МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра «Суднові енергетичні системи та комплекси»

СУДНОВІ ТУРБІННІ УСТАНОВКИ

Навчально-методичний посібник
з виконання лабораторних робіт

ОДЕСА-2026

Навчально-методичний посібник з виконання лабораторних робіт в машинному залі кафедри СЕСК розроблені старшими викладачами кафедри «Суднові енергетичні системи та комплекси» Одеського національного морського університету Клінаєвим Юрієм Васильовичем та Сторчаком Олександром Олександровичем згідно з навчальним планом та робочою програмою для студентів ННІМФ. Спеціальність: 271 «Морський та внутрішній водний транспорт»

Навчально-методичний посібник схвалений кафедрою «Суднові енергетичні системи та комплекси» ОНМУ (протокол № 25 від 01.06.2026р.).

ВСТУП

Навчально-методичний посібник розроблений для студентів ННІМФ. Спеціальність: 271 «Морський та внутрішній водний транспорт» виконуючих лабораторні роботи з дисципліни «Суднові турбінні установки». Цей посібник дозволить студентам краще засвоїти та закріпити отриманні знання при вивченні лекційного матеріалу курсу.

При виконанні лабораторних робіт студенти ознайомлюються с особливостями конструкції механізмів, обладнанням, системами та пристроями що обслуговують СЕУ і оформлюють звіт з лабораторної роботи.

Перед виконанням лабораторних робіт студентам необхідно повторити теоретичний лекційний матеріал з даної теми і вивчити порядок та методику виконання роботи.

Порядок виконання лабораторних робіт

Кожна лабораторна робота включає:

- самостійну підготовку студентів до наступної роботи;
- ознайомлення студентів зі змістом, цілями та порядком виконання роботи;
- виконання роботи під керівництвом викладачів;
- оформлення протоколу лабораторної роботи з виконанням графічної частини;
- захист оформленої роботи студентом у викладача.

Готовність студентів до виконання лабораторної роботи перевіряється шляхом опитування теоретичного матеріалу, викладеного в лекційному курсі і тільки після цього вони допускаються до виконання лабораторної роботи.

Для проведення лабораторних робіт академічна група ділиться на дві підгрупи, кожна з яких виконує роботу під керівництвом свого викладача. Між студентами кожної підгрупи розподіляються обов'язки з виконання лабораторної роботи.

Одна підгрупа студентів оформляє звіт по лабораторній роботі вивчаючи особливості конструкції, назви деталей і вузлів механізмів з оформленням відповідних ескізів в навчальному класі.

Друга підгрупа студентів, в цей час, знайомиться з конструкцією механізмів безпосередньо на матеріальній частині в машинному залі кафедри СЕСК. За командою викладачів групи міняються місцями.

Техніка безпеки при проведенні лабораторних робіт

Механізми і устаткування машинного залу, на якому проводяться лабораторні роботи, є джерелами підвищеної небезпеки: наявність горючих і мастильних матеріалів, висока напруга в системі живлення електрообладнання, наявності токсичних продуктів згоряння у відпрацьованих газах, деталями двигунів і механізмів що обертаються, а також наявністю гарячих трубопроводів.

Для забезпечення безпеки і виключення нещасних випадків під час проведення лабораторних робіт, студенти проходять обов'язковий інструктаж з охорони праці. Інструктаж студентів проводиться викладачем на першому лабораторному занятті при ознайомленні з обладнанням машинного залу і реєструється у спеціальному журналі.

Студенти які не пройшли інструктаж з охорони праці, до лабораторних робіт не допускаються.

Усі студенти зобов'язані виконувати такі правила охорони праці, що відображають специфіку устаткування машинного залу:

- при вивченні будови двигунів, котлів та інших механізмів в приміщенні лабораторії повинно бути не більше встановленого інструкцією числа студентів (від 12 до 15 осіб);
- під час проведення лабораторних робіт студенти повинні знаходитися на своїх робочих місцях;
- забороняється самовільно включати прилади, кнопкові пускачі, тумблера, відкривати і закривати вентилі, провертати рукоятки регулюючих органів, торкатися до струмопроводу генератора, спиратися ліктем на двигуни й розподільні щити;
- при пересуванні з місця на місце за вказівкою викладача, під час спуску по трапу і підйомі по ньому необхідно особливо уважно стежити за тим, чи немає на шляху руху будь-яких предметів або елементів обладнання, частково виступаючого над настилом машинного відділення;
- при виявленні витоку палива необхідно негайно повідомити про це викладачеві;
- у разі виникнення пожежі необхідно вжити заходів для його гасіння, використовуючи наявні в лабораторії протипожежні засоби;
- в приміщенні, де проводяться заняття, забороняється задраювання дверей, перед проведенням робіт студенти повинні бути ознайомлені з розташуванням всіх аварійних виходів;
- при прогрітому двигуні або при працюючому котлі забороняється торкатися до трубопроводів випускної системи, системи живлення і охолодження;
- при легкій травмі використовуються наявні в лабораторії медичні засоби і аптечка;
- категорично забороняється куріння в приміщеннях лабораторії.

Зміст звіту по лабораторній роботі

Звіт з лабораторних робіт оформляється в спеціальному журналі на аркушах А4 і повинен містити:
• коротку технічну характеристику та опис конструкції елементів двигунів, котлів, турбін і обслуговуючих їх систем;
• виконання ескізів окремих деталей і вузлів механізмів;
• короткий виклад методики проведення випробувань або вимірювань;
• заповнений бланк протоколу випробувань або вимірювань;
• обробку результатів випробувань або замірів;
• короткий висновок по роботі і аналіз результатів.

Наочні посібники і макети:

1.Турбіна ТД 7/1;
2. Турбіна відпрацьованої пари;
3. Турбонагнітач для високонапружного котла;
4. Турбонагнітач для ДВС;
5. Авіаційна газотурбінна установка;
6. Діафрагма, встановлена на планках;
7. Лита діафрагма;
8. Соплові лопатки;
9. Робочі лопатки;
10. Парові і масляні ущільнення;
11. Опорний підшипник;
12. Упорний підшипник.

Плакати:

1. ТВД ТС-3;
2. ТНД ТС-3;
3. ТНД ТС-2;
4. Способи установки корпусів;
5. Ротори;
6. Способи установки діафрагм;
7. Ущільнення;
8. Опорний підшипник;
9. Упорний підшипник;
10. Сопла першого ступеня;
11. Сопла проміжних ступенів;
12. Хвостовики робочих лопаток.

Лабораторна робота № 1

Тема: «ЗАГАЛЬНА БУДОВА СУДНОВИХ ТУРБОАГРЕГАТІВ».

Мета роботи: - вивчити схему головної паротурбінної і газотурбінної установок, принципи роботи турбін, типи турбінних ступенів.

Зміст і порядок виконання лабораторної роботи: - лабораторна робота виконується на турбінних установках ТД 7/1 і LG-II і включає наступні питання:

• принцип роботи головної паротурбінної і газотурбінної установки;
• призначення турбінних установок та їх типи;
• призначення вузлів і деталей турбінних установок і принцип їх роботи.

Рекомендується наступна послідовність вивчення:

- студенти знайомляться з досліджуваним матеріалом по рекомендованій літературі (альбоми схем, підручники, навчальні посібники тощо), виконують необхідні вимірювання і аналізують отримані дані, що відносяться до досліджуваного вузла, а потім приступають до вивчення цього ж вузла на матеріальної частини турбінних установок ТД 7/1 і LG-II.

Зміст звіту по лабораторній роботі:

- викреслити схему головної паротурбінної установки. На схемі позначити основні елементи паротурбінної установки і записати їх назви;
- викреслити схему головної газотурбінної установки. На схемі позначити основні елементи газотурбінної установки і записати їх назви;
- викреслити графік зміни параметрів робочого тіла (тиску p і абсолютної швидкості c) у проточній частині активної та реактивної ступені турбіни і схему дії сил на робочу лопатку;

Головна паротурбінна установка.

Судна, обладнані головними паровими котлами, в якості головного двигуна використовують, як правило, парову турбіну, при цьому найчастіше двокорпусні.

Принцип роботи такої установки (рис. 1.1) наступний: відпрацьований в турбіні високого тиску (ТВТ) 9 перегрітий пар, вироблений в пароперегрівачі 3 головного котла 4, потрапляє по ресиверу 11 в турбіну низького тиску (ТНТ) і потім прямує в конденсатор 15, по конденсаторним трубах якого прокачується охолоджуюча забортна вода від циркуляційного насоса 16.

Конденсація відпрацьованої пари відбувається в результаті зіткнення з холодними конденсаторними трубами конденсатора.

У працюючої установки паливо з видаткової цистерни 5 насосами 6 подається через підігрівники 7 і фільтри 8 до форсунок в топку котла 14.

Необхідне для горіння палива повітря нагнітається котельним вентилятором через підігрівач повітря 1, в якому підігрівається гарячими газами, що йдуть з котла.

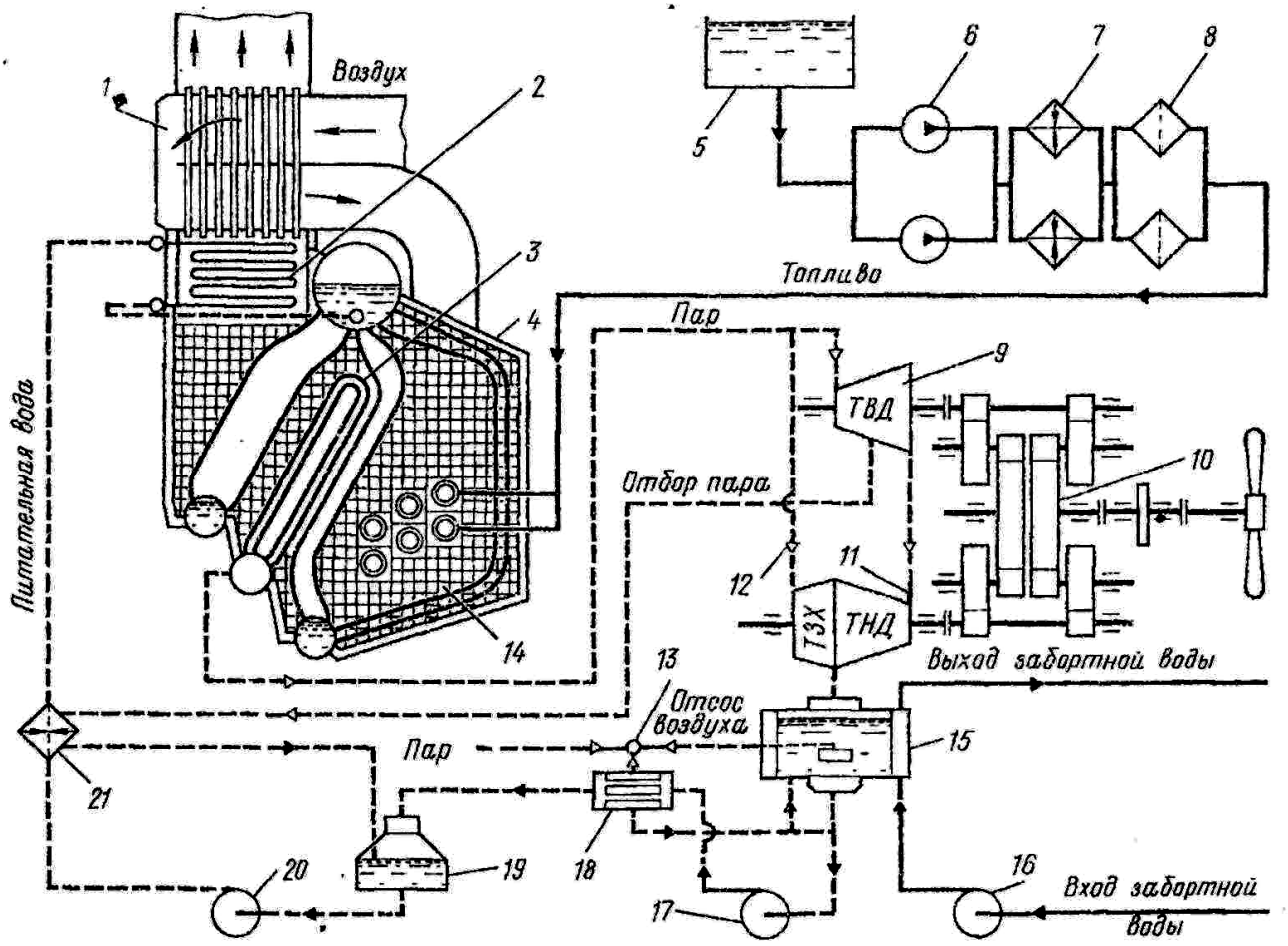


Рис. 1.1 Схема головної паротурбінної установки

1- підігрівач повітря; 2- економайзер; 3- пароперегрівач; 4- ГК; 5- паливна цистерна; 6- насоси; 7- підігрівники палива; 8- фільтри; 9- ТВТ; 10- зубчастий редуктор; 11- ресивер; 12- паропровід ТЗХ; 13- ежектор; 14- топку котла; 15- конденсатор; 16- насос забортної води; 17- конденсатний насос; 18- конденсатор деаератора; 19- деаератор; 20- насос; 21- підігрівач.

В результаті прокачування конденсатора охолоджуючою забортною водою утворюється конденсат, який відкачується конденсатним насосом 17 через свій конденсатор і ежектор 13 та деаератор 19.

Ежектори це пароструйні насоси, які призначені для відкачування повітря та інших газів з конденсаторів і створення в них розрідження. Завдяки розрідженню в конденсаторі створюється можливість розширення пари в турбіні до тиску нижче атмосферного і тому підвищується потужність і економічність турбіни, тобто підвищується ступінь розширення пари в турбіні.

За допомогою деаератора видаляються залишки повітря з живильної води, враховуючи, що наявність кисню в живильній воді викликає роз'їдання металевих поверхонь нагріву котла.

Цистерна деаератора виконує одночасно роль підігрівача води і збірника конденсату, як теплий ящик у допоміжних установках. Попередньо підігріта в конденсаторі 18 вода насосом 20 знову направляється в котел через економайзер 2.

У корпусі ТНТ змонтована турбіна заднього ходу (ТЗХ), пар до якої підводиться по паропроводу 12.

Передача обертаючого моменту від турбіни на гребний гвинт здійснюється через зубчастий редуктор 10. Корисна робота, вироблена головною турбіною, забезпечується спрацьовуванням наявного перепаду ентальпій пара по корпусах турбіни.

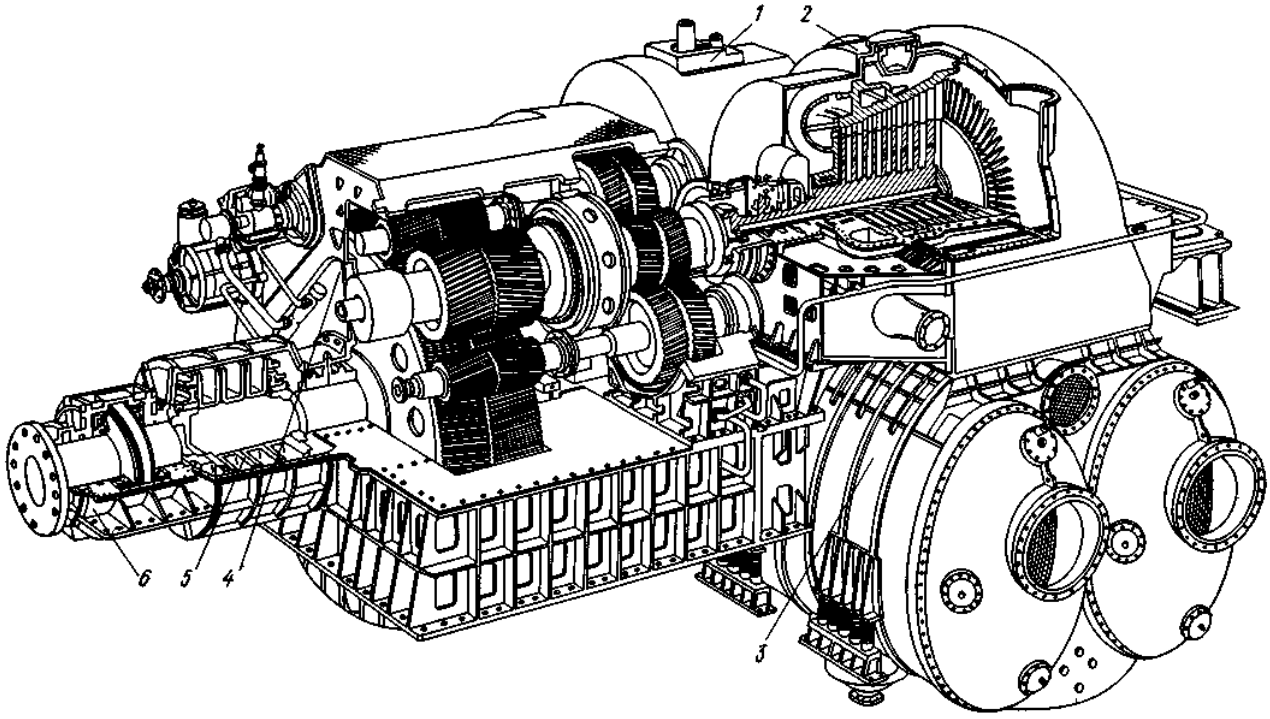


Рис. 1.2 Схема головного турбозубчастого агрегату ТС-3 танкера типу «Крим»

На рис. 1.2 зображений двокорпусний головний турбозубчастий агрегат танкера «Крим». Він включає наступні вузли: ТВТ спільно з ТСТ 1, ТНТ 2, конденсатор 3, редуктор (зубчасту передачу) 4, сполучну муфту 5, головний упорний підшипник 6.

Конденсатор розташований під ТНТ і призначений для конденсації пари і створення розрідження за ТНТ. Зубчаста передача служить для зниження частоти обертання при передачі обертаючого моменту від турбіни на гребний гвинт. Сполучна муфта передає обертаючий момент від редуктора до гребного валу. Головний упорний підшипник сприймає осьове зусилля від гребного гвинта і через фундамент редуктора передає його на корпус судна.

Теплова схема ГТУ

Теплова схема ГТУ показана на рис. 1.3. Атмосферне повітря засмоктується компресором низького тиску (КНТ) 6 і послідовно стискається в КНТ і компресорі високого тиску (КВТ) 5. Потім в камері згоряння 4 при постійному тиску відбувається спалювання палива, і утворюваний при цьому газ розширюється послідовно в ТВТ 3, ТНТ 2 і турбіні гвинта (ТГ) 1. Звідси газ надходить в утилізаційний котел 7, де віддає теплоту живильній воді.

Пар із котла направляється в силову парову турбіну 21, спільно з ТГ,яка обертає через пружні муфти в редукторі 24 гребний гвинт. Вся потужність ТВТ і ТНТ повністю споживається відповідно КВТ і КНТ.

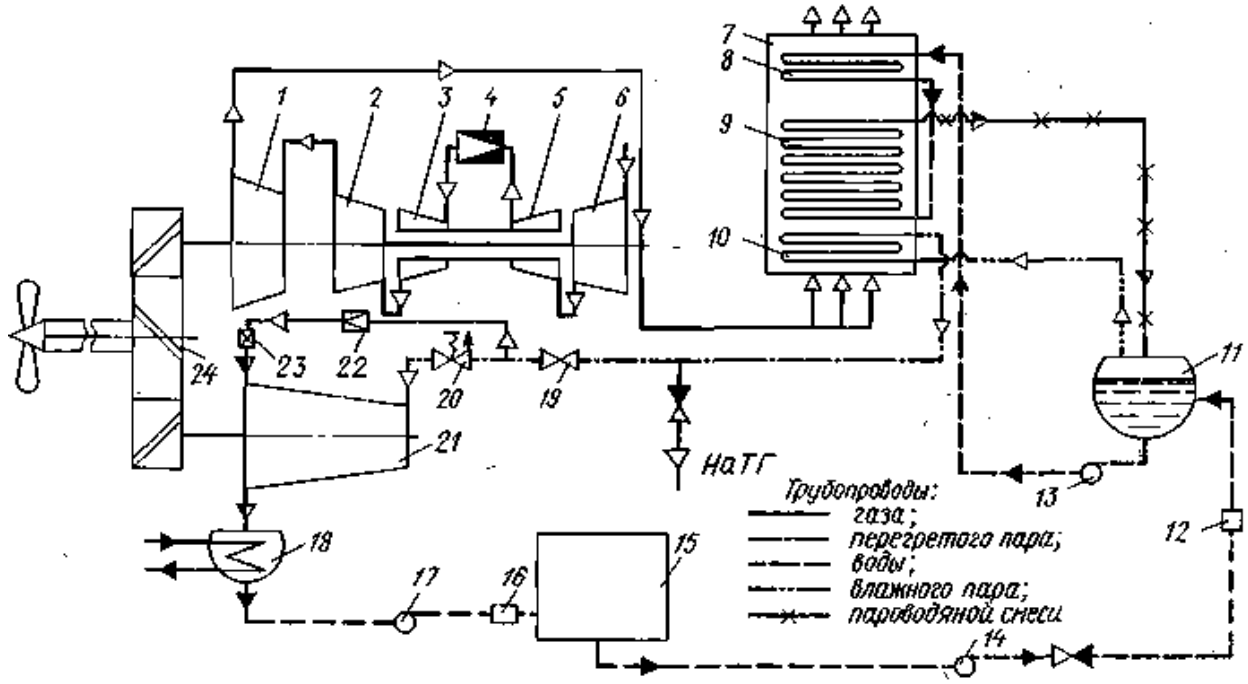


Рис. 1.3 Теплова схема ГТУ с ТУК газотурбохода «Капітан Смірнов» (одного борту)

Утилізаційний котел, який розташований над газовідводом газотурбінного двигуна (ГТД), водотрубний з багаторазовою примусовою циркуляцією та має прямокутну форму. Котел складається з економайзера, випарника і пароперегрівача. Котел включає в себе також сепаратор пара, який призначений для відділення пара від пароводяної суміші, що надходить з випарника котла.

Парова турбіна складається з регулювальної ступені у вигляді двухвенечного колеса і семи ступенів тиску. На верхній кришці кріпиться паровпускний швидкозапірний клапан, а на випускному патрубку - дросельно-зволожувальна установка.

Конденсатор двопроточний, він одночасно є рамою, на якій розташовуються турбіна і допоміжне обладнання. За допомогою редуктора можна підключати та відключати парову турбіну при працюючому і зупиненому ГТД, провертати валопровід при непрацюючих ГТД та паровій турбіні і стопорити валопровід.

У правій частині рис. 3 розташований теплоутилізаційний контур (ТУК) одного борту установки. Поживна вода з теплого ящика 15 електропоживним насосом 14 подається через двоімпульсний регулятор 12 в сепаратор 11, з якого насос 13 багаторазової циркуляції направляє воду в економайзер 8. З нього вода по опускним трубам надходить у випарник 9.

Потім пароводяна суміш прямує в сепаратор, з якого вологий пар надходить в пароперегрівач 10 і далі (вже перегрітий пар) через головний стопорний клапан 19 до швидкозапірного клапану 20 парової турбіни.

Схемою ТУК передбачається відбір 6000кг/год. перегрітого пару з головного паропроводу на турбогенератор потужністю 1000кВт і відбір 2000 кг/год. насиченого пару із сепаратора на загальносуднові потреби.

Головний стопорний клапан відкривається автоматично при тиску пари 0,4МПа. При досягненні тиску в конденсаторі 5 - 6кПа відкривається швидкозапірний клапан в положенні холостого ходу, і парова турбіна починає набирати частоту обертання. Як тільки ротор парової турбіни зрівняється по частоті обертання з ротором турбіни гвинта, відбуваються синхронізація і підключення парової турбіни до редуктора.

Надлишок пара при цьому випускається через редукційний охолоджувальний пристрій 22 і дросельно-зволожувальний пристрій 23 у випускний патрубок турбіни до конденсатора 18. Звідти електроконденсатний насос 17 повертає конденсат в теплий ящик через регулятор рівня конденсату 16. Після прогріву парової турбіни на режимі холостого ходу протягом 12-15 хв БЗК відкривається повністю, і парова турбіна починає працювати в режимі повної потужності.

Газотурбінна установка може стійко експлуатуватися при роботі з ТУК і без нього. Включення ТУК відбувається при подачі живильної води в котел і може виконуватися при будь-якому режимі роботи ГТД (гарячий пуск) і при непрацюючому ГТД (холодний пуск). Пуск ТУК і управління ним здійснюються з центрального поста управління. Відбір пари на турбогенератор виконується вручну.

Передбачена можливість роботи установки перехресним способом. В цьому випадку працює газова турбіна з ТУК одного борту, а пар подається на парову турбіну іншого борту. При цьому газова турбіна цього борту не працює.

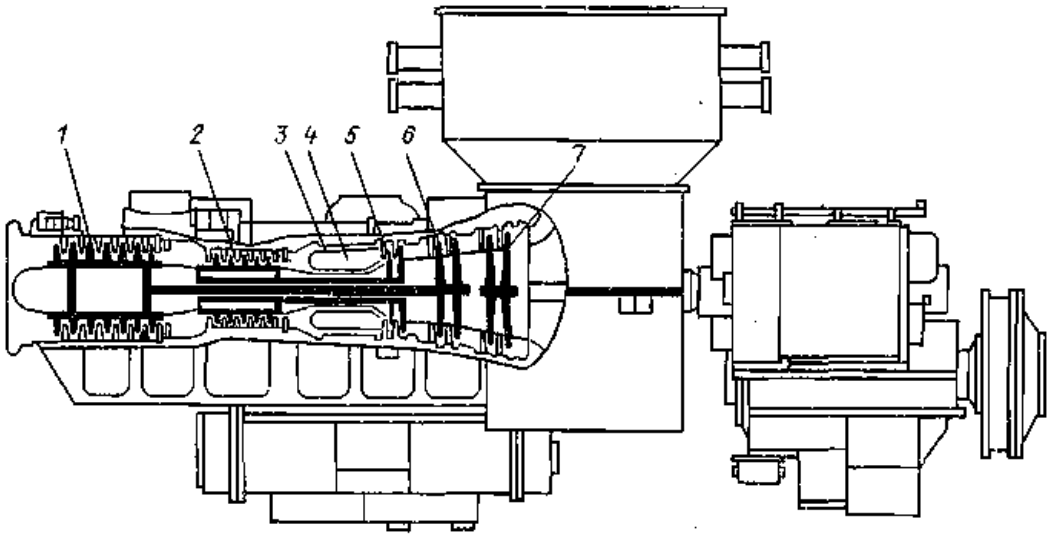


Рис. 1.4 Газотурбінна установка ГТУ М-25 зі схематичним розрізом ГТД

Газотурбінний двигун (рис. 1.4) виготовляється в корабельному виконанні.

Він складається з осьових розташованих послідовно компресорів - семиступеневого КНТ 1 та дев'ятиступеневого КВТ 2, трубчасто-кільцевій камери згоряння 3, в корпусі якої знаходяться 10 жарових труб 4 з форсунками.

Далі послідовно розташовані двоступеневі ТВТ 5 і ТНТ 6 і чотириступінчаста ТГ 7. Корпуси компресорів, камери згоряння і турбіни з'єднуються між собою послідовно вертикальними фланцями і утворюють єдиний корпус.

Принципи роботи турбін. Типи ступенів

Особливості турбінного двигуна. Турбіна являє собою ротаційний теплової двигун лопаточного типу. Дія турбіни засноване на безперервному перетворенні теплової (потенційної) енергії робочого тіла в кінетичну, з подальшим перетворенням енергії рухомого струменя в механічну енергію обертання вала. Основні особливості турбіни - подвійне перетворення енергії, безперервність робочого процесу, отримання обертового руху без кривошипно-шатунного механізму.

Безперервність робочого процесу в турбіні і ротаційний принцип дії полегшують конструкцію турбін і забезпечують відсутність тертя в частинах (за винятком підшипників валу).

Типи ступенів. За способом перетворення енергії турбіни діляться на активні, реактивні і зі ступенями швидкості. Турбіни, в яких перетворення потенційної енергії в кінетичну відбувається лише в нерухомих апаратах (соплах), називаються активними, а турбіни, де перетворення енергії відбувається також в нерухомих апаратах і на робочих лопатках, - реактивними. У випадках, коли перетворення енергії відбувається в основному в нерухомих апаратах і частково в робочих, турбіна працює з деяким ступенем реактивності.

Комплект, що складається з сопел (направляючих лопаток) і робочих лопаток, називається ступенем турбіни; сукупність ступенів утворює її проточну частину.

На рис. 1.5 схематично представлена одноступінчата активна турбіна. У корпусі 1 розташоване одне або кілька сопел 2, робочі лопатки 3 жорстко закріплені на диску 4, який посаджений на вал 5, що обертається в підшипниках 6. У місці виходу валу з турбіни встановлені ущільнення 7. У нижній частині малюнка дано розгорнуте на горизонтальну площину перетин сопел і робочих лопаток. Як видно з малюнка, осі сопел розташовані під деяким кутом до площини диска.

У верхній частині малюнка представлений графік зміни параметрів робочого тіла (тиску **р** і абсолютної швидкості **с**) при проходженні ним проточної частини турбіни. Очевидно, що в соплах мають місце падіння тиску і зростання швидкості пара; на робочих лопатках кінетична енергія пара перетворюється на механічну, в результаті чого зменшується швидкість

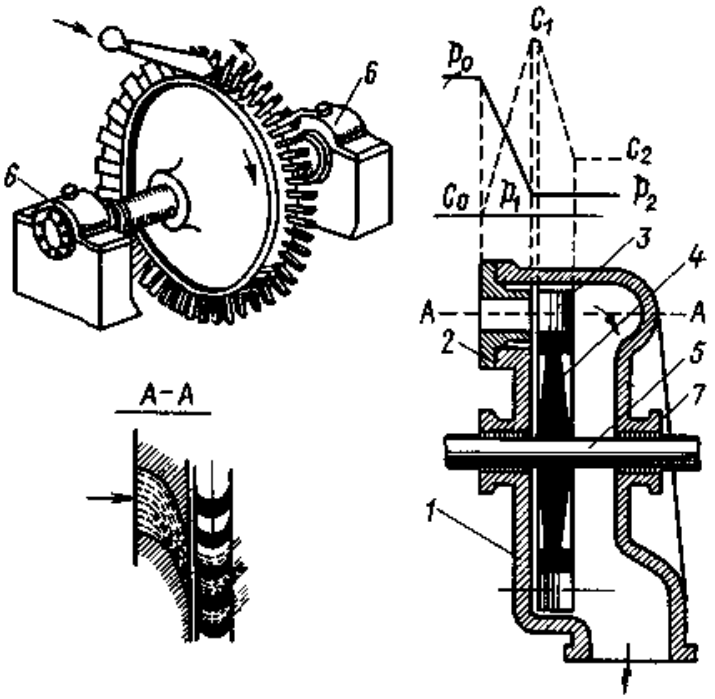


Рис. 1.5 Схема одноступеневої активної турбіни

Тиск пара перед робочими лопатками і за ними однаковий. При проходженні пара між робочими лопатками на їх зогнутій поверхні створюється підвищений тиск, на випуклій - знижений. Виникає обертаюче зусилля, яке здійснює механічну роботу.

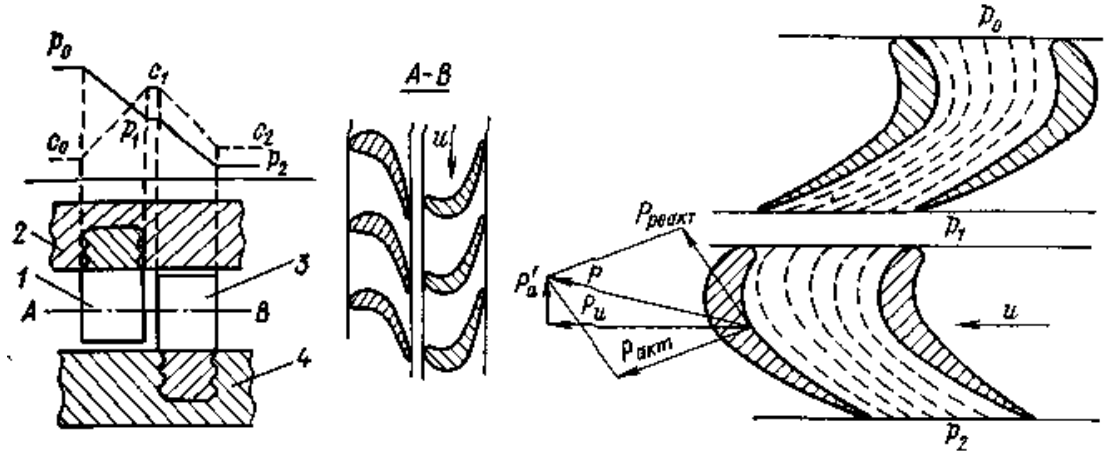


Рис. 1.6 Схема реактивної ступені й дії сил на робочу лопатку

Принцип дії реактивної ступені показаний на рис. 1.6. Пар надходить у канали між направляючими лопатками 1, нерухомо закріпленими в корпусі 2, і розширюється, однак у меншому ступені, ніж в соплах активної ступені. Розширення пара триває на робочих лопатках 3, закріплених на роторі барабанного типу 4.

Напрямок руху струменю пара, що потрапляє на робочі лопатки, змінюється, в результаті чого створюється активне зусилля $\mathbf{P_{акт}}$. Завдяки розширенню в робочому каналі виникає реактивна сила $\mathbf{P_{реакт}}$; її величина і напрямок залежать від форми каналу.

Геометричне складання $\mathbf{P_{акт}}$ и $\mathbf{P_{реакт}}$ дає рівнодіючу силу **P**, окружна складова якої $\mathbf{P_и}$ обертає, ротор, а осьова $\mathbf{P'_а}$ сприймається 7 упорним підшипником (через різницю тисків $\mathbf{p_1—p_2}$ виникає також осьове зусилля $\mathbf{P_а}$, спрямоване в бік руху потоку).

Активні і реактивні ступені називаються ступенями тиску. Якщо швидкість потоку за робочими лопатками активної ступені велика, то для використання кінетичної енергії робочого тіла встановлюють ще один або два вінця робочих лопаток і між ними розташовують додаткові напрямні апарати, в яких потік не розширюється або розширюється незначно. Подібні ступені носять назву ступенів швидкості. Залежно від числа рядів робочих лопаток розрізняють двох - і трьохвенечні ступені швидкості.

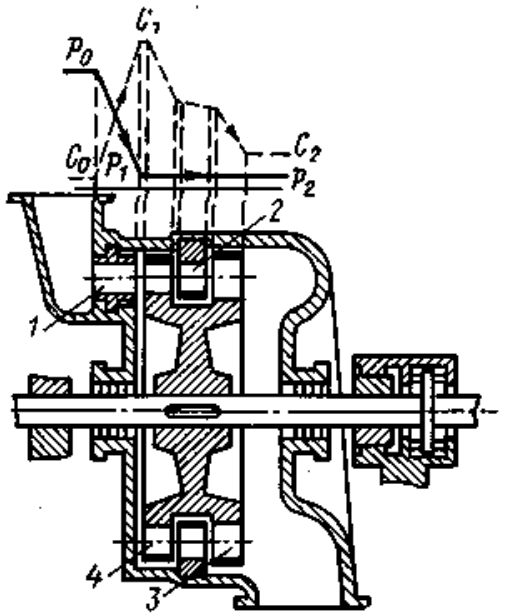


Рис. 1.7 Двовінкова ступінь швидкості

На рис. 1.7 схематично показана двовінкова ступінь швидкості. Тут же дано графіки зміни тиску і швидкості потоку уздовж проточної частини. Як видно, є тільки один сопловий апарат 1, в якому робоче тіло сильно розширюється і набуває дуже велику швидкість. Надалі при проходженні скрізь лопатковий апарат його тиск не змінюється. На робочих лопатках 4 і 3 відбувається перетворення кінетичної енергії потоку в механічну енергію ротора і відповідно зменшення швидкості потоку. Проміжний направляючий апарат 2 служить лише для повороту потоку; деяке падіння швидкості в ньому пояснюється наявністю втрат.

Багатоступінчасті турбіни. Незважаючи на простоту пристрою, одноступінчаті турбіни не набули великого поширення через неможливість досягти високого ККД при великих перепадах тиску, а також внаслідок великої частоти обертання вала і неможливості отримання значних потужностей. У суднових умовах одноступінчасті турбіни застосовують лише для приводу допоміжних механізмів.

Щоб уникнути великої частоти обертання і окружних швидкостей і зберегти найвигідніші відносини між окружною швидкістю робочих лопаток і швидкістю потоку, сучасні турбіни виконують багатоступінчатими - зі ступенями тиску, ступенями швидкості і різними комбінаціями цих ступенів.

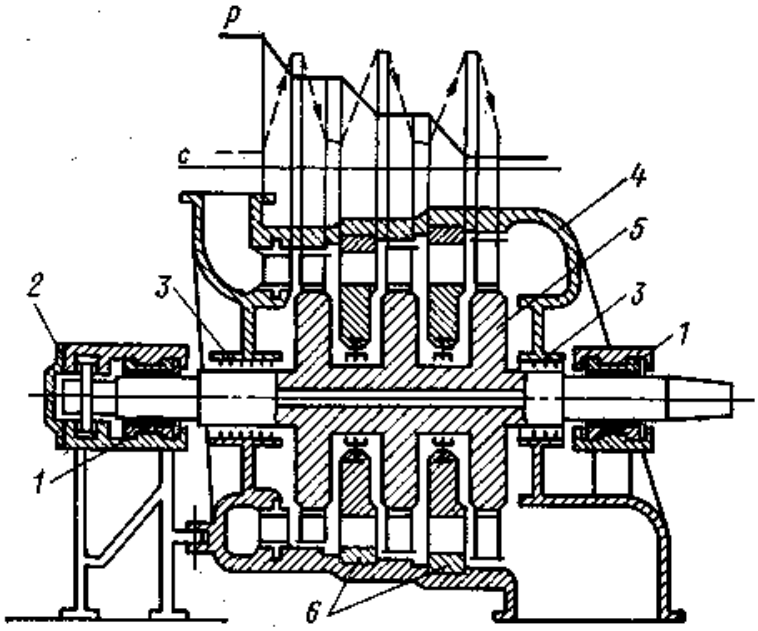


Рис. 1.8 Схема активної турбіни з трьома ступенями

Схема активної турбіни з трьома ступенями показана на рис. 1.8; тут же дана схема зміни тиску і швидкості потоку. Ротор турбіни 5 складається з трьох дисків, викуваних заодно з валом, і обертається в опорних підшипниках 1; осьове зусилля сприймається упорним підшипником 2. У місці виходу валу з корпусу встановлені зовнішні ущільнення 3.

Сопла першої ступені розташовані в корпусі турбіни 4, сопла другої і третьої ступенів - в діафрагмах 6. Щоб уникнути протікання пари в місці проходу вала в діафрагмах встановлені ущільнення (внутрішні).

Робоче тіло, частково розширившись в соплах першої ступені, потрапляє на її робочі лопатки і віддає їм кінетичну енергію; при цьому тиск залишається постійним по обидві сторони диска, а швидкість зменшується. Після першої ступені робоче тіло потрапляє в сопла другої ступені, де відбувається подальше його розширення і збільшення швидкості, потім на робочі лопатки другої ступені і т. д.

Таким чином, розширення робочого тіла здійснюється в три прийоми, на трьох ступенях, завдяки чому ця турбіна більш економічна, ніж одноступінчата.

У турбінах зі ступенями тиску обсяг пара по мірі його розширення зростає, тому висоту сопел і робочих лопаток від ступені до ступені поступово збільшують.

За способом підведення пара до перших ступенів турбіни поділяються на однопроточні (пар по проточної частини рухається в одному напрямку) і двохпроточні, з розбіжним або зустрічним рухом пара.

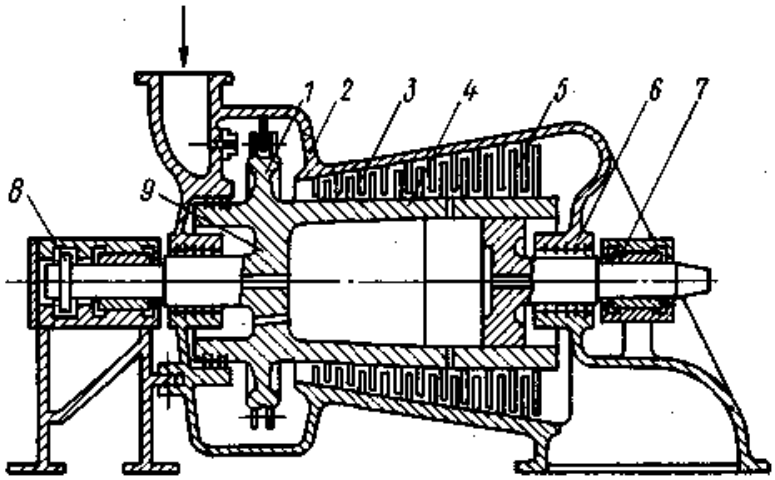


Рис. 1.9 Схема реактивної турбіни з однопроточним рухом пара

Схема реактивної турбіни з однопроточним рухом пара представлена на рис. 1.9. В якості першої ступені (регулювальної) служить двохвенечна ступінь швидкості 1. У корпусі турбіни 2 укріплені нерухомі направляючі лопатки 3. На барабанному роторі 4 розміщені робочі лопатки 5. У місці виходу валу з корпусу встановлені ущільнення 6.

Ротор обертається в опорних підшипниках 7. Після регулювальної ступені пар проходить через реактивну проточну частину, розширюючись як на направляючих, так і на робочих лопатках.

Різниця статичних тисків пара перед робочими лопатками і за ними, а також сила взаємодії потоку зі стінками лопаток (рис. 1.5) створюють осьове зусилля, яке прагне зрушити ротор у бік руху пара. Для розвантаження цього зусилля у реактивних турбін встановлений розвантажувальний поршень - так званий думміс 9.

Принцип його дії полягає в тому, що простір перед ним сполучається з порожниною відпрацьованого пара або ступеню низького тиску. Створюється різниця тиску, що діє в бік, зворотній напрямку руху пара. Завдяки такому пристрою частково знімається осьове зусилля, прикладене до ротора і сприймається упорним підшипником 8.

Для врівноваження осьових сил, зменшення висоти лопаток останніх ступенів і діаметра турбіни реактивні турбіни великої потужності часто виконують двохпроточними; в них осьові сили врівноважуються, і необхідність в думмісі відпадає (рис. 1.10).

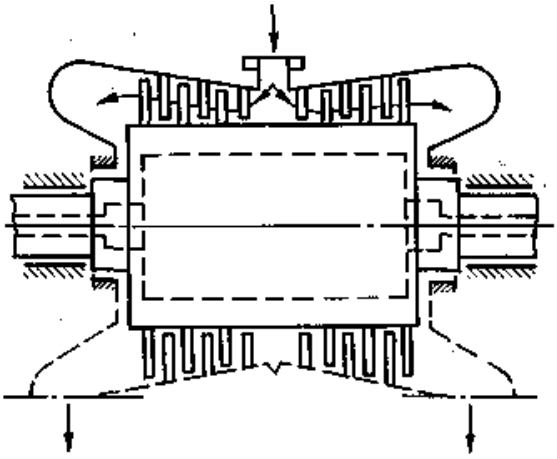


Рис. 1.10 Схема двухпроточной турбины

Використання активної ступені або двохвенечної ступені швидкості в якості першої ступені реактивної турбіни дозволяє досягти більш економічного кількісного регулювання потужності і зменшити габарити турбіни.

Турбіни, що складаються тільки із ступенів швидкості, не знайшли застосування як головні, незважаючи на такі переваги, як мала маса і габарити. Причиною є менша економічність ступенів швидкості в порівнянні з ступенями тиску. Газові турбіни мають зазвичай активні ступені з деяким ступенем реактивності і реактивні ступені.

Лабораторна робота № 2

Тема: «КОНСТРУКЦІЇ КОРПУСІВ І РОТОРІВ ТУРБОМАШИН».

Мета роботи: - вивчити конструктивну будову корпусів і роторів суднових турбін.

Зміст і порядок виконання лабораторної роботи: - лабораторна робота виконується на турбінних установках ТД 7/1 і LG-II і включає наступні питання:

• влияние типа проточной части на конструкцию роторов судовых турбин.

• преимущества и недостатки различных конструкции корпусов и роторов судовых турбин;

• способы изготовления роторов турбомашин, влияние конструкций на эксплуатационную надежность турбины, технологичность и стоимость изготовления;

Рекомендується наступна послідовність вивчення:

- студенти знайомляться з досліджуваним матеріалом по рекомендованій літературі (альбоми схем, підручники, навчальні посібники тощо), виконують необхідні вимірювання і аналізують отримані дані, що відносяться до досліджуваного вузла, а потім приступають до вивчення цього ж вузла на матеріальної частини турбінних установок ТД 7/1 і LG-II.

Зміст звіту по лабораторній роботі:

- викреслити ескізи конструкцій корпусів і способів їх установки. Макети 1 і 2.;
- визначити розміри шпонки на макеті 1, що направляє теплове розширення корпусу в осьовому напрямку.;
- визначити розміри фланця горизонтального роз'єму (ширину і товщину) корпусу діаметр і крок отворів під кріпильні болти на макеті 1 в площині першого ступеня, викреслити ескіз цього перерізу;
- визначити діаметри дисків і вала ротора на макеті 1 і діаметра барабана на макеті 2.

Корпус турбомашин

Призначення та конструкція. Корпусом турбомашини називається її зовнішня частина, що служить для кріплення всіх нерухомих деталей. Корпус являє собою порожнистий циліндр або усічений конус (іноді з ребрами жорсткості), форма якого відповідає формі ротора. Умовно корпус розбивають на носову, середню і кормову частини.

У носовій частині розташований вхідний патрубок, середня частина служить для кріплення діафрагм або напрямних лопаток, кормова частина є вихідним патрубком. У носовій і кормовій частинах знаходяться ущільнення.

За родом робочого тіла розрізняють корпуси парових турбін, газових турбін, компресорів. По конструкції - корпуси нероз'ємні, з горизонтальним і з вертикальними роз'ємами. За виготовленням - литі, зварювально-литі, зварні з штампованих елементів.

У парових турбінах застосовують литі і зварювально-литі корпуси з горизонтальним роз'ємом. Іноді передбачають також технологічний вертикальний роз'єм, який після виготовлення корпусу наглухо прикручують або заварюють. Верхня частина корпусу називається кришкою, нижня - власне корпусом.

Кришка і нижня половина корпусу забезпечені товстими горизонтальними фланцями, які кріплять болтами або шпильками, розташованими близько до стінок корпусу, щоб уникнути або зменшити згинальні зусилля у фланцях. Болти по всьому корпусу виконують однакового розміру, але частоту їх установки (крок) міняють в залежності від тиску пара в даному місці корпусу: в області високого тиску болти ставлять якомога частіше.

Горизонтальні фланці обробляють шляхом фрезерування. Між фланцями прокладки не ставлять, щоб не змінити радіальні зазори при відкритті турбіни. Для досягнення кращої паронепроникності фланці змащують тонким шаром спеціальної мастики, рекомендованої заводом-виробником турбіни.

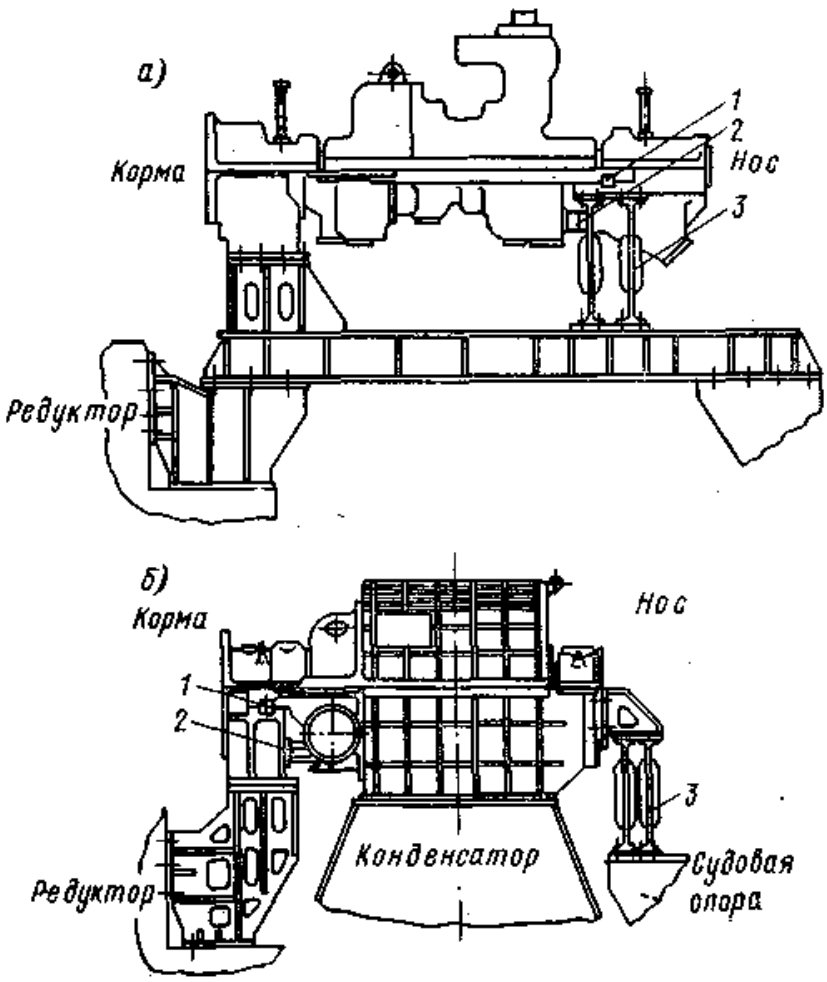


Рис. 2.1 Схеми кріплення турбін: а) - кріплення ТВТ; б) - кріплення ТНТ

Для забезпечення правильності положення кришки відносно корпусу фланці роз'ємного з'єднання мають від двох до восьми настановних болтів, які виточують по розгорнутим у фланцях отворам.

Кожний отвір і пригнаний до нього болт маркують. Для відриву кришки від корпусу в кришці встановлюють від чотирьох до восьми віджимних болтів.

На нижній половині корпусу є по кінцях стільці, де розташовані опорні й упорні підшипники. Стільці відливають або разом з корпусом, або окремо.

У носовій частині ТВТ розміщені паровпускна камера, клапанна коробка і соплова коробка з соплами першого ступеня. Щоб уникнути перегріву і викривлення корпусу під впливом свіжого пара соплові коробки виготовляють окремо з високоякісної сталі і приварюють до кришки.

У сучасних турбінах широко застосовуються вставні обойми, в які заводяться обода діафрагм активних турбін або направляючі лопатки реактивних турбін Застосування обойм спрощує виготовлення корпусу. Крім того, завдяки змиванню їх паром з усіх боків і збільшенню поверхні корпусу, що омивається паром, темп прогрівання корпусу наближається до темпу прогрівання ротора, що полегшує швидкий пуск з холодного стану.

Нижня половина корпусу з боку корми жорстко кріпиться до суднового фундаменту або до корпусу редуктора (рис. 2.1). Для можливості поздовжнього розширення корпусу в процесі прогріву турбіни передню опору 3 (з боку носа) виконують гнучкою.

Поперечне розширення корпусу з боку паровпуску забезпечується встановленням горизонтальних шпонок 1 під лапи, вертикальне - установленням шпонки 2 між корпусом і стільцем підшипника.

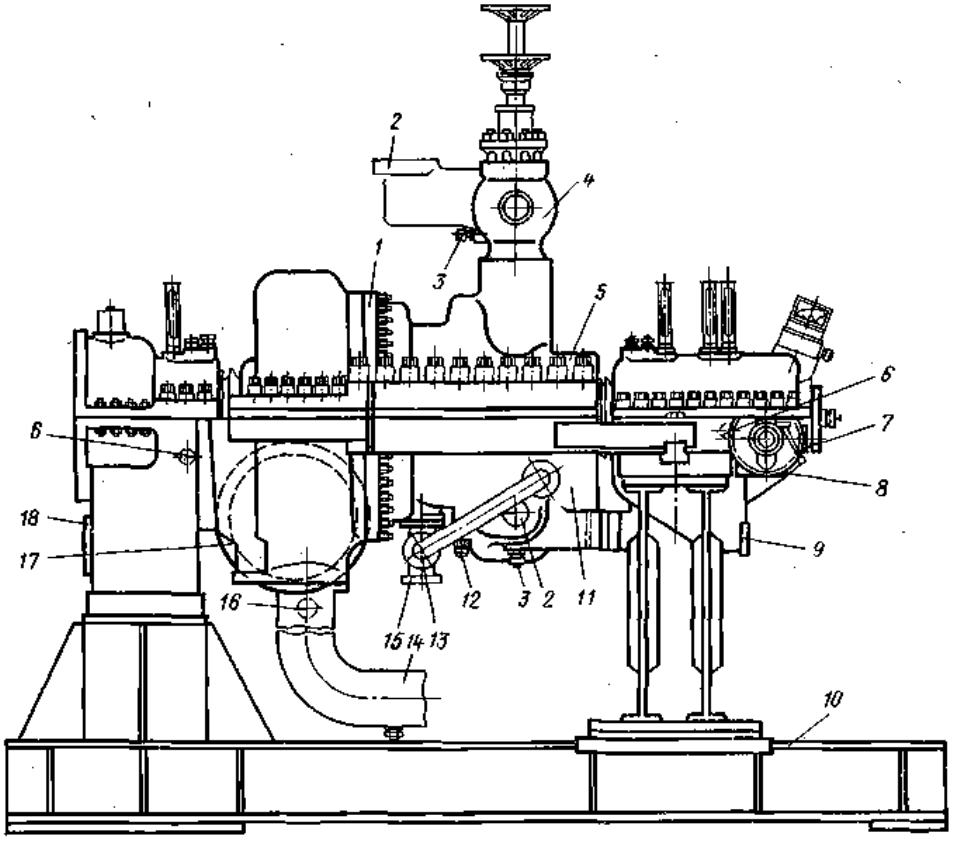


Рис. 2.2 Загальний вигляд корпусу ТВТ ГТЗА:

1 - фланець вертикального роз'єму; 2 - підведення пара до ТВТ, 3 - штуцера для продування соплових коробок; 4-клапанна коробка, 5 - верхня половина корпусу; 6 - підведення масла до опорних і упорних підшипників; 7 - відвід масла до масляного вимикача; 8 - підведення масла до регулятора безпеки; 9 - злив масла з носового стільця; 10 - рама; 11 - нижня половина корпусу; 12 - штуцер для прогрівання камери першого ступеня, 13 - штуцера для продування камер відбору пара; 14 - відвід пара в конденсатор при аварійному режимі; 15 - відбір пара тиском 0,72 МПа; 16 - відбір пара тиском 0,34 МПа; 17 - відвід пара до ТНТ; 18 - слив олії з кормового стільця

Корпус турбін при температурі пара до 230°С виготовляється з чавуну, а при вищій температурі - зі сталі.

Всі гарячі частини корпусу турбіни покривають ізоляцією у вигляді азбестової маси, совелітових плит або алюмінієвої фольги. Ізоляція корпусу служить не тільки для зменшення втрати теплоти в навколишнє середовище, але і для зменшення деформацій. Товста ізоляція здатна акумулювати велику кількість теплоти, тому вона затримує прогрівання та охолодження корпусу. Ізоляція покривається декоративною обшивкою.

Ротори турбомашин

Призначення та конструкція. Ротором називають обертову частину турбомашини із закріпленими на ній робочими лопатками. В процесі взаємодії потоку з робочими лопатками енергія від потоку передається лопаткам турбіни.

Ротор складається з вала з дисками або барабана з півосями, робочих лопаток, упорного гребеня, елементів зовнішніх ущільнень і напівмуфти (мал. 2.3).

За призначенням розрізняють ротори активних турбін, реактивних турбін, компресорів (відцентрових і осьових); по конструкції - ротори дискові, барабанні та змішані; по тепловому режиму - не охолоджувані і охолоджувані; по частоті обертання - жорсткі та гнучкі; за способом виготовлення - цельноковані, зварні , з насадними дисками і складальні.

У жорсткого ротора робоча частота обертання на 20-30% менше критичної, у гнучкого - в 1,5 - 2 рази більше критичної.

Критичною частотою обертання ротора називається така, при якій частота вимушених коливань рівна частоті власних коливань. При цьому настає резонанс і ротор починає вібрувати з амплітудою коливань.

Головні суднові турбіни повинні працювати спокійно і надійно при будь-якій частоті обертання, тому їх ротори завжди виготовляють жорсткими. Ротори турбогенераторів можуть бути жорсткими або гнучкими, тому що вони працюють із змінною і постійною частотою обертання.

Після виготовлення ротор піддається статичному та динамічному балансуванню, при якому визначається близькість обертання ротора до критичної частоти.

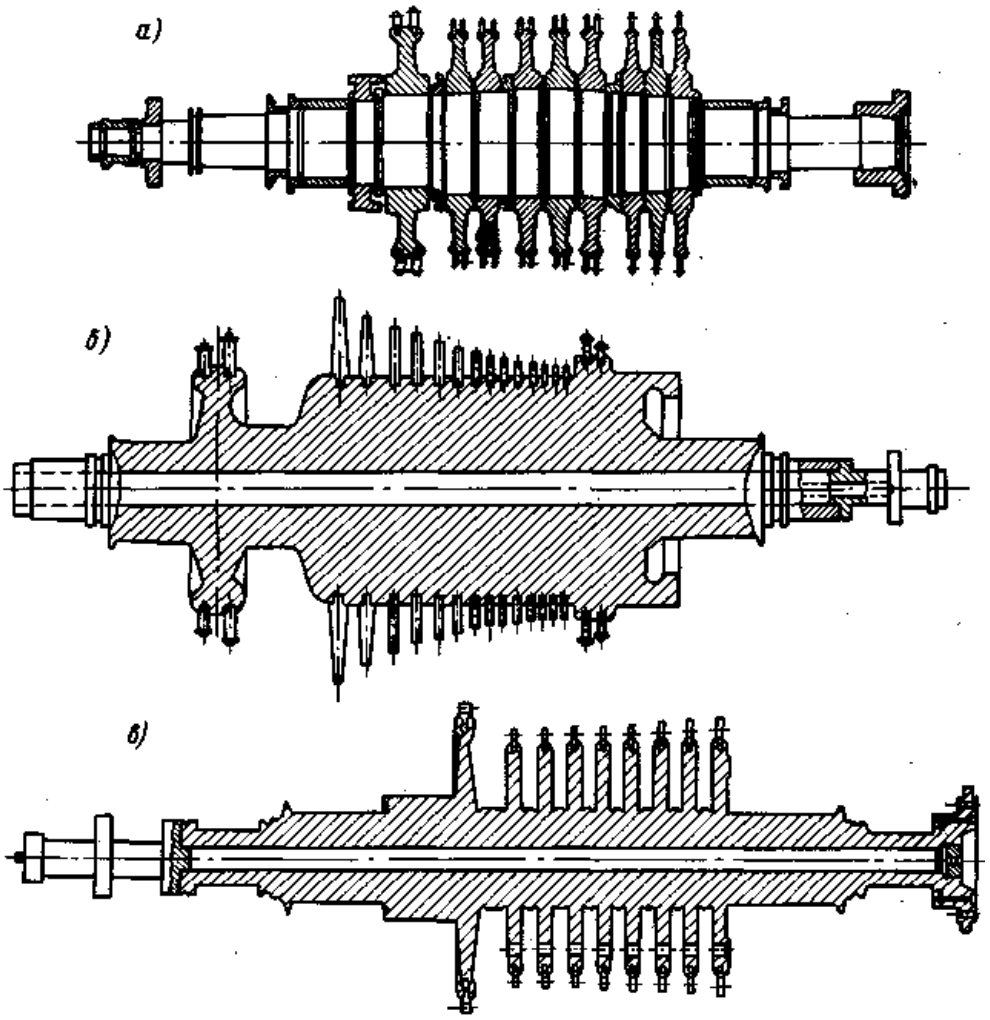


Рис. 2.3 Типи роторів:
а) - з насадними дисками, б) - цельнокований барабанний; в) - цельнокований дисковий

Дискові ротори. При діаметрі дисків до 1000 - 1200мм дискові ротори виконують цельнокованими. Перевагами цих роторів є відсутність з'єднання дисків з валом, простота обробки, достатні міцність, жорсткість і надійність в експлуатації.

Перевищення цього розміру різко ускладнює отримання високоякісних поковок. Матеріал цельнокованого ротора вибирається з умови роботи перших ступенів. Це призводить до необхідності виготовлення ротора з високолегованих сталей. Цикл обробки цельнокованого ротора більше, ніж складеного, окремі елементи якого можуть оброблятися паралельно на різних верстатах.

Істотним недоліком цельнокованого ротора є необхідність заміни всього ротора в разі неможливості виправлення неправильно виготовленого або пошкодженого при експлуатації хоча б одного з дисків або вала ротора. У суднових парових турбінах застосовуються в основному цельноковані ротори.

Однак складність виготовлення якісних поковок великих діаметрів обмежує розміри цельнокованих роторів.

Тому при діаметрах більше 1000-1200мм дискові ротори доцільно виконувати складовими (з гладкого або ступеневого валу і насаджених на нього дисків).

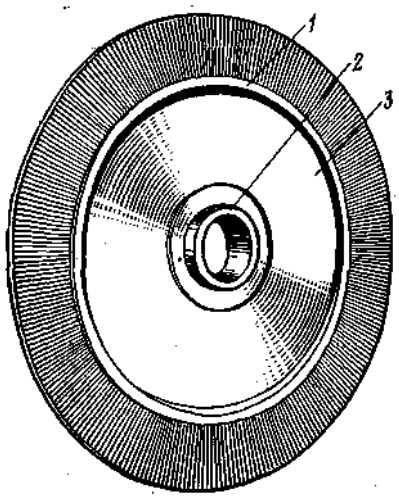


Рис. 2.4 Диск ротора

Диск (рис. 2.4) є основною частиною ротора в передачі крутного моменту від робочих лопаток до валу. Диск складається з трьох основних частин. Частина 1 диска, на якій кріплять лопатки, називається ободом; частину 2, якою диск насаджується на вал, - ступицею, середня частина 3, що з'єднує обід і ступицю, - полотном.

Форма ободу залежить від хвостового кріплення лопаток, форма ступиці і полотна - від навантаження диска і головним чином від його окружної швидкості. В цельнокованому роторі ступиці всіх дисків зливаються в одну суцільну центральну частину поковки.

Вплив типу проточної частини на конструкцію. У реактивних турбінах має місце різниця тисків по обидві сторони робочих лопаток.

Для зменшення осьових зусиль в цьому випадку зазвичай застосовують ротор барабанного типу.

Барабанні ротори по конструкції і способу виготовлення поділяють на цельноковані, порожнисті, складові і зварні. Цельноковані ротори застосовують головним чином для швидкохідних реактивних турбін невеликого діаметра; зазвичай їх виготовляють з наскрізним центральним отвором.

Барабани роторів великого діаметра для зменшення ваги виконують порожнистими. При цьому для полегшення розточування барабана і додаткового зменшення маси ротора одну або обидві шийки отковивають окремо. Поршень думміса у роторів цього типу зазвичай отковивають заодно зі знімною шийкою.

Для полегшення ковки та отримання більш швидкого прогріву ротора, що особливо важливо для підвищення маневреності суднових турбін, застосовують барабанні ротори, зварені з окремих кілець або дисків.

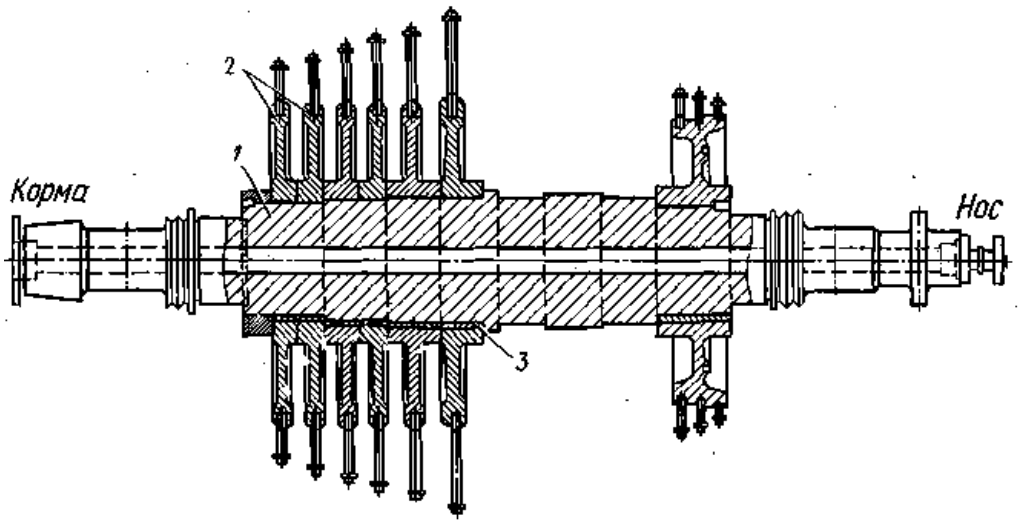


Рис. 2.5 Составний ротор

У суднових турбінах (рис. 2.5) найчастіше застосовують безпосередню посадку дисків 2 на вал 1, що забезпечує щільне і міцне кріплення дисків.

При такому способі для полегшення роботи по посадці і зйомці дисків вали виготовляють ступінчастими, причому на кожну сходинку насаджують один, іноді два диска.

В активних турбінах використовують легкі і міцні ротори дискового типу, недолік яких - знижена жорсткість.

В процесі експлуатації на лопатках можуть з'явитися відкладення, що призводить до зменшення прохідного перерізу каналів, а отже, до зростання тиску перед лопатками. Щоб запобігти зростанню осьових зусиль на диски, в них свердлять розвантажувальні отвори.

Способи виготовлення роторів турбомашин. Ротори та їх деталі (диски, вали, барабани) виготовляють з кованих заготовок і обробляють на металорізальних верстатах. При цьому особлива увага приділяється високій якості поверхні щоб уникнути концентрації напружень. У заготівлі цельнокованого ротора виконують наскрізний центральне свердління для візуального контролю якості виливки.

Балансування роторів. Диски турбомашин піддають статичному балансуванню, щоб центр їх тяжкості знаходився на осі обертання. При складанні турбомашин ротори піддають динамічному балансуванню для усунення моменту, що виникає під дією неврівноваженої маси, шляхом установки врівноважуючих вантажів у різних перетинах по довжині ротора.

Пристрій для визначення осьового положення ротора. Для вимірювання осьового положення ротора в непрацюючому стані застосовують штатні мікрометри, які монтують на торцевій кришці турбіни так, щоб стрижень припадав проти торцевого зрізу вала ротора.

Осьове положення ротора при роботі вимірюють реле-покажчиком осьового зсуву, змонтованим у носовій частині ротора; там же знаходиться пристрій для осьового переміщення ротора (наприклад, при визначенні його розбігу).

Контрольні питання:

1. Призначення корпусу.
2. Способи виготовлення корпусів.
3. Призначення горизонтальних і вертикальних роз'ємів корпусів.
4. Призначення соплових коробок і обойм.
5. Способи установки корпусів на фундаменті і забезпечення теплових розширень корпусу щодо стільця і фундаменту. Ескізи конструкцій корпусів і способів їх установки. Макети 1 і 2.
6. Призначення гнучких опор і шпонок у з'єднанні корпусу зі стільцем і фундаментом; визначення розмірів шпонки на макеті 1, що направляє теплове розширення корпусу в осьовому напрямку.
7. Визначити розміри фланця горизонтального роз'єму (ширину і товщину) корпусу діаметр і крок отворів під кріпильні болти на макеті I в площині першого ступеня. Ескіз цього перерізу.
8. Призначення ротора.
9. Класифікація роторів по способу їх виготовлення.
10. Ескізи роторів макетів 1 і 2.
11. Для якої мети в цельнокованих роторах застосовуються центральні свердління?
12. Визначити діаметри дисків і вала ротора на макеті 1 і діаметра барабана на макеті 2.

Лабораторна робота № 3

Тема: «КОНСТРУКЦІЯ ДІАФРАГМ ТА УЩІЛЬНЕНЬ ТУРБОМАШИН».

Мета роботи: - вивчити конструктивну будову діафрагм, парових та масляних ущільнень суднових турбін.

Зміст і порядок виконання лабораторної роботи: - лабораторна робота виконується на турбінних установках ТД 7/1 і LG-II і включає наступні питання:

• будова діафрагм, парових та масляних ущільнень суднових турбін;
• способи встановлення діафрагм в корпусах турбін, центрування діафрагм;
• способи виготовлення діафрагм турбомашин, їх переваги та недоліки;
• способи встановлення парових та масляних ущільнень в корпусах суднових турбін;
• способи виготовлення парових та масляних ущільнень турбомашин, їх переваги та недоліки;

Рекомендується наступна послідовність вивчення:

- студенти знайомляться з досліджуваним матеріалом по рекомендованій літературі (альбоми схем, підручники, навчальні посібники тощо), виконують необхідні вимірювання і аналізують отримані дані, що відносяться до досліджуваного вузла, а потім приступають до вивчення цього ж вузла на матеріальної частини турбінних установок ТД 7/1 і LG-II.

Зміст звіту по лабораторній роботі:

- визначити розміри шпонки, яка центрує діафрагму в горизонтальній площині, та нанесіть розміри на ескіз (макет 6).
- визначити кількість і діаметр штифтів, які центрують діафрагму в радіальному напрямку (макет 7) та площу прикипання її в осьовому напрямі.
- визначити тип діафрагменних і кінцевих ущільнень на макеті 1 та викреслити їх ескізи.

Діафрагми турбін та осьових компресорів

Призначення та конструкція. Діафрагми служать для відділення одного ступеня тиску від іншої або для поділу порожнин турбін переднього і заднього ходу. Діафрагми складаються з обода, соплових лопаток, полотна і ущільнення, встановленого в місці проходу вала через центральний отвір.

Кожна діафрагма має горизонтальний роз'єм по осі вала.

За призначенням діафрагми діляться на проміжні та розділяючи; по роду робочого тіла - на діафрагми парових турбін, газових турбін і компресорів; по конструкції - на ковані, з залитими сопловим лопатками і зварні (рис. 3.1).

Ковані діафрагми можуть бути набірними і зварювально-складальними. Проміжні діафрагми служать для відділення однієї активної ступені від іншої і для розміщення соплових лопаток.

Розділяючи діафрагми призначені для поділу порожнин турбін переднього і заднього ходу.

В сучасних однокорпусних турбоагрегатах такий поділ обов'язковий, так як передбачається центральне введення свіжої пари на передній і задній хід. Розділяючи діафрагми схильні до значних навантажень від різниці тисків пари.

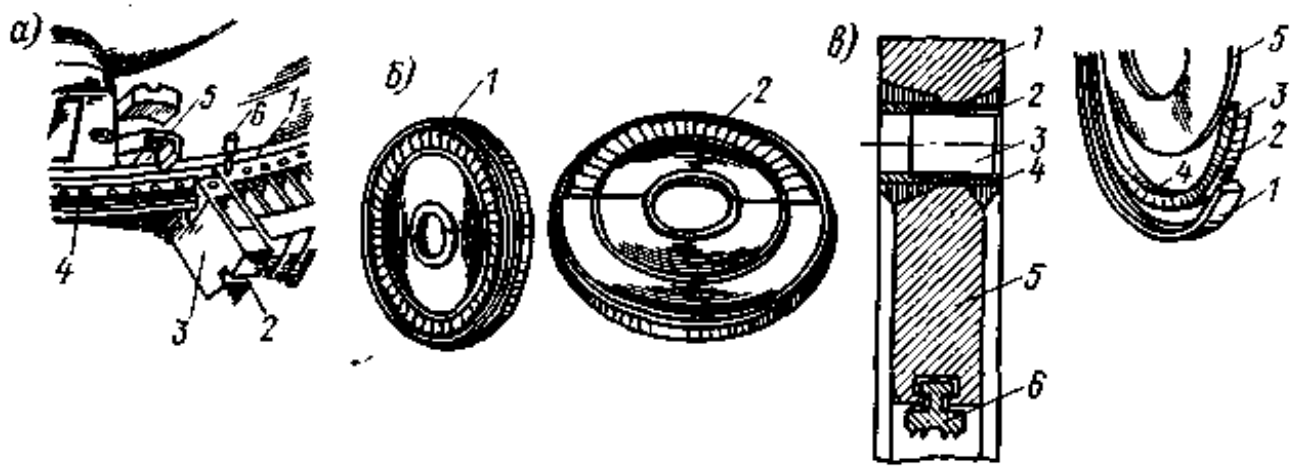


Рис. 3.1 Діафрагми:
а) — кована:
1 - напівдиск; 2 - канавка; 3 - цільнофрезеровані сопла, 4 - кільцевий виступ, 5 - прорізи; 6 - заклепки;
б) - з залитими сопловим лопатками:
1 - з повним підведенням пара; 2 - з парціальним підведенням пара;
в) - зварна:
1 - обід; 2,4 - зовнішній і внутрішній бандажі, 3 - соплова лопатка; 5 - полотно; 6 - ущільнювальне кільце

Способи виготовлення. В залежності від температури робочого тіла діафрагми виконуються сталевими або чавунними: Область застосування чавунних діафрагм обмежена температурою робочого тіла до 260°С через зростання зерен графіту під дією температури, що викликає зміну розмірів.

В ТВТ і ТСТ найбільш широко застосовують зварювально-складальні діафрагми.

Цільнофрезеровані лопатки дуговими виступами заводяться в пази кованого обода і полотна і фіксуються зваркою (рис. 2.8). При невисоких параметрах пара можуть використовуватися набірні діафрагми. В цьому випадку обід окремо не виготовляють, його утворюють верхні потовщені частини лопаток, зближуючись між собою, а самі лопатки кріпляться до полотна заклепками. Для жорсткості в паз, зроблений у верхніх стовщеннях лопаток, заводять півкільце.

Діафрагми із залитими лопатками виготовляються аналогічно соплам з залитими лопатками і застосовуються звичайно в ТНД.

Зварні діафрагми складаються з полотна і обода, до яких приварені пакети лопаток. Лопатки, попередньо встановлюють в отвори бандажів так, що їхні краї виступають за бандажні стрічки на 1,5мм; це дозволяє обварювати лопатки за профілем. Потім пакети соплових лопаток приварюють в спеціальному пристосуванні до обода та полотна діафрагми.

Діафрагми компресорів і газових турбін, через невеликий перепад тисків на них, зазвичай виконують з листового матеріалу шляхом профільної штампування і подальшого зварювання.

При цьому полотно може бути відсутнім, тоді ущільнення кріплять безпосередньо до внутрішнього кільця (обоймі).

Кріплення діафрагм в корпусі. Діафрагми встановлюють ободом в спеціальні пази, виточені в корпусі турбіни.

Діафрагма омивається з усіх боків парою на відміну від корпусу, омиваного тільки з середини на невеликий кільцевій поверхні на ширині трохи більше ширини робочих лопаток. Тому при пуску турбіни діафрагма буде мати більш високу температуру, ніж корпус і для забезпечення свободи теплових розширень діафрагми по відношенню до корпусу необхідно забезпечити між корпусом і діафрагмою радіальні і осьові зазори.

Крім того, необхідно забезпечити можливість зміни положення діафрагми в корпусі в радіальному напрямку для установки необхідних зазорів в діафрагмених ущільненнях.

Верхня частина, діафрагми кріпиться за допомогою сухарів в площині горизонтального роз'єму в кришці турбіни, а нижня частина - в корпусі (рис. 3.2).

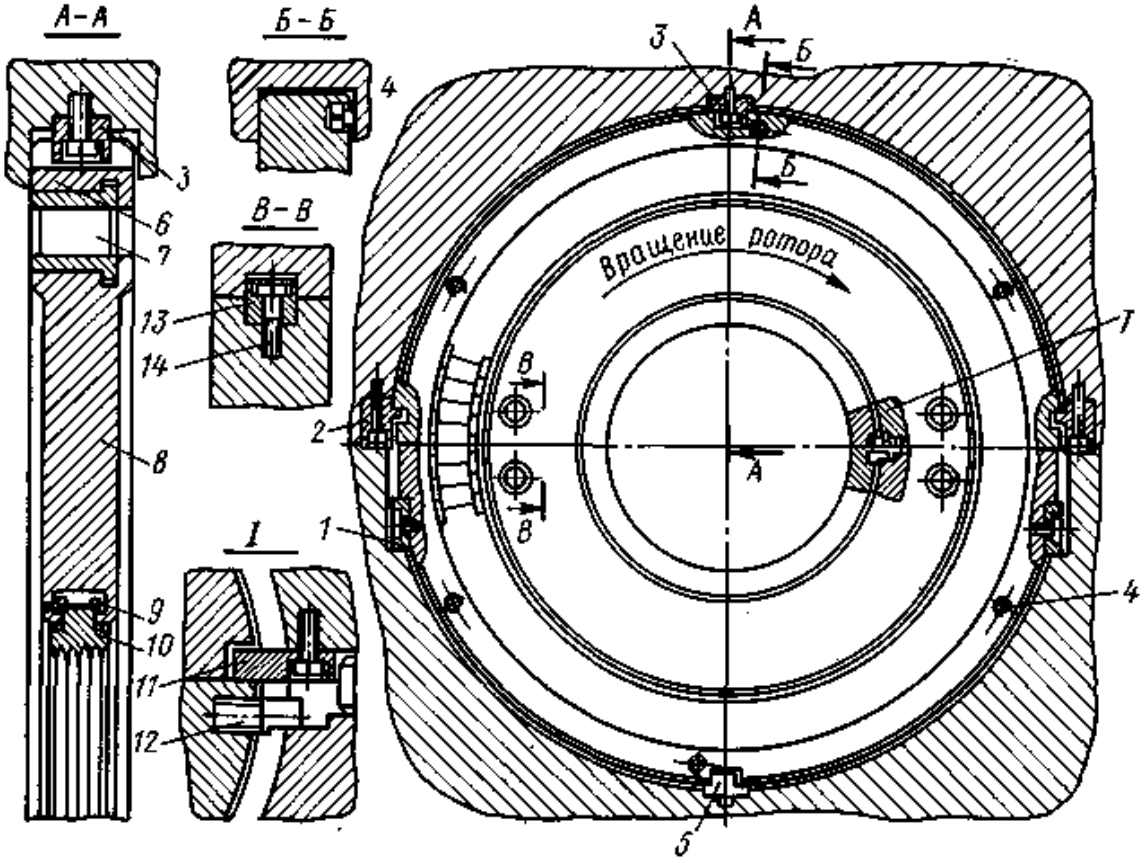


Рис. 3.2 Зварювально-набірна діафрагма парової турбіни
1,2 - сухарі; 3, 5 - шпонки, 4 - штифт; 6 - обойма; 7 - соплова лопатка;

8 - полотно; 9 - плоска пружина; 10 - сегмент ущільнення; 11 - стопорна планка; 12 - штифт, 13 - шпонка; 14 – гвинт

Для фіксації обох частин діафрагми між собою в її горизонтальному роз'ємі передбачені шпонки. Центрування діафрагм в корпусі в радіальному напрямку проводиться шпонками, в осьовому - штифтами (3 - 4 штуки діаметром 8 - 10мм з м'якої сталі), припіловкою яких створюється осьової зазор 0,1 - 0,15мм).

Для того, щоб запобігти випаданню діафрагми з кришки корпусу верхньої половини діафрагми при розбиранні турбіни, в кришці в районі горизонтального роз'єму встановлюються стопорні планки.

Випробування діафрагм. Ковані і зварні діафрагми виготовляють зі сталі, полотно і обід зі сталевими залитими лопатками - з чавуну. Діафрагми піддають випробуванням на прогин з метою перевірки міцності і жорсткості з'єднання обода і полотна за допомогою лопаток.

Критерієм оцінки при випробуваннях служить величина стрілки прогину, яка залежить від парового навантаження, що виникає при роботі діафрагми в натурних умовах. При випробуваннях в цеху парове навантаження замінюють зосередженою силою.

Ущільнення турбомашин

Призначення і принцип дії. Щоб уникнути протікання робочого тіла між валом і корпусом турбіни і підсосу повітря в корпус (якщо тиск в ньому нижче атмосферного) в місцях проходу вала через корпус ставлять ущільнення, які називають кінцевими (зовнішніми).

Для зменшення протікання робочого тіла між валом, проміжними і розділяючими діафрагмами ставлять ущільнення, які називають діафрагмовими або внутрішніми; до них відносяться також ущільнення думисів.

Бандажні ущільнення служать для зменшення протікання пара між корпусом турбіни і робочим вінцем.

Зазвичай ущільнення складаються з декількох послідовних кільцевих щілин і камер (рис. 3.3*в*). Пар, що надійшов в ущільнення, при проході через першу щілину втрачає частину тиску і набуває швидкість. У камері за першою щілиною швидкість повністю втрачається, ентальпія пара підвищується до вихідного значення. Тиск вздовж лабіринту падає, а питомий обсяг зростає. Це ж відбувається в наступних лабіринтах.

Витрата пари через лабіринтове ущільнення визначається перепадом тисків, який припадає на одну щілину, а він становить лише невелику частку загального перепаду тисків. Це і забезпечує невеликий витік пара.

Класифікація. За місцем розташування ущільнення турбін і турбокомпресорів діляться на кінцеві, діафрагмові та бандажні. За принципом дії розрізняють ущільнення лабіринтові, контактні (вугільні) і лабіринтово-контактні.

За принципом розташування зазорів ущільнення ділять на осьові, радіальні і радіально-осьові. За родом робочого тіла розрізняють ущільнення парових турбін, газових турбін та компресорів.

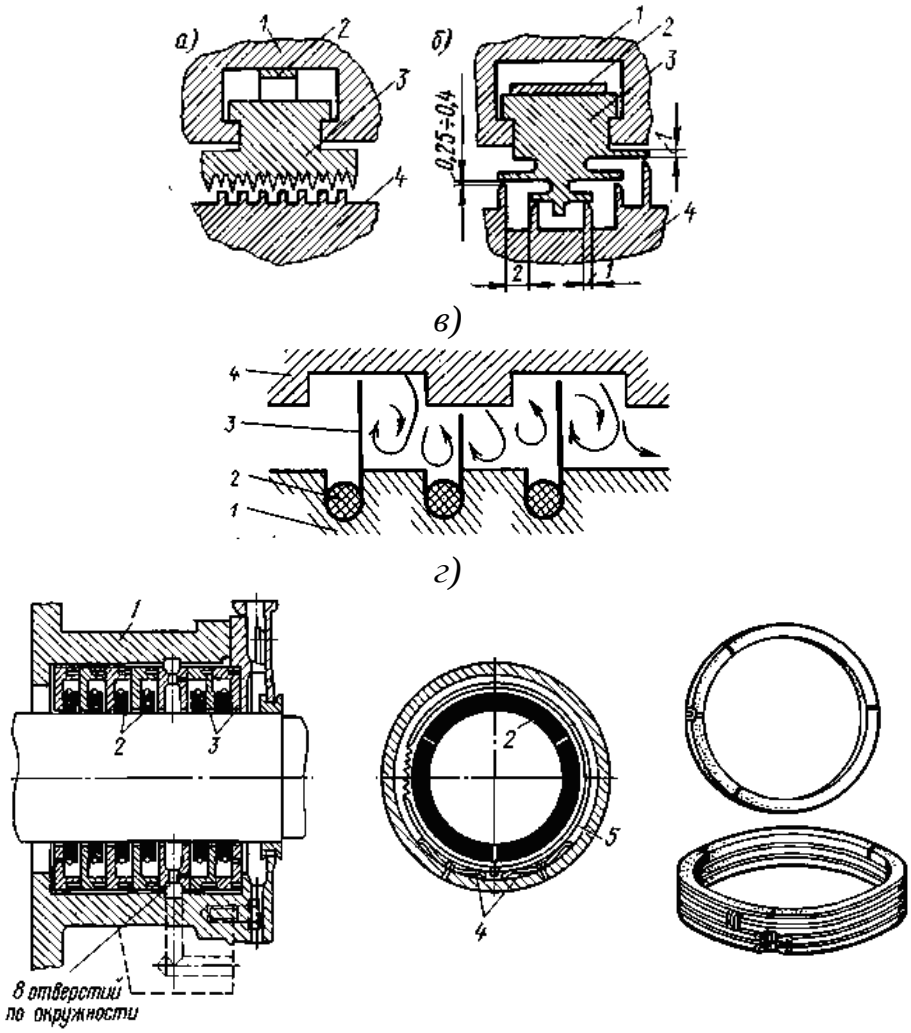


Рис. 3.3. Конструкції деяких ущільнень:
а) - лабіринтове ущільнення:
1 – корпус; 2 - стрічкова пружина; 3 - ущільнювальний сегмент; 4 – ротор;
б) - ялинкове ущільнення:
1 – корпус; 2 – пружина; 3 - лабіринти ущільнення; 4 - ротор;
в) - ущільнення фірми «Броун-Бовері»:
1 – ротор; 2 – кільця; 3 – ножі; 4 – корпус
г) - вугільне ущільнення:
1 - корпус; 2, 3 - вугільні кільця; 4 - пружини, 5 - спіральна пружина

Конструкція. На рис. 3.3 зображена конструкція деяких ущільнень.

У головних суднових турбінах застосовують лабіринтові ущільнення, в турбінах допоміжних механізмів - вугільні.

Зазвичай ущільнення складаються з окремих сегментів з виточеними гребенями або зачеканеними ножами. Сегменти утримуються в правильному положенні плоскими пружинами. Стики оброблені шабруванням, зазори між стиками в нагрітому стані вибираються. Пружини забезпечують податливість сегментів при зачіпанні.

У вітчизняних суднових турбінах знайшли застосування гребінчасті, рідше ялинкові лабіринтові ущільнення з односторонніми і двосторонніми

ялинковими профілями. Ялинкові ущільнення відрізняються компактністю, але складні у виготовленні.

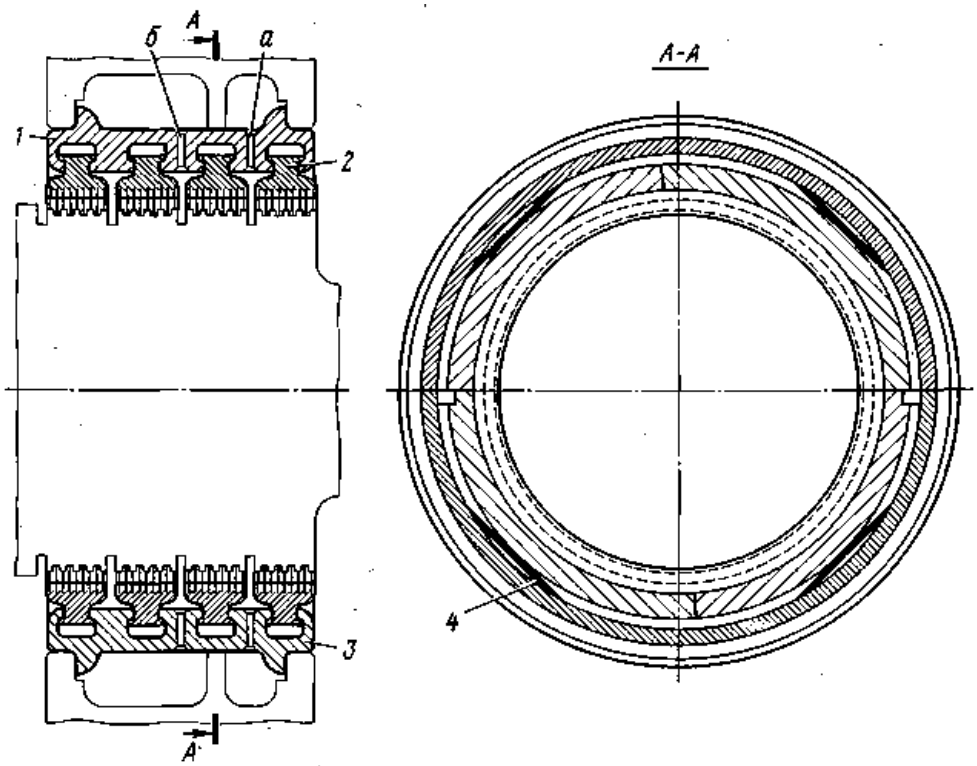


Рис. 3.4 Ущільнювальна коробка турбіни ПТГ ТД-400

Для допоміжних турбін часто застосовують вугільні ущільнення, що складаються з декількох графітових кілець, укріплених в спеціальних обоймах. Недоліки вугільних ущільнень - складність конструкції, їх швидке зношування, часті заміни, складність пригону і збірки, непридатність в умовах високих окружних швидкостей (вище 35 - 40м/с) і високих температур (вище 300°С), необхідність періодичних перебирань для огляду і заміни кілець.

Іноді використовують лабіринтово-вугільні ущільнення, де основне ущільнення - лабіринтове.

Для газових турбін та компресорів застосовують лабіринтове ущільнення такого ж типу, як для парових турбін. Іноді для зменшення протікання використовують спеціальні керамічні кільцеві вставки в корпусі.

Ножі під час роботи притираються до кільця з мінімальним зазором.

Ущільнення у зв'язку з малим перепадом тиску перед діафрагмою і за нею мають невелику кількість лабіринтів. Сегменти лабіринтових ущільнень виточують з нейзильберу або спеціальної бронзи, які при зачіпанні легко стираються при дуже незначному нагріванні деталей. Ножі виготовляють з латуні або нейзильберу, а для роботи при підвищених температурах - з нікелю.

Паромасловідбійні пристрої. Для запобігання можливості обводнення масла і забруднення конденсату маслом в районі опорних підшипників встановлюють паромасловідбійники або дефлектори.

Конструктивно вони представляють собою такі ж ущільнення, як і кінцеві, з трохи зміненими формами гребенів і способами їх розміщення.

В паромасловідбійному пристрої турбін (рис. 3.5) паровідбійником є гребінь 1, виточений заодно з валом.

При обертанні ротора вологий пар, вступаючи з ущільнення, конденсується і конденсат протікає по валу.

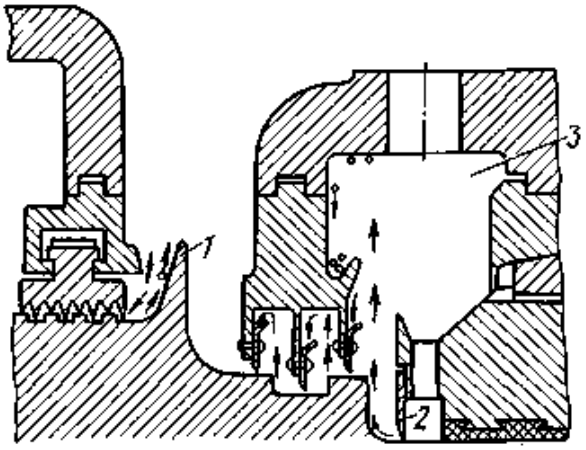


Рис. 3.5. Паромасловідбійний пристрій

Крапельки конденсату підходять до гребеня, скидаються їм і несуться до периферії, не потрапляючи в масло. Масло, витікаючи з підшипників та просочуючись через кільцеву щілину між щитками 2 і валом, дроселюється. Далі, потрапляючи у великі камери 3, масло втрачає швидкість, захоплюється уступом вала, відкидається до периферії корпусу масловідбійника і стікає в зливну порожнину.

Контрольні питання:

1. Призначення діафрагм.
2. Елементи, з яких складається діафрагма.
3. Типи діафрагм за способом виготовлення.
4. Способи установки діафрагми в корпусі і їх ескізи.
5. Заходи для зменшення можливості прикіпання діафрагми в корпусі в осьовому напрямку.
6. Визначте розміри шпонки, яка центрує діафрагму в горизонтальній площині, і нанесіть розміри на ескіз (макет 6).
7. Визначте кількість і діаметр штифтів, які центрують діафрагму в радіальному напрямку (макет 7) і площа прикипання її в осьовому напрямку.
8. Призначення ущільнень.
9. Принцип роботи ущільнень.
10. Класифікація ущільнень.
11. Визначте тип діафрагменних і кінцевих ущільнень на макеті 1 і виконайте їх ескізи.

Лабораторна робота № 4

Тема: «КОНСТРУКЦІЯ ОПОРНИХ ТА УПОРНИХ ПІДШИПНИКІВ».

Мета роботи: - вивчити конструктивну будову опорних та упорних підшипників суднових турбін.

Зміст і порядок виконання лабораторної роботи: - лабораторна робота виконується на турбінних установках ТД 7/1 і LG-II і включає наступні питання:

• ознайомлення з призначенням і принципом дії підшипників;
• вивчення їх конструктивного пристрою;
• вивчення переваг та недоліків різних типів підшипників;
• прилади й пристосування для контролю стану підшипників і положення ротора суднових турбін;

Рекомендується наступна послідовність вивчення:

- студенти знайомляться з досліджуваним матеріалом по рекомендованій літературі (альбоми схем, підручники, навчальні посібники тощо), виконують необхідні вимірювання і аналізують отримані дані, що відносяться до досліджуваного вузла, а потім приступають до вивчення цього ж вузла на матеріальної частини турбінних установок ТД 7/1 і LG-II.

Зміст звіту по лабораторній роботі:

- визначте тип опорних підшипників на макеті 1 і вкажіть яким чином можна змінити радіальне положення ротора цієї турбіни;
- визначте тип підшипника на макеті 2;
- визначте розміри підшипників на макеті 1 (діаметр і довжину) і нанесіть їх на ескіз, а також розміри перерізу маслопідвідних каналів;
- викреслити ескіз упорної подушки на макеті 12;
- визначте кількість і діаметр розвантажувальних отворів на макеті 1.

Опорні підшипники турбомашин

Призначення і принцип дії. Ротор розташований і обертається в опорних підшипниках, які сприймають його вагу і додаткові сили, що виникають при частковому впуску пари, а також при хитавиці. Опорні підшипники забезпечують центрування ротора щодо корпусу турбіни, тобто рівномірність радіальних зазорів по колу в ущільненнях, а також між іншими деталями ротора і корпусу.

До опорних підшипників суднових турбін пред'являються такі вимоги: надійність на всіх режимах переднього і заднього ходу, малий знос і мінімальні втрати на тертя. Конструкція підшипників повинна забезпечувати простоту виготовлення, зручність розбирання і збірки, зручність обслуговування.

Конструкція. За способом установки вкладишів розрізняють жорсткі і самоустановлювальні підшипники, по типу тертя - підшипники ковзання і кочення.

Підшипники кочення застосовують для газових турбін, компресорів, допоміжних парових турбін зважаючи на значно менші втрати на тертя, простоти догляду та заміни. У головних суднових турбоагрегатах з урахуванням конструктивних особливостей та умов експлуатації використовують підшипники ковзання.

Підшипники розташовують у стільцях турбіни, які беруть на себе всі сили, прикладені до підшипника, і передають їх судновому фундаменту. Вкладиші жорстких підшипників мають циліндричну зовнішню поверхню і нерухомі; вони застосовуються при порівняно коротких роторах. У разі прогину вала збільшується тиск шийки на кінцеві ділянки вкладишів, які швидко зношуються.

Цього недоліку позбавлені самоустановлювальні підшипники. Їх вкладиші мають сферичну опорну поверхню і можуть повертатися у вертикальній площині (рис. 4.1).

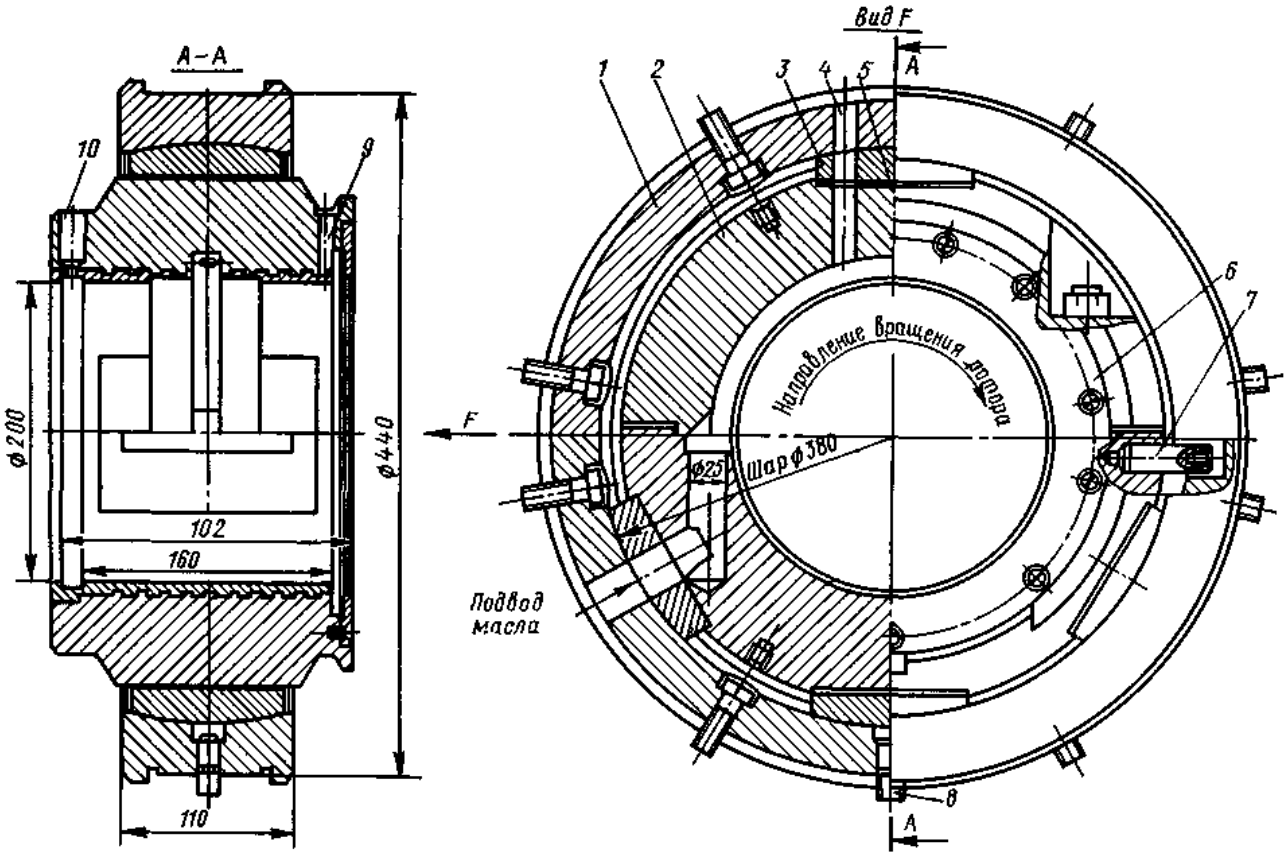


Рис. 4.1. Самоустановлювальний опорний підшипник
1 - обойма; 2 - вкладиш, 3 - сухар, 4 - отвір для мастиловказівника;5 - прокладка; б - щиток; 7 - стопорний штифт; 8 - центруючий штифт;9 - отвір для мікрометра: 10 - отвір для термометра

У вирізи вкладишів вставлені сухарі, які кріпляться до вкладишу гвинтами впотай і штифтами. Між сухарями і вкладишем встановлена прокладка, за допомогою якої здійснюється центрівка ротора. Сферична поверхня сухарів спирається на сферу полуобойми, прикріпленою гвинтами до циліндричного ложу стільця.

Верхній сухар сферичною поверхнею спирається на сферу в кришці підшипника. Верхня і нижня половини вкладиша з'єднані болтами, вкладиші від провертання утримуються штифтами.

Вкладиш підшипника - сталевий, з внутрішньої поверхні облицьований бабітом марки Б83. Товщина заливки після обробки складає 1,5-2,0мм.

Масло для змащення й охолодження підводиться безперервно під тиском 0,06 - 0,2МПа через спеціальні канали, розташовані в нижній половині підшипника поблизу горизонтального роз'єму. Температура масла на вході у підшипник 40 - 45°С, на виході - 65°С. У підшипнику передбачені спеціальні отвори для термометрів.

Підшипники мають масловідбійні кільця лабіринтового типу, що складаються з двох половин; масло яке просочилося стікає по спеціальних каналах. Передбачено отвір для штатного мікрометра для виміру просідання ротора.

Вкладиші з середини залиті бабітом товщиною 1 - 4мм, надмірний знос або виплавка бабіту призводять до поломки турбін.

Упорні підшипники турбомашин

Призначення і принцип дії. Упорні підшипники суднових, парових, газових турбін та компресорів служать для сприйняття осьового зусилля і для фіксації валу в осьовому напрямку. Осьові зусилля змінюються по величині і напряму зі зміною режиму роботи турбіни і напрямком руху судна. Навантаження на упорні підшипники в сучасних суднових турбінах може досягати понад 100кН.

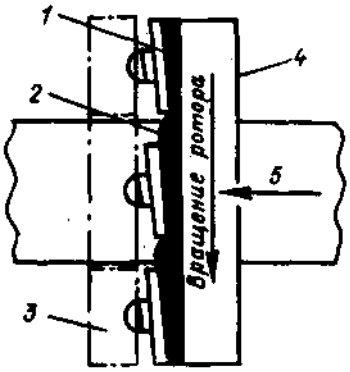


Рис. 4.2 Принцип дії одногребенчастого упорного підшипника
1 - упорна подушка, 2 - масляний клин, 3 - нерухома обойма;
4 - упорний гребінь, 5 - осьове зусилля

Упорный підшипник складається з гребеня, викуваного разом з ротором, або знімний, упорних подушок, розташованих по обидві сторони гребеня які спираються на нерухому опору так, що вони можуть нахилятися під деяким кутом до площини гребеня. Розташування упорних підшипників по обидва боки упорного гребеня забезпечує незмінне осьове положення ротора при зміні напрямку обертання. У сучасних турбінах застосовують тільки одногребенчасті упорні підшипники.

У стані спокою робоча площина подушки розташована паралельно площині гребеня (рис. 4.2). При пуску турбіни гребінь силою тертя затягує масло в зазор між подушкою і гребенем, причому подушка має скіс, який полегшує підсос масла в початковий період.

У міру збільшення частоти обертання ротора під дією осьової і гідродинамічних сил подушка повертається, утворюючи масляний клин. Масло до сегментів подається через отвори, розташовані в нижній половині обойми. Вихід масла з підшипника проводиться зверху, тому упорний підшипник завжди заповнений маслом. Підшипник має від 8 до 12 сегментів.

Упорні гребні виковуються з м'якої вуглецевої сталі марок Ст. 15 або Ст. 20 з подальшою цементацією і загартуванням для забезпечення високої поверхневої твердості і необхідної в'язкості.

Упорні подушки виготовляються з фосфористої бронзи або марганцевистої латуні і зазвичай заливають бабітом Б83. Товщина шару бабіту (1,2-2мм) повинна бути менше осьових зазорів у проточній частині, щоб у разі виплавлення бабіту не відбулося зачіпання робочих лопаток о нерухомі частини статора.

Класифікація. По конструкції розрізняють наступні види упорних підшипників:

- жорсткі, у яких упорна обойма встановлена жорстко в корпусі;
- самоустановлювальні зі сферичними обоймами, які мають можливість повороту слідом за гребенем;
- самоустановлювальні з зрівняльним пристроєм для вирівнювання тиску на сегментах;
- опорно-упорні комбіновані.

Конструкція. Жорсткий упорний підшипник (рис. 4.3) складається з кованого гребеня, жорстко насадженого на вал ротора на шпонці і застопореному гайкою. З обох сторін гребеня розташоване по вісім бронзових упорних подушок, залитих шаром бабіту.

Подушки впираються в сталеві розжарені пальці, щільно вставлені в гнізда сталевих обойм. В гніздо подушки палець входить з зазором, внаслідок чого подушка може злегка повертатися на сферичній поверхні пальця.

Кожна обойма виконана з двох половин, причому нижня поміщається в ложі стільця, а верхня в кришці підшипника. Для установки і кріплення кришки служать шпонки і шпильки. Для виходу повітря при щільній постановці пальця, а також для вибивання пальця при розбиранні є спеціальні отвори.

Регулювання осьового зазору в підшипнику, а отже, і осьових зазорів у проточній частині турбіни здійснюється шляхом зміни товщини прокладок.

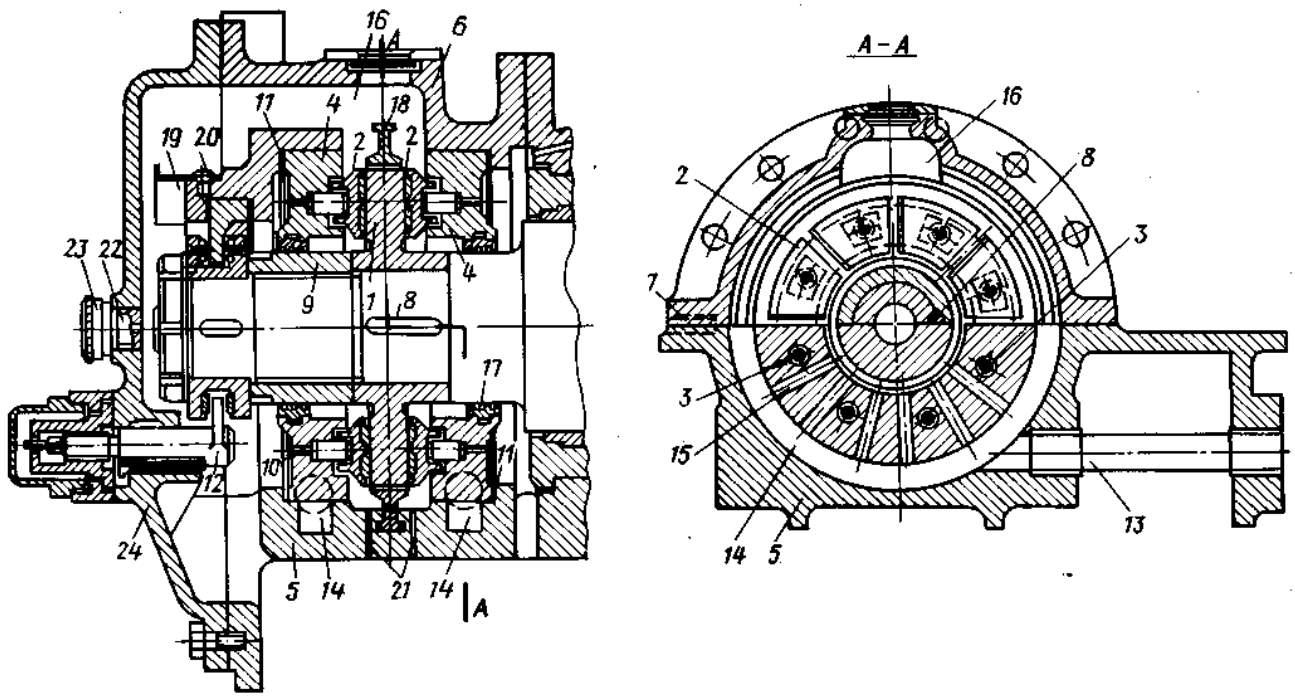


Рис. 4.3 Жесткий упорний підшипник
1 — упорний гребінь; 2 — упорні подушки; 3 — пальці; 4 — обойма; 5 — стілець; 6 — кришка, 7, 8 — шпонки; 9 — гайка; 10 — отвір; 11 — прокладки; 12 — пристосування для переміщення ротора; 13 — трубка для підведення масла; 14, 15 — канали; 16 — порожнина; 17 — ущільнення; 18 — масловідбійник; 19 — обтічник; 20 — гвинт; 21 — отвір для зливання масла; 22 — втулка; 23 — кришка; 24 — корпус

Осьове переміщення ротора здійснюється вручну за допомогою спеціального пристосування. Масло підводиться по трубках і через канали в нижніх напівобіймах надходить в кільцеві зазори між валом і обоймами. Далі під дією сил тертя об гребінь, а також відцентрових сил масло проходить через клинові зазори між гребенем і подушками і стікає в зливну камеру стільця турбіни.

Гребінчасті ущільнення перешкоджають вільному протіканню масла назовні. Навколо гребеня підшипника з зазором 1мм встановлений складений з двох половин кільцевий масловідбійник, щоб масло не захоплювалося гребенем в обертальний рух і не спінювалося. Обтічник перешкоджає попаданню масла на обертовий кінець вала ротора і також захищає масло від спінювання. Для зливу масла і осушення підшипника передбачений спеціальний отвір.

Самоустановлювальний упорний підшипник (рис. 4.4) з зрівняльним пристроєм має приблизно таке ж призначення.

Відмінність його полягає в тому, що гребінь через масляний клин передає тиск на упорні подушки, які, спираючись на натискні подушки, передають його на зрівняльні (балансирні) подушки, а ці подушки через обойми - на корпус турбіни.

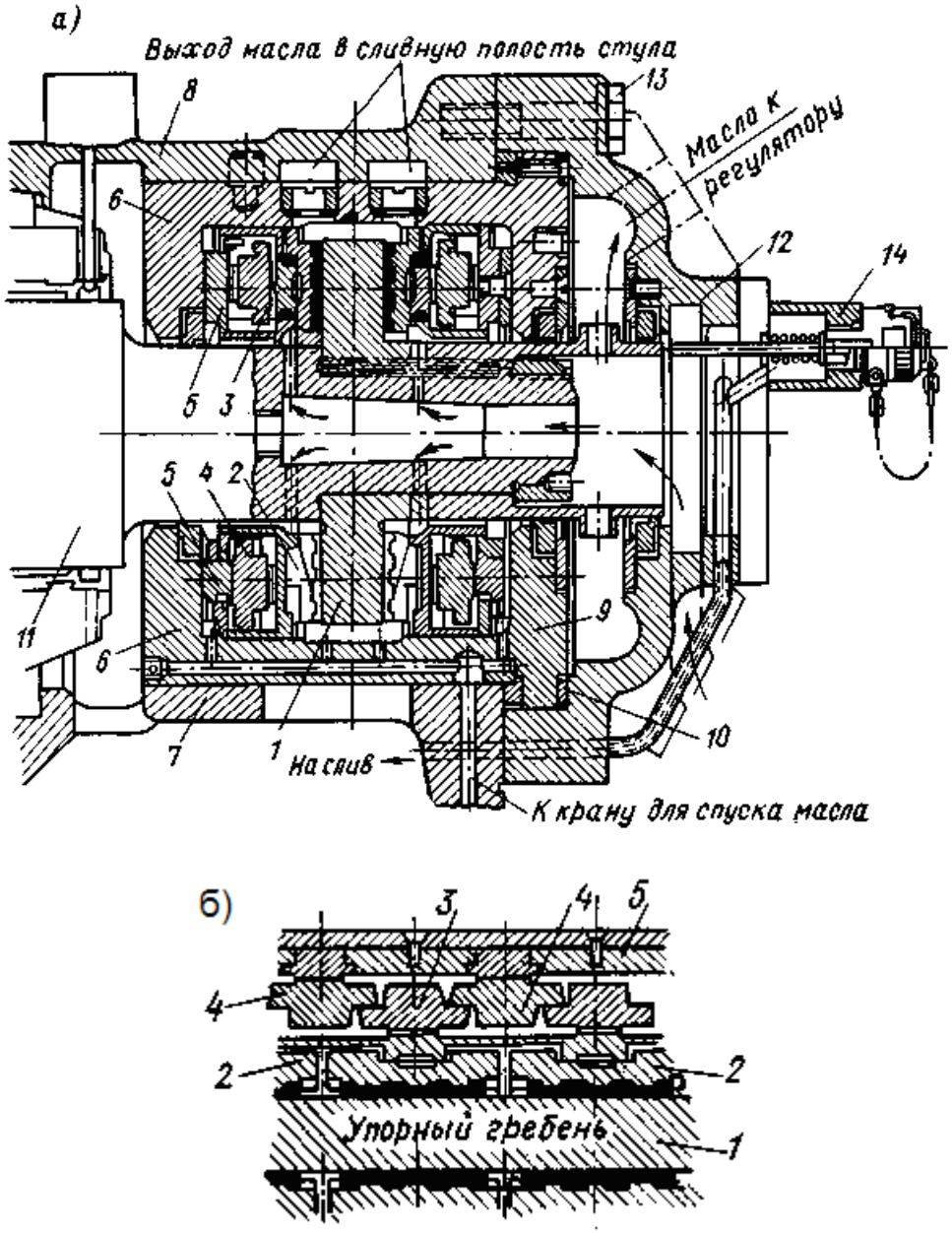


Рис. 4.4 Самоустановлювальний упорний підшипник з зрівняльним пристроєм:
а) - повздовжній розріз; б) - схема зрівняльного пристрої
1 - упорний гребінь, 2 - упорні подушки, 3 - натискні подушки, 4 - зрівняльні подушки, 5 - обойма; 6 - напівкорпус; 7 - стілець, 8 - кришка; 9 - фланець; 10 - прокладка; 11 - ротор; 12 - кришка; 13 - болти; 14 - покажчик осьового положення ротора

Підведення масла здійснюється від центру до периферії, окремо для переднього і заднього ходу. Вихід масла на злив зверху також роздільний.

Гідність такого упорного підшипника полягає в тому, що при прогинах вала ротора тиск на упорні подушки продовжує розподілятися рівномірно, завдяки чому виключається пошкодження тертьових поверхонь подушок і гребеня.

Це досягається тим, що більш навантажена подушка трохи втоплена і за допомогою натискних і зрівняльних подушок притискає до гребеня сусідні упорні подушки.

Упорні підшипники важких ГТД мають таку ж конструкцію, як підшипники парових турбін. У ГТД авіаційного типу зазвичай застосовують упорні підшипники кочення (кулькові), які сприймають як радіальні, так і осьові зусилля (рис. 4.5).

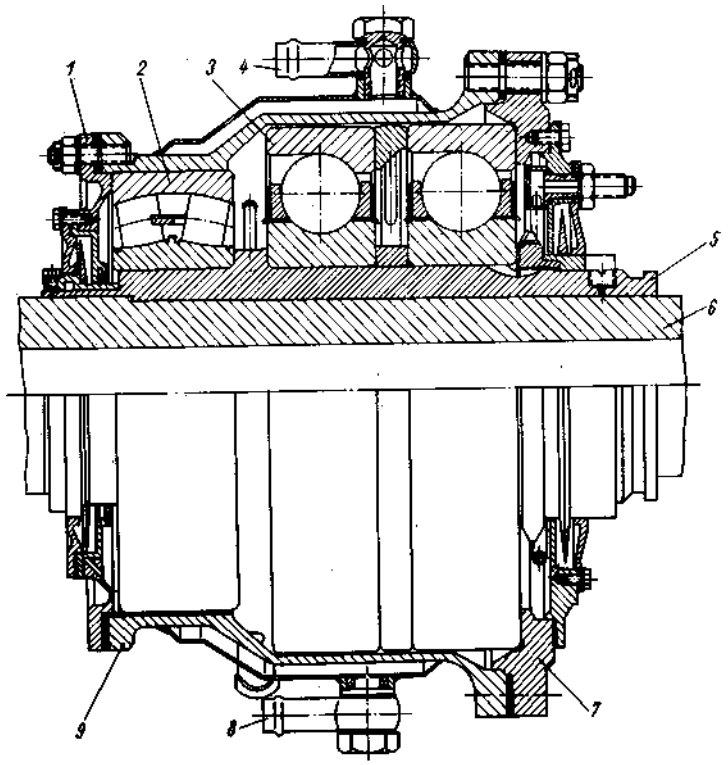


Рис. 4.5 Опорно-упорний підшипник ГТД

1 - передня кришка, 2 - опорний підшипник, 3 - спарений упорний підшипник, 4 - штуцер для підведення охолоджувальної води; 5 - втулка, 6 - вал рушія; 7 - силова кришка; 8 - штуцер для відводу води; 9 - корпус підшипника

У порівнянні з підшипниками ковзання підшипники кочення ГТД мають меншу масу і габарити, на змащення і охолодження витрачається менше масла. Разом з тим вони більш чутливі до динамічних навантажень.

Для визначення осьового положення ротора, а також осьового зазору в підшипниках (масляний зазор в упорних підшипниках коливається в межах 0,2 - 0,6мм) служить мікрометр, який ввертається в мікрометричну втулку, встановлену в торцевій кришці корпусу підшипника.

Під час роботи турбіни мікрометрична втулка закрита кришкою.

Мікрометричні покажчики встановлюються на ГТЗА і на допоміжних механізмах.

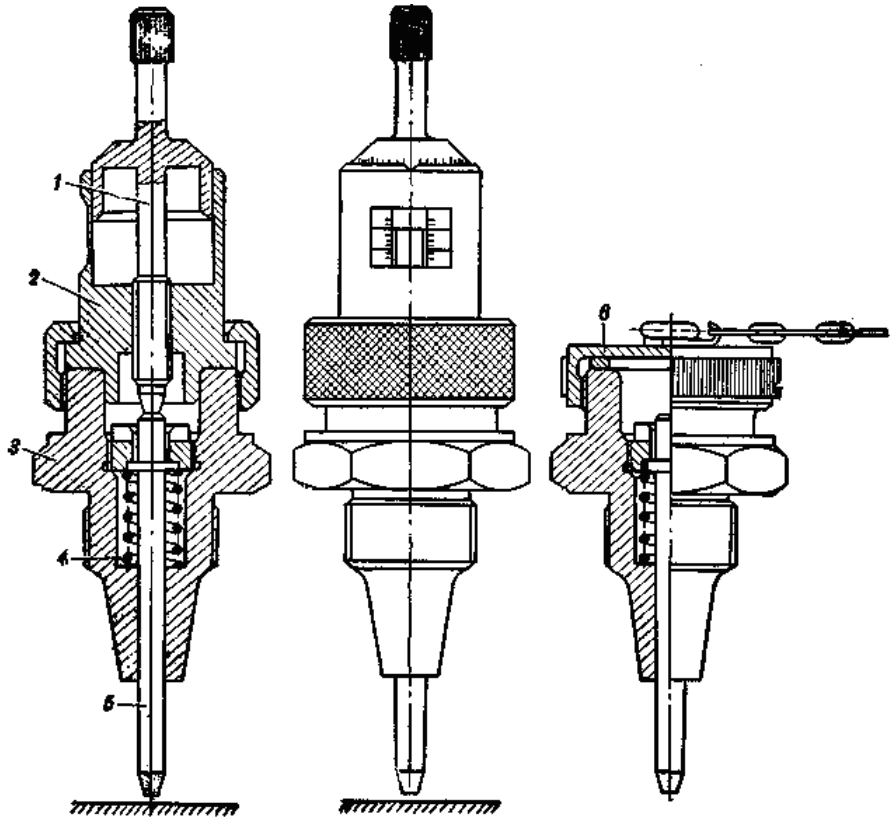


Рис. 4.6 Мікрометричний покажчик:
1 - мікрометричний гвинт, 2 - корпус; 3 - обойма; 4 - пружина;
5 - стрижень; 6 - ковпачок

Покажчик (рис. 4.6) має наступний пристрій. У корпус турбіни ввернута обойма, що має стержень і пружину, подібні відповідним вузлам пальцевого покажчика. В неробочому стані пружина віджимає стержень від ротора, а обойма закривається захисним ковпачком.

Для виміру ковпачок знімають, в росточку обійми закладають мікрометр, притискають його в обоймі гайкою і завертають до кінця мікрометричний гвинт. У проміжках між вимірами мікрометричний гвинт з гайкою зберігається в спеціальному футлярі.

Контрольні скоби (рис. 4.7) служать для вимірювання положення вала в підшипниках. При вимірах зазорів скоби встановлються перпендикулярно осі вала. Вимірювання положення ротора зводяться до виміру щупом зазорів А, Б і В між шийками вала й виступами скоби.

Після заводських випробувань величини заміряних зазорів набиваються на табличках скоб. Перевірка самої скоби (чи не змінилася відстань між її виступами) періодично проводиться штихмасами, що входять в комплект кожної скоби. При перевірці скоба притискається до шабровочної плити.

При експлуатації ГТЗА необхідно систематичне спостереження за станом упорних підшипників турбін.

Температура масла; яке відходить від упорних підшипників, не повинна перевищувати 60 - 65°С. Різниця температур на виході і вході в підшипник, не повинна перевищувати 20°С.

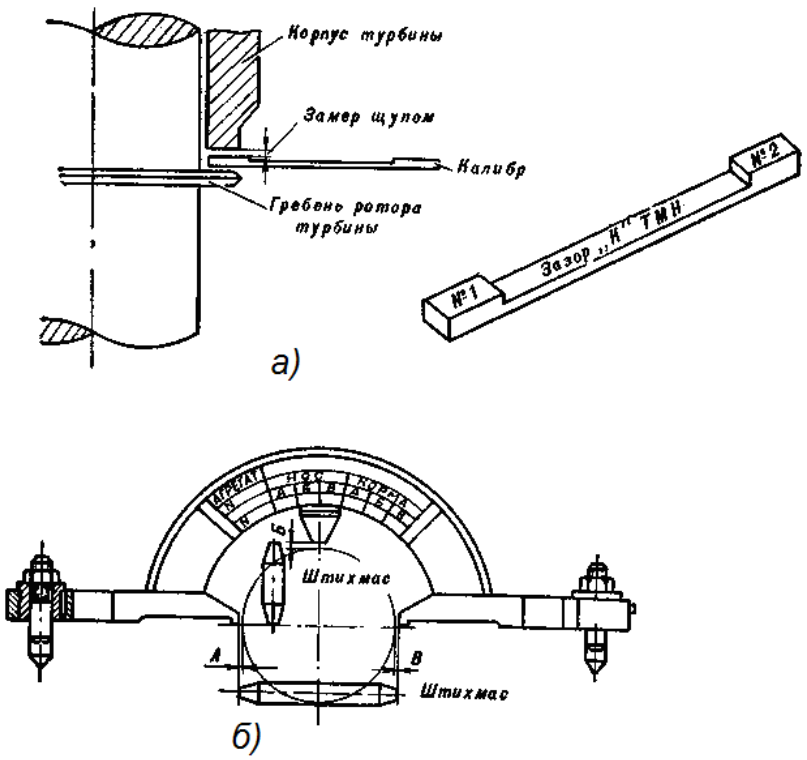


Рис. 4.7. Калібр *(а)* і контрольна скоба *(б)*

Досягнення такого температурного перепаду масла в підшипнику свідчить про гранично допустиме осьове навантаження на підшипник, недостатнє змащення або про несправність підшипника. Обороти ГТЗА в цьому випадку повинні бути знижені, а при подальшому зростанні перепаду температури експлуатація ГТЗА неприпустима.

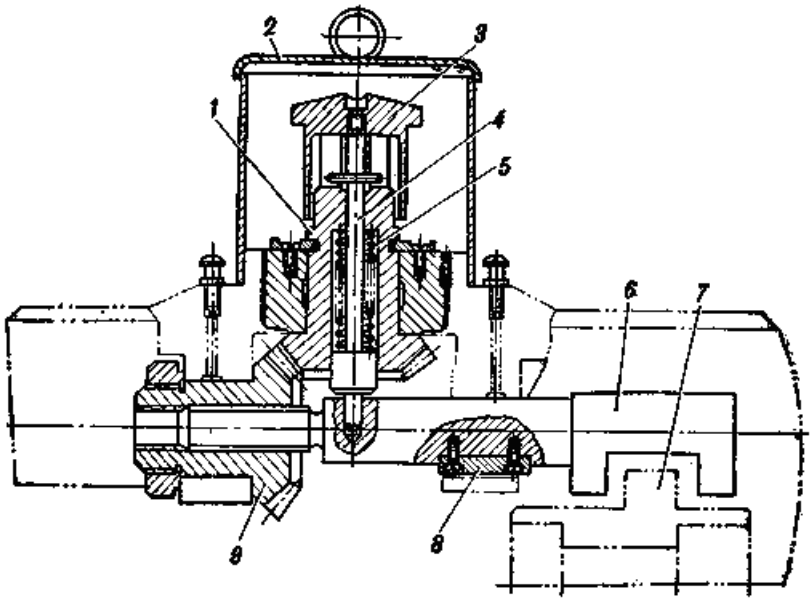


Рис. 4.8 Пристосування для зсуву ротора:
1 - провідна шестерня; 2 - кришка; 3 - ковпак, 4 - фіксатор;
5 - пружина; 5-повзун; 7 - гребінь, 8 - шпонка; 9 - відома шестерня

Масляні зазори в упорному підшипнику визначаються сумарною величиною зазорів між упорним гребенем і упорними подушками по обидві сторони від гребеня. За допомогою спеціального пристосування (Рис. 4.8) ротор зсувається до упору спершу в ніс, а потім - в корму.

Осьове положення ротора щодо статора в обох крайніх положеннях заміряється по мікрометру.

Різниця вимірів називається сумарним масляним зазором в упорному підшипнику або розбігом ротора. Його розмір повинен підтримуватися в межах 0,50 - 0,60мм і не збільшуватися більш ніж на 50% встановленого.

Пристрій для контролю подачі масла до підшипників. Вони бувають різних конструкцій, але принципово не відрізняються одне від іншого.

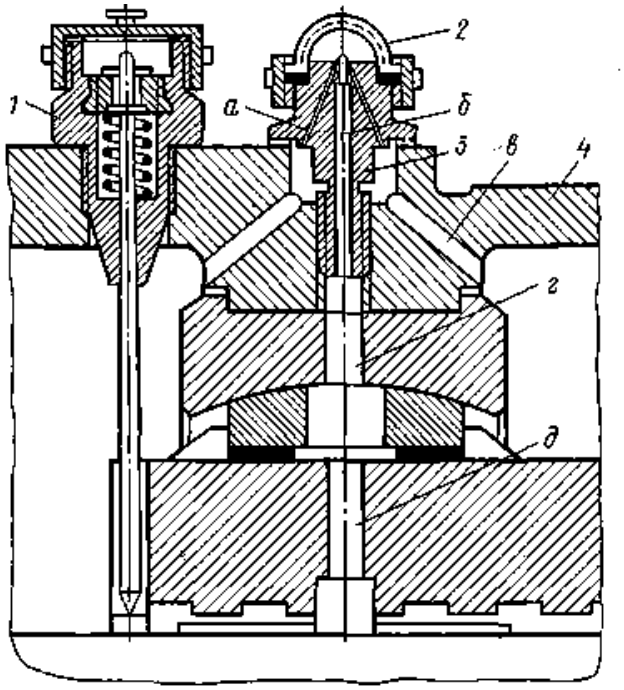


Рис. 4.9 Пристрій для контролю подачі масла до підшипників

Показаний на (рис. 4.9) пристрій кріпиться до кришки 4 корпусу опорного підшипника. Пристрій складається з корпусу 3 з трьома каналами і прозорого ковпачка 2, через який спостерігають за надходженням масла.

Масло надходить під ковпачок по каналам *д, г, б* і зливається по бічних каналах *а* і *в*. Мікрометричний пристрій 1 служить для вимірювання просідання вала ротора або зносу опорних підшипників.

Контрольні питання:

1. Призначення опорних підшипників.
2. Принцип дії підшипників (привести схему).
3. Конструкція жорстких і самовстановлюючихся підшипників (ескізи), переваги і недоліки.
4. Визначте тип опорних підшипників на макеті 1 і вкажіть, яким чином можна змінити радіальне положення ротора цієї турбіни.
5. Визначте тип підшипника на макеті 2.

6. Визначте розміри підшипників на макеті 1 (діаметр і довжину) і нанесіть їх на ескіз, а також розміри перерізу маслопідводящих каналів.
7. Прилади й пристосування для контролю стану підшипника і положення ротора в радіальному положенні.
8. Призначення упорних підшипників.
9. Принцип дії упорних підшипників (схема).
10. Зобразіть ескіз упорної подушки на макеті 12.
11. Конструкції підшипників та їх типи (опис та ескізи).
12. Підведення масла до підшипника.
13. Складові осьового зусилля та заходи для їх зменшення.
14. Визначте кількість і діаметр розвантажувальних отворів на макеті 1.
15. Прилади й пристосування для контролю стану підшипників.

Лабораторна робота № 5

Тема: «КОНСТРУКЦІЯ ПРОТОЧНОЇ ЧАСТИНИ ТУРБІН».

Мета роботи: - вивчити конструктивну будову проточної частини суднових турбін.

Зміст і порядок виконання лабораторної роботи: - лабораторна робота виконується на турбінних установках ТД 7/1 і LG-II і включає наступні питання:

• ознайомлення з призначенням соплових і робочих лопаток;
• вивчення їх конструктивного пристрою;
• вивчення способів кріплення соплових і робочих лопаток;
• вивчення переваг та недоліків різних конструктивних рішень.

Рекомендується наступна послідовність вивчення:

- студенти знайомляться з досліджуваним матеріалом по рекомендованій літературі (альбоми схем, підручники, навчальні посібники тощо), виконують необхідні вимірювання і аналізують отримані дані, що відносяться до досліджуваного вузла, а потім приступають до вивчення цього ж вузла на матеріальної частини турбінних установок ТД 7/1 і LG-II.

Зміст звіту по лабораторній роботі:

- викреслити ескізи конструкцій соплових апаратів перших ступенів;
- визначте ступінь парціальності в першій ступені турбіни на макеті 1;
- визначте крок, висоту і мінімальну ширину соплових каналів на макеті;
- визначте крок напрямних лопаток біля кореня і вершини для останнього ступеня на макеті 2.
- викреслити ескізи хвостових кріплень робочих лопаток;
- викреслити ескізи лопаткових замків.

Проточна частина осьових турбомашин

Конструкція соплових апаратів турбін. Сопловий апарат турбіни призначений для підведення робочого тіла до робочих лопаток першого ступеня. У парових ТВТ сопловий апарат кріпиться до сопловий коробки, яку, як правило, розбивають перегородками на камери. Підведення пару в камери здійснюється через окремі соплові клапани, розташовані у верхній частині коробки. Соплові коробки з'єднані зварюванням з верхньою половиною корпусу в його носовій частині. Сопловий апарат ТСТ і ТНТ кріпиться до паровпускної камери.

По конструкції розрізняють соплові апарати з індивідуальними фрезерованими соплами, збірні, з залитими лопатками, литі і зварні.

У головних суднових парових турбінах зазвичай застосовують соплові апарати першого типу. Індивідуальні цільнофрезеровані сопла набираються безпосередньо в пази соплової коробки або в соплові сегменти, які потім кріпляться до неї. Для кріплення сопла 1 забезпечені у верхній і нижній частині дуговими виступами (фланцями) 2 і 3 (рис. 5.1, а, б).

Збірні соплові апарати (рис. 5.1, в) складаються з цільнофрезерованих соплових лопаток 1 і двох обойм: зовнішньої 2 і внутрішньої 3. Кожна лопатка у верхній і нижній частинах має шип 5 і отвір під заклепку 4 для кріплення в обоймах. Соплові апарати з залитими лопатками (рис. 5.1, г) складаються з лопаток сталевого прокату 1 і тіла сегмента 2, отриманого шляхом заливання верхньої і нижньої частин лопаток чавуном з наступною обробкою. Литі соплові апарати (рис. 5.1, д) є найбільш дешевими, однак труднощі якісної обробки каналів знижує їх ефективність. Зварні сегменти відрізняються від збірних використанням зварювання для з'єднання між собою складових частин. Чотири останніх типи соплових апаратів застосовуються у допоміжних турбінах.

Напрямні та робочі лопатки турбомашин. Напрямні лопатки турбін нерухомо закріплені в корпусі або в діафрагмах (в останньому випадку їх часто називають сопловим). Робочі лопатки кріпляться до дисків або барабану. Розрізняють хвіст лопатки 1, робочу частину (перо) 2 і вершину 3 (рис. 5.2).

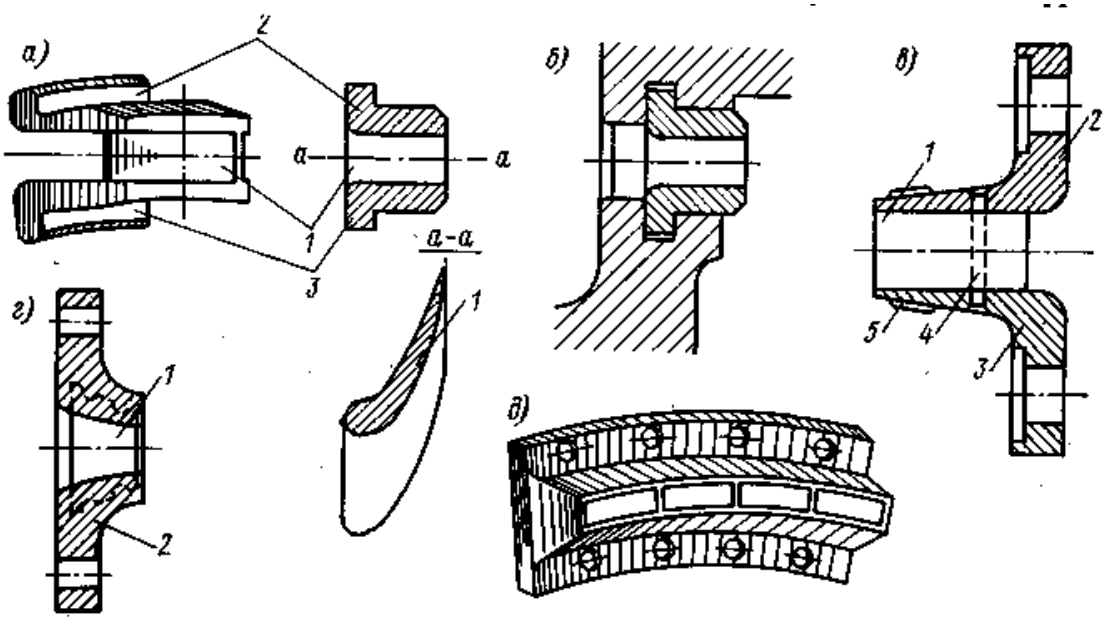


Рис. 5.1. Соплові апарати парових турбін:
а) - індивідуальні фрезеровані сопла; *б*) - кріплення сопел до корпусу;
в) - збірний сопловий сегмент; *г*) - сопловий сегмент із залитими лопатками;
д) - литий сопловий сегмент

Поперечний перетин лопатки в межах робочої частини називають профілем лопатки. Хвіст служить для кріплення лопатки, перо взаємодіє з потоком робочого тіла. Вершину лопатки виконують у вигляді шпильки для бандажа, у вигляді полиці або утоняють.

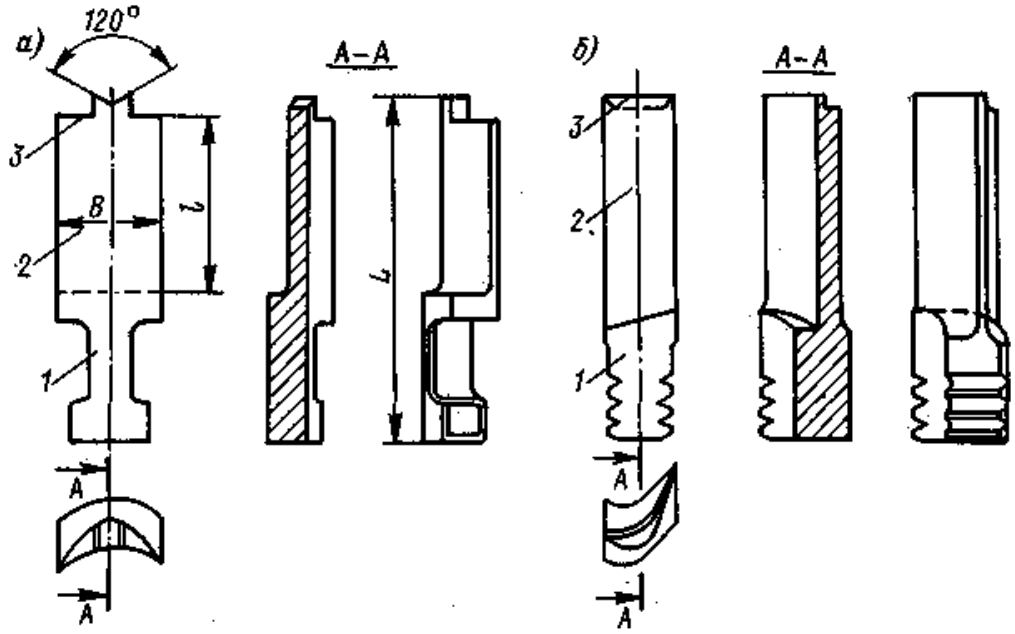


Рис. 5.2. Типи лопаток турбін:
а) — активна; *б)* — реактивна

По характеру робочого процесу розрізняють активні і реактивні лопатки турбін та компресорів (відцентрових і осьових); за формою - лопатки з постійним по довжині і змінним профілем (закручені або гвинтові); за способом сполучення один з одним - лопатки з потовщеним хвостом і лопатки з проміжними тілами; по роду робочого тіла - лопатки парових турбін, газових турбін і компресорів; по температурному режиму - лопатки не охолоджувані і охолоджувані; за способом виготовлення-лопатки фрезеровані, з холодного профільного прокату, штампуванні і литі.

Активні робочі лопатки турбін мають симетричну форму і утворюють канали приблизно постійної ширини. Реактивні лопатки (направляючі і робочі) утворюють звужувальні канали, в яких відбувається розширення і прискорення робочого тіла.

Короткі лопатки виконуються з постійною формою профілю по довжині, довгі лопатки для забезпечення плавного входу робочого тіла по всій довжині - закрученими. Для зменшення напруг розтягнення від відцентрових сил площу профілю такій лопатки зменшують до периферії. Для утворення міжлопаткових каналів лопатки парових турбін виконують з потовщеними хвостами або розташовують між хвостами проміжні тіла.

По конструкції (рис. 5.3) розрізняють хвости погружного типу і хвости верхового типу (надягають зверху). У суднових конструкціях, як правило, застосовують заглиблені хвости.

Напрямні лопатки парових турбін зазвичай мають Т-образні хвости, робочі - Т-образні з буртиком, зубчикові (високонавантажені лопатки) та ялинкові.

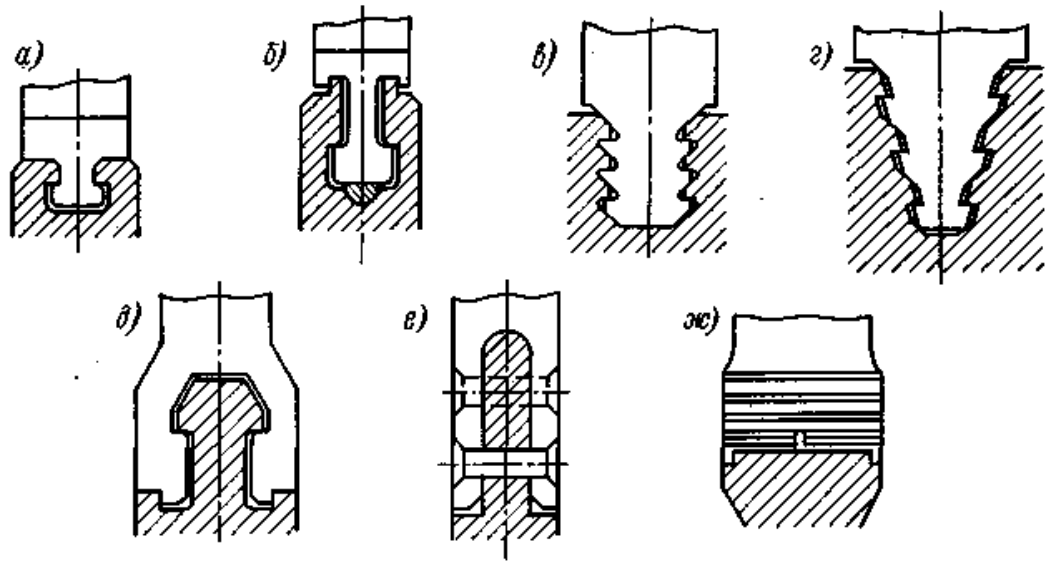


Рис. 5.3. Типи лопаткових хвостів:
а) - Т-подібний; б) - Т-подібний з буртиком; в) - зубчіковий;
г) - ялинковий і верхові хвости; д) - грибоподібний; е) - вильчатий;
ж) - фіксація лопатки за допомогою планки

Ці лопатки через спеціально зроблений колодязь занурюють в корпус або ротор і по кільцевим пазам пересувають до потрібного місця; для кращої фіксації їх внизу іноді підклинюють дротом.

Після встановлення всіх лопаток колодязь закривають замковою лопаткою або замком. Деякі типи замків показані на рис. 5.4.

Якщо під час експлуатації виникне необхідність замінити кілька ушкоджених лопаток, розташованих далеко від замку, дозволяється зробити ще один замок.

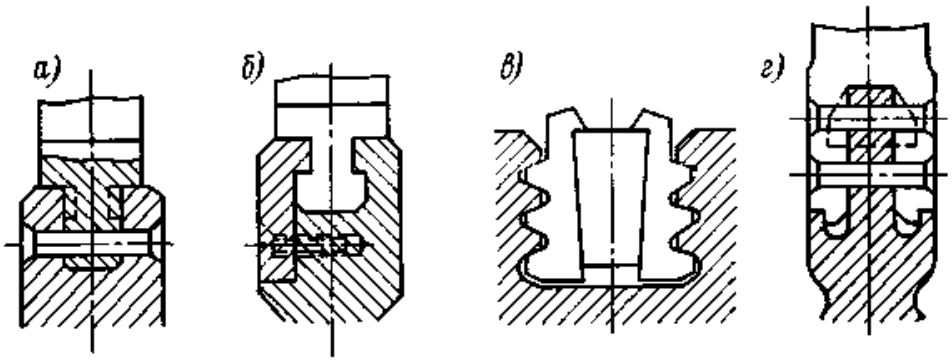


Рис. 5.4. Типи лопаткових замків:
а) - Т-подібний; б) - з боковим вирізом; в) - з розклинюванням;
г) - з верховими грибоподібними хвостами

Робочі лопатки газових турбін зазвичай мають хвости ялинкового типу. Щоб забезпечити можливість теплового розширення, для кожної лопатки передбачають індивідуальне посадочне місце, куди хвіст заводиться з деяким зазором в осьовому напрямку.

Фіксують лопатки за допомогою планки, яка після установки лопатки відповідним чином загинається (див. рис. 5.3, ж).

Лопатки осьових компресорів мають «ластівчин хвіст» і кріпляться в індивідуальних посадочних місцях.

У газових турбінах часто застосовують охолоджувані лопатки; охолоджуючим середовищем зазвичай є повітря, яке підводиться від компресора до диска, а потім до хвостів лопаток. У тілі лопаток виконані канали для охолоджуючого повітря, випуск відбувається через вершину лопаток, а також через отвори або щілини на її поверхні. Охолодження може бути внутрішнім або зовнішнім.

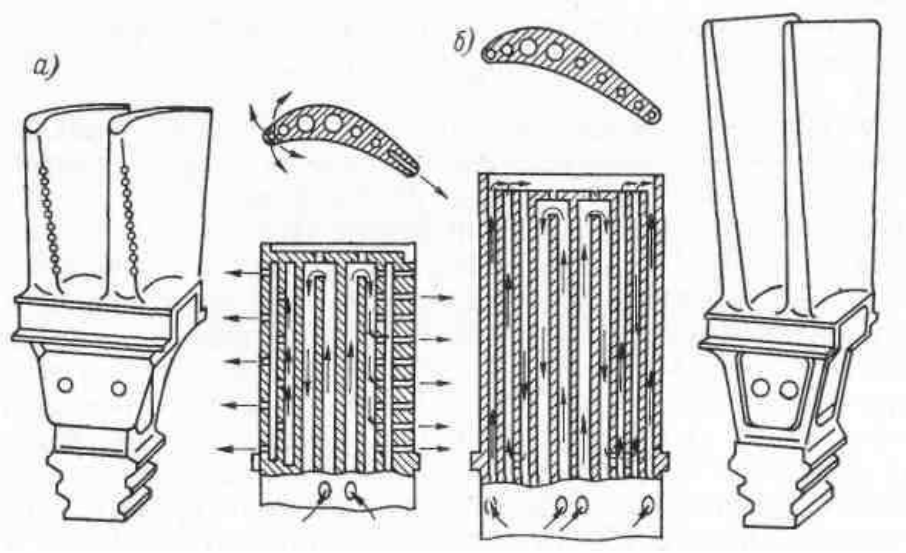


Рис. 5.5 Охолоджувані робочі лопатки газових турбін

Стрічкові бандажі і зв'язковий дріт. Для зменшення вібрації кінці активних лопаток 2 (рис.5.6) об'єднують у пакети по 6 - 12 шт. за допомогою стрічкового бандажа 6. Бандаж надягають на шипи 1, які потім розклепують.

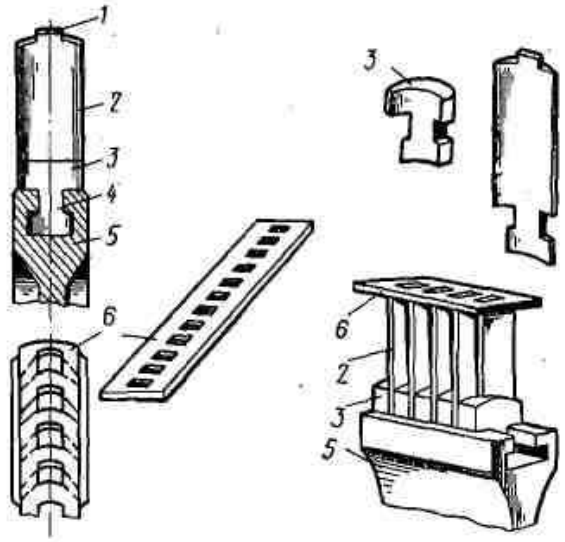


Рис. 5.6 Суцільнотягнені лопатки та їх кріплення на диску

Лопатки мають Т - подібний хвіст 4 в диску 5. Між хвостами лопаток набирають вставки 3. Бандажна стрічка складається по колу з декількох відрізків, між якими є зазори (1 - 2мм) для теплового розширення. Кінці відрізків припаюють до лопаток.

У реактивних ступенях для цієї мети застосовують зв'язний дріт, який протягується крізь отвори в робочій частині лопаток.

Для зменшення амплітуди коливань пакетів між сусідніми пакетами ставлять дротовий місток (демпфер), що представляє собою короткий шматок дроту 1 (рис. 5.7), припаяний до двох-трьох лопаток одного пакета і вільно проходить (з зазором а) крізь отвори двох-трьох кінцевих лопаток сусіднього пакета; під дією відцентрової сили дріт містка притискається до цих отворів. Отвори 2 просвердлені для полегшення постановки містка.

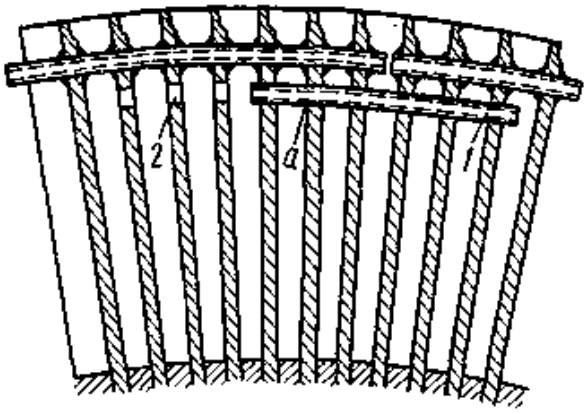


Рис. 5.7 Кріплення дротового бандажа

При відсутності стрічкового бандажа вершини реактивних лопаток утоняються щоб уникнути аварії при зачіпанні.

Робочі лопатки газових турбін зазвичай не мають стрічкового бандажа і зв'язковий дроту. Іноді вершини таких лопаток виконують з полками, які, зближуючись, утворюють бандаж.

Способи виготовлення. Робочі лопатки суднових парових турбін в основному виготовляють фрезеруванням з наступним шліфуванням і поліруванням. Слабонавантажені лопатки іноді виконують суцільнотягнені (з світлокатаних профілів).

Лопатки газових турбін виготовляють з штампованих або литих заготовок і обробляють електрохімічним способом. Потім лопатки шліфують і полірують.

Як матеріал для лопаток компресорів і парових турбін застосовують нержавіючі сталі, для лопаток газових турбін - сплави на нікелевій і кобальтової основі. Для лопаток які працюють при температурі до 450°С, застосовують хромисті нержавіючі стали марок 1Х13 і 2Х13 з вмістом хрому 12 - 14%. марок 15 і 35.

Лопатки перших ступенів ТВТ, що працюють при температурі вище 450°С, виготовляють з сталей зі значним вмістом хрому (10 - 16%), нікелю (0,5 - 38%) і присадками молібдену, ванадію, вольфраму, титану.

Контрольні питання:

1. Конструкція соплових апаратів перших ступенів (ескізи)
2. Призначення соплових коробок.
3. Визначте ступінь парціальності в першому ступені турбіни (макет I).
4. Кріплення та конструкції соплових апаратів проміжних ступенів.
5. Визначте крок, висоту і мінімальну ширину соплових каналів на макеті.
6. Визначте крок напрямних лопаток біля кореня і вершини для останнього ступеня на макеті 2.
7. Конструкції робочих лопаток активних і реактивних ступенів.
8. Мета застосування гвинтових (закручених) лопаток.
9. Мета застосування лопаток змінного перерізу.
10. Типи хвостових кріплень робочих лопаток (ескізи).
11. Лопаткові замки (ескізи).
12. Визначте тип лопаточного замку робочих лопаток на першій одновінковій щаблі макета 2 і приведіть його ескіз.
13. Визначте тип кріплення лопаток на макеті 5 і приведіть ескіз кріплення.
14. Призначення лопаточного і дротяного бандажа.
15. Призначення зазору між сегментами лопаточного бандажа і визначте його величину на макеті 1.
16. Визначте хорду профілю робочих лопаток першого ступеня (макет 2).
17. Визначте висоту робочих лопаток першого і другого вінців на макеті 1 і поясніть, чому вони відрізняються.

Лабораторна робота № 6

Тема: «КОНСТРУКЦІЯ ГАЗОТУРБИННИХ ДВИГУНІВ».

Мета роботи: - вивчити конструктивну будову газових турбін, компресорів та камер згоряння.

Зміст і порядок виконання лабораторної роботи: - лабораторна робота виконується на турбінних установках ТД 7/1 і LG-II і включає наступні питання:

• ознайомлення з призначенням ГТУ промислового та авіаційного типів;
• вивчення їх конструктивного пристрою;
• вивчення схеми та принципу роботи ГТУ промислового типу;
• вивчення схеми та принципу роботи ГТУ авіаційного типу;

Рекомендується наступна послідовність вивчення:

- студенти знайомляться з досліджуваним матеріалом по рекомендованій літературі (альбоми схем, підручники, навчальні посібники тощо), виконують необхідні вимірювання і аналізують отримані дані, що відносяться до досліджуваного вузла, а потім приступають до вивчення цього ж вузла на матеріальної частини турбінних установок ТД 7/1 і LG-II.

Зміст звіту по лабораторній роботі:

- викреслити ескіз газотурбінної установки ГТУ-20;
- викреслити ескіз газотурбінної установки авіаційного типу;
- вивчити типи компресорів, принципи дії, особливості конструкції;
- визначити типи компресорів на макетах 3 і 5;
- вивчити особливості конструкції камер згоряння ГТУ
- визначити розміри проточної частини першого ступеня компресора (висоту робочих лопаток, їх крок, хорду, ширину вхідного і вихідного перерізу на макеті 3.

У суднових енергетичних установках застосовують газотурбінні установки промислового (важкого) і авіаційного (легкого) типів.

Газотурбінна установка ГТУ-20. Як приклад газотурбінної установки важкого типу може служити ГТУ-20, спроектована і виготовлена для суховантажного судна. Установка сумарною максимальною потужністю 9560 кВт складається з двох ГТД, що працюють через загальний редуктор на ВРШ.

На рис. 6.1 представлена схема ГТД. Компресор низького тиску 8, що обертається турбіною низького тиску 7, стискає повітря і через повітроохолоджувач 6, який прокачується забортною водою, подає його в компресор високого тиску 4, який обертається турбіною високого тиску 3. Після КВТ стиснене повітря підігрівається в регенераторі 1 за рахунок теплоти відхідних газів і надходить в камеру згоряння 2.

Частина повітря, що надійшло в камеру згоряння, подається в жарові труби, де відбувається згоряння палива, а інша частина, проходячи між жаровими трубами і охолоджуючи їх, змішується з продуктами згоряння, що утворюються в жарових трубах. В результаті змішування з камери згоряння виходить газ з температурою 750°С. З камери згоряння газ надходить в ТВТ і далі в ТНТ, а потім, пройшовши регенератор і утилізаційний котел, віддаляється в атмосферу.

Потужність ТВТ використовується тільки для приводу КВТ, а потужність ТНТ - для привода КНТ і для обертання ВРШ.

Для запуску ГТУ передбачається пусковий електродвигун 10, з'єднаний з КВТ гідротрансформатором 11 і зубчастою передачею. При запуску установки КВТ розкручується електродвигуном до частоти обертання приблизно 2500 об/хв, після чого в камеру згоряння подається паливо. Повітря засмоктується в КВТ з приймальній частини корпусу КНТ по повітропроводу з протипомпажним клапаном 5, який на початку пуску установки відкритий.

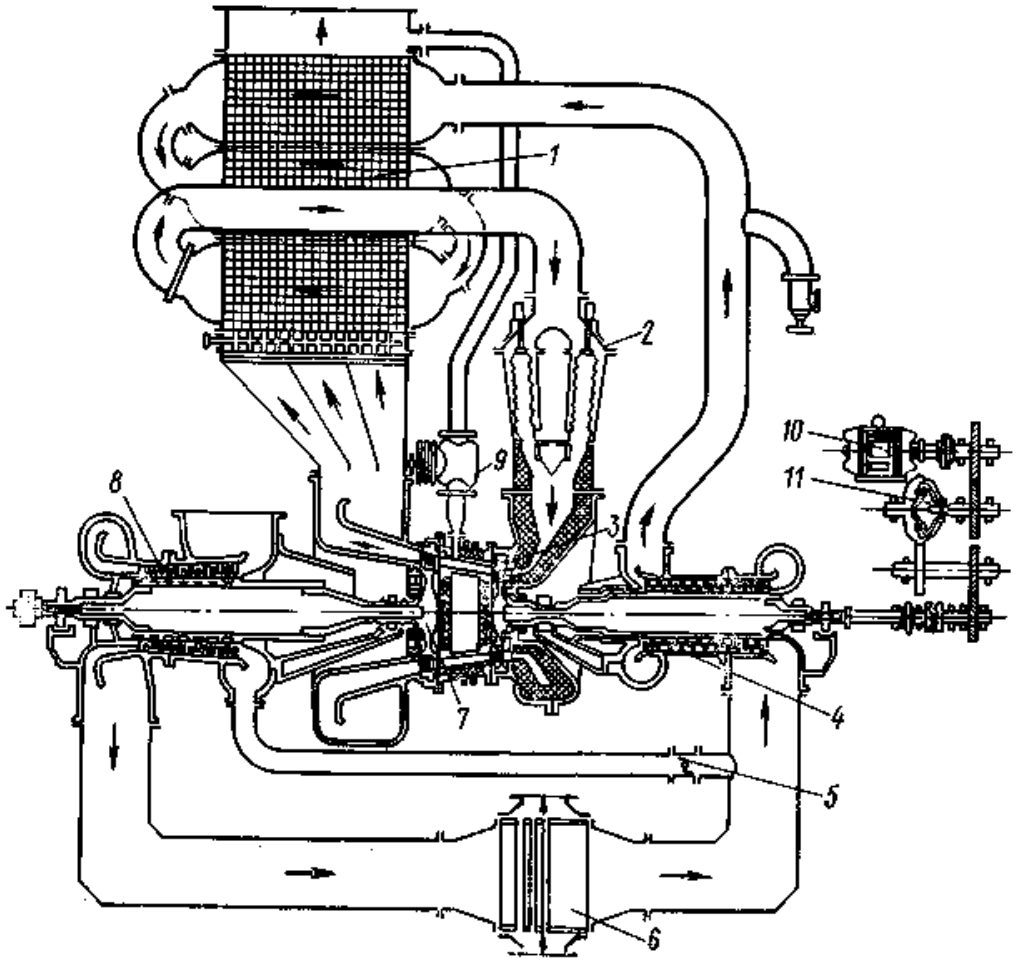


Рис. 6.1 Схема газотурбінного двигуна ГТУ-20

1 - регенератор; 2 - камера згоряння, 3 - ТВТ, 4 - КВТ; 5 - перепускний клапан; 6 - повітроохолоджувач; 7 - ТНТ; 8 - КНТ; 9 - перепускний клапан; 10 - пусковий електродвигун; 11 - гідротрансформатор

Турбокомпресор високого тиску (ТКВТ) складається з 12-ступенчатого осьового компресора і двоступеневої осьової турбіни.

Диск турбіни з двома рядами робочих лопаток консольно закріплений на роторі компресора за допомогою болтів і шліцьового з'єднання. Ротор компресора барабанного типу обертається в двох підшипниках ковзання, осьове зусилля сприймає упорний підшипник з зрівняльним пристроєм. Корпус компресора литий, сталевий, має горизонтальний і вертикальний (технологічний) роз'єми.

Турбокомпресор низького тиску (ТКНТ) складається з шестиступінчастого осьового компресора і двоступеневої ТНТ і в конструктивному відношенні подібний ТКВТ.

Корпус ТВТ подвійний, з ізоляцією між стінками. Корпус ТНТ - одинарний, не охолоджуваний. Обидва корпуси мають горизонтальний роз'єм.

Між корпусами ТВТ і ТНТ вставлений проміжний корпус, який не має горизонтального роз'єму. За останніми ступенями турбін розташовані розвинені дифузори.

Силова ТНТ за допомогою шарнірного з'єднання та гнучкої муфти; компенсує теплові розширення, а також силового вала ротора ТНТ з'єднується з валом шестерні двоступеневої зубчастої передачі. Розглянута ГТУ працює по простому термодинамічному циклу.

Камера згоряння трубчасто-кільцевого типу, розташована вертикально. Регенератор пластинчастого типу виконаний триходовим по повітрю і одноходовим по газу.

На рис. 6.2 схематично представлений газотурбінний двигун легкого типу. ГТД складається з повітрозабірника 1, компресора низького тиску (КНТ) 4, компресора високого тиску (КВТ) 5, камери згоряння 6, ТВТ 7, ТСТ 8, ТНТ (турбіни гвинта) 10. Компресор високого тиску приводиться в обертання турбіною високого тиску, компресор низького тиску - турбіною середнього тиску (вал проходить всередині валу КВТ - ТВТ).

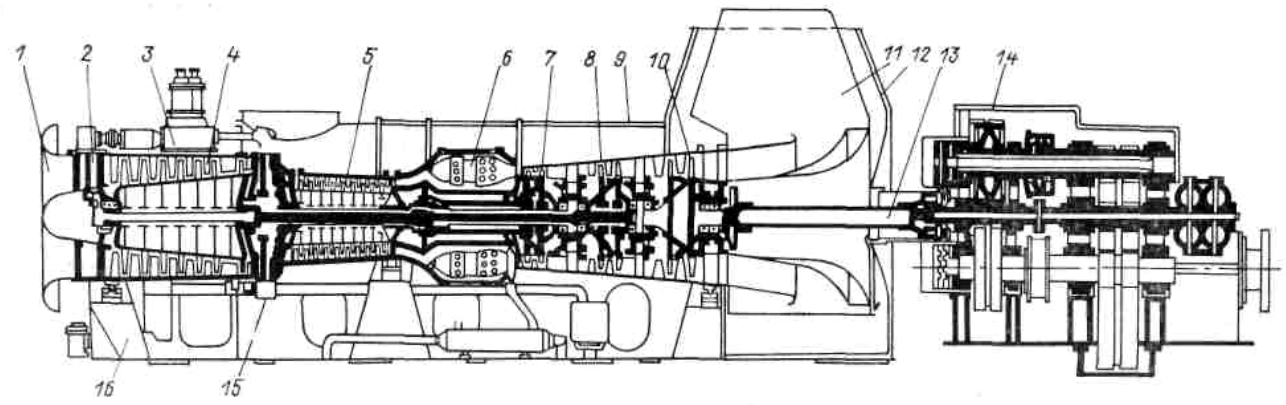


Рис. 6.2 Схема судового газотурбинного двигателя легкого типа

Турбіна гвинта виробляє корисну потужність, яка через ресору 13 і редуктор 14 передається гвинту. Всі три турбіни мають різну частоту обертання.

Для передачі потужності від пускових електродвигунів і для приводу навішаних допоміжних механізмів служать передня 2 і основна 3 коробки приводів. Маслоагрегат 15 також отримує енергію від валу компресора.

Всі елементи ГТД змонтовані на загальній рамі 16. Кожух 12 газовідвідного патрубка 11 сполучається з кожухом двигуна 9. Навколишнє повітря ежектується димовими газами і, проходячи між кожухом і корпусом двигуна, охолоджує ці елементи.

Пристрій і дія осьового компресора. Конструктивна схема осьового компресора зображена на рис. 6.3.

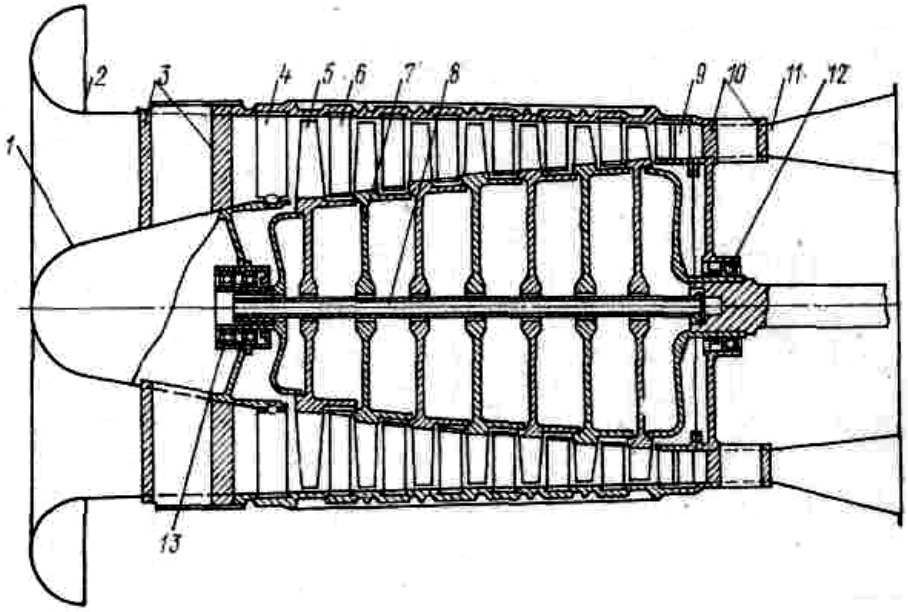


Рис. 6.3 Схема осьового компресора:
1 - передній обтічник; 2 - повітрозабірник, 3 - передня силова стійка; 4 - вхідний направляючий апарат; 5 - робоча лопатка 1-го ступеня; 6 - напрямна лопатка першого ступеня; 7 - секція ротора; 8 - стяжний болт; 9 - вихідний спрямляючий апарат; 10 - задня силова стійка; 11 - дифузор; 12 - опорний підшипник, 13 - опорно- упорний підшипник

Аеродинамічний тракт компресора складається з вхідного пристрою, проточної частини і вихідного пристрою. Ряд робочих лопаток і розташований за ним ряд направляючих лопаток утворюють ступень. Сукупність усіх ступенів називається проточною частиною компресора.

Вхідний пристрій призначений для забезпечення заданих умов входу потоку на робочі лопатки першого ступеня. До його складу входять повітрозабірник, передній обтічник, силові стійки, вхідний направляючий апарат (ВНА).

Вихідний пристрій призначений для додання потоку необхідного напряму і для подальшого підвищення тиску за рахунок зменшення швидкості потоку.

До його складу входять спрямляючий апарат (СА), силові стійки і вихідний кільцевої дифузор. Роль силових стійок можуть виконувати лопатки ВНА і СА.

У компресорах, де використовуються ступені з осьовим входом і виходом, можуть бути відсутні вінці вхідного направляючого і вихідного спрямляючого апаратів.

У компресорах важких ГТД вхідний патрубок виконується у вигляді равлика. Подібним же чином виконаний вихідний патрубок в установках з регенерацією.

В процесі взаємодії обертових робочих лопаток з потоком повітря частина механічної енергії витрачається на підвищення тиску повітря, а частина - на збільшення його кінетичної енергії. В спрямовуючому апараті відбувається подальше підвищення тиску за рахунок зменшення кінетичної енергії потоку.

Перевагою осьових компресорів порівняно з відцентровими є більш високий ККД (85-89%), велика продуктивність і менші діаметральні розміри. До недоліків відноситься мала ступінь підвищення тиску в одній ступені (1,1-1,3), звідси - більше число ступенів, а отже, і велика довжина компресора. Необхідно також відзначити меншу надійність і значне зниження ККД на розрахункових режимах.

Розрізняють такі види осьових компресорів:

1) за швидкістю потоку - дозвукові і надзвукові;
2) за кількістю роторів - одноротрні (однокаскадні) і двороторні (двокаскадні);
3) по конструкції ротора - з роторами дискового, барабанного і змішаного типу;
4) за формою проточної частини - з постійним зовнішнім діаметром коліс, з постійним середнім діаметром і з постійним діаметром втулок.

У суднових ГТД зазвичай застосовують дозвукові компресори з одно-або двокаскадними роторами змішаного типу, КНТ - з постійним зовнішнім діаметром.

Камери згоряння. Камери згоряння призначені для створення газового потоку заданої температури за рахунок спалювання палива.

Схематично камера згоряння являє собою ємність, куди безперервно надходять паливо і повітря і з якої безперервно відводяться продукти згоряння (в циклі з p - const).

У камері згоряння підведене повітря ділиться на два потоки: первинний, що надходить безпосередньо в зону горіння, і вторинний, який підмішується до продуктів згоряння для зниження їх температури до заданої. Крім того, вторинне повітря охолоджує жарову трубу оберігаючи її від перепалу.

По конструкції камери згоряння діляться на трубчасті, багато трубчасті (секційні), кільцеві, трубчасті-кільцеві; по числу форсунок - на одно-, двох-і багато регістрові (пальникові); у напрямку руху потоку - на прямоточні і петльові (з поворотом потоку на 180°); у напрямку розпилювання палива - на камери з розпилюванням по потоку і поперек осі (при використанні обертових форсунок).

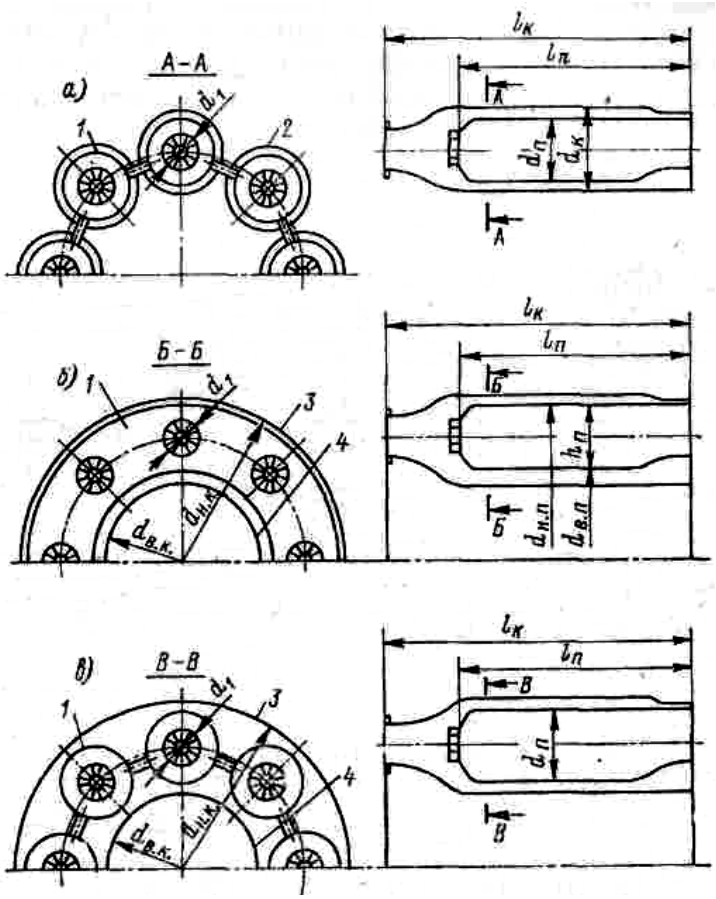


Рис. 6.4 Типи камер згоряння:
а) - багато трубчаста (секційна), б) - кільцева; в) - трубчасто-кільцева
1 - полум'яна труба; 2 - корпус; 3 - зовнішній кожух, 4 - внутрішній кожух

До камер згоряння пред'являються наступні вимоги: високий ККД, малий гідравлічний опір, малі габарити, надійний пуск, стійкість горіння, досить рівномірне поле температур, технологічність, можливо більший термін служби і ін.

Трубчасто-кільцеві камери згоряння більш ремонтопридатні і простіше в доведенні, ніж кільцеві. Недоліком їх є нерівномірність температур і тисків в окружному напрямі перед лопаточним апаратом турбіни. Трубчасто-кільцеві камери згоряння широко застосовуються в корабельних та суднових ГТД.

Регенератори ГТД. Регенератором називають теплообмінний апарат, призначений для підігріву стиснутого повітря перед його надходженням в камеру згоряння за рахунок теплоти відхідних газів.

Вимоги, що пред'являються до регенератора:

- Забезпечення необхідного ступеня регенерації при допустимих гідравлічних опорах і прийнятних габаритах і масі;
- Надійність, зручність в експлуатації, ремонтопридатність;
- технологічність і мала вартість.

Розрізняють дві групи регенераторів. Регенератори першої групи характеризуються передачею теплоти від газу до повітря через поверхню яка їх розділяє, або через теплові труби. В регенераторах другої групи поверхня теплообміну поперемінно обтикається гарячим газом і холодним повітрям, причому в перший період відбувається акумуляція теплоти, у другій - її віддача.

Регенератори можуть бути нерухомими і обертовими.

Нерухомі регенератори по конструкції можна розділити на трубчасті, пластинчасті і з тепловими трубами.

За схемою течії робочого тіла регенератори діляться на апарати з паралельним струмом (зазвичай протитечією) і з перехресним струмом.

Регенератори з перехресним струмом по повітряній стороні, в свою чергу, поділяються на одноходові і багатоходові; по газовій стороні щоб уникнути істотного зростання протитиску за турбіною регенератори виконують одноходовими

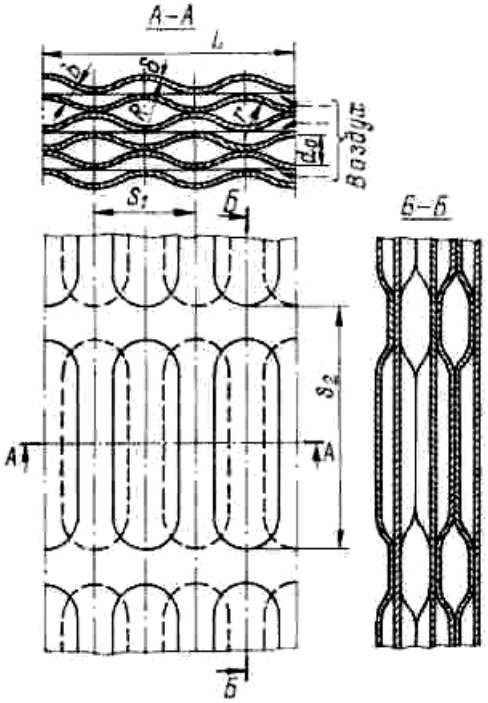


Рис. 6.5 Геометрія поверхні нагрівання пластинчастого регенератора

Останнім часом все частіше використовують пластинчасті регенератори, що відрізняються технологічністю, компактністю і високим теплосємом. Теплопередаюча поверхня такого регенератора складається з профільних пластин - листів, в яких паралельними рядами виштампувані овальні лунки.

Листи попарно зварені контактним способом із зсувом лунок на півкроку, в результаті чого утворюються хвилясті канали. При з'єднанні двох пар листів між ними виходять канали двокутної форми.

Для забезпечення необхідної міцності пакету і найбільш легкого очищення поверхонь повітря зазвичай пропускають по хвилеподібним каналам, а газ - в перпендикулярному напрямку по прямим двокутним каналам (рис. 6.5).

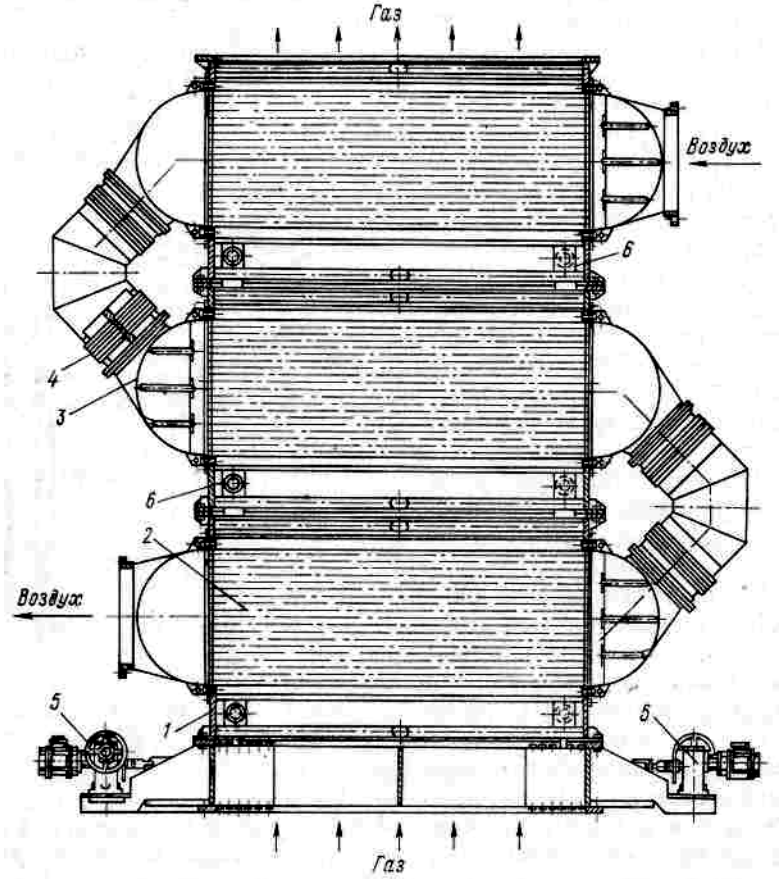


Рис. 6.6 Пластинчастий регенератор ГТУ-10

1 - корпус, 2 - теплообмінна секція; 3 - повітряна кришка, 4 - сильфонний компенсатор, 5 - привід обдувочного пристрою; 6 - труби обдувочного пристрою

Повітроохолоджувачі. Повітроохолоджувачі ГТД призначені для проміжного охолодження повітря. Виконуються зазвичай з оребренними трубками, одноходовими, з перехресним струмом повітря і води, що охолоджує.

Повітроохолоджувач складається із сталевого корпусу, латунних трубних дощок і овальних мідно-нікелевих трубок з припаяними поперечними ребрами з червоної міді.

Кінці трубок мають круглий переріз і закріплені в трубних дошках розвальцюванням. Вода рухається всередині трубок, повітря омиває їх зовні в напрямку великої осі еліпса (рис. 6.7)

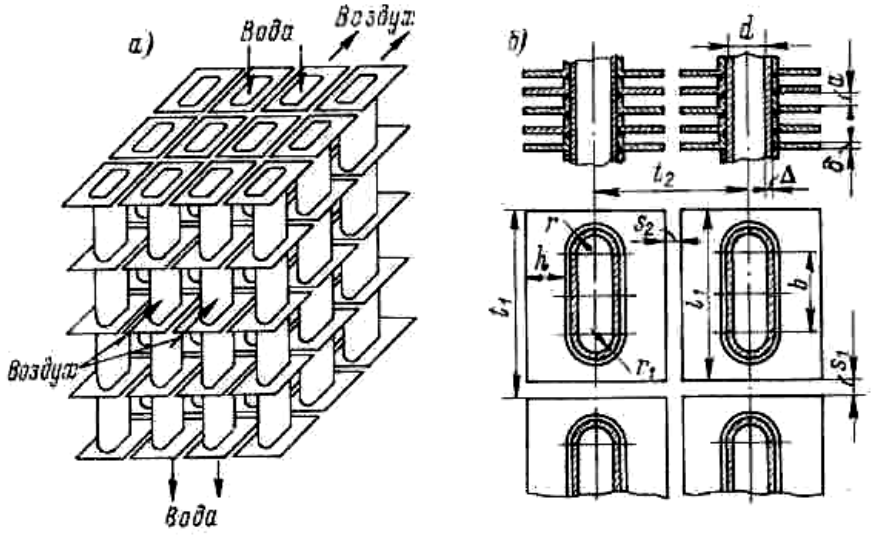


Рис. 6.7 Трубчасто-пластинчастий повітроохолоджувач:
а) - схема, б) - повздовжній і поперечний перетин трубок

У газових турбінах важкого типу застосовують такі види корпусів: одностінні або двохстінні з горизонтальним роз'ємом, схожі по конструкції на корпусі парових турбін. Фланці горизонтального роз'єму таких корпусів більш масивні, ніж стінки, внаслідок чого прогріваються вони при пусках значно повільніше, ніж решта корпусу, що при підтримці термічних напружень у фланцях на допустимому рівні істотно уповільнюють пуск.

У газових турбінах легкого типу застосовують такі види корпусів: тонкостінні корпуси легких ГТД; двохстінні охолоджувані корпуси. У легких ГТД, розрахованих на швидкий пуск, широко застосовуються безраз'ємні корпуси, складені з порівняно тонких кільцевих елементів. При двохстінних корпусах для їх охолодження використовують повітря, яке відбирається з компресора.

У ГТД застосовують ротори консольного типу з одним або двома дисками. Диск отковується разом з валом, або кріпиться тим чи іншим способом до нього.

Ущільнення газових турбін завжди виконуються лабіринтовими, металевими, зважаючи на повну непридатність вугільних ущільнень до роботи при високих температурах.

Конструкції підшипників ковзання, що застосовуються в газових турбінах, нічим не відрізняються від таких у парових турбінах.

У легких суднових газових турбінах широко застосовуються підшипники кочення - кулькові й роликові.

По виду сприйманого навантаження вони бувають радіальні і радіально-осьові. Підшипники кочення зазвичай виконуються з сепараторами, які перешкоджають взаємному тертю кульок і підвищують ККД підшипника, але трохи знижують його вантажопідйомність.

Контрольні питання:

1. Газотурбінна установка ГТУ-20 (схема та опис).
2. Газотурбінна установка легкого типу (схема та опис).
3. Камера згоряння (ескіз, опис).
4 Типи компресорів, принцип дії, порівняльна оцінка (ескізи, опис).
5. Типи регенераторів (ескіз, опис).
6. Визначте тип компресорів на макетах 3 і 5.
7. Визначте розміри проточної частини першого ступеня компресора (висоту робочих лопаток, їх крок, хорду, ширину, ширину вхідного і вихідного перерізів на макеті 3).

Лабораторна робота № 7

Тема: «КОНСТРУКЦІЯ СИСТЕМ, ЩО ОБСЛУГОВУЮТЬ ПТУ та ГТУ».

Мета роботи: - вивчити конструктивну будову та принцип дії систем, що обслуговують паротурбінні та газотурбінні установки.

Зміст і порядок виконання лабораторної роботи: - лабораторна робота виконується на турбінних установках ТД 7/1 і LG-II і включає наступні питання:

• вивчення систем, що обслуговують ПТУ;
• вивчення систем, що обслуговують ГТУ;

Рекомендується наступна послідовність вивчення:

- студенти знайомляться з досліджуваним матеріалом по рекомендованій літературі (альбоми схем, підручники, навчальні посібники тощо), виконують необхідні вимірювання і аналізують отримані дані, що відносяться до досліджуваного вузла, а потім приступають до вивчення цього ж вузла на матеріальної частини турбінних установок ТД 7/1 і LG-II.

Зміст звіту по лабораторній роботі:

- призначення, принцип дії та склад технічних засобів систем,що обслуговують ПТУ та ГТУ;
- викреслити ескіз системи ущільнення та отсосу;
- викреслити ескіз гравітаційної системи змащення ГТЗА;
- викреслити ескіз циркуляційної системи змащення ГТУ;

До систем, що обслуговують паротурбінні агрегати, належать такі системи: управління, регулювання та захисту; укупорки і відсмоктування пари від зовнішніх ущільнень; прогрівання і продування турбін; охолодження конденсатора; відсмоктування повітря з головного конденсатора; масляна.

До систем, що обслуговують газотурбінні агрегати, відносяться: масляна; укупорки ущільнень; охолодження; паливна; управління, регулювання та захисту; пускова.

Система прогрівання і продування турбін. Щоб уникнути зачіпання ротора за статор турбіни повинні бути попередньо прогріті для встановлення теплової рівноваги між обертовими і нерухомими частинами. При прогріванні температурний стан вузлів турбіни рівномірно доводять до рівня, який підтримується під час її роботи.

Турбіни цивільних суден зазвичай прогрівають впуском пара через маневрові клапани (турбіна працює на самих малих стійких оборотах).

Одночасно здійснюють впуск пари в ущільнення через систему укупорки; ротор обертають валоповоротним пристроєм.

Корабельні і деякі суднові турбіни малої маси і великої потужності мають спеціальну систему прогрівання, що складається з труб і каналів, через які гріючий пар вводиться в корпус турбіни.

Під час прогрівання пар, стикаючись з холодними частинами турбіни, конденсується. Для видалення конденсату з порожнин і вузлів ГТЗА служить система продування і дренажів.

Система продування ГТЗА. Головні турбіни і паровпускні клапани мають систему продування, призначену для видалення конденсату з внутрішніх порожнин. Несвоєчасне видалення води призводить до корозії, передчасного зносу деталей, а при роботі турбін - і до гідравлічних ударів, що викликають аварії.

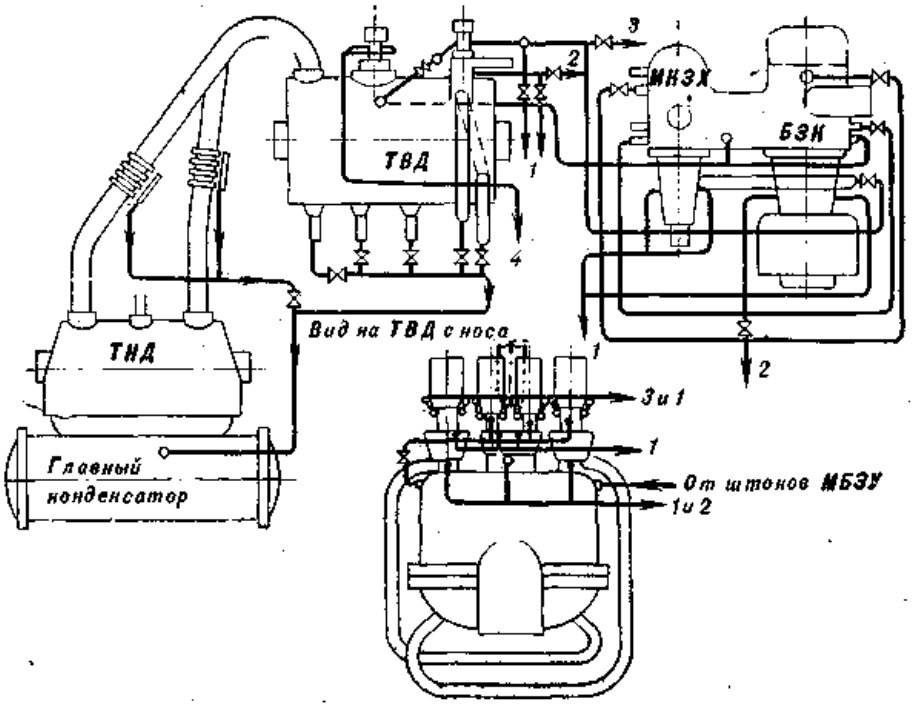


Рис. 7.1 Система продування турбін ГТЗА:
1 — в трюм; 2 — в магістраль продування ВД; 3 — на деаератор; 4 — на зрівняльний колектор

Система продування ГТЗА (рис. 7.1) складається з трубопроводів продування: в трюм 1, на магістраль продування високого тиску 2, на деаератор 3, на зрівняльний колектор 4 на головний конденсатор і на проміжні ступені турбін.

Система охолодження конденсатора. Охолоджуюча забортна вода з донного кінгстонного ящика подається головними циркуляційними насосами до головного конденсатору, підігрівається в ньому і відводиться за борт. В сучасних транспортних судах широко застосовують самопроточну систему, в якій використовується натиск набігаючої води під час руху судна.

В цьому випадку для забезпечення роботи енергетичної установки на задньому і малих ходах встановлюють циркуляційний насос з малою подачею.

Система відсмоктування повітря з головного конденсатора. Через нещільності з'єднань трубопроводів та арматури, що знаходяться під розрідженням, повітря потрапляє в пар, а потім в конденсатор. Накопичення повітря в конденсаторі могло б привести до зриву вакууму в ньому.

Щоб уникнути цього проводиться відсмоктування повітря з конденсатора ежектором.

У конденсаторі в районі забору повітря встановлюють повітроохолоджувач - пучок трубок із зменшеним кроком. Це зменшує кількість пари, що відсмоктується з повітрям, температуру повітря, а отже, і витрати потужності. Таким чином, розрідження в конденсаторі створюється завдяки конденсації великої кількості пари, а система відсмоктування повітря служить для підтримки цього розрідження.

Система ущільнення і відсмоктування пари від зовнішніх ущільнень турбін. Турбіни високого і низького тиску мають кінцеві ущільнення, що перешкоджають потраплянню пара з корпусів в МКВ і підсосу повітря з МКВ всередину турбін.

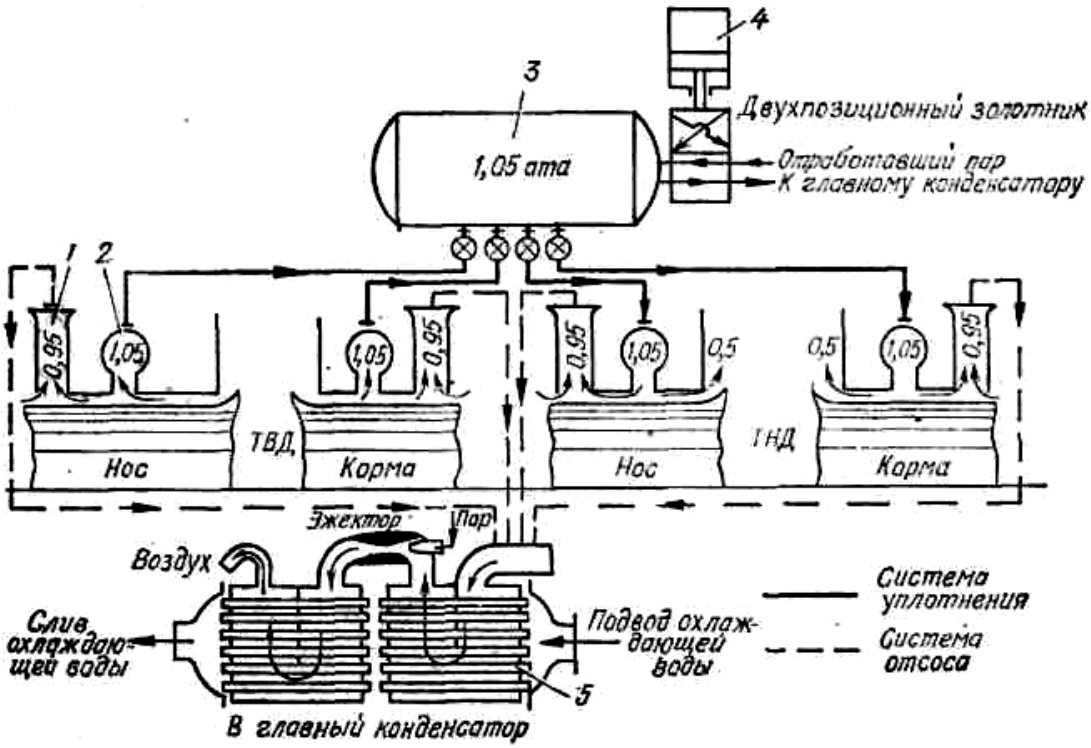


Рис. 7.2 Принцип работи системи ущільнення і відсмоктування пари:
1 — камінна коробка; 2 — парова камера; 3 — зрівняльний колектор;
4 — регулюючий клапан; 5 — конденсатор системи відсмоктування

По довжині кінцеві ущільнення поділяються на групи, між якими утворюються парові камери (рис. 7.2). Кожні ущільнення мають по дві камери.

Зовнішні камери 1 всіх ущільнень називаються камінними коробками. Вони з'єднані трубопроводами з конденсатором відсмоктування (конденсатором ежектора ущільнень) 5, в якому постійно підтримується тиск трохи нижче атмосферного (0,95ата або вакуум 4....5кПа).

Пар який потрапив до камінних коробок видаляється в конденсатор відсмоктування 5 і не потрапляє в МКВ, що збільшує сухість повітря, а отже, і зменшує корозію матеріальної частини.

У парових камерах 2 в залежності від режиму роботи ГТЗА може бути тиск вище або нижче атмосферного. Якщо тиск пари перед ТНД вище атмосферного, то і у всіх чотирьох парових камерах 2 тиск також буде вище атмосферного, так як при протіканні через ущільнювальні кільця і гребені пар повністю свій тиск не спрацьовує. В цьому випадку пар з камер 2 відводиться на зрівняльний колектор 3, а з нього - в головний конденсатор через регулятор тиску 4.

При роботі ГТЗА на задній хід, в положенні «Стоп» і на малих передніх ходах в парових камерах 2 створюється вакуум. Для усунення підсосів повітря в цьому випадку до камер 2 від зрівняльного колектора 3 підводиться пар з тиском вище атмосферного. Цей пар подається в зрівняльний колектор від трубопроводу відпрацьованої пари регулятором 4.

Пар протікає в обидві сторони від камер між сегментами і гребенями ущільнень. Частина його проходить в камінні коробки 1 і відсмоктується на конденсатор відсмоктування 5. Інша частина пара просочується в турбіни і по проточній частині йде в головний конденсатор.

На режимах розвитку переднього ходу бувають моменти, коли в камерах 2 ТВТ тиск вищий, а в камерах 2 ТНТ - нижче атмосферного. У цих випадках пар від камер ТВТ йде на зрівняльний колектор 3, а з нього підходить до камер ТНТ, усуваючи підсмоктування повітря через них.

Система ущільнення та відсмоктування ГТЗА (рис. 67) складається з зрівняльного колектора 5 з регулятором тиску 7 і регулюючим клапаном 6, конденсатора відсмоктування 2, конденсаційних горщиків 3, промаслених фільтрів 4 і трубопроводів. За допомогою регулятора тиску та регулюючого клапана в зрівняльному бачку підтримується тиск 40 ... 150кПа (0,04 ... 0,15 кгс/см2).

Якщо тиск збільшується, регулюючий клапан перепускає надлишки пари на головний конденсатор. При. падінні тиску нижче атмосферного через регулюючий клапан в зрівняльний бачок подається відпрацьована пара від паропроводу 8. Конденсат від конденсатора відсмоктування 2 проходить через конденсаційні горшки і через промаслені фільтри 4, які очищають конденсат від слідів масла. Очищений конденсат надходить у головний конденсатор.

Пристрій регулятора тиску, регулюючого клапана і конденсатора відсмоктування з ежектором зображено на рис. 7.3. Зрівняльний колектор являє собою сталевий циліндричний корпус з патрубками для приєднання труб ущільнення, регулюючого і запобіжного клапанів і т. п.

Ежектор ущільнення - одноступінчатий вертикального типу, має два конденсатори, прокачується конденсатом на зразок головних пароструминних ежекторів. Це зроблено для зменшення можливості засолення конденсату.

Стравлення пара від колектора ущільнення на головний конденсатор або добавка відпрацьованої пари в колектор здійснюється автоматичним регулятором тиску пари.

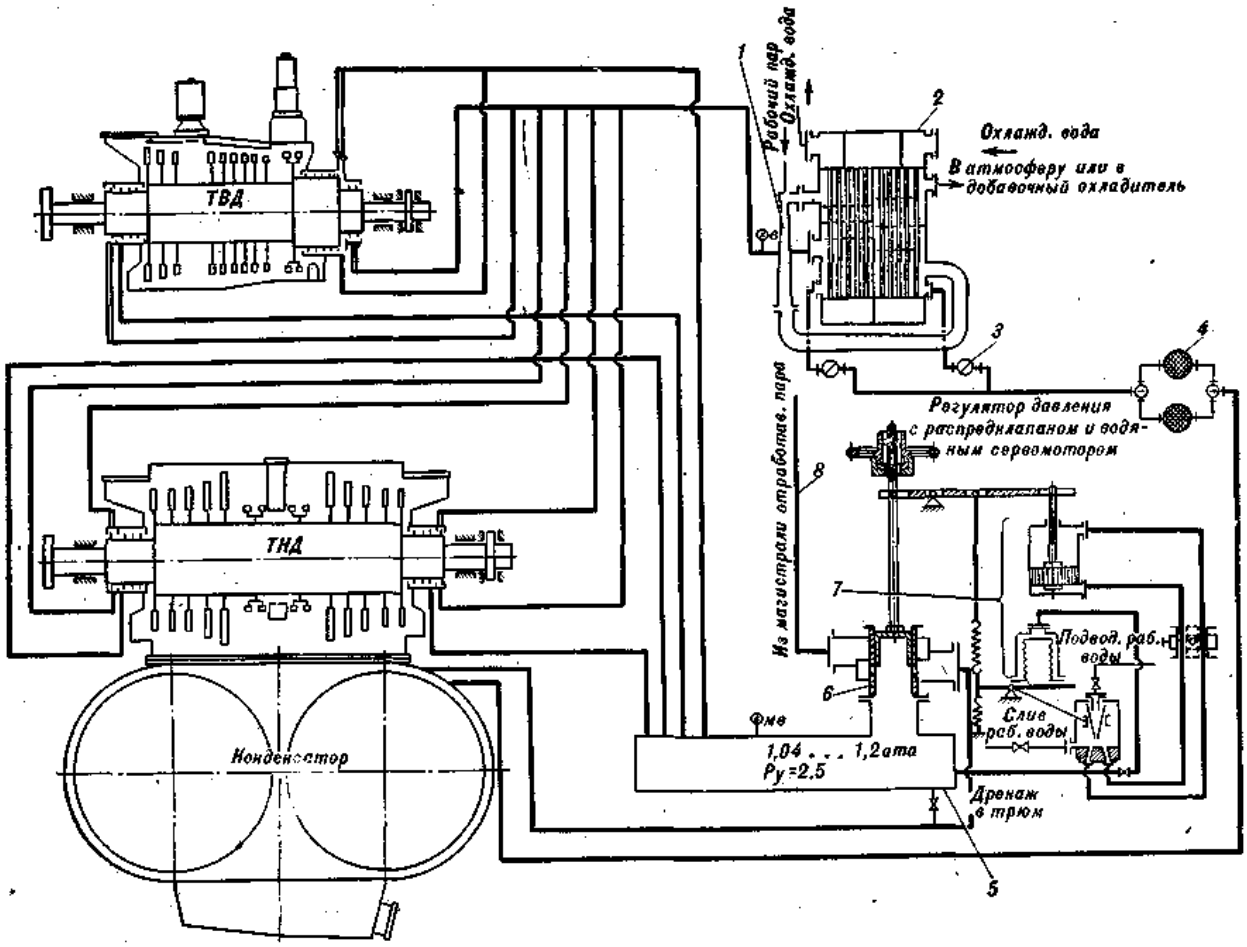


Рис. 7.3 Схема системи ущільнення і відсмоктування пари ГТЗА типа ТВ-12:
1 — ежектор; 2 — конденсатор; 3 — конденсаційний горщик;
4 — паромасляний фільтр; 5 — зрівняльний колектор; 6 — регулюючий клапан; 7 — регулятор тиску; 8 — паропровід відпрацьованого пара

Масляна система. Масляна система суднової паро-і газотурбінної установки забезпечує мастилом всі опорні і упорні підшипники, зубчасту передачу і валопровід, навішені механізми, а також систему регулювання та інші елементи установки. Вимоги, що пред'являються до масляної системи: запобігання масла від передчасного псування, мінімального витоку, можливість очищення, видалення забрудненого масла і поповнення новим.

В сучасних турбінних установках прийняті два типи масляних систем: система без напірних цистерн і система з напірними цистернами, або гравітаційна система.

Масляна система без цистерн більш компактна і легка. Масло надходить на тертьові поверхні і в систему регулювання під напором, створюваним масляним насосом.

Масляна система з цистернами (гравітаційна) більш надійна, тому що при раптовій зупинці масляного насоса цистерни забезпечують змащення протягом декількох хвилин, що досить для зупинки турбоагрегату, якщо неможливо запустити резервний масляний насос. Крім того, в напірних цистернах здійснюється відстій масла, що покращує якість мастила.

У транспортних суднах з ПТУ і судах з ГТУ важкого типу зазвичай застосовують гравітаційну систему змащення. Принципова її схема дана на рис. 7.4.

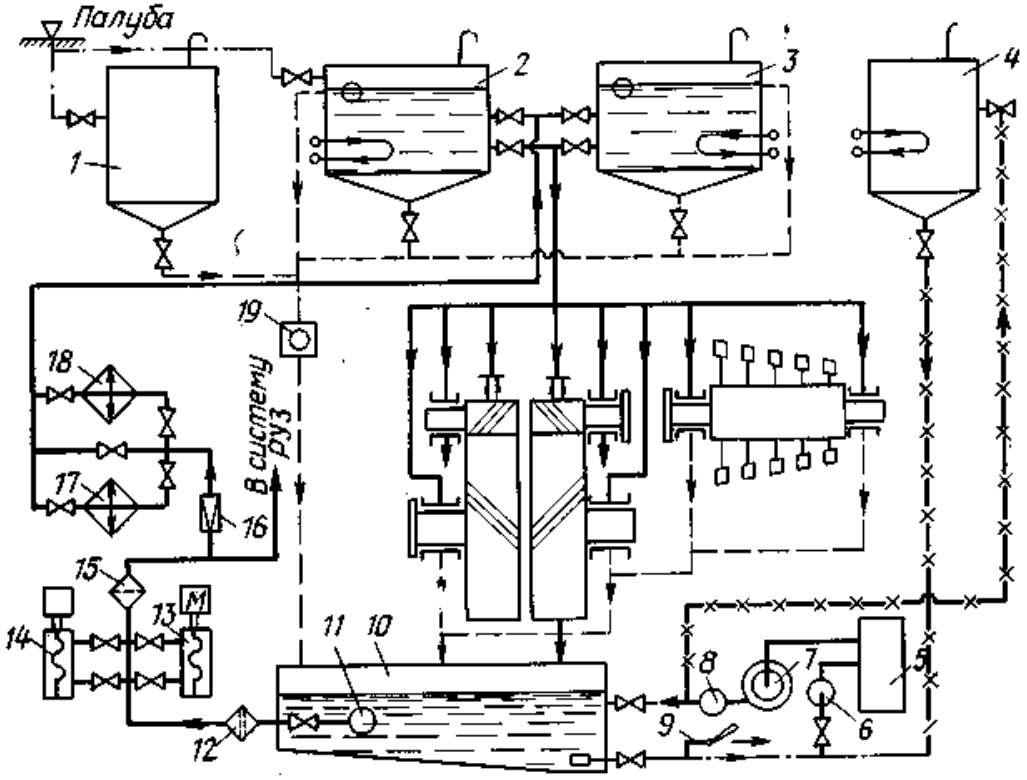


Рис. 7.4 Гравітаційна система змащення ГТЗА

До складу системи входять цистерна запасного 1 та відпрацьованого 4 масла, дві напірні витратні цистерни 2 і 3 і стічна (маслозбірна) цистерна 10. З стічної цистерни масло через безповоротний клапан з приймальною сіткою 11 і магнітний фільтр 12 забирається електромасляним насосом 13 або 14 і після очистки в сітчастому фільтрі 15 і охолодження в маслоохолоджувачі 17 або 18 подається в працюючу видаткову цистерну, звідки надходить на змащення тертьових поверхонь.

Частина масла після сітчастого фільтра 15 йде в систему регулювання, управління і захисту. Для забезпечення в системі необхідного тиску використовується редукційний клапан 16.

Для підтримання постійного рівня масла в видаткових цистернах встановлена переливна труба з оглядовим склом 19.

Цистерни забезпечені сигналізаторами рівня, повітряними трубами для випуску парів масла і змійовиками для підігріву масла парою.

У нижній частині стічної цистерни 10 передбачений відстійник для води, яка видаляється ручним насосом 9 або насосом 6 сепаратора масла 7. При сепарації масло підігрівається в підігрівачі 5 і після сепаратора 7 напірним насосом 8 перекачується в стічну цистерну 10.

Система мастила газотурбінних двигунів легкого типу виконується без напірних цистерн. Принципова схема такої системи представлена на рис. 7.5.

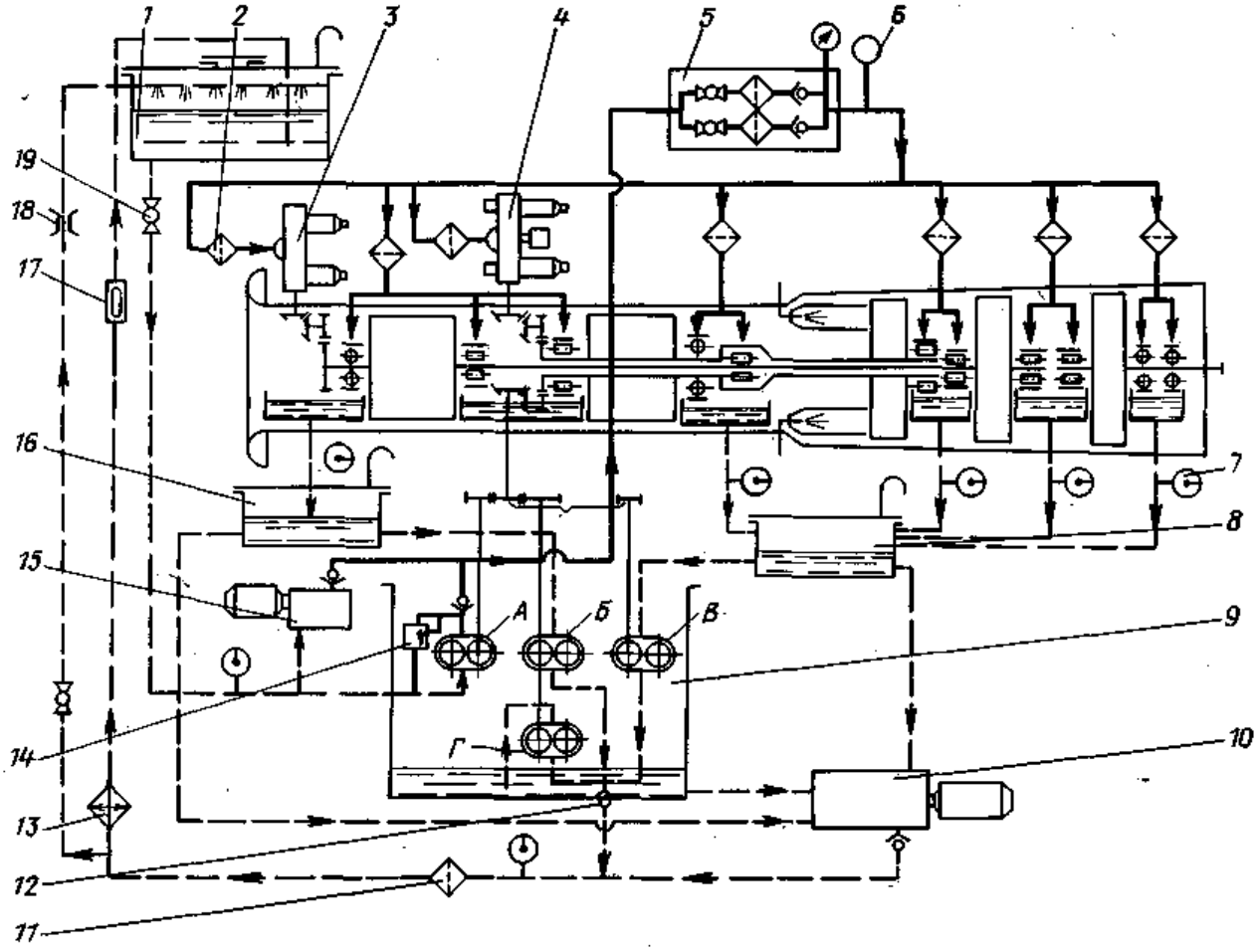


Рис. 7.5. Циркуляційна система змащення ГТД

З витратного масляного бака 1 через запірний кран 19 масло надходить до маслоагрегату 9, нагнітаюча секція А якого подає масло через блок фільтрів 5 до споживачів. Нагнітаюча секція забезпечена редукційним клапаном 14.

Перед кожним споживачем встановлений додатковий фільтр 2. До числа цих споживачів відносяться: передня 3 і задня 4 коробки приводів навішаних механізмів і підшипники КНТ, КВТ, ТВТ, ТСТ та ТНТ. Зубчастий редуктор зазвичай має свою систему змащення. Відпрацьоване масло стікає з передньої коробки приводів і переднього підшипника КНТ в передній масловідділяючий бак 16, із задньої коробки приводів, заднього підшипника КНТ і переднього підшипника КВТ - безпосередньо в відстійник маслоагрегата 9; із заднього підшипника КВТ і підшипників турбін - в задній масловідділяючий бак 8.

Секції Б, В і Г маслоагрегата відкачують масло з масловідділяючих баків і відстійника і через безповоротний клапан 12 подають його в загальну судову магістраль і далі в бак 1.

На цій магістралі розташовані фільтр 11, маслоохолоджувач 13 і оглядове скло 17. При запуску, зупинки та холодної прокрутки двигуна використовують відкачуючий 10 і нагнітаючий 15 маслоагрегати з електроприводом. Напірна магістраль забезпечена датчиком тиску 6, зливні і всмоктуючі магістралі - термометрами 7.

Температура масла у видатковому масляному баку 1 регулюється перепуском частини масла крім маслоохолоджувач через магістраль, забезпечену дросельною шайбою 18.

Робота масла в ГТУ має характерні особливості, пов'язані з конструкцією і умовами роботи двигунів. В процесі змащення тертьових деталей масло нагрівається до 100 - 120°С, інтенсивно перемішується і контактує з повітрям.

Спінення масла погіршує роботу масляної системи.

Для видалення повітря з масла застосовують систему суфлірування. Суміш масла з повітрям направляється в відцентровий суфлер (центрифугу) і потрапляє на обертову крильчатку, де під дією відцентрових сил відбувається їх розділення.

Потім масло стікає по канавках, виконаним на стінці корпуса, і прямує через жиклер в двигун. Повітря через вікна і центральну порожнину валика відводиться під кришку суфлера і потім в атмосферу.

Системи водяного і повітряного охолодження ГТУ. Системи охолодження призначені для охолодження опорних і упорних підшипників валопроводу, корпусів турбін, охолоджувачів масла, повітроохолоджувачів, газоходів і для подачі води до іскрогасників. В якості охолоджувального середовища використовуються забортна і прісна вода, масло і повітря.

Для забезпечення нормальної та безпечної роботи обслуговуючого персоналу в машинному відділенні необхідно підтримувати певну температуру. Домогтися потрібного температурного режиму можна шляхом охолодження корпусів двигунів.

Система запуску ГТД. Запуск ГТД включає прокрутку ротора двигуна, подачу палива в камеру згорання, займання його і вихід двигуна на режим холостого ходу.

Система запуску складається з пускового двигуна (стартера), муфти включення, запального пристрою і пускорегулювальної апаратури. В якості пускового двигуна можуть служити електростартери, повітряні турбіни або пневматичні двигуни, газотурбінні стартери, парові турбіни, ДВС та інш; найбільш поширені електростартери.

Контрольні питання:

1. Призначення, принцип дії та склад технічних засобів системи прогрівання і продування турбін.
2. Призначення, принцип дії та склад технічних засобів системи ущільнення і відсмоктування пари від зовнішніх ущільнень турбін.
3. Призначення, принцип дії та склад технічних засобів гравітаційної системи змащування ГТЗА
4. Призначення, принцип дії та склад технічних засобів циркуляційної системи змащування ГТД
5. Призначення, принцип дії системи водяного і повітряного охолодження та системи запуску ГТУ.

Лабораторна робота № 8

Тема: «ОСНОВИ ТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТУРБІН».

Мета роботи: - ознайомитися з основними положеннями правил технічної експлуатації турбін.

Зміст і порядок виконання лабораторної роботи: - лабораторна робота виконується на турбінних установках ТД 7/1 і LG-II і включає наступні питання:

• ознайомлення з основними положеннями по обслуговуванню паротурбінного агрегату;
• ознайомлення з підготовкою паротурбінного агрегату до дії та його прогріванням;
• пуск і обслуговування турбоагрегату під час дії;
• управління турбоагрегатом при маневруванні;
• зупинка турбіни та виведення її із дії;
• обслуговування паротурбінного агрегату під час стоянки;

Рекомендується наступна послідовність вивчення:

- студенти знайомляться з досліджуваним матеріалом по рекомендованій літературі (правилами технічної експлуатації турбін та заводськими інструкціями), а потім приступають до вивчення цих питань на матеріальної частини турбінних установок ТД 7/1 і LG-II.

Зміст звіту по лабораторній роботі:

- підготовка турбогенератора ТД 7/1 до дії;
- пуск турбогенератора ТД 7/1;
- обслуговування турбогенератора ТД 7/1 під час дії;
- зупинка турбогенератора ТД 7/1;

Обслуговування паротурбінного агрегату

Судновий паротурбінний агрегат є складним інженерним комплексом, надійна робота якого залежить від правильного конструювання та експлуатації всіх його елементів і вузлів. Обслуговування та експлуатація паротурбінного агрегату регламентовані діючими «Правилами технічної експлуатації» та інструкцією заводу-будівельника.

Заводські інструкції передбачають особливості обслуговування конкретної турбінної установки: мінімальні і максимальні параметри, послідовність операцій при підготовці до пуску та в період пуску, обслуговування турбіни та допоміжних механізмів в процесі роботи і на стоянках, і т. п.

Введення турбоагрегату в дію відноситься до числа найбільш відповідальних операцій з обслуговування. Це обумовлено тим, що в зазначений період в турбіні протікають несталі теплові процеси, в результаті яких в деталях корпусу і ротора виникають максимальні температурні градієнти, що супроводжуються значними тепловими напругами і

деформаціями, зміною радіальних і осьових зазорів у проточній частині та в ущільненнях.

Підготовка паротурбінного агрегату до дії. Підготовка починається з перевірки стану агрегату і обслуговуючих систем.

При огляді турбін і зубчастих передач переконуються у наявності всіх штатних контрольно-вимірювальних приладів та їх справності, перевіряють стан покажчиків розширення корпусів і ковзних опор, роблять виміри осьового і радіального положення валів і осьового положення корпусів.

Підготовка масляної системи зводиться до того, що в разі низької температури масла підігрівають його до 30 — 36°С, запускають масляний насос і перевіряють надходження масла на змащення тертьових деталей.

При підготовці валопроводу віджимають його гальмо і в разі необхідності послаблюють дейдвудний сальник, перевіряють рівень масла в підшипниках і роботу системи їх охолодження.

Провертання турбоагрегату валоповоротним пристроєм здійснюється при закритих швидкозапірному і маневрових клапанах. Прослуховують турбіну і зубчасту передачу і спостерігають по амперметру за навантаженням електродвигуна. Висока споживана сила струму вказує на несправності, до усунення яких провертання припиняють.

Підготовка паропроводів і системи управління полягає в тому, що перевіряють, чи закриті клапани відбору пара з турбіни, і відкривають клапани продування. При закритих роз'єднувальних клапанах відкривають і закривають швидкозапірний, маневрові і соплові клапани, щоб переконатися у справності їх дії. Перед прогріванням турбін або одночасно з його початком повільним відкриттям головних роз'єднувальних клапанів прогрівають головний паропровід.

При підготовці конденсаційної установки відкривають приймальний і відливний клінкети і пускають головний циркуляційний насос зі зниженою продуктивністю. (Заповнюють збірник конденсату живильною водою і включають конденсатний насос на рециркуляцію (через холодильники ежекторів і назад в конденсатор).

Прогрівання турбін. Зазвичай прогрівання виробляють при обертанні роторів спочатку валоповоротним пристроєм, а потім - робочим паром.

При всіх способах прогрівання турбіни підводять пар до ущільнень через систему укупорки, пускають у хід головний ежектор і піднімають вакуум в конденсаторі до значення, зазначеного в інструкції. Після цього систему кінцевих ущільнень переводять на автоматичне керування.

Пуск і обслуговування турбоагрегату під час роботи. Після закінчення прогрівання турбін циркуляційний, конденсатний і масляний насоси переводять на нормальний режим роботи і піднімають вакуум в головному конденсаторі до нормального. Отримавши команду дати хід, плавним відкриттям маневрового клапана доводять частоту обертання ротора до заданої.

При цьому ретельно прослуховують турбіни і редуктор і стежать за рівномірністю розширення корпусів турбін, положенням роторів, температурою і тиском масла, рівнем конденсату в конденсаторі.

При переході на сталий режим роботи відкривають соплові клапани, причому з таблиць вибирають таку ж комбінацію, щоб маневровий клапан був максимально відкритий.

Закривають клапани продування і клапан рециркуляції конденсату і відкривають клапани відбору пари. Регулюють обтиснення дейдвудного сальника.

Під час роботи турбінної установки вахтовий механік тримає під особливим наглядом наступні показники: частоту обертання валів, температуру і тиск свіжої пари, тиск пари в камерах відборів і системі ущільнень, вакуум в конденсаторі, температуру і тиск масла, температуру підшипників, осьове положення роторів і теплове розширення корпусів турбін, температуру, рівень і солоність конденсату в конденсаторі.

Вахтовий механік зобов'язаний записувати в машинний вахтовий журнал всі отримані команди, показання контрольно-вимірювальних приладів (зазвичай не рідше одного разу на годину) і всі відомості про виявлені несправності.

Управління при маневруванні. Про майбутні маневри вахтовий механік повинен бути попереджений не пізніше ніж за півгодини (виняток становлять аварійні випадки, команда «людина за бортом»). Вахтовий механік доповідає про майбутні маневри старшому механіку, підготовляє котельне відділення та допоміжні механізми до нового режиму роботи, закриває клапани відборів пари з турбін, відкриває клапани продування і роз'єднувальний клапан заднього ходу.

За наказом з містка про збільшення або зменшення ходу встановлюють у відповідне положення маневровий клапан. За командою «Стоп» швидко закривають маневровий клапан і поступово, щоб уникнути закидання води в паропровід, відкривають маневровий клапан протилежного ходу для зменшення шляху вибігу судна.

При повному задньому ході контролюють роботу конденсатора і температуру корпусів турбін. Тривалість режиму заднього ходу і частота обертання ротора при цьому не повинні перевищувати значень, що допускаються заводом-будівельником.

Зупинка турбіни та виведення з дії. При зупинці турбіни спочатку закривають маневровий клапан і відкривають клапани продування, потім зменшують навантаження допоміжних механізмів. Після закриття роз'єднувального клапана на головній магістралі від парогенераторів обережно відкривають маневровий клапан і включають валоповоротний пристрій.

Осушення корпусів турбін при зниженому вакуумі в конденсаторі здійснюється протягом двох годин.

Після осушення турбін відкачують конденсат з конденсатора і відключають усі допоміжні механізми, крім масляного насоса і валоповоротного пристрою, які зупиняють після повного остигання турбін.

Через годину після зупинки масляних насосів спускають відстояну воду з картера головного упорного підшипника і масляних порожнин маслоохолоджувачів. Через три години після зупинки масляного насоса знову пускають насос і прокачують маслом агрегат, провертаючи його валоповоротним пристроєм протягом 5 - 10 хв.

Після закінчення 24г після зупинки агрегату заміряють радіальне і осьове положення роторів турбін.

Догляд за турбінної установкою під час її бездіяльності. Щоб уникнути корозії деталей турбоагрегатів необхідно не рідше одного разу на добу протягом перших трьох днів, а в подальшому раз на три доби прокачувати агрегат турбінним маслом, одночасно провертаючи його протягом 5 - 10хв.

В зупинені турбіни не повинен потрапляти пар, для чого всі клапани, за винятком клапанів продування в атмосферу, повинні бути щільно закриті. Необхідно раз в три дні, а також після кожного випадку різкого підвищення вологості в машинному відділенні вентилювати турбіни протягом 15 - 20хв, пускаючи ежектор, циркуляційний та конденсатний насоси. Машинне відділення також слід регулярно вентилювати.

При тривалій стоянці (більше 25 - 30сут) спускають охолоджуючу воду з конденсатора і закривають приймальний і відливні клінкети.

Розглянемо застосування правил експлуатації до турбіни ТД - 7/1, встановленої в машинному залі кафедри, відповідно до інструкції заводу-будівельника цієї турбіни.

Підготовка турбогенератора ТД 7/1 до дії

1. Забрати сторонні предмети, які закривають підходи до турбогенератора.
2. Перевірити наявність і справність термометрів і манометрів, що забезпечують контроль роботи турбогенератора.
3. Переконатися, що рівень масла в баку знаходиться на висоті 3/4 висоти скла мастиловказівника.
4. Спустити відстійну воду з маслоохолоджувача.
5. Очистити масляний фільтр поворотом рукоятки.
6. Включити масляний насос.
7. Маховичком синхронізатора встановити висоту виступаючої частини шпинделя 2мм.
8. Перевірити закриття клапана свіжої пари на турбогенератор.
9. Повернути маховик клапана для ходіння стопорного клапана за годинниковою стрілкою до упору.
10. Відкрити клапана продування.

Пуск турбогенератора ТД 7/1

1. Відкрити клапан продування стопорного клапана і клапанної коробки.
2. Відкрити пар на ущільнення.
3. Ввести в дію допоміжну конденсаційну установку.
4. Після досягнення вакууму в конденсаторі відкрити клінкети відпрацьованої пари на конденсатор.
5. Повільно відкрити клапан свіжого пара.
6. Повільно відкриваючи пусковий клапан, пустити турбогенератор на малу частоту обертання, безперервно прослуховуючи турбіну, редуктор і генератор.
7. Довести частоту обертання до 4500мін ^{1} до вступу в дію гвинтового масляного насоса і переконатися, що тиск в системі мастила не менше 0,03 МПа.
8. Закрити клапани продування стопорного клапана і клапанної коробки.
9. Відкрити клапани свіжої пари і відрегулювати подачу пари на ущільнення турбіни.
10. Прогрівання турбіни виробляти на частоті обертання 3000мін-1 протягом 5-7 хвилин.
11. При тиску масла від імпульсного насоса до масляного вимикача від 0,38 до 0,5 МПа повернути рукоятку вимикача вгору і відпустити її.
12. Відкрити повністю стопорний клапан, одночасно закриваючи пусковий клапан.
13. Встановити параметри пара, відповідні одному з режимів роботи турбогенератора.

Обслуговування турбогенератора ТД 7/1 під час дії

1. Слідкувати за штатними щитовим приладів і по термометрам за встановленими параметрами свіжого і відпрацьованого пара, за тиском масла в системі регулювання і системі мастила, за температурою масла в підшипниках.
2. Слідкувати за циркуляцією води в маслоохолоджувачі підтримуючи нормальну температуру масла.
3. Слідкувати за температурою масла на виході з масло охолоджувача, яка не повинна бути вище 48°С.
4. Періодично прослуховувати роботу турбіни, редуктора і генератора.

Зупинка турбогенератора ТД 7/1

1. Турбогенератор зупиняється після зняття навантаження і збудження електрогенератора.
2. Закрити стопорний клапан, впливаючи від руки на масляний вимикач.
3. Закрити клапана подачі свіжої пари до сальникам і на магістралі відсмоктування пари з сальників.

4. При зниженні частоти обертання турбогенератора до 3000мін^{1} включити допоміжний масляний насос і працювати їм до повної зупинки, підтримуючи тиск масла на підшипники 0,02МПа.
5. Закрити продування: клапанної коробки, ущільнень соплових клапанів, з ущільнень турбіни, з корпусу турбіни, з з'єднувального трубопроводу ущільнень турбіни.
6. При роботі турбіни на конденсатор клінкети відпрацьованої пари закрити через 10 - 15хвилин після зупинки для забезпечення осушки турбіни.
7. Закрити воду на маслоохолоджувач.

Контрольні питання:
1. Обслуговування паротурбінного агрегату
2. Підготовка паротурбінного агрегату до дії. Прогрівання турбін.
3. Пуск і обслуговування турбоагрегату під час роботи.
4. Управління при маневруванні.
5. Зупинка турбіни та виведення з дії.
6. Догляд за турбінної установкою під час її бездіяльності
7. Підготовка турбогенератора ТД 7/1 до дії.
8. Пуск турбогенератора ТД 7/1.
9. Обслуговування турбогенератора ТД 7/1 під час дії.
10. Зупинка турбогенератора ТД 7/1.