

**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 компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
Технічне обслуговування та ремонт повітряних суден і авіадвигунів

за темою №2 - Конструкція і ТО компресора двигуна

Харків 2021

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
 Харківського національного
 університету внутрішніх справ
 Протокол від 23.09.2021 № 8

СХВАЛЕНО

Методичною радою
 Кременчуцького льотного
 коледжу Харківського
 національного університету
 внутрішніх справ
 Протокол від 22.09.2021 № 2

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
 ХНУВС з технічних дисциплін
 Протокол від 22.09.2021 № 8

Розглянуто на засіданні циклової комісії технічного обслуговування авіаційної
 техніки, протокол від 30.08.2021р. № 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 аeronавігації 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, заходи запобігання.

Рекомендована література:

Основна:

1. Кеба І.В. Конструкція і льотна експлуатація авіаційного двигуна ГТД 350. Москва: Транспорт, 1987. 224 с.
2. Нікітін Є.І. Турбовальний двигун ГТД-350. Москва: ДОСААФ СРСР, 1978. 192 с.

Додаткова:

3. Авіаційний газотурбінний двигун ГТД-350: Технічний опис. Wytwórnia Sprzętu Komunikacyjnego «PZL-Rzeszów», 1977. 230 с.
4. Інструкція з експлуатації і технічного обслуговування двигуна ГТД-350. Wytwórnia Sprzętu Komunikacyjnego «PZL-Rzeszów», 1977р.
5. Регламент технічного обслуговування вертолітоту Mi-2 ч.1. Москва: ДержНДІ ЦА, 2007. 200 с.
6. Царенко А.О. Вертоліт Mi-2. Блок 3 Газотурбінний двигун. (Категорія В1.3): Конспект лекцій. Кременчук: КЛК НАУ, 2015. 227 с.

Текст лекції

1. Загальні дані та основні технічні дані компресора.

Тип: осецентрробіжний

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 вертолітота 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 включені 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 $n_{\text{TK}} = f(tH)$

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 обігриваються зсередини гарячим повітрям при включені протилььодової системи. Гаряче повітря подається в порожнину, утворену подвійними стінками зовнішньої обичайки, з равлики компресора через клапан протилььодової. 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 розміщаються 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 великої тиску в порожнини меншого тиску.

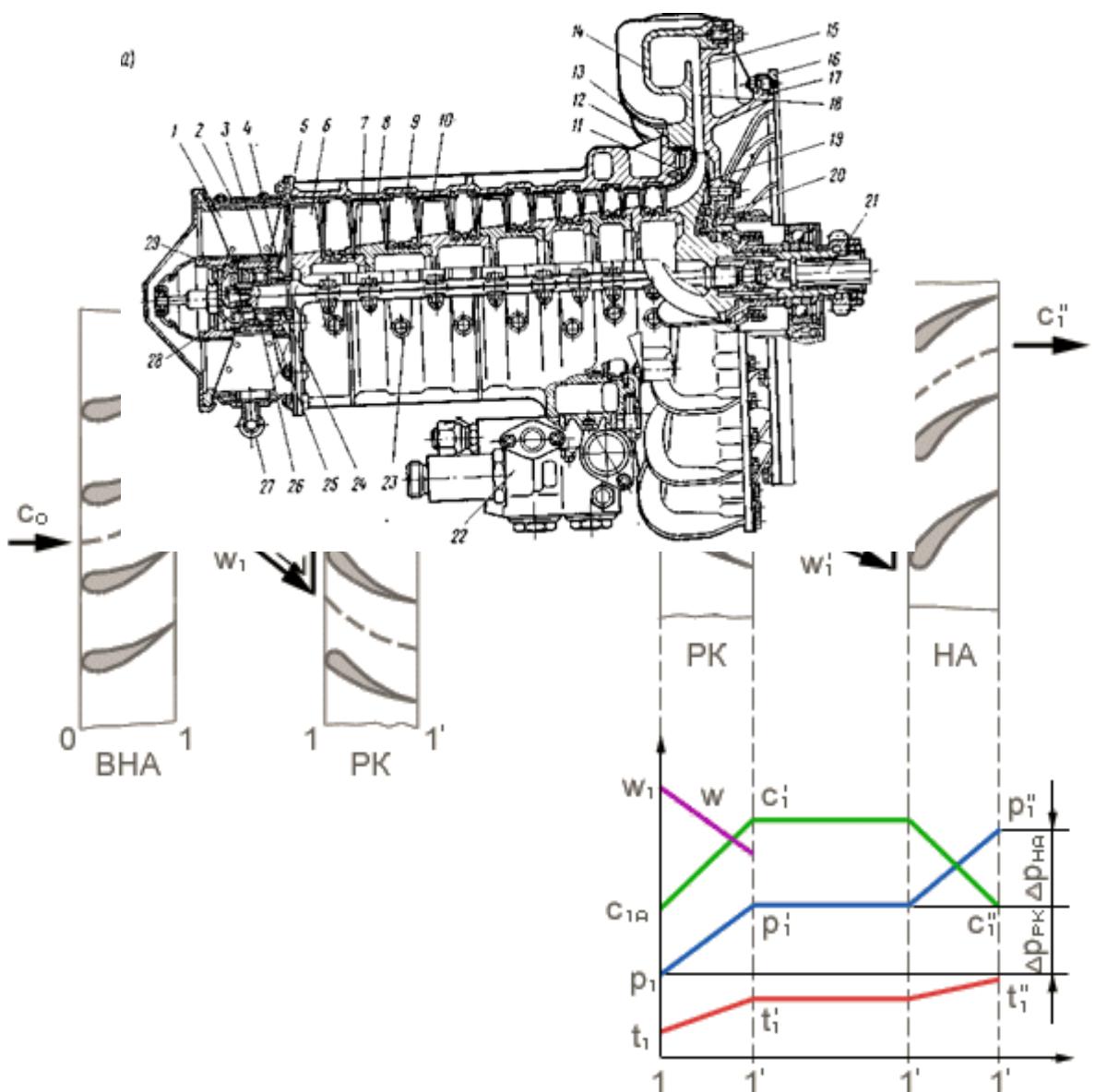


Рис. 1. Компресор

Рис. 2 Схема роботи ступені вісьового компресору

На розтрубах равлики є фланці для відбору повітря на потреби вертоліята і протильодової 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 обертових 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.

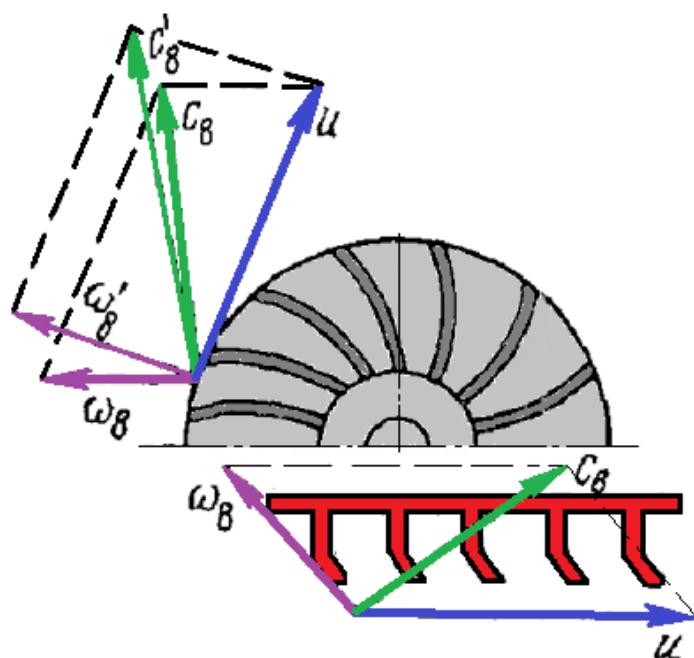


Рис. 3. Схема роботи центробіжного компресора

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 переміщають уздовж лопаток робочого колеса. При

цьому також відбувається збільшення кінетичної енергії повітряного потоку. Перетворення кінетичної енергії повітряного потоку в енергію тиску відбувається в безлопаточном дифузорі 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 $G_{в,розвах}$. Для цього режиму роботи розраховують площи 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 зрыв і утворення завихрень. Як правило, ці зрыви 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 зрыв 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 вертолітота, 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 зрывів на перших щаблях компресора.

Характерний вид має залежність зрыву 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 вертолітотній силовій установці. Розрахунковий режим роботи відповідає параметрам U , c_{1a} , W_1 , α_1 , при яких обтікання лопаток плавне, без зрывів.

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 до значення α'_1 . При цьому на спинці потік повітря від відригається, створюючи вихреву зону, яка і порушує головне протягом повітря по міжлопатковою каналах.

Вихрова зона перекриває частково межлопаточну канали, так що секундне кількість повітря, що надходить на наступний щабель, відповідно зменшується, що викликає і на її лопатках аналогічний злив 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.

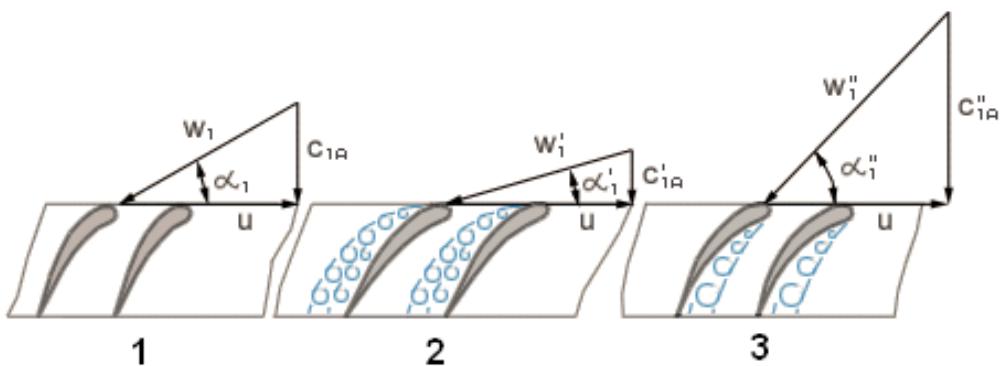


Рис.4. Схема обтікання робочих лопаток компресора
1-розрахунковий режим; 2-зменшення G_v ; 3-збільшення G_v

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 злив потоку відбувається з боку корита лопаток. Такий злив потоку має місцевий характер, і поширення його не відбувається внаслідок того, що відцентрові сили, діючі 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 гідрравлічні 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 прийманність 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 сходинки 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 навколошнього 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 $t\Gamma$ 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.

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 птк;
- зменшення швидкодії турбокомпресора;
- нерівномірність усілій, необхідних для ручної прокрутки ротора;
- наявність металевої стружки на маслофільтра;

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