

**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

272 Авіаційний транспорт (Аеронавігація)

за темою № 10 - Льотна експлуатація двигуна

Кременчук 2023

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 28.08.2023р. № 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 лекцій:

1. Заходи безпеки при підготовці двигунів до запуску. Підготовка двигунів до запуску.
2. Порядок запуску двигунів від бортових і аеродромних джерел живлення.
3. Прогрів і випробування двигуна.
4. Останов двигуна.
5. Холодне прокручування двигуна.
6. Хибний запуск двигуна.
7. Запуск двигуна у польоті.

Рекомендована література:

Основна:

1. Царенко А.О. Вертоліт Мі-2. Блок 3 Газотурбінний двигун. (категорія В1.3): Конспект лекцій. Кременчук: КЛК ХНУВС, 2021. 197 с.

Додаткова:

2. Терещенко Ю.М. Газотурбінні двигуни літальних апаратів, Київ: Вища школа, 2000. 319 с.
3. Терещенко Ю.М. Теорія теплових двигунів. Київ: НАУ, 2009. 328 с.

Інформаційні ресурси в Інтернеті

4. Helicopter Mi-2. Flight Manual. Wytwórnia Sprzętu Komunikacyjnego «PZL-Swidnik». URL.: https://www.scribd.com/document/539086617/Mi-2-Helicopter-Flight-Manual?language_settings_changed=English (дата звернення 26.08.2023)
5. Operating and Servicing Instructions for Engine GTD-350. Wytwórnia Sprzętu Komunikacyjnego «PZL-Rzeszów». 270 p. URL.: <http://www.magniel.com/yuli/EngineGDT350.pdf> (дата звернення 26.08.2023)

1.Заходи безпеки при підготовці двигунів до запуску. Підготовка двигунів до запуску.

Перед запуском двигунів необхідно:

1. Прибрати всі сторонні предмети, які знаходяться поблизу вертольота. Особливу увагу треба звертати на присутність легких предметів.
2. Переконаватися в наявності близько вертольота необхідних пожежних засобів (пожежна машина, обладнані пожежні щити, пожежна візок). При запуску двигунів у польових умовах необхідно мати на борту вертольота справні переносні вогнегасники.
3. Прибрати заглушки з вхідних каналів з вихлопних патрубків двигунів і переконаватися в тому, що капоти двигунів і вертолітного редуктора закриті.

4. Встановити важіль «крок-газ» на упор в нижньому положенні, рукоятку корекції повністю ліворуч і важелі роздільного керування двигунами в нейтральне положення на засувки. Таке положення важелів управління відповідає режиму малого газу.

5. Переконавшись в тому, що стоп-крани знаходяться в закритому положенні і растормозить несучий гвинт, опустивши важіль гальма повністю вниз.

6. Поставити перемикач «ПРОКРУТКА-ЗАПУСК» в положення «ЗАПУСК».

7. Перемикач «АКУМУЛЯТОРИ-АЕРОДРОМНЕ ЖИВЛЕННЯ» поставити в положення «АКУМУЛЯТОРИ» при автоматичному запуску положення «АЕРОДРОМНЕ ЖИВЛЕННЯ» - при запуску від аеродромного джерела живлення.

2.Порядок запуску двигунів від бортових і аеродромних джерел живлення.

Запуск двигуна можна проводити від двох акумуляторних батарей 12 САМ-28 (автономне джерело живлення), від аеродромного джерела живлення типу АПА-35 і від генератора працюючого двигуна.

Порядок автономного запуску двигуна від акумуляторів наступний:

- ☐ підготувати двигуни до запуску;
- ☐ дати команду про початок запуску і переконавшись в її виконанні;
- ☐ встановити перемикач «АЕРОДРОМНЕ ЖИВЛЕННЯ - АКУМУЛЯТОРИ» в положенні «АКУМУЛЯТОРИ»;
- ☐ подати живлення на прилади контролю роботи двигуна і редуктора;
- ☐ поставити перемикач «ПРОКРУТКА - ЗАПУСК» в положення «ЗАПУСК»;
- ☐ включити паливний підкачуючий насос №1 ;
- ☐ відкрити пожежний кран двигуна;
- ☐ поставити перемикач вибору двигуна «ЛІВИЙ - ПРАВИЙ» на запускається двигун;
- ☐ натиснути кнопку запуску двигуна на 2-3 с і перевести важіль стоп-крана у положення «ВІДКРИТО». Двигун повинен вийти на режим малого газу за час не більше 40 с.

Автономний запуск сусіднього двигуна може бути здійснено як від акумуляторних батарей за схемою 24х48 В, так і від генератора працюючого двигуна за схемою 24В (без перемикання на 48 В).

При запуску сусіднього двигуна від генератора працюючого двигуна необхідно ввімкнути вимикач і важелем роздільного управління вивести працюючий двигун на частоту обертання $n_{тк} = 82...85\%$. Подальший порядок запуску аналогічний автономного запуску першого двигуна.

Перед запуском двигуна від аеродромного джерела живлення необхідно: підключити аеродромний джерело живлення до бортової штепсельної розетки вертольоту; перемикач живлення «АЕРОДРОМНЕ ЖИВЛЕННЯ -

АКУМУЛЯТОРИ» поставити в положення «АЕРОДРОМНЕ ЖИВЛІННЯ». Подальший порядок запуску від аеродромного джерела живлення аналогічний автономному запуску двигуна. Час запуску двигуна від аеродромного джерела 30 с, після запуску необхідно відключити аеродромний джерело живлення.

При запуску двигуна необхідно пам'ятати наступне:

1. Запуск від бортових акумуляторних батарей дозволяється проводити поспіль без підзарядки не більше 3 разів з перервами між запусками не менше 3 хв.

2. Якщо напруга акумуляторних батарей (заміряне бортовим вольтметром) в кінці гарячого запуску падає нижче 14 В, слід замінити акумуляторні батареї або провести підзарядку.

3. При запуску від акумуляторних батарей для економного витрати ємності рекомендується при виході двигунів на малий газ натисканням на кнопку «ПРИПИНЕННЯ ПУСКУ» відключити панель запуску і тим самим відключити живлення стартера.

4. Запуск від аеродромного джерела живлення дозволяється проводити поспіль 5 разів з перервами між запусками не менше 3 хв.

5. Після проведення 5 запусків поспіль стартер-генератор і агрегат запалювання треба охолодити протягом 30 хв.

6. Після проведення підряд 2 помилкових запусків або 2 холодних прокручувань двигуна слід охолодити стартер-генератор протягом не менше 30 хв.

7. При перерві між запусками більше 2 год перед черговим запуском треба зробити холодну прокручування двигуна. Запуск припиняється закриттям стоп-крана з наступним натисканням кнопки «ПРИПИНЕННЯ ПУСКУ» в наступних випадках:

- температура газів перед турбіною зростає вище максимально допустимої, яка визначається перед запуском двигуна за графіком $t_p = f(t_H)$;
- відбулося зависання частоти обертання турбокомпресора в процесі виходу на режим малого газу протягом 3 с;
- не відбувається займання палива;
- виявилось протікання палива, масла або інші ознаки ненормальної роботи двигунів, редуктора і агрегатів;
- відсутня збільшення тиску масла по манометру, яке до кінця запуску повинно бути 1,5 ...3 кгс/см²;
- стався занедбаність тиску масла двигуна або редуктора вище допустимих значень;
- напруга бортмережі стійко падає нижче 16 В.

Повторні запуски дозволяється проводити тільки після виявлення та усунення причин ненормального запуску. Після невдалого запуску слід перед наступним запуском зробити холодну прокручування.

3.Прогрів і випробування двигуна.

Опробування двигунів після запуску на землі з метою перевірки відповідності параметрів його роботи технічним умовам. Якісна перевірка роботи двигуна в більшості випадків призводить до виявлення дефектів або передумов до них і попереджає виліт вертольота з несправними двигунами.

Двигуни і головний редуктор прогривають на режимі малого газу при частоті обертання турбокомпресора (57 ± 3) %, мінімальний кут установки лопатей несучого гвинта (важіль «крок-газ» знаходиться на нижньому упорі) і повною лівою корекцією. Прогрів проводиться до температури масла на виході з двигуна 30° .

Опробування двигунів проводиться окремо або спільно залежно від виду робіт. На землі без прив'язі вертольоту двигуни випробують по черзі, не допускаючи відриву вертольоту від землі.

Роздільне випробування

Роздільне випробування двигунів проводиться в наступному порядку:

1. Після прогріву двигунів на режимі малого газу рукоятку корекції на важелі «крок-газ» повертають в положення «ПОВНА ПРАВА». Режим роботи двигунів збільшується до значення, при якому частота обертання несучого гвинта (вільної турбіни) досягає налаштування регулятора РО-40ТА, тобто 78...84%.

2. Важіль роздільного управління невикористаного двигуна переводять вниз до упору. При цьому даний двигун буде працювати на режимі малого газу.

3. Важіль роздільного управління виробуємого двигуна переводять вгору до упору, що призведе до значного збільшення його режиму, так як при загальному кроці несучого гвинта $\phi_0 = 1^{\circ}$ навантаження на двигун незначна.

4. Переміщення важеля «крок-газ» на збільшення загального кроку випробуємого двигуна виводять на випробувальний режим. Режим роботи двигуна встановлюється по частоті обертання турбокомпресора, значення якої для кожного режиму визначають за графіком $p_{TK} = f(t_H)$. На кожному з режимів (крейсерському, номінальному, злітному) протягом 10...15 с. Перевіряють відповідність параметрів двигуна і редуктора технічним умовам.

5. Якщо параметри двигуна на всіх перевіряються режимах відповідають технічним умовам, після його перевірки важіль «крок-газ» переводять вниз до упору, важелі роздільного керування двигунів встановлюють в нейтральне положення, рукоятку корекції виводять повністю вліво. Аналогічним чином проводиться випробування іншого двигуна.

6. При випробуванні лише одного двигуна пожежний кран непрацюючого двигуна повинен бути закритий для запобігання попадання палива в цей двигун.

7. Після опробування двигунів важелі управління встановлюють у положення, що відповідає режиму малого газу, на якому двигуни охолоджуються протягом 1...3 хв. і після цього їх вимикають.

Спільне випробування

Такий вид перевірки працездатності двигунів проводиться перед першим польотом гелікоптера знову з установленим двигуном, після виконання 75-часових регламентних робіт, після проведення будь-яких робіт на вертолітному системі управління двигунами, після заміни чи регулювання агрегатів паливної системи двигуна, при виявленні в попередньому польоті несправностей у спільній роботі двигунів.

Спільне випробування двох двигунів виконують наступним чином:

1. При прогріві двигунів на режимі малого газу перевіряють регулювання частоти обертання турбокомпресорів і настановні кути лопатей несучого гвинта.

2. Після прогріву двигунів та редуктора на режимі малого газу рукоятку корекції на важелі «крок-газ» повністю повертають вправо і після стабілізації показань частоти обертання несучого гвинта оцінюють регулювання системи підтримки постійного значення n н. в.

3. Переміщенням важеля «крок-газ» на збільшення кроку несучого гвинта двигуни виводять на випробовуючий режим. Режими роботи двигунів встановлюють за значенням, що визначається за графіком $n_{тк} = f(t_H)$. На кожному з встановлених режимів перевіряють відповідність контрольованих параметрів технічним умовам.

4. При першому випробуванні двигунів після розконсервації необхідно двічі включити вручну противообліднювальний клапан на 1 хв. на червоному газі з перервами між включеннями на 1 хв. і по одному разу включити клапан на 30...60 с на першому крейсерському і номінальному режимах. При включенні клапана на крейсерському і номінальному режимах температура газів перед турбіною компресора повинна зростати на 10...20 °С, що є нормальним явищем.

5. Після спільного випробування двигунів їх одночасно переводять на режим малого газу переміщенням важеля «крок-газ» вниз до упору з подальшим переведенням рукоятки корекції в крайнє ліве положення. На режимі малого газу двигуни охолоджують протягом 1...2 хв. і вимикають для технічного огляду (див. рис. 11.1).

Перевірка прийнятності

Рекомендується перевіряти прийомистість для кожного двигуна окремо. При наявності швартування вертольота прийомистість можна перевірити при обох працюючих двигунах. Перевіряється прийомистість після прогріву двигуна і перевірки його параметрів на злітному режимі.

Перевірку прийомистості при одному працюючому двигуні необхідно виконувати в наступному порядку:

- при мінімальному кроці несучого гвинта (важіль "крок—газ" знаходиться на нижньому упорі) перемістити важіль роздільного управління двигуна вгору до упору;

- переміщенням важеля "крок—газ" збільшити крок несучого гвинта до отримання частоти обертання турбокомпресора, відповідної взлетному режиму (або до одержання максимально допустимого значення температури газу перед турбіною);

- при незмінному кроці несучого гвинта перевести двигун на режим малого газу важелем роздільного управління;

- виконати прийомистість, для чого важіль роздільного управління двигуна перемістити у верхнє положення протягом 1,5 ...2 с;

- час прийомистості вважається від початку руху важеля роздільного управління з положення "Малий газ" до моменту досягнення частоти обертання турбокомпресора на 1...1,5% меншою значення, відповідного взлетному режиму. Воно має становити 10...15 с;

- занедбаність температури газу перед турбіною при прийомистості не повинен перевищувати температури газу на злітному режимі (970 °С по приладу) Або обмеження температури більш ніж на 20 °С;

- при перевірці часу прийомистості, коли працюють обидва двигуна вертольота, перед виконанням прийомистості необхідно заблокувати рукоятку корекції в положенні "Повна ліва", а під час збільшення кроку несучого гвинта неперевіряємий двигун утримувати на режимі малого газу, переміщаючи важіль роздільного управління цього двигуна вниз.

4. Останов двигуна.

Нормальний зупинка двигунів виробляється з режиму малого газу. Перед остановом двигуни необхідно охолодити, працюючи на малому газі 1...2 хв. в зимових умовах, щоб уникнути жолоблення гарячої частини двигуна час охолодження має становити 2...3 хв. двигуни зупиняють переключенням важелів стоп-кранів в положення «ЗАКРИТО». В процесі зупинки двигунів необхідно переконатися в тому, що немає сторонніх шумів. Справність двигуна при його зупинці з досить високим ступенем точності оцінюється за інерційності обертання ротора турбокомпресора. Час інерційного обертання ротора турбокомпресора називають вибігу. Час вибігу вимірюється з моменту переведення важеля стоп-крана у положення «ЗАКРИТО» з режиму малого газу до повної зупинки ротора турбокомпресора. Проточна частина турбокомпресора вважається справною, якщо час вибігу не менше 25 с.

В аварійних випадках двигун може бути зупинений закриттям стоп-крана з будь-якого режиму роботи, без плавного зменшення режиму і охолодження його на режимі малого газу з подальшим закриттям пожежного крана. Аварійний останов двигуна проводиться в наступних випадках: при різкому падінні тиску масла в двигуні або в головному редукторі; при різкому підвищенні температури газу перед турбіною вище рекомендованої для даного режиму; при різкому падінні частоти обертання турбокомпресора; при сильному вибиванні полум'я з вихлопного патрубку; при появі небезпечним у пожежному відношенні течі палива або масла; при виникненні пожежі у відсіку двигуна.

При відмові в роботі стоп-крана двигун вимикається закриттям паливного пожежного крана.

5. Холодне прокручування двигуна.

Холодна прокрутка необхідна для продувки камери згоряння від палива після невдалого запуску, для охолодження двигуна, підвищення надійності роботи системи запуску, при перерві між запусками більше 2 год після заміни масла в двигуні. Порядок холодної прокрутки двигуна наступний:

- ☐ підготувати двигуни до запуску;
- ☐ дати команду, застережливу про початок прокрутки;
- ☐ включити підкачуючий паливний насос;
- ☐ відкрити пожежний кран;
- ☐ перемикач «ЗАПУСК-ПРОКРУТКА» встановити в положення «ПРОКРУТКА»;

☐ натиснути кнопку запуску на 1-2 с. Час циклу роботи пускової панелі ПМГ-14А при холодної прокрутки становить 30 с. При цьому немає подачі електроживлення на свічку і електромагнітний клапан пускового палива, а також не включається регулятор струму і не відбувається перемикання живлення стартера на 48 В. Холодна прокрутка проводиться при закритому стоп-крані.

6. Хибний запуск двигуна.

Хибним називається запуск двигуна без займання паливо-повітряної суміші. Він проводиться з метою перевірки функціонування систем, що беруть участь у запуску, а також при проведенні консервації та розконсервації двигуна.

Хибний запуск з закритим стоп-краном здійснюється при визначенні частоти обертання розкрутки турбокомпресора стартером від джерела живлення, а при перевірці свічки запалювання пускового запальника, при продувці двигуна після розконсервації. З відкритим стоп-краном хибний запуск проводиться при проведенні консервації та розконсервації двигуна, а також при перевірці роботи систем, які беруть участь у процесі пуску.

Для проведення помилкового запуску необхідно: підготувати двигуни до запуску; від'єднати живлення котушки системи запалювання (низьковольтний кабель); запустити двигун. Час циклу роботи пускової панелі під час хибного запуску таке ж, як при звичайному запуску, і становить 31...35 с. Частота обертання турбокомпресора при хибному запуску від аеродромного джерела живлення залежно від температури зовнішнього повітря повинна бути 21...23%. Після проведення хибного запуску з відкритим стоп-краном необхідно зробити холодне прокручування двигуна.

7. Запуск двигуна у польоті

Запуск двигуна в польоті дозволяється у навчальних цілях, якщо відома причина його зупинки. Забороняється виконувати запуск двигуна після аварійної зупинки. Запуск двигуна в польоті здійснюється аналогічно автономного запуску на землі. Надійність запуску забезпечується до висоти 3000 м. Запуск в польоті рекомендується виконувати на частоті обертання авторотації турбокомпресора 5-7 % (але не більше 20 %, так як в системі запуску передбачено блокування відключення пускової панелі при $n_{\text{тк}} = 20 \%$ і при натисканні пускової кнопки на $n_{\text{тк}} > 20 \%$ запуску двигуна не станеться).

При запуску двигуна від генератора працюючого двигуна на висотах вище 2500 м частота обертання турбокомпресора працюючого двигуна не повинна перевищувати частоту обертання номінального режиму. Запуск двигуна в польоті треба виконувати в такій послідовності:

- ☐ переконатися в тому, що важіль роздільного управління запущеного двигуна знаходиться на нижньому упорі;
- ☐ провести запуск двигуна за методикою, зазначеною для запуску на землі;
- ☐ встановити важіль роздільного управління запущеного двигуна в середнє положення на засувку;
- ☐ встановити важіль роздільного управління двигуна, на якому відбувався політ, в середнє положення на засувку;
- ☐ встановити необхідний для польоту режим роботи двигунів зміною загального кроку.