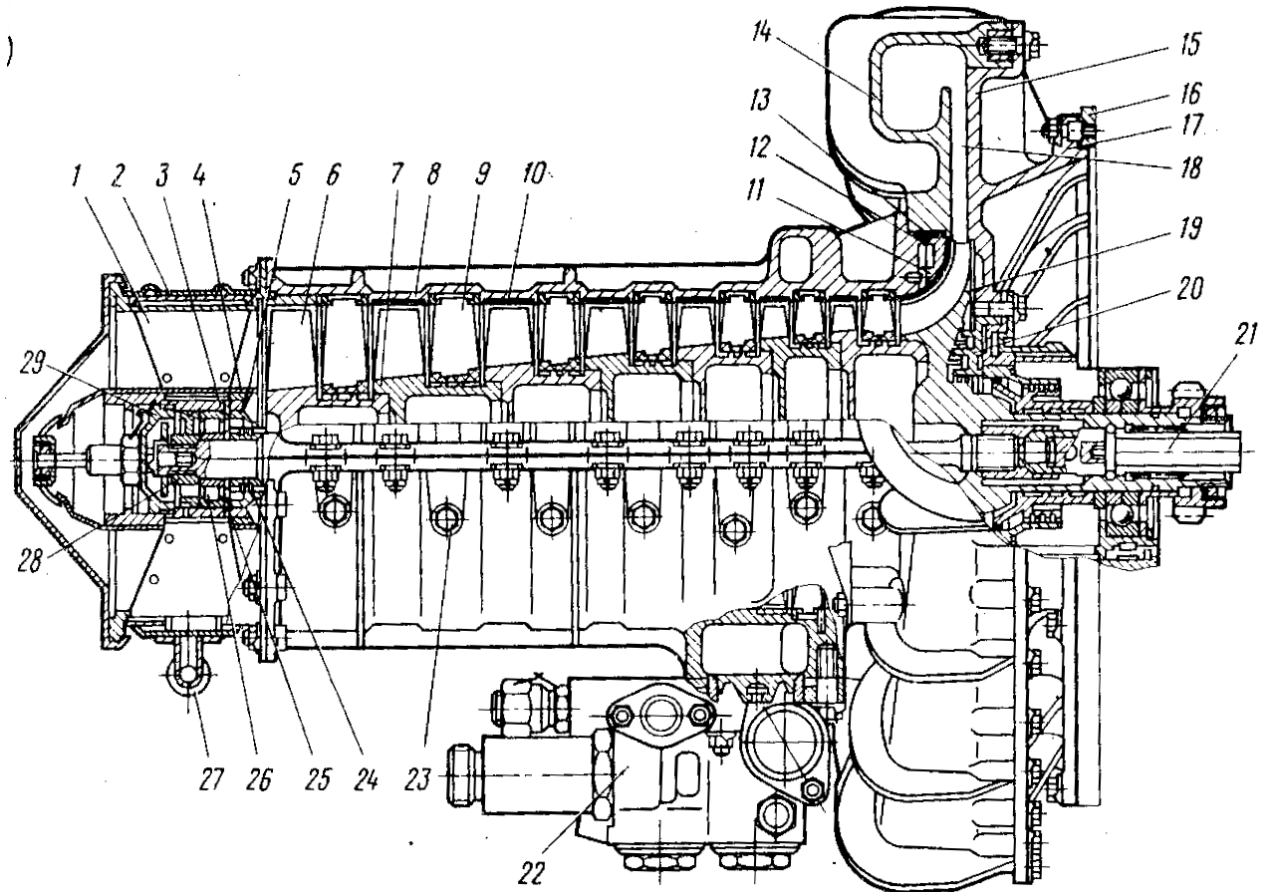


Рис.1 Компресор

1 - стійка ВНА; 2 - ВНА; 3 - стакан цетральний; 4 - обичайка внутрішня; 5 - втулка ущільнення; 6 - лопатка робочого колеса; 7 - ротор компресора; 8 - корпус компресора; 9 - направляючий апарат; 10 - шар мастики; 11 - профільоване кільце відцентрового колеса; 12, 13 - кільця ущільнювальні гумові; 14 - равлик компресора; 15 - задня стінка равлики; 16 - корпус редуктора; 17 - фланець задньої стінки равлики; 18 - безлопаточний дифузор равлики; 19 - відцентровий компресор; 20 - диск лабіринту; 21 - ресора; 22 - клапани перепуску повітря і противообледенения; 23 - гвинт кріплення напрямних апаратів; 24 - кільцодержатель; 25 - кільце регулювальний; 26 - роликовий підшипник; 27 - штуцер зливу; 28 - затяжна гайка; 29 - заглушка центрального стакану;

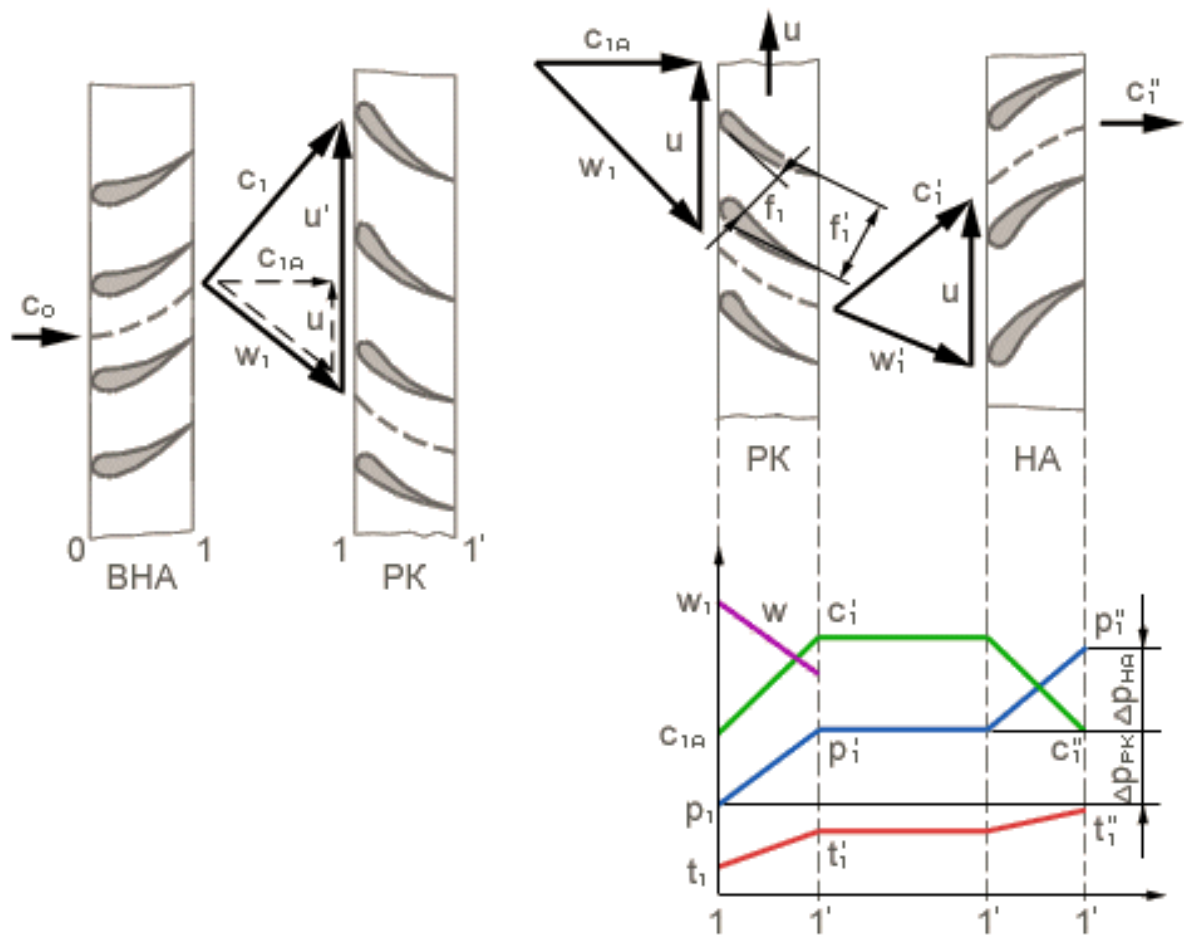


Рис. 2 Схема роботи ступеню вісьового компресора

На розтрубах завитка є фланці для відбору повітря на потреби вертольота і противообледенительной системи, а також штуцери для відбору повітря до автомата запуску насоса-регулятора і до датчика сигналів.

Принцип роботи компресора

Ступінь осьового компресора - направляючий апарат (НА) і робоче колесо (РК) (рис. 2).

У РК внаслідок підведення до повітря механічної енергії (механічної дії обертювих лопаток на повітря), а також зменшення відносної швидкості (w) в розширюються міжлопатковому каналах тиск і температура збільшуються. На виході з робочого колеса абсолютна швидкість руху повітря (c) збільшується.

У розширюються міжлопатковому каналах НА відбувається падіння абсолютної швидкості повітря і подальше зростання тиску і температури.

Таким чином, приріст тиску в ступені компресора дорівнює сумі приросту тиску в РК і НА.

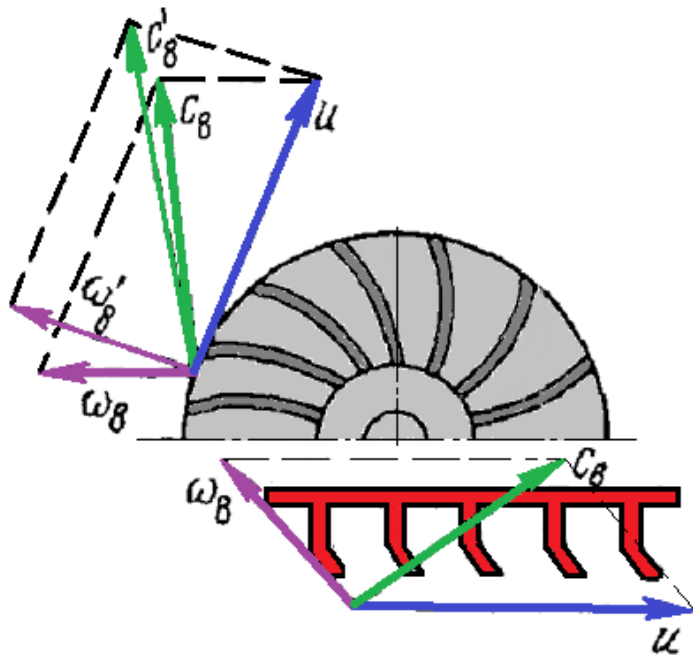


Рис. 3. Схема роботи відцентрового компресора

Для збільшення ступеня підвищення тиску повітря в першій ступені на вході повітря в компресор встановлюється вхідний направляючий апарат, який забезпечує попередню закрутку повітря в напрямку обертання робочого колеса і зменшує відносну швидкість W_1 . З останньої сходинки осьової частини компресора повітря надходить у канали робочого колеса відцентрового ступені. При обертанні робочого колеса повітря, що знаходиться між лопатками, втягується в обертальний рух. Відцентрові сили, що діють на масу повітря, стискають його і переміщують уздовж лопаток робочого колеса. При цьому також відбувається збільшення кінетичної енергії повітряного потоку. Перетворення кінетичної енергії повітряного потоку в енергію тиску відбувається в безлопаточном дифузори 18 завитка (рис. 3).

3. Фізична сутність помпажу, причини виникнення, його ознаки, наслідки, дії екіпажу, міри запобігання.

Межлопаточні канали всіх ступенів компресора профілюються виходячи з розрахункового режиму роботи, який характеризується певною частотою обертання ротора $n_{\text{розр.}}$, ступенем підвищення тиску повітря в кожній щаблі пст і в компресорі в цілому пк і відповідним секундним витратою повітря через кожну ступінь $G_{\text{в.розрах.}}$. Для цього режиму роботи розраховують площі прохідних перетинів, яким відповідають цілком певні швидкості потоку.

У процесі експлуатації двигуна компресор працює на різних режимах і при різних атмосферних умовах, що відрізняються від розрахункових. При роботі компресора на нерасчетном режимі параметри потоку повітря (тиск, температура, швидкість і щільність) у перерізах проточної частини змінюються. Прохідні перетини, підібрані для розрахункового режиму, в цьому випадку не будуть відповідати новим значенням параметрів повітряного

поток, і при зміні повітряного потоку, і при зміні кутів набігаючого потоку на лопатки можливі його зрив і утворення завихрень. Як правило, ці зриви і завихрення потоку при несприятливих умовах відбуваються на частини ступенів, викликаючи нестійку роботу, або помпаж, всього компресора.

Помпажом називається нестійкий режим роботи двигуна, що виникає при періодичному зрив потоку повітря з робочих лопаток і лопаток направляючих апаратів компресора. На виникнення помпажу впливають такі основні фактори, як частота обертання ротора, тиск і температура повітря на вході в компресор, висота і швидкість польоту вертольота, причому найбільший вплив надає частота обертання ротора. При зменшенні її по порівнянні з розрахунковими значеннями зменшуються G_v , p_k і потужність, споживана компресором. Зменшення G_v , призводить до зменшення осьової швидкості і розриву потоку, що і викликає появу зривів на перших щаблях компресора.

Характерний вид має залежність зриву потоку з лопаток компресора від секундного витрати повітря при постійній частоті обертання ротора (рис. 4), що можливо при зміні атмосферних умов і пов'язане з особливостями роботи та управління двигунами в вертольотній силовій установці. Розрахунковий режим роботи відповідає параметрам U , c_{1a} , W_1 , α_1 , при яких обтікання лопаток плавне, без зривів.

Якщо секундний витрата повітря через щабель зменшується, то зменшується осьова швидкість від c_{1a} до c'_{1a} і при постійній окружній швидкості $U = \text{const}$ кут атаки (кут набігання повітряного потоку на робочі лопатки) зменшується від значення α_1 до значення α'_1 . При цьому на спинці потік повітря від відривається, створюючи вихреву зону, яка і порушує головне протягом повітря по міжлопатковою каналах.

Вихрова зона перекриває частково межлопаточную канали, так що секундне кількість повітря, що надходить на наступний щабель, відповідно зменшується, що викликає і на її лопатках аналогічний зрив потоку. Таким чином, рух повітря від щабля до щабля компресора є пульсуючим. Можливий зворотний викид повітря з наступному рівні на попередню і з компресора в атмосферу.

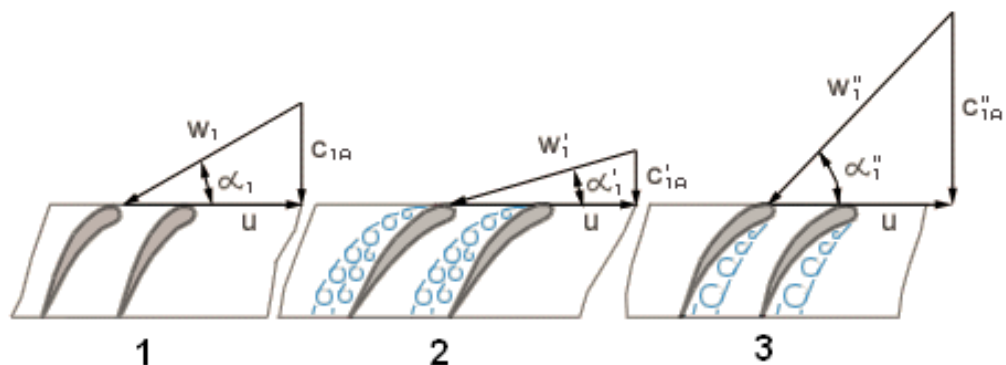


Рис.4. Схема обтікання робочих лопаток компресора
1-розрахунковий режим; 2-зменшення G_v ; 3-збільшення G_v

При збільшенні G_v порівняно з розрахунковим осьова швидкість збільшується і при постійній окружній швидкості кут α_1 збільшується до

значення α^1 . При цьому зрив потоку відбувається з боку корита лопаток. Такий зрив потоку має місцевий характер, і поширення його не відбувається внаслідок того, що відцентрові сили, діючи на частинки повітря, притискають потік до поверхні корита лопатки. Однак при цьому частково ступені компресора працюють в турбінному режимі, що знижує ступінь підвищення тиску, збільшує гідравлічні опору і відповідно зменшує к. п. д. компресора.

Експлуатаційні причини помпажу:

- запуск двигуна при занадто ранньому відключенні стартера або недостатній напрузі джерел живлення;
- запуск двигуна при бічній швидкості вітру, що перевищує 5 м/с, і попутній швидкості більше 0;
- зміна кордонів помпажу компресора;
- попадання сторонніх предметів на вхід в двигун;
- підвищений знос лопаток;
- потрапляння вертольота в турбулентний повітряний потік або в зпутний струмінь реактивного літака (вертольота);
- збільшення кроку несучого гвинта при неповному повороті коректора газу вправо до упору (двигуни задросельовані);
- збільшення кроку несущого гвинта з темпом, що перевищує прийнятність двигуна;
- включення відбору повітря з компресора на максимальному режимі роботи двигуна.

Ознаки виникнення помпажу:

- зміна тону роботи двигуна;
- поява ударів з-за викиду повітря в атмосферу;
- коливання температури газу з тенденцією до значного зростання;
- збільшення вібрації конструкції;
- зменшення потужності двигуна;

Наслідки помпажу:

- самовимкнення двигуна;
- руйнування елементів компресора і силової установки;
- обгорання і руйнування турбінних лопаток з-за підвищеної температури.

Дії екіпажу:

При виникненні помпажу на землі двигун вимкнути, а при виникненні помпажу в польоті слід змінити режим роботи двигуна. Якщо це не допоможе, вимкнути двигун.

Конструктивні заходи захисту від помпажу:

Одним з основних нестійких режимів роботи двигуна є режим запуску. Для запобігання помпажу при запуску двигуна використовується частковий перепуск повітря за VI ступенем компресора в атмосферу через клапан перепуску. При цьому зменшується опір проточної частини компресора, що сприяє збільшенню витрати повітря через перші сходинок і збільшення

значення складової абсолютної швидкості c_{1a} (рис. 4,а). Відносна швидкість W_1 буде спрямована під розрахунковим кутом до профілю лопатки, і зрив потоку з лопаток не відбудеться. Для перепуску повітря в корпусі компресора виконана кільцева порожнина, в яку поступає повітря через отвори в зовнішній обоймі направляючого апарату VI ступеня. Ця порожнина повідомлена з клапаном перепуску повітря. Управління клапаном перепуску повітря автоматичне. Він відкривається в початковий момент запуску двигуна і закривається в залежності від температури зовнішнього повітря при досягненні частоти обертання ротора турбокомпресора, яка визначається за графіком в залежності від температури зовнішнього повітря.

На більш високих режимах роботи двигуна запас стійкості компресора за помпажу досягається установкою профілів лопаток з невеликими негативними кутами атаки.

4. Можливі несправності компресора при експлуатації. Причини виникнення, ознаки, наслідки, дії екіпажу, міри запобігання.

1. Руйнування лопаток ротора

Причини:

- ☐ потрапляння сторонніх предметів у двигун при технічному обслуговуванні або при стоянці вертольота;
- ☐ примерзання лопаток ротора до корпусу при стоянці вертольота в умовах знижених температур навколишнього повітря;
- ☐ неефективність (відмова або неправильне користування) системи обігріву двигуна;
- ☐ помпаж компресора;
- ☐ перевищення допустимого часу безперервної роботи двигуна на форсованих режимах або робота на режимі вище допустимого для польотних даних умов;

Ознаки:

- ☐ різкий хлопок і удар в двигуні;
- ☐ поява підвищеної вібрації;
- ☐ падіння $n_{Тк}$ та підвищення T_T до величин, вище допустимих для даного режиму;
- ☐ помпаж;

Якщо шматок зруйнованої лопатки попадає в зазор між торцями інших лопаток і корпусом, відбувається заклинювання або гальмування ротора. В результаті зменшення частоти обертання ротора паливна автоматика збільшує подачу палива в камеру згоряння, що призводить до зриву полум'я і самовимкненню двигуна.

Дії екіпажу:

При виявленні в польоті руйнування лопаток компресора двигун слід негайно вимкнути.

Профілактичними заходами, спрямованими на запобігання руйнування лопаток компресора, є: суворе дотримання правил технічної експлуатації компресора технічним і льотним складом, ретельний візуальний і

інструментальний контроль стану лопаток, перевірка часу вибігу ротора турбокомпресора екіпажем при зупинці двигуна, суворе дотримання рекомендацій з експлуатації двигунів в умовах запиленого повітря і умовах можливого обмерзання вхідної частини.

2. Руйнування підшипників опор

причини:

- ☐ запуск двигуна в умовах низьких температур без попереднього підігріву;
- ☐ масляне голодування (недостатність мастила);

ознаки:

- ☐ збільшення вібрації двигуна;
- ☐ різке підвищення температури масла і температури газу перед турбіною;
- ☐ поява характерного скреготу і падіння nTK;
- ☐ зменшення швидкодії турбокомпресора;
- ☐ нерівномірність зусиль, необхідних для ручної прокрутки ротора;
- ☐ наявність металевої стружки у маслофільтрі;

Дії екіпажу:

При виявленні руйнування підшипників в процесі підготовки двигуна до запуску запуск і подальша експлуатація його забороняється. Якщо руйнування підшипників виявлено в польоті двигун слід вимкнути.

Профілактичними заходами, спрямованими на руйнування підшипників, є: попередній підігрів двигуна перед запуском від аеродромного підігрівача при температурі зовнішнього повітря нижче -40°C , експлуатація двигуна без теплових ударів (різкої зміни температурних режимів), правильний догляд і суворе дотримання правил льотної експлуатації.