

**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 № 13 – Повітряний гвинт**

**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. Загальні відомості про гвинти і регулятори. Сили, що діють на лопаті повітряного гвинта. Призначення, пристрій, матеріали виготовлення повітряного гвинта і регулятора оборотів. Спільна робота гвинта і регулятора оборотів: при примусовій зміні кроку гвинта пілотом, автоматична зміна кроку гвинта на рівноважному режимі.

2. Характерні несправності повітряного гвинта і регулятора оборотів, їх причини й ознаки: вибивання олії з з'єднань корпусів гвинта, гвинтова тряска силової установки, заїдання золотника регулятора оборотів, обрив чи поломка тяги горизонтального валика регулятора оборотів, забруднення маслофільтра регулятора оборотів.

### **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>

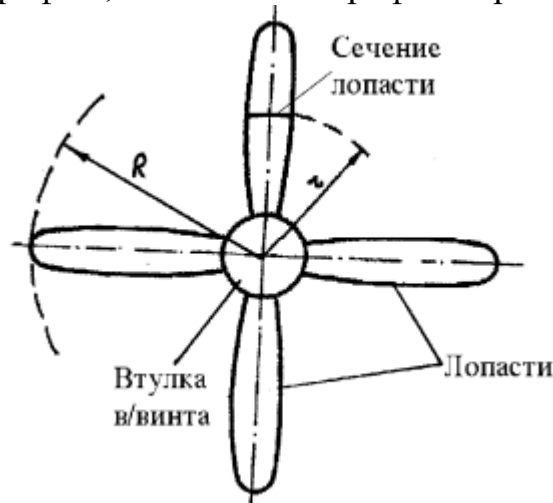
### **Текст лекції**

Загальні відомості про гвинти і регулятори, сили, що діють на лопаті повітряного гвинта. Призначення, пристрій, матеріали виготовлення повітряного гвинта і регулятора оборотів. Спільна робота гвинта і регулятора оборотів: при примусовій зміні кроку гвинта пілотом, автоматична зміна кроку гвинта на рівноважному режимі.

Поршневий двигун внутрішнього згоряння виробляє механічну енергію, забезпечуючи обертання валу. Для використання поршневого двигуна на транспортних засобах він повинен працювати спільно з рушієм - пристроєм, який приводиться в дію двигуном і, механічно взаємодіючи з навколишнім середовищем, переміщується щодо неї, захоплюючи за собою двигун і літальний апарат, на якому він встановлений. Таким рушієм на літаку є повітряний гвинт.

З вище сказаного можна зробити висновок: повітряний гвинт силової установки літака призначений для створення сили тяги, тобто є рушієм, що перетворює крутний момент на валу двигуна в силу, що переміщує літак щодо повітряного середовища.

Основними елементами конструкції повітряного гвинта є лопаті і втулка. Лопаті кріпляться до втулки, яка встановлюється на вал гвинта, який пов'язаний через редуктор з колінчастим валом двигуна. Лопаті в перетині мають аеродинамічний профіль, аналогічний профілю крила літака.



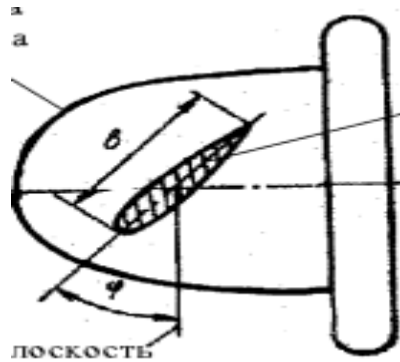
Основним робочим елементом повітряного гвинта є лопата. Гвинт може мати від двох до восьми лопатей. Форма лопаті в плані може бути прямокутною, шаблевидною, веслоподібною.

У повітряних гвинтів виділяють наступні геометричні характеристики:

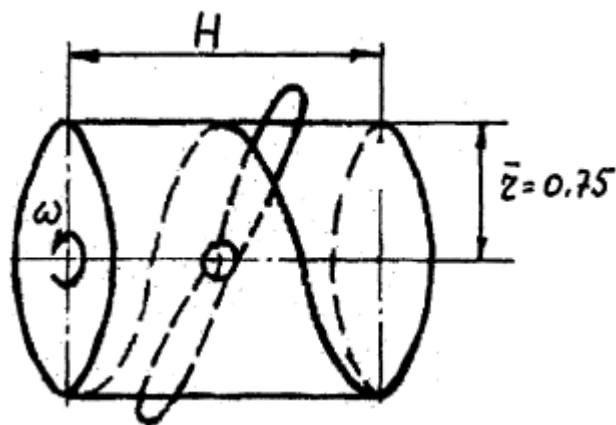
- діаметр гвинта  $D$  - діаметр окружності, описуваної кінцями лопаті. У літакових гвинтів діаметр становить 2 ... 6 м. При необхідності замість діаметра гвинта використовують його радіус  $R = D / 2$ ;
- перетин лопаті на деякій відстані  $r$  від осі - це перетин циліндричної поверхні, поздовжня вісь якої збігається з віссю гвинта. Положення перетину лопаті визначається відносним радіусом  $r = r / R$ ;
- площину обертання - площину перпендикулярна осі обертання гвинта і проходить через середину хорди профілю;
- ширина лопаті  $b$  - довжина хорди перетину лопаті, по довжині лопаті ширина може змінюватися;
- кут установки перетину лопаті  $\varphi$  - кут, утворений хордою перетину з площиною обертання.

У існуючих гвинтів кути установки в різних перетинах по довжині лопаті не однакові, тобто лопаті гвинта мають геометричну крутку. Тому для оцінки кута установки лопаті в цілому на ній вибирається певний перетин і кут установки цього перетину називається кутом установки всієї лопаті. Для більшості гвинтів таке перетин розташоване на відстані  $r = 75,0$  від осі обертання гвинта і називається контрольним.

- крок гвинта  $H$  - відстань, яке пройде контрольне перетин гвинта в осьовому напрямку за один оборот, вгвинчуючись в повітря як в тверду середу (як болт в гайку) (рис.).



Втулка гвинта, перетин гвинта, площина обертання, вісь обертання



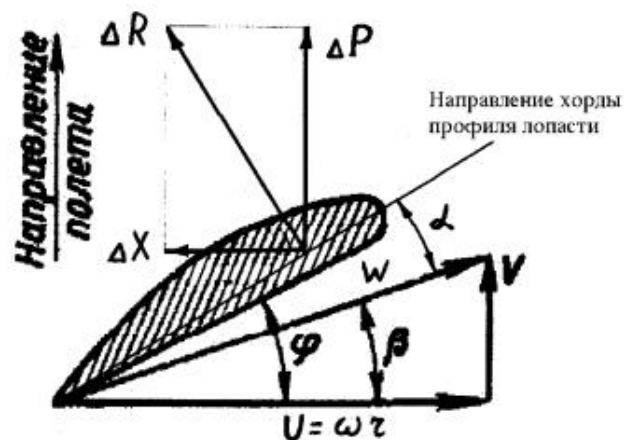
Крок в / гвинта може бути визначений з формули:

$$H = 2\pi \cdot 0,75R \cdot \tan \varphi_k$$

Де:  $\varphi_k$  - кут установки лопатей гвинта (кут установки контрольних перерізів лопатей гвинта).

Тому величини кроку гвинта і кута установки його лопатей взаємопов'язані: чим більше кут установки лопатей, тим більше крок гвинта і навпаки.

При обертанні гвинта з кутовою швидкістю  $\omega$  лопаті переміщуються в повітряному середовищі і в кожному перетині лопаті, як і на крилі літака, виникає аеродинамічна сила.



На виділений елемент лопаті буде діяти елементарна аеродинамічна сила  $\Delta R$ , осьова складова якої  $P$  є силою тяги елемента лопаті, а складова в площині обертання  $\Delta X$

- силою опору обертанню елементу лопаті.

Оскільки кути установки лопатей безпосередньо пов'язані з кроком гвинта, то прийнято говорити, що крок гвинта при збільшенні швидкості польоту збільшується, при зменшенні - зменшується. Гвинти, що мають такі лопаті, називаються гвинтами змінюваного кроку (ВШ) \*. Тому до складу гвинта входить механізм зміни його кроку, який забезпечує примусовий поворот лопатей щодо їх поздовжніх осей.

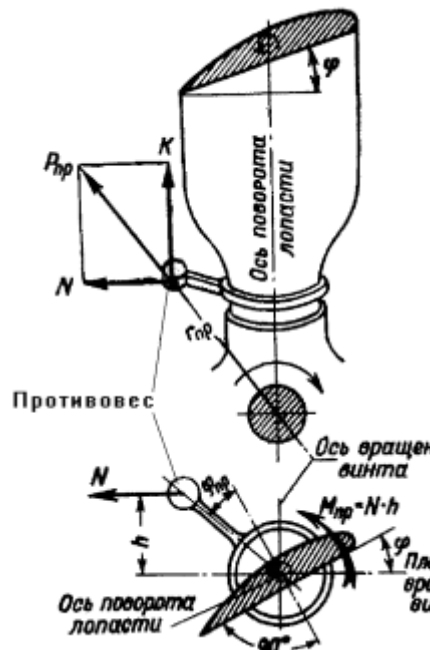


Рис.1 Дія на лопать повітряного гвинта відцентрових сил противаги

Для розвантаження лопаті гвинта від чинного на неї моменту  $M_l$  на комлі лопаті закріплюють противагу. Конструктивно противагу виконаний як вантаж, встановлений на кронштейні (див. Рис.14-10).

Відцентрові сили, що діють на противагу, створюють момент  $M_{пр}$  протилежний по напрямку  $M_l$  і прагне збільшити кути установки  $\phi$ . Застосування противаги дозволяє знизити навантаження,

діючі на деталі механізму зміни кроку гвинта.

Повітряний чотирилопатевий гвинт АВ-2 призначений для роботи з двигуном АШ-62ИР на літаку АН-2.

Повітряний гвинт АВ-2, працюючи спільно з регулятором постійних оборотів (РПО) Р-9СМ2, автоматично підтримує задану постійне число обертів двигуна за рахунок зміни кутів

установки лопатей повітряного гвинта при будь-яких умовах роботи силової установки.

Гідравлічний механізм зміни кроку гвинта працює за схемою подвійної дії. Переклад лопатей в сторону великого кроку відбувається під дією тиску масла, що подається в циліндр гвинта

від насоса регулятора обертів і відцентрових сил протитяг, встановлених на склянках лопатей.

Перекид лопатей в сторону малого кроку проводиться під дією тиску масла і поперечних складових відцентрових сил лопатей.

Зміна кроку гвинта здійснюється автоматично РПО, при цьому підтримуються постійні обороти гвинта в межах робочого діапазону. Лётчик може за допомогою сектора кроку гвинта,

розташованого на центральному пульті в кабіні пілотів, в залежності від висоти і швидкості польоту задавати необхідні обороти гвинта. Для зменшення кроку гвинта сектор перекидається «від себе», для збільшення - «на себе».

Повітряний гвинт АВ-2 складається з наступних вузлів і деталей: вузла корпусу; вузла протитяги; деталей, складових циліндричну групу; лопатей; деталей для установки гвинта на вал редуктора двигуна; опікатора гвинта.

Регулятор обертів Р-9СМ2 (РПО) призначений для спільної роботи з автоматичним повітряним гвинтом АВ-2. Регулятор автоматично регулює крок гвинта і підтримує задану частоту обертання

контрвалу двигуна незалежно від зміни потужності двигуна, висоти і швидкості польоту.

Регулятор Р-9СМ2 встановлений на шкарпетці картера двигуна. Обертання до ведучого валика регулятора передається від провідної шестерні редуктора. Зовнішній вигляд регулятора показаний на рис.14- 16.

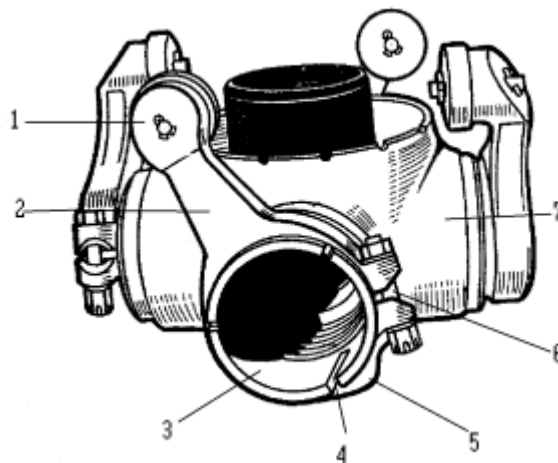


Рис.2 Вузол корпусу втулки гвинта:

1-вантаж протитяги, 2-кронштейн протитяги, 3-склянка, 4-прорізь, 5-хомут, 6-болт з гайкою, 7-корпус

Лопаті гвинта - металеві, виготовлені зі сплаву алюмінію марки Д1. Лопать гвинта має профільовану частину, звану пером, яка переходить в циліндричну частину, яка називається комлем. Профільована частина, або перо лопаті створює тягу повітряного гвинта, а комель служить для закріплення лопаті в склянці корпусу гвинта.

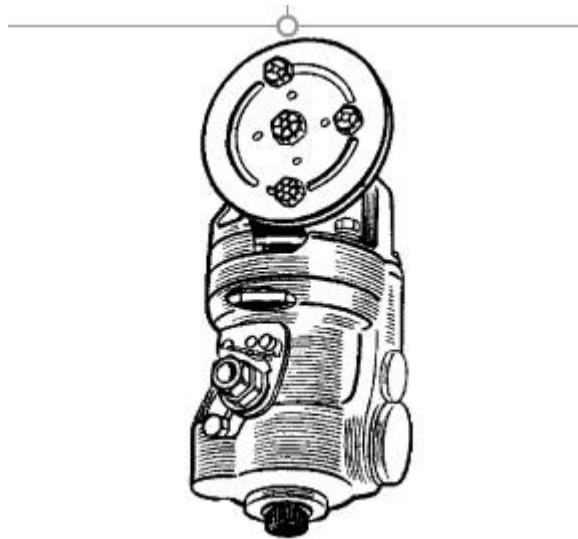


Рис.3 Регулятор обертів Р-9СМ2

Регулятор оборотів Р-9СМ2 складається з трьох основних вузлів, змонтованих в загальному корпусі: відцентрового регулятора, механізму ручного управління регулятором і силової частини.

Механізм ручного управління регулятором складається з зубчастої рейки 8 і валика ручного управління 16 з шестернею, яка зчеплена із зубами рейки. При повороті валика рейка переміщається і змінює натяжку конічної пружини. В результаті змінюється величина рівноважних оборотів. Переміщення рейки вгору відповідає зменшенню, вниз - збільшенню рівноважних оборотів. Щоб уникнути надмірного стиснення і деформування конічної пружини при переміщенні рейки вниз в конструкції з'єднання передбачений вихід рейки із зачеплення з зубами шестерні (прощелкування).

Силова частина регулятора обертів (див. Рис.14- 17) включає в себе шестерний масляний насос 9, редуктор тиску 11, два кулькових клапана 10 і перевантажувальний клапан 12. Масляний насос регулятора служить для підвищення тиску масла до величини, що забезпечує

швидка зміна кроку гвинта в межах його робочого діапазону.

Редукційний клапан служить для зміни тиску масла на виході з насоса регулятора при роботі на рівноважних оборотах.

На малих рівноважних оборотах, коли продуктивність насоса мала і плунжер клапана не дійшов до свого упору, тиск масла визначається тільки зусиллям пружини і не перевищує 10 кгс / см<sup>2</sup>.

Перевантажувальний клапан 12 служить для регулювання максимального тиску масла на виході з насоса регулятора при спрацьовуванні його на збільшення або зменшення кроку гвинта. Масло з лінії нагнітання насоса надходить до перевантажувального клапана через кулькові клапани, по каналах «ж», «з», «п». Як тільки тиск масла досягне величини 25-26 кгс / см<sup>2</sup>, перевантажувальний клапан відкривається і надлишок тиску стравлюється по каналу «і» на лінію входу в насос.

При роботі на рівноважних оборотах перевантажувальний клапан не діє і тиск на виході з насоса регулюється тільки редукційним клапаном, через який відбувається лише стік масла.



Таким чином, спільна робота редукційного, кулькових і перевантажувального клапанів розвантажує насос регулятора при роботі на рівноважних оборотах, коли не потрібно високий тиск масла на виході з нього, і навантажує насос до найбільшого тиску на виході в момент спрацювання регулятора на зміну кроку гвинта.

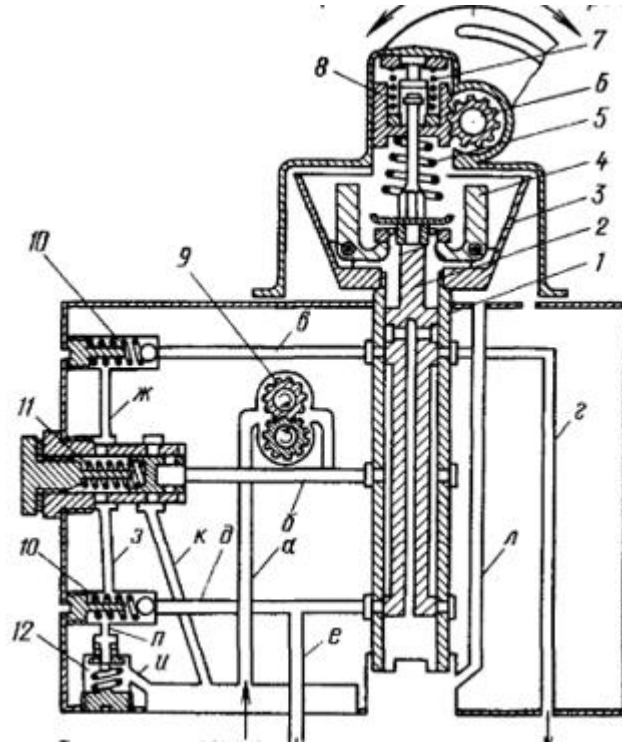


Рис.4 Схема пристрою регулятора обертів Р-9СМ2:

1-ведучий валик, 2-золотник, 3-колокол, 4-Г-образні грузики, 5-конічна пружина, 6-валик ручного управління з шестерней, 7-балансирувальна пружина, 8-зубчата рійка, 9-насос регулятора, 10-кульковий клапан, 11-редукційний клапан, 12-протиперевантажувальний клапан, 13-поводок.

Поводок наліво – збільшення обертів, направо – зменшення.

Під дією неврівноваженого моменту противаг лопаті гвинта прагнуть повернутися в бік збільшення кроку і перемістити поршень гвинта вперед. Цьому перешкоджає масло, закрито в порожнині М, яке є для поршня гідравлічним упором. Крок гвинта і число обертів залишаються незмінними.

Зі зменшенням числа обертів колінчастого вала зменшується також число оборотів провідного валика регулятора і укріплених на ньому Г-образних важків. Відцентрові сили тягарців стають менше сили пружності конічної пружини, і золотник під дією пружини опускається вниз від нейтрального положення. Масло від насоса регулятора через нижні розподільні вікна ведучого валика і канали «д» і «е» надходить в порожнину М механізму гвинта. Поршень гвинта переміщається вліво і через шатуни повертає лопаті на зменшення кроку.

При зменшенні кроку зменшується опір обертанню гвинта, і число обертів гвинта і колінчастого вала збільшується. Лопаті гвинта будуть повертатися в сторону зменшення кроку до тих пір, поки не відновиться заданий рівноважний число обертів. У цей момент настане рівновага між силою пружності конічної пружини і відцентровими силами Г-образних важків, і золотник займе нейтральне положення. Надходження масла під тиском у порожнину М гвинта припиниться.

Зі збільшенням числа обертів колінчастого вала і, отже, провідного валика регулятора відцентрові сили Г-образних важків стають більше сили пружності конічної пружини. В результаті пружина стискається і золотник піднімається вгору від нейтрального положення. Середній поясок золотника відкриває канали «в» і «г»; масло з насоса регулятора по каналу «г» надходить в порожнину Б гвинта.

Одночасно через верхній кульковий клапан масло надходить в порожнину пружини редукційного клапана і навантажує маслососів.

Під дією сили тиску масла поршень гвинта переміщається вліво і через шатун повертає лопаті на збільшення кроку.

Повітряний чотирилопатевий гвинт АВ-2 призначений для роботи з двигуном АШ-62ІР на літаку АН-2.

Повітряний гвинт АВ-2, працюючи спільно з регулятором постійних оборотів (РПО) Р-9СМ2, автоматично підтримує задану постійне число обертів двигуна за рахунок зміни кутів

установки лопатей повітряного гвинта при будь-яких умовах роботи силової установки.

Гідравлічний механізм зміни кроку гвинта працює за схемою подвійної дії. Переклад лопатей в сторону великого кроку відбувається під дією тиску масла, що подається в циліндр гвинта від насоса регулятора обертів і відцентрових сил протитяг, встановлених на склянках лопатей.

Переклад лопатей в сторону малого кроку проводиться під дією тиску масла і поперечних складових відцентрових сил лопатей.

Зміна кроку гвинта здійснюється автоматично РПО, при цьому підтримуються постійні обороти в / гвинта в межах робочого діапазону. Льотчик може за допомогою сектора кроку гвинта,

розташованого на центральному пульті в кабіні пілотів, в залежності від висоти і швидкості польоту задавати необхідні обороти в / гвинта. Для зменшення кроку гвинта сектор перекладається «від себе», для збільшення - «на себе» (див. додаток 3).

Основні технічні дані гвинта

Принцип роботи .....	гідроцентробежний
Схема роботи .....	двостороння
Число лопатей .....	4
Матеріал лопатей .....	алюмінієвий сплав Д-1
Мінімальний кут установки лопатей на радіусі 1 м, град .....	17
Максимальний кут установки лопатей на радіусі 1 м, град .....	32
Діапазон повороту лопатей, град .....	15

Кут установки противаги, град .....	30 ± 1
Регулятор оборотів .....	P-9CM2
Діаметр гвинта, м .....	3,6
Вага гвинта, кг .....	192

1. Характерні несправності повітряного Гвинт и регулятора оборотів, їх причини й ознака Олії з з'єднань корпусів Гвинт, гвинтове тряска сілової установки, заїдання золотника регулятора оборотів, обрив чи поломка тяги горизонтального валика регулятора оборотів, забруднення маслофільтра регулятора оборотів.

Періодичне технічне обслуговування повітряного гвинта і регулятора обертів полягає в перед польотом і післяполітний огляді і регламентному обслуговуванні через кожні 100 годин роботи двигуна.

Перед кожним польотом і після польоту проводиться зовнішній огляд гвинта і регулятора обертів для виявлення можливих несправностей. Перевіряється відсутність підтікання масла з-під гайки циліндра

гвинта, через ущільнювальні кільця заднього конуса і склянок лопатей, по роз'ємі і різьбовим з'єднанням регулятора обертів і його приводу. Перевіряється також стан контровки гайок всіх зовнішніх з'єднань регулятора, правильність положення лопатей гвинта в їх склянках.

Додатково до цього через кожні 100 годин роботи двигуна промивають бензином фільтр приводу РПО. Перевіряють плавність ходу механізму ручного управління регулятора (при від'єднаній тязі тязі управління), биття лопатей гвинта. Биття лопатей відносно один одного по задній кромці на радіусі 1 м при положенні їх на малому кроці не повинно перевищувати 2 мм.

При виявленні вибивання масла з гвинта і биття його лопатей, що перевищує норму, гвинт підлягає відправці в ремонт. Вибивання масла з-під фланця регулятора усувається заміною прокладки. У разі підтікання масла з роз'ємі корпусу регулятора його необхідно замінити.

Перевірка спільної роботи механізму гвинта і регулятора обертів проводиться при кожному випробуванні двигуна після його прогріву.

До числа основних несправностей регулятора обертів Р-9СМ2, що зустрічаються в експлуатації, належать такі:

1. Течь масла по роз'ємі корпусу регулятора. Причиною несправності зазвичай є руйнування ущільнювачів паронітових прокладок. В цьому випадку регулятор підлягає заміні.

2. Течь масла по роз'єму корпусів регулятора і його приводу. Причина несправності - ослаблення затягування гайок кріплення регулятора або пошкодження паронітової прокладки. Для усунення несправності необхідно расконтріть гайки і підтягнути їх рівномірно навхрест. Після цього протерти насухо місце роз'єму, запустити двигун, прогріти його і, зробивши кілька перемикань лопатей гвинта, зупинити двигун. Якщо несправність усунена - законтріть гайки, В іншому випадку потрібно замінити прокладку і знову,

запустивши двигун, перевірити герметичність роз'єму. Заміною прокладки дефект усувається.

3.Течь масла по валику ручного управління. Причиною несправності є ослаблення затяжки манжетної гайки або пошкодження (або знос) манжети. Якщо несправність не усунено підтяжкою гайки, то регулятор необхідно замінити,

4.Разрушення валика ручного управління. В цьому випадку гвинт не реагує на переміщення важеля сектора кроку. Якщо руйнування валика сталося під час зльоту, то число обертів двигуна не перевищує 1800-2000 в хвилину. У крейсерському польоті руйнування валика супроводжується швидким зменшенням числа обертів внаслідок збільшення кроку гвинта під дією моменту противаг. Чим більше число обертів, менше висота і швидкість, на яких виробляється політ, тим більше зменшується число обертів.

Аналогічним чином гвинт поводить себе при обриві або роз'єднанні тяги управління регулятором і при зрізі зубів шестерні валика ручного управління. Зменшення оборотів в крейсерському польоті може також статися в результаті припинення подачі масла до регулятора обертів через загального падіння тиску масла в двигуні або засмічення фільтра приводу регулятора.

5.Заедання золотника регулятора. При заїдання золотника гвинт також не реагує на переміщення важеля сектора управління кроком. Якщо золотник заїло в нижньому положенні, то гвинт НЕ зтяжеляється при перекладі сектора «на себе». На зльоті це викликає розкрутку гвинта, так як лопаті його зафіксовані на упорі малого кроку і не сходять з нього при наростанні швидкості, що супроводжується збільшенням оборотів вище злітних. У крейсерському польоті заїдання золотника в нижньому положенні викликає швидкий перехід гвинта на найменший крок і відповідне збільшення числа оборотів. Зниження оборотів в цьому випадку можливо тільки зменшенням тиску наддуву.

Заїдання золотника в верхньому положенні може бути виявлено або при випробуванні двигуна (гвинт не переводиться на малий крок після його зтяжелення), або в крейсерському польоті. В цьому випадку відбувається швидка «усадка» оборотів в результаті переходу гвинта на найбільший крок під дією тиску масла і неврівноваженого моменту противаг. Збільшити обороти двигуна в цьому випадку можливо шляхом збільшення тиску наддуву, швидкості і висоти польоту.

6.Заедання механізму ручного управління регулятора (валика або рейки). Зовнішні ознаки цієї несправності такі ж, як і в попередньому випадку.

7.Ізнос зубів валика і рейки ручного управління. Несправність супроводжується коливаннями оборотів в крейсерському польоті (до 50-100 об / хв). Причиною нестабільності оборотів може бути також наявність люфтів в системі управління регулятором або сповзання важеля сектора управління гвинтом на пульті управління.