

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

Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни

«Системи та обладнання авіаційної техніки» вибіркового компоненту
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

272 Авіаційний транспорт (Аеронавігація)

за темою №8 - Системи змащування

Кременчук 2024

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*
- 2. Викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної техніки, спеціаліст вищої категорії Пономаренко Анатолій Володимирович.*

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 лекції

1. Призначення і вимоги.
2. Сорти масел, що використовуються в системах змазки ГТД.
3. Типи систем змазки.
4. Способи змазки і їх характеристика.
5. Циркуляційна і абсолютна витрата масла.
6. Призначення агрегатів, які входять в систему змазки.
7. Будова та принцип роботи шестеренчастого маслonaсосу.
8. Висотність системи змазки і способи її збільшення.

Рекомендована література:

Основна:

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., Шмельов Ю.М. Модуль 15. Газотурбінний двигун (категорія В1). Конспект лекцій. Кременчук: КЛК ХНУВС, 2019. 810 с.

Допоміжна:

4. Aviation Maintenance Technician. Handbook–Powerplant. Volume 1.U.S. Department of Transportation. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. Flight Standards Service, 2012. 282 p.
5. Aviation Maintenance Technician. Handbook–Powerplant. Volume 2.U.S. Department of Transportation. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. Flight Standards Service, 2012. 280 p.

Інформаційні ресурси в Інтернеті

6. Aviation Maintenance Technician. Handbook–Powerplant. U.S. Department of Transportation. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION. Flight Standards Service, 2023. 500 p.
URL.:https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/amt_powerplant_handbook.pdf (дата звернення 26.08.2023)
7. FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION: Helicopter Flying Handbook.

URL.:https://www.faa.gov/regulations_policies/handbooks_manuals/aviation/helicopter_flying_handbook (дата звернення 26.08.2023)

8. L'AVIONNAIRE: LES TURBOMACHINES. URL.:
<https://lavionnaire.fr/MotorsIntro.php> (дата звернення 26.08.2023)

Текст лекції

1. Призначення і вимоги.

Надійне змащення тертьових поверхонь підшипників ковзання і кочення, шліцьових з'єднань, шестерень редукторів і приводів двигуна є одним з вирішальних умов його надійної роботи.

Масляні системи повинні забезпечувати:

- а) мінімум потужності, що витрачається на подолання тертя в підшипниках;
- б) зменшення зносу і тертя деталей;
- в) охолодження поверхонь, що труться деталей;
- г) вимивання твердих включень, що відділяються від труться в результаті зносу, винесення їх до фільтрів;
- д) консервацію частин двигуна (використовується масло покриває деталі масляною плівкою, що запобігає їх від корозії).

Масло використовується в якості робочої рідини в системах регулювання двигуном, управління повітряним гвинтом, гідравлічної муфти.

Вимоги до систем змащування:

- Забезпечення надійної подачі масла із заданими параметрами на всіх режимах роботи й умови експлуатації;
- Зменшення зносу тертьових пар;
- Недопущення утворення коксу у внутрішніх порожнинах масляної системи і відкладення смол на фільтруючих елементах, що свідчить про якісне погіршення фізико-хімічних властивостей використовуваного масла;
- Мінімальні безповоротні втрати масла в процесі роботи.

Різного роду порушення подачі масла, навіть короточасні, можуть викликати підвищений знос, перегрів і заїдання тертьових пар.

Час знаходження масла в двигуні має бути по можливості мінімальним, тому що в протилежному випадку значно збільшується насичення масла газами, зростає нагрів і прискорюється процес його окислення. Маслосистема повинна не тільки забезпечувати подачу масла в двигун, а й своєчасно видаляти нагріте і насичене повітрям масло.

2. Сорти масел, що використовуються в системах змазки ГТД.

Сорт масла визначається головним чином навантаженнями, що діють на вузли тертя, та робочими температурами.

У ТРД основними сильно навантаженими вузлами тертя є підшипники кочення ротора, які вимагають масел з великою в'язкістю. Тому застосовують

мінеральні масла МК-6, МК-8 або трансформаторне, які мають малу в'язкість, низьку температуру застигання і мають гарні пускові якості. Олія, що має малу в'язкість, зменшує втрати на подолання сил тертя в підшипниках, краще обволікає нагріті деталі і добре знімає тепло.

У ТВД сильно навантаженими вузлами тертя, крім підшипників кочення ротора, є зуби шестерень редукторів, для яких потрібна олія з підвищеною в'язкістю. Тому для мастила деталей ТВД використовують суміш олій: зазвичай 75% масла МК-8 або трансформаторної та 25% масла МК.-22 або МС-20. На вертолітних двигунах застосовують синтетичні масла Castrol 98, ЛЗ-240, Turbonusoil 600, ІПМ-10, що володіють хорошими змащувальними властивостями, високою термохімічною стабільністю. Ці масла працюють при температурах вище 200°C, мають низьку температуру застигання, що забезпечує запуск двигуна без підігріву масла при температурі навколишнього повітря до мінус 40°C.

3. Типи систем змазки.

Масляні літакові системи діляться на циркуляційні, нециркуляційні, комбіновані.

У циркуляційних масляних системах одне і те ж масло циркулює по замкнутому або короткозамкненому контуру, в них відпрацьоване масло після його очищення, відділення повітря і охолодження знову подається в двигун.

Нециркуляційна масляна система застосовується на одноразових двигунах при високих температурах нагріву масла. Їх відрізняє простота конструкції, але витрата масла в них велика через те, що масло після відпрацювання втрачає свої змащувальні якості та викидається в атмосферу.

Комбіновані масляні системи складаються з двох систем:

- 1) *звичайної циркуляційної* - для змащення вузлів тертя, що працюють при нормальних робочих температурах;
- 2) *нециркуляційної* - для змащення опор турбіни, що працюють в умовах високих температур.

Такі системи знайшли застосування на надзвукових літаках.

В авіаційних двигунах найбільшого поширення набула циркуляційна система, яка ділиться на замкнену і короткозамкнену.

Циркуляційна замкнута система (ЦЗС) характерна тим, що в ній масло циркулює по контуру: бак - двигун - радіатор - бак. Масло від двигуна повертається знову в бак.

Якщо масло від двигуна, минаючи бак, безпосередньо знову надходить на вхід до нагнітального насоса, то така система називається *циркуляційною короткозамкненою* (ЦКШ). Масло циркулює по контуру: масляний насос - двигун - радіатор - масляний насос. У таких системах повітря і невелика частина масла все ж повертаються в бак для прогріву знаходиться там масла,

але основна частина масла після охолодження в радіаторі відразу надходить через насос в двигун.

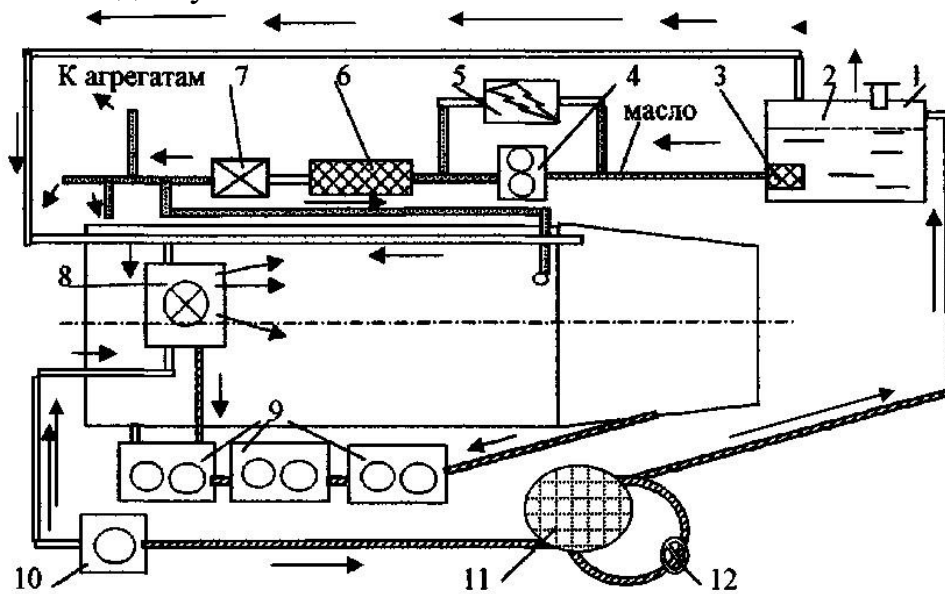


Рис. 1. Схема масляної системи відкритого типу:

- 1 - бак; 2 - піногасна перегородка; 3 - фільтр очищення масла;
 4 - нагнітає насос; 5 - редуктор тиску; 6 - фільтр на вході в двигун; 7 - зворотний клапан; 8 - відцентровий суфлер; 9 - відсмоктують насоси;
 10 - відцентровий повітревідокремлювач;
 11 - радіатор; 12 - перепускний клапан; - потік масла в двигун;
 - емульсія масла і повітря; - відпрацьоване масло

За тиском в повітряній порожнині бака циркуляційні системи поділяють на відкриті (рис.1) і закриті. У *відкритих* системах тиск в повітряній порожнині бака дорівнює атмосферному, а в *закритих* системах за допомогою редукційного клапана підтримується надлишковий тиск близько 0,2 - 0,3 кг / см².

Циркуляція масла здійснюється однією нагнітаючої секцією і трьома відсмоктувальними секціями. Перекачування масла, наприклад через ДТРД, становить 10 - 16 л / хв, витрата масла - не більше 0,3 л / год.

З підйомом на висоту тиск в баку знижується і, отже, знижується тиск масла на вході в нагнітає насос. Тому основним недоліком відкритою циркуляційної системи в порівнянні з закритою і короткозамкненою системами є її менша висотність.

Циркуляційна масляна система складається зі всмоктуючої, нагнітальної і відкачувальної магістралей і доповнюється системою суфлювання масляних порожнин двигуна.

Усмоктувальна магістраль служить для підведення масла з бака до нагнітального насосу самопливом або за допомогою додаткового маслонуасосу.

Нагнітальна магістраль забезпечує подачу масла до деталей, що труться під тиском $3,5 \text{ кг / см}^2$.

Відкачувальна магістраль з встановленими на ній агрегатами необхідна для відводу відпрацьованого масла від агрегатів і відновлення його властивостей, температури і чистоти.

4. Способи змазки і їх характеристика.

Залежно від умов роботи вузлів тертя і можливості підведення масла до поверхонь, що труться, розрізняють такі способи змазки.

Змазка під тиском. Масло під тиском, створюваним масляним насосом, надходить безпосередньо на тертьові поверхні спеціальними каналами в корпусах і деталях. Таким способом змащуються, як правило, підшипники ковзання приводів та редукторів.

Змазка струминною подачею. Масло під тиском через спеціальні форсунки-жиклери нагнітається спрямованим струменем на поверхні, що труться. При цьому забезпечується інтенсивне прокачування масла між деталями, що труться, хороше відведення тепла і вимивання продуктів зносу. Таким способом змащуються підшипники кочення опор роторів, зуби шестерень редукторів і шліцеві з'єднання.

Залежно від необхідного прокачування масла через опори роторів ГТД застосовують три-, шести- і двадцятиточкову подачу масла через жиклери, що встановлюються рівномірно по колу підшипників.

Змазка розбризкуванням (барботажем). Масло розбризкується рухомими і обертовими деталями двигуна, дробиться на дрібні крапельки, що утворюють в порожнинах опор, корпусах редукторів і приводів масляний туман. Крапельки масла проникають через зазори між поверхнями, що труться, або осідають на них. Так змащуються підшипники кочення та шестерні приводів. Завдяки наявності масляного туману в повітряно-олійних порожнинах ГТД масло, що має липкість, покриває деталі плівкою, що запобігає їх від корозії.

5. Циркуляційна і абсолютна витрата масла.

Для забезпечення надійного охолодження і змащення тертьових поверхонь деталей через двигун повинно прокачуватися певну кількість масла в одиницю часу. Ця кількість масла називається *циркуляційною витратою масла* $V_M, \text{ л/хв. (прокачуванням масла)}$.

У процесі роботи олія частково проникає через ущільнення, викидається через систему суфлювання, вигоряє та розкладається при високих

температурах. Ці безповоротні втрати масла називаються *витратою масла* G_M , кг/годину.

6. Призначення агрегатів, які входять в систему змазки. Запас масла, необхідний забезпечення роботи двигуна протягом заданого часу, міститься в маслобаку. Подачу масла в двигун здійснюють за допомогою нагнітального насоса, що створює необхідний тиск на вході в розгалужену мережу розподілу масла споживачам.

Відведення масла здійснюють насосами, що відкачують.

Перш, ніж масло знову надійде на вхід в нагнітаючий насос, від нього повинен бути відділений повітря, що міститься в маслоповітряної суміші, що відкачується. У зв'язку з цим у системі повинен бути передбачений сепаруючий пристрій (повітрявідділювач), що встановлюється на виході з каналу, що об'єднує магістралі відкачування масла з усіх вузлів двигуна.

Оскільки двигуна масло повертається підігрітим, тобто. з вихідною температурою більш високою (на $\geq 40^\circ\text{C}$) порівняно з величиною його температури на вході в двигун, то очевидно, що масло необхідно охолоджувати. Для відведення тепла від масла в циркуляційному контурі масляної системи повинна бути передбачена установка охолоджувача.

Так як в процесі роботи двигуна відбувається забруднення масла продуктами зносу поверхонь і механічними домішками з повітря, з яким масло контактує в масляних порожнинах двигуна, то для його очищення в циркуляційному контурі повинні бути встановлені фільтри тонкого очищення.

Таким чином, для забезпечення нормального функціонування масляної системи ГТД необхідний зазначений склад агрегатів. Ці агрегати, певним чином пов'язані між собою трубопроводами, створюють можливість для безперервного надходження до вузлів тертя охолодженої та очищеної масла, що циркулює по замкнутому контуру.

У зв'язку з необхідністю здійснення контролю працездатності масляної системи для вимірювань рівнів температур та тисків у характерних точках циркуляційного контуру встановлюють відповідні датчики. Так, на вході масла в двигун завжди вимірюють величину його тиску і, як правило, величину температури (у деяких двигунів виробляють контроль температури масла тільки на виході його з двигуна).

7. Будова та принцип роботи шестеренчастого маслонуасосу

Циркуляція масла забезпечується, як правило, шестерним насосами, що відрізняються простотою конструкції, надійністю в роботі, малими

габаритами і вагою. Кожна секція насоса складається з пари шестерень, що зчіпляються між собою, мають однакову кількість зубів (рис. 2, а).

При обертанні шестерень за рахунок об'єму, що звільняється, при виході зубів з зачеплення масло всмоктується в порожнину А, звідки захоплюється зубами шестерень в порожнину нагнітання Б. При вході зубів в зачеплення масло видавлюється з западин, внаслідок чого відбувається підвищення тиску. При видавлюванні масла значно навантажуються підшипники насоса. Для усунення цього на корпусі та кришці насоса з боку нагнітання виконують розвантажувальні канавки (рис. 2, б).

Величина тиску залежить від в'язкості масла, швидкості обертання валу насоса, гідравлічних опорів системи та встановлюється такою, щоб забезпечити необхідну циркуляційну витрату масла на всіх режимах роботи двигуна та висотах польоту.

Для цього шестерний насос має редукційний клапан, що обмежує максимальну величину тиску масла в лінії нагнітання. Якщо тиск масла в лінії нагнітання стане більше заданого (що могло б призвести до переповнення двигуна маслом), то редукційний клапан відкривається і перепускає зайву кількість масла на лінію всмоктування.

На редукційний клапан 3 з одного боку чинить тиск масло, що надходить з насоса, що нагнітає, в масломагістраль двигуна, а з іншого боку — сила пружності пружини, відрегульованої на тиск $(3,5 \pm 0,5)$ кгс/см² (за приладом). Якщо тиск масла на виході з насоса перевищить дане значення, то редукційний клапан відкриється і перепустить частину масла з порожнини високого тиску в порожнину А, тобто на вхід масла в насос. Для забезпечення надійної роботи маслосистеми продуктивність нагнітального маслосистеми $V_{\text{нагн}}$ значно перевищує повне прокачування масла через двигун $V_{\text{дв}}$. Тому при роботі двигуна на робочих режимах на землі редукційний клапан відкритий і частина масла з лінії нагнітання перепускається на вхід в насос, що нагнітає, тобто.

$$V_{\text{р.кл}} = V_{\text{нагн}} - V_{\text{дв}}$$

де $V_{\text{р.кл}}$ - кількість масла, що перепускається редукційним клапаном на

вхід у насос.

На продуктивність і тиск насоса значно впливає зміна режиму роботи двигуна і польотних умов, так як це пов'язано з частотою обертання насоса і тиском на вході в насос.

При збільшенні частоти обертання двигуна від режиму малого газу зростає частота обертання зубчастих коліс насоса, що нагнітає, що призводить до збільшення його продуктивності і тиску масла до встановленого значення. При подальшому збільшенні частоти обертання продуктивність ступеня нагнітання $V_{\text{нагн}}$ продовжує зростати, перевищуючи необхідне прокачування

масла через двигун $V_{дв}$. При цьому редукційний клапан, налаштований на підтримку постійного тиску, відкривається на більшу величину і обмежує прокачування масла через двигун. Однак зі збільшенням відкриття редукційного клапана зростають натяг його пружини і тиск масла на виході з насоса p_m , а також прокачування масла через двигун (рис. 2 а).

При наборі висоти тиск у маслобаку та на вході в нагнітаючий насос знижується. Це викликає виділення з масла розчиненого в ньому повітря і збільшення обсягів бульбашок повітря та газів, що знаходяться в масла, тобто масло спінюється. Продуктивність нагнітального насоса $V_{нагн}$ знижується і зменшується кількість масла, що перепускається редукційним клапаном на вхід у насос. Редукційний клапан при наборі висоти поступово прикривається, що викликає зменшення натягу пружини і, як наслідок, зменшення тиску та прокачування масла через двигун. При досягненні розрахункової висоти H_p (рис. 2, г) продуктивність нагнітального насоса $V_{нагн}$ стає рівною повною прокачування масла через двигун $V_{дв}$ і редукційний клапан повністю закривається.

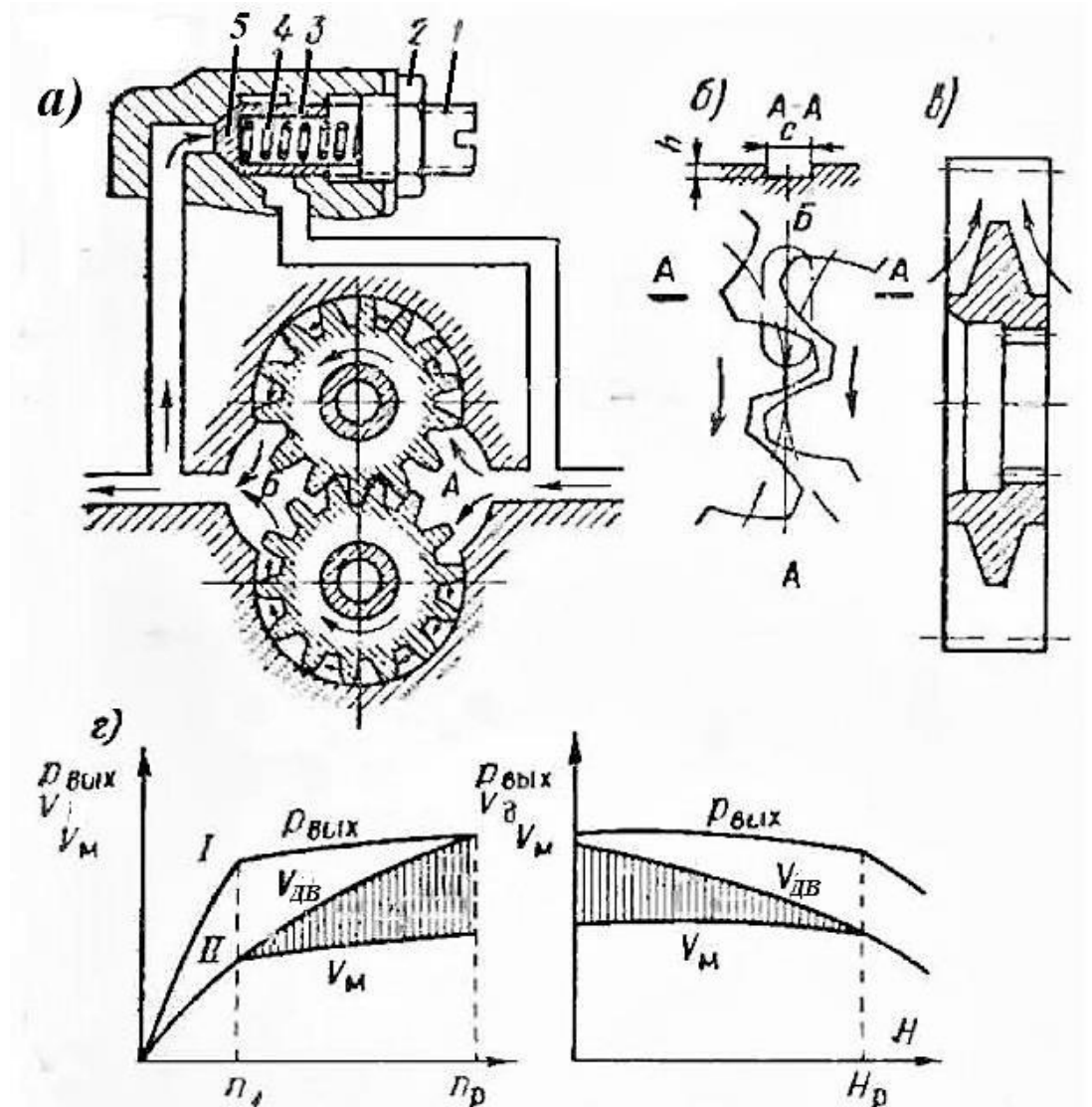


Рис. 2. Шестерний масляний насос:

а - схема роботи; *б*-розташування розвантажувальної канавки; *в*-шестерня з осьовим

підводом масла; *г*-характеристики; 1- регулювальний гвинт; 2-контргайка; 3 золотник редукційного клапана; 4 - пружина; 5-клапан редукційний;

8. Висотність системи змазки і способи її збільшення.

Висотність масляної системи та компенсація витрати масла на ГТД забезпечуються одним або одночасно декількома способами:

- запасом продуктивності нагнітальної секції маслонасоса;
- установкою додаткового насоса підживлення, що створює підпор 0,6 - 0,8 к/см² па вході в основний масляний насос;
- установкою бака вище за насос;
- установкою всмоктувальних трубопроводів з великим діаметром та калим'ям гідравлічними опорами;
- застосуванням закритої циркуляційної масляної системи; - установкою повітровідділювача.