

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

Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни

«Конструкція і технічне обслуговування авіаційних двигунів»

обов'язкових компонентів

освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

272 Авіаційний транспорт

(Технічне обслуговування та ремонт повітряних суден і авіадвигунів)

За темою №2 «Конструкція і ТО компресора двигуна»

ЗАТВЕРДЖЕНО

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

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького 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 28.08.2023 р. № 1

Розробник:

*Викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки,
спеціаліст вищої категорії Пономаренко А. В.*

Рецензенти:

- 1. Завідувач кафедри технологій аеропортів Національного авіаційного університету, д.т.н., професор Тамаргазін О.А.*
- 2. Викладач циклової комісії аеронавігації, к.т.н., старший науковий співробітник, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист 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, заходи запобігання.

Література:

Основна література:

1. Кулик М.С., Тамаргазін О.А. Конструкція, міцність та надійність газотурбінних установок і компресорів. Київ: НАУ, 2009. 477 с.
2. Терещенко Ю.М. Газотурбінні двигуни літальних апаратів, Київ: Вища школа, 2000. 319 с.
3. Царенко А.О. «Вертоліт Мі-8МТВ-1. Блок 3 Газотурбінний двигун. (категорія В1.3): Конспект лекцій. Кременчук: КЛК ХНУВС, 2019. 303 с.
4. Царенко А.О. Вертоліт Мі-2. Блок 3 Газотурбінний двигун. (категорія В1.3): Конспект лекцій. Кременчук: КЛК ХНУВС, 2021. 197 с.
5. Царенко А.О. «Вертоліт Мі-8(Т/П). Блок 3 Газотурбінний двигун. (категорія В1.3): Конспект лекцій. Кременчук: КЛК ХНУВС, 2020. 243 с.

Допоміжна література:

6. Кеба І.В. Конструкція і льотна експлуатація авіаційного двигуна ГТД 350. К.: Вища школа, 1987. 224 с.
7. Авіаційний газотурбінний двигун ГТД-350: Технічний опис. Wytwórnia Sprzętu Komunikacyjnego «PZL-Rzeszów», 1977. 230 с.
8. Інструкція з експлуатації і технічного обслуговування двигуна ГТД-350. Wytwórnia Sprzętu Komunikacyjnego «PZL-Rzeszów», 1977р.
9. Царенко А.О. Вертоліт Мі-2. Блок 3 Газотурбінний двигун. (Категорія В1.3): Конспект лекцій. Кременчук: КЛК НАУ, 2015. 227 с.
10. Царенко А.О. «Вертоліт Мі-8Т. Блок 3 Газотурбінний двигун. (Категорія В1.3): Конспект лекцій. Кременчук: КЛК НАУ, 2015. 250 с.

Інформаційні ресурси в Інтернеті:

11. https://www.twirpx.com/files/science/transport/aircrafting/reference_helicopter_operation/
12. <https://profbook.com.ua/gasoturbinni-dvyguny.html>
13. <https://www.yakaboo.ua/ua/konstrukcija-micnist-ta-nadijnist-gazoturbinnih-ustanovok-i-kompresoriv.html>

Текст лекції

1. Загальні дані та основні технічні дані компресора.

Тип: осецентробіжний

Число ступенів : сім 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 спеціальним клапаном

Частота обертання турбокомпресора при закритті клапана перепуску повітря, % визначається за графіком $n_{TK} = f(tH)$

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 равлики.

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 протильодової системи. Гаряче повітря подається в порожнину, утворену подвійними стінками зовнішньої обичайки, з равлики компресора через клапан протильодової. 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 осьового 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 направляючих апаратів, а також на внутрішніх поверхнях равлика 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, які перешкоджають проходженню повітря з порожнин великого тиску в порожнини меншого тиску.

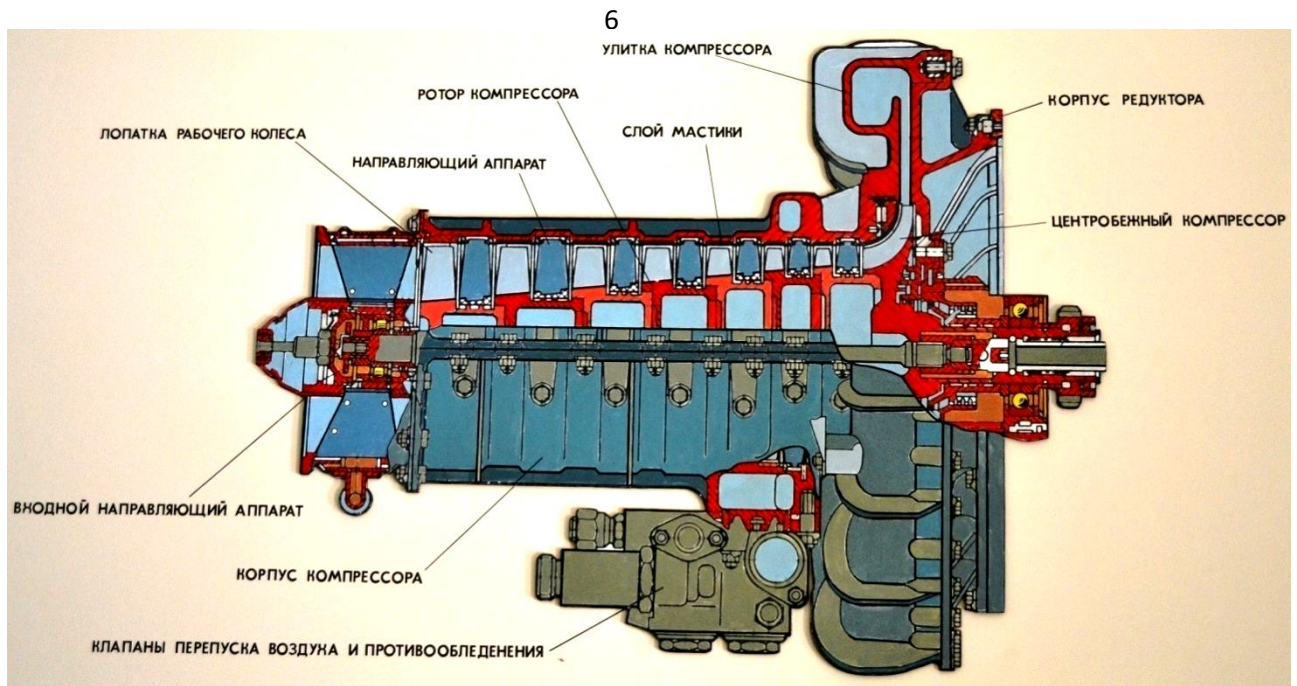


Рис. 1. Компрессор

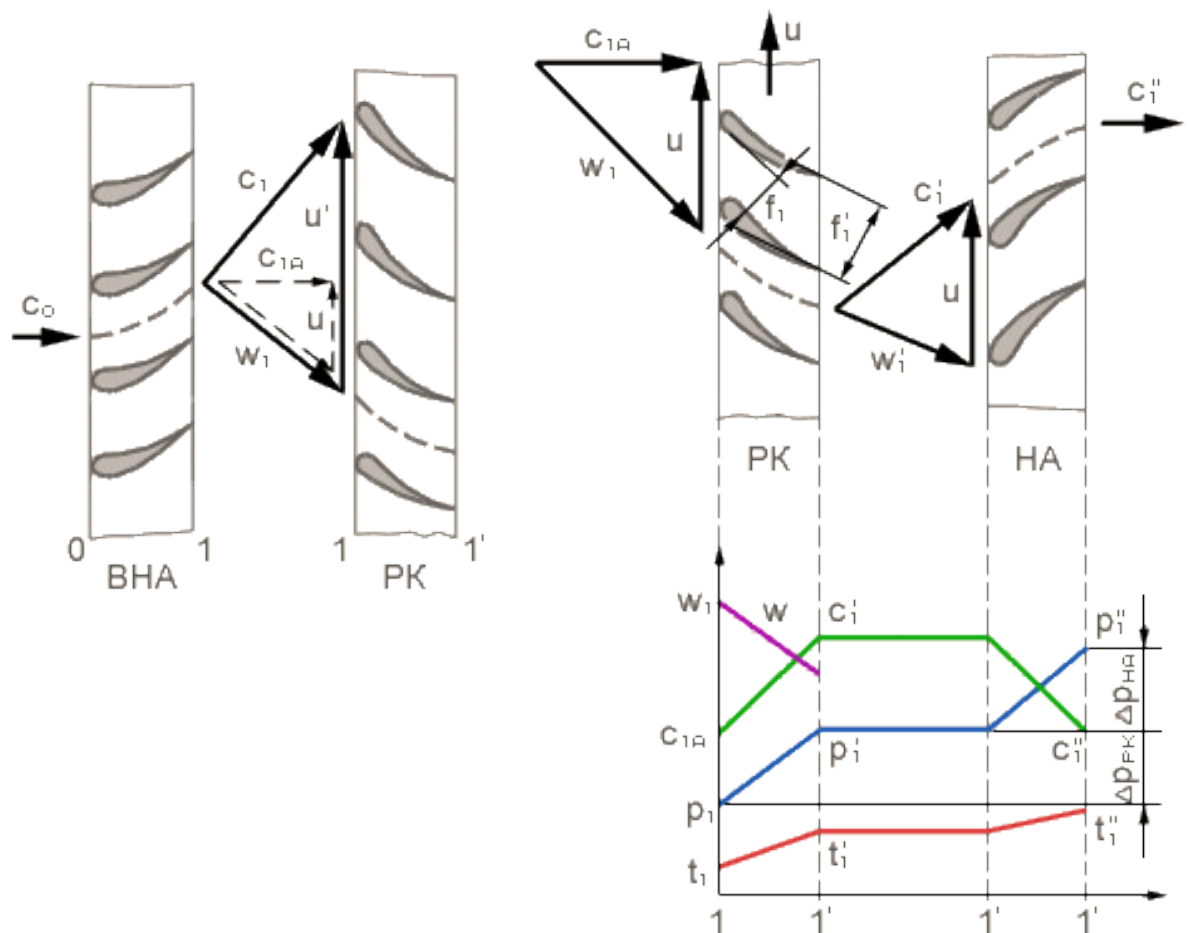


Рис. 2 Схема роботи ступені вісьового компресору

На розтрубах равлики є фланці для відбору повітря на потреби вертольота і протилідової 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 обертючих 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.

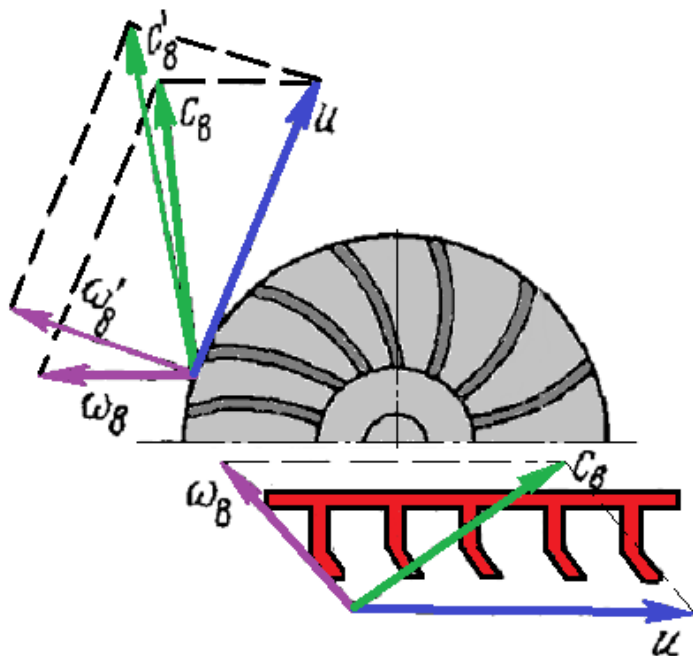


Рис. 3. Схема роботи центробіжного компресора

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 равлики (рис. 3).

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

Міжлопаточні канали всіх ступенів компресора профілюються виходячи з розрахункового режиму роботи, який характеризується певною частотою обертання ротора прасч., ступенем підвищення тиску повітря в кожній щаблі пст і в компресорі в цілому пк і відповідним секундним витратою повітря через кожну ступінь $G_{в.розрах.}$. 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 потоку, 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 $G_{в.}$, p_k і потужність, споживана компресором. Зменшення $G_{в.}$ 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.

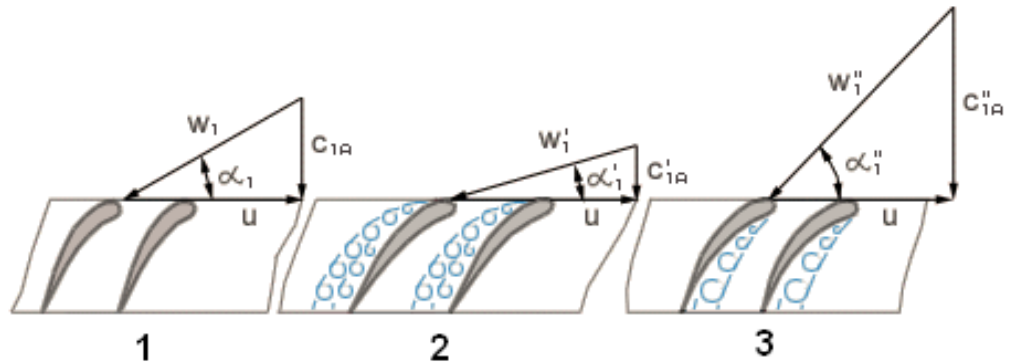


Рис.4. Схема обтікання робочих лопаток компресора
1-розрахунковий режим; 2-зменшення G_v ; 3-збільшення G_v

При збільшенні G_v порівняно з розрахунковим осьова швидкість збільшується і при постійній окружної 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 ККД компресора.

Експлуатаційні причини помпажу:

- запуск двигуна при занадто ранньому відключення стартера або недостатньому напрузі джерел живлення;
- запуск двигуна при бічної швидкості вітру, що перевищує 5 м/с, і попутної 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 спутний 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 персоналу:

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 пТК та підвищення tГ 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 самовимкнення двигуна.

Дії персоналу:

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 завчасного обігріву;
- ☐ масляне голодування (недостатність мастила);

Ознаки:

- ☐ збільшення вібрації двигуна;
- ☐ різке підвищення температури масла і температури газу перед турбіною;
- ☐ поява характерного скрежету і падіння n_{TK} ;
- ☐ зменшення швидкодії турбокомпресора;
- ☐ нерівномірність усілій, необхідних для ручної прокрутки ротора;
- ☐ наявність металевої стружки на маслофільтрі;

Дії персоналу:

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 запобігання 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.