

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

МОРСКОЙ ИНСТИТУТ

Кафедра энергоустановок морских судов и сооружений

А.Ю. Гаршин

**ИЗУЧЕНИЕ ПАРОВОЙ
ТУРБОГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ.
ПОРЯДОК ПУСКА И ОСТАНОВКИ, КОНТРОЛЬ
РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ СУДОВОГО ПАРОВОГО
ТУРБОГЕНЕРАТОРА**

**Методические указания
по выполнению лабораторной работы**

Севастополь
СевГУ
2020

УДК 629.5.03-135 (076)

ББК 39.455я73

Г21

Рецензент:

Е.В. Хромов – канд. техн. наук, доцент каф. ЭМСС

Гаршин А.Ю.

Г21 Изучение паровой турбогенераторной установки. Порядок пуска и остановки, контроль рабочих параметров судового парового турбогенератора: метод. указания по выполнению лабораторной работы / А.Ю. Гаршин. – Севастополь: СевГУ, 2020. – 16 с.

Рассматривается лабораторная работа по изучению паровой турбогенераторной установки, порядка пуска и остановки, контроля рабочих параметров судового парового турбогенератора, выполняемая при изучении курса «Судовые турбомашинны».

Предназначены для студентов очной и заочной форм обучения Севастопольского государственного университета, Морского института, специальности 26.05.06 – Эксплуатация судовых энергетических установок.

Выполнение лабораторной работы направлено на изучение следующих профессионально-специализированных компетенций (Конвенция ПДНВ):

ПСК-2: Способен исполнять процедуры безопасности и порядок действий при авариях; переход с дистанционного/автоматического на местное управление всеми системами.

ПСК-6: Способен осуществлять подготовку, эксплуатацию, обнаружение неисправностей и меры, необходимые для предотвращения причинения повреждений следующим механизмам и системам управления: 2. Паровой котел и связанные с ним вспомогательные механизмы и паровые системы; 3. Вспомогательные первичные двигатели и связанные с ними системы; 4. Другие вспомогательные механизмы, включая системы охлаждения, кондиционирования воздуха и вентиляции.

ПСК-7: Способен осуществлять эксплуатацию систем: топливных, смазочных, балластных и других насосных систем и связанных с ними систем управления.

ПСК-37: Способность сформировать цели проекта (программы), разработать обобщенные варианты ее решения, выполнить анализ этих вариантов, прогнозирование последствий, нахождение компромиссных решений.

ПСК-38: Способность разработать проекты объектов профессиональной деятельности с учетом физико-технических, механико-технологических, эстетических, экологических, эргономических и экономических требований, в том числе с использованием информационных технологий.

УДК 629.5.03-135 (076)

ББК 39.455я73

Рассмотрены и рекомендованы кафедрой энергоустановок морских судов и сооружений Морского института Севастопольского госуниверситета в качестве методических указаний к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Судовые турбомашинны» для студентов специальности 26.05.06 – Эксплуатация судовых энергетических установок, протокол № 1 от 31 августа 2018 г.

© ФГАОУВО «Севастопольский
государственный университет», 2020

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
Лабораторная работа. Изучение паровой турбогенераторной установки. Порядок пуска и остановки, контроль рабочих параметров судового парового турбогенератора	5
1. Описание установки	5
2. Назначение и характеристики элементов установки	5
3. Схема установки. Трубопроводы	6
4. Описание конструкции турбины	7
5. Порядок пуска в ход паротурбогенератора	12
6. Контроль рабочих параметров турбогенератора	13
7. Остановка турбогенератора	14
8. Оформление отчета	15
9. Контрольные вопросы	15
Литература	16

ВВЕДЕНИЕ

Целью лабораторных работ является закрепление теоретического материала по дисциплине «Судовые турбомашинны» и получение практических навыков по замерам экспериментальных параметров лабораторных установок, их обработке и построению энергетических характеристик, а также приобретение навыков по эксплуатации судовых турбоустановок.

К лабораторным работам допускаются студенты, прошедшие инструктаж по технике безопасности в лабораториях кафедры ЭМСС.

За время проведения лабораторных работ студенты знакомятся с лабораторными установками, получают допуск к проведению экспериментов, проведению замеров и эксплуатации установок. Проводят замеры параметров по приборам, записывают их в отчет, производят обработку опытных данных, оформляют результаты исследований и записывают полученные результаты.

Для получения допуска к выполнению работ необходимо:

- иметь оформленный отчет о работе;
- знать теоретические основы по теме работы;
- знать схему лабораторной установки, порядок проведения опыта или эксплуатации установки.

Отчет должен содержать:

- наименование работы, цель, схему и краткое описание установки;
- основные формулы и формулировки;
- таблицы опытных данных;
- таблицы с результатами расчетов;
- необходимые графики и выводы.

Во время защиты лабораторных работ преподаватель проверяет правильность полученных студентом результатов и его теоретические знания.

Методические указания содержат контрольные вопросы, способствующие закреплению теоретического материала при самостоятельной работе студентов.

ИЗУЧЕНИЕ ПАРОВОЙ ТУРБОГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ. ПОРЯДОК ПУСКА И ОСТАНОВКИ, КОНТРОЛЬ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ СУДОВОГО ПАРОВОГО ТУРБОГЕНЕРАТОРА

Цель лабораторной работы: изучение конструкции, схем и взаимодействия элементов паровой турбогенераторной установки, закрепление студентами теоретических знаний по эксплуатации турбогенератора, контролю рабочих параметров.

1. Описание установки

Паротурбинная установка состоит из паровой турбины, приводящей во вращение через редуктор электрогенератор, конденсатора с конденсатным и циркуляционным насосами, эжектора и электрощита с нагрузочным реостатом.

Турбогенераторная установка служит для снабжения судовых механизмов и устройств электроэнергией и состоит из парового котла с вспомогательными котельными механизмами, турбогенератора и конденсатора с вспомогательными механизмами машинного отделения.

В лаборатории турбин и вспомогательных механизмов расположены:

1. Турбогенератор, состоящий из паровой турбины, редуктора и электрогенератора.
2. Конденсационная установка, состоящая из конденсатора, эжектора, конденсационного насоса с электроприводом (циркуляционный насос с электроприводом находится возле брызгательного бассейна с охлаждающей водой).
3. Водоподогреватель.
4. Электрощит и нагрузочный реостат.

2. Назначение и характеристика элементов установки

2.1. Турбогенератор предназначен для преобразования потенциальной энергии в механическую работу турбины с последующим ее преобразованием в электрическую.

Номинальная мощность	150 кВт.
Максимальная 2-часовая мощность	187 кВт.
Температура свежего пара	476 К (203 °C).
Давление свежего пара	1,6 МПа.
Противодавление	0,016 МПа.
Частота вращения ротора турбины	110 с ⁻¹ .

Род тока	постоянный.
Напряжение	120/240 В.
Частота вращения ротора генератора	20 с ⁻¹ .

При работе на вакуум фирма «Вортингтон» гарантирует при мощности 150 кВт расход пара 1500 кг/ч. Масса агрегата 6976 кг.

2.2. Конденсатор - служит для конденсации отработанного пара и создания разрежения за турбиной. Состоит из стального корпуса, чугунных водяных камер, латунных трубных досок, медноникелевых трубок и конденсатосборника с указанием уровня.

Конденсатор одноходовой по пару и 2-ходовой по охлаждающей воде.

2.3. Эжектор - (пароструйный воздушный насос) служит для поддержания вакуума в конденсаторе путем отсоса воздуха, попадающего в конденсатор с паром или через неплотности установки. Работает на принципе подсоса воздуха к быстро движущейся струе пара.

Эжектор 2-ступенчатый, что позволяет создать большее разрежение: 2-секционный, что повышает надежность (каждая секция может работать самостоятельно).

Пар, подаваемый в сопло эжектора, а также пар, частично увлеченный из конденсатора вместе с воздухом, конденсируется в эжекторе на трубах, через которые прокачивается конденсат главного пара. При этом конденсат подогревается, таким образом теплообменник эжектора служит первой ступенью подогрева питательной воды.

2.4. Конденсатный насос центробежного типа приводится во вращение электродвигателем. Служит для откачивания конденсата из конденсатора.

2.5. Водоподогреватель служит для регенеративного подогрева питательной воды паром, отбираемым после одной из ступеней турбины. Вода проходит по u-образным трубам, концы которых развальцованы в трубной доске, пар - между трубок. Конденсат греющего пара направляется в конденсатор турбины.

3. Схема установки. Трубопроводы

Свежий пар от главного паропровода направляется к турбогенератору и эжектору (рис. 1).

Отработанный пар турбогенератора поступает в конденсатор.

В конденсатор поступает также конденсат пара эжектора и греющего пара водоподогревателя.

Из конденсатора вода откачивается конденсатным насосом и через теплообменник эжектора и водоподогревателя (или минуя его) направляется в котельное отделение.

Напорная и всасывающая стороны конденсатного насоса соединены переключкой с вентилем. Открытием вентиля вручную регулируется уровень в конденсатосборнике.

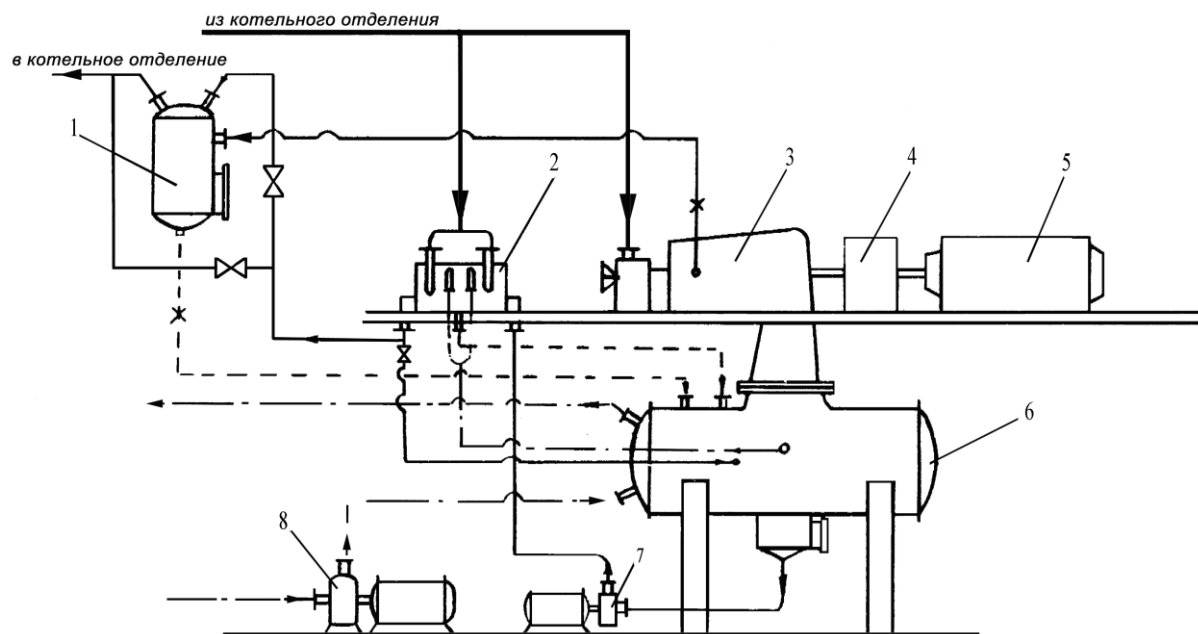


Рис. 1 - Схема паровой турбогенераторной установки с электрическим приводом циркуляционного и конденсатного насоса:

- 1 – водоподогреватель; 2 – эжектор; 3 – паровая турбина; 4 – редуктор;
5 – электрогенератор; 6 – конденсатор; 7 – электроконденсатный насос;
8 – электроциркуляционный насос;

— — — — — свежий пар, пар отбора, конденсат;
- - - - - конденсат из водоподогревателя и эжектора;

Пар, отбираемый из турбины после двухвенечного регулировочного колеса, используется для подогрева воды в водоподогревателе.

Охлаждающая вода прокачивается через конденсатор циркуляционным насосом и затем охлаждается в брызгальном бассейне.

Расход пара на турбогенератор замеряется с помощью диафрагмы, установленной на паропроводе.

Общий расход пара на установку (в том числе и на эжектор) может быть определен путем замера расхода питательной воды мерным баком, расположенном в котельном отделении.

4. Описание конструкции турбины

Продольный разрез однокорпусной активной турбины представлен на рисунке 2.

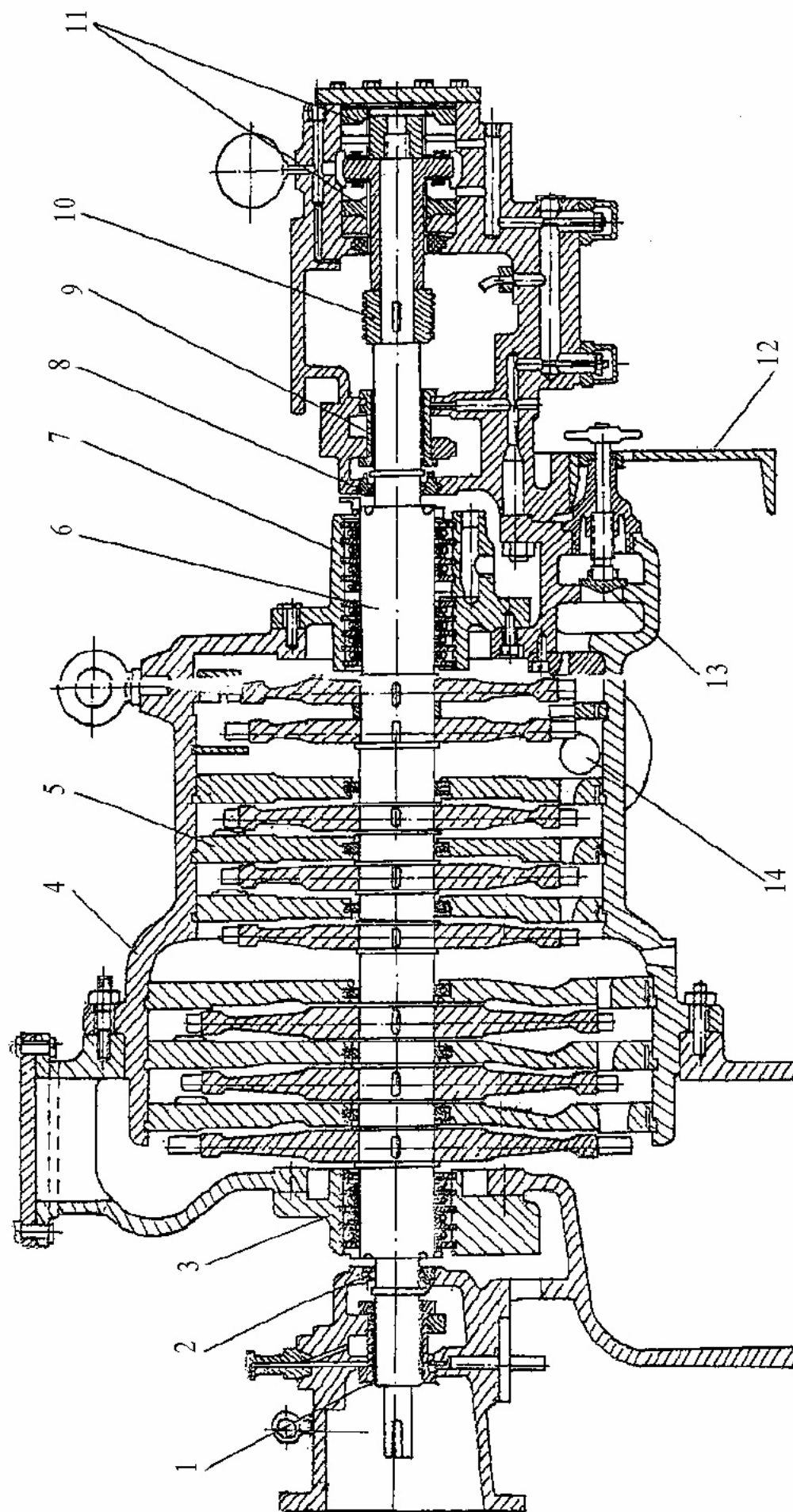


Рис. 2 - Продольный разрез турбины

1 – опорный подшипник; 2 – масляные уплотнения; 3 – коробка угольных уплотнений; 4 – корпус турбины; 5 – диафрагма; 6 – ротор турбины; 7 – коробка угольных уплотнений; 8 – масляные уплотнения; 9 – опорный подшипник; 10 – червяк привода регулятора скорости и масляного насоса; 11 – опорный подшипник; 12 – гибкая опора; 13 – перегрузочный клапан; 14 – отбор пара;

4.1. Корпус турбины отлит из стали и имеет горизонтальный разъем. Внутри корпуса имеется 2 прохода для пара дроссельного клапана к сопловому обводу: один - к регулирующим соплам, второй - к перегрузочному соплу. Передняя опора корпуса гибкая, задняя - неподвижная.

4.2. Ротор состоит вала, 2-х дисков ступени скорости и шести дисков ступеней давления.

Каждый диск насажен в горячем состоянии и закреплен шпонкой на валу.

3.4.3. Сопла первой ступени обработаны в сопловом обводе, который крепится винтами к корпусу турбины.

4.4. Диафрагмы с залитыми лопатками изготовлены разъемными по горизонтали. Наружная обойма диафрагмы имеет буртик, входящий в выточку корпуса. Центральное отверстие диафрагмы снабжено угольным уплотнительным кольцом.

4.5. Наружные уплотнения вала (угольные) предусмотрены там, где вал выступает из корпуса турбины. Уплотнительные коробки, где расположены угольные элементы колец, разъемные по горизонтали.

4.6. Подшипники скольжения, воспринимающие вес ротора (опорные), имеют бронзовые вкладыши; залитые внутри баббитом. Нижняя половина вкладыша входит своими заплечиками в углубления корпуса подшипника, верхняя - в углубления крышки.

4.7. Упорный подшипник фиксирует ротор в осевом направлении. Состоит из 2-х пар упорных сегментов, размещенных с обеих сторон упорного гребня ротора, двух основных колец и двух упорных обоем.

Упорные сегменты фиксируются на основных кольцах с помощью штифтов, основные кольца передают осевое усилие через упорные обоймы корпусу турбины.

Между упорными обоймами и выточками корпуса размещается набор стальных прокладок. Зазор регулируется добавлением или удалением этих прокладок с одного конца подшипника на другой. Масло для смазки входит снизу, заполняет подшипник и выходит сверху, затем через углубления, сделанные в корпусе, спускается обратно в масляный бак.

4.8. Соединительная муфта, установленная между турбиной и редуктором, полужесткая, зубчатого типа.

4.9. Масляная система, схематически изображенная на рис. 3.

Масло в систему регулирования подается под давлением 0,34 МПа, в систему смазки - 0,042...0,055 МПа. Снижение давления до указанного осуществляется редукционным клапаном.

На главной магистрали системы смазки установлен фильтр, имеющий 2 параллельные секции, из которых одна находится в работе, а вторая может быть заменена без остановки турбины.

Масляный насос шестеренчатого типа приводится в движение от вала турбины через червячную передачу.

Для смазки подшипников перед пуском турбины используется ручной насос.

Для охлаждения масла применяется двухоборотный маслоохладитель. Охлаждающая вода проходит через латунные трубки, а масло - между трубками.

Резервуар для масла расположен на фундаментной плите, имеет вместимость 113 литров. Для контроля уровня масла используется масломерный щуп.

4.10. Регулирование турбины - дроссельное, предусматривает поддержание постоянного числа оборотов ротора при изменяющейся нагрузке и включает в себя:

- регулятор центробежного типа, который приводится в действие через червячную передачу от вала турбины;
- золотник, направляющий силовое масло к той или другой стороне поршня сервомотора;
- рычажную передачу от регулятора к золотнику;
- сервомотор, перемещающий дроссельный клапан;
- дроссельный клапан, регулирующий подачу пара к соплам.

4.11. Безопасность работы обеспечивается прекращением доступа пара в турбину быстрозапорным клапаном в следующих случаях:

а) при повышении частоты вращения сверх допустимой;

В этом случае регулятор предельной частоты вращения бойкового типа, воздействуя через рычаги на масляный выключатель, закрывает дроссельный клапан;

б) при повышении величины противодавления:

- свыше 0,1 МПа подает сигнал предупредительный клапан,
- свыше 0,14 МПа выключающий механизм, состоящий из датчика мембранного типа и системы рычагов, освобождает быстрозапорный клапан;

- свыше 0,17 МПа предохранительный клапан стравливает в атмосферу отработанный пар;

в) масляный предохранительный клапан расположен в устройстве маслопровода и стравливает масло обратно в бак при превышении давления масла сверх 0,35 МПа;

г) сигнальный контактор мембранного типа вмонтирован в трубопровод смазки подшипников и при падении давления масла замыкает электроцепь к звуковому аварийному сигнализатору;

д) механизм, автоматически выключающий агрегат из действия в случае понижения давления масла, сифонного типа, расположен со стороны паровпуска в турбину. При понижении давления масла до

0,02 МПа сильфон, перемещаясь, через систему рычагов освобождает масляный выключатель, что ведет к закрытию быстрозапорного и дроссельного клапанов.

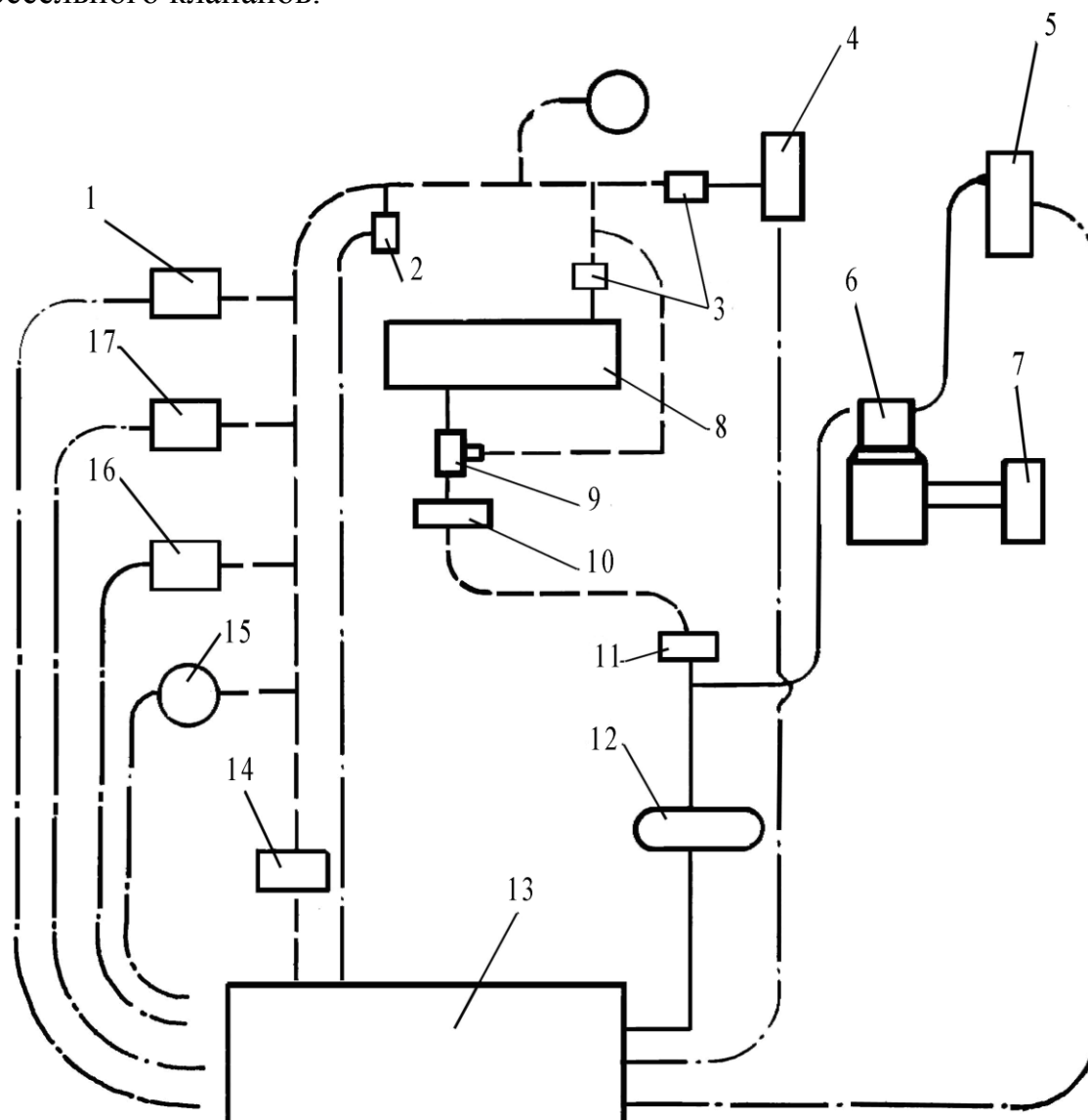


Рис. 3 - Схема масляной системы

- 1 – подшипник носовой; 2 - предохранительный клапан $P = 0,055$ МПа;
 3 – предохранительный клапан $P = 0,34$ МПа; 3 – контрольный клапан;
 4 – ручной масляный насос; 5 – масляный выключ. паровыпускной клапан;
 6 – выключ. клапан; 7 – силовой поршень; 8 – маслоохладитель;
 9, 11 – 3-ходовой клапан; 10 – фильтр; 12 – масляный насос; 13 - масляный бак;
 14 – подшипник генератора; 15 – аварийный выключатель пониженного давления;
 16 – подшипник редуктора зацепления; 17 – подшипник кормовой.

— — — — — маслопровод $P = 0,34$ МПа;
 - - - - - маслопровод $P = 0,055$ МПа;
 - · - · - · трубопровод сливной

ПОРЯДОК ПУСКА И ОСТАНОВКИ, КОНТРОЛЬ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ СУДОВОГО ПАРОВОГО ТУРБОГЕНЕРАТОРА

5. Порядок пуска паротурбогенератора

1. Проверяется осевое положение ротора турбины путем замера щупом зазора между буртиком вала и выступом корпуса переднего подшипника. Зазор должен быть в пределах 0,8...1,6 мм.

2. Проверяется уровень масла в резервуаре. Температура масла перед пуском должна быть не ниже 16 °С.

3. Открываются клапаны продувания на время, пока конденсат не будет продут.

4. Пускается в ход электроциркуляционный насос.

5. Пускается в ход конденсатный электронасос на рециркуляцию через эжектор.

6. Подается свежий пар на эжектор и доводится вакуум до 380 мм ртутного столба.

7. Ручным насосом прокачивается масло через маслопроводы до тех пор, пока основной масляный насос не обеспечит давления в системе смазки 0,55 атм. (0,054 МПа).

8. Приоткрывается быстрозапорный клапан. Поднимается пусковым рычагом дроссельный клапан на такую высоту, чтобы ротор начал медленно вращаться.

9. Прослушиваем, не возник ли посторонний шум в турбине и редукторе.

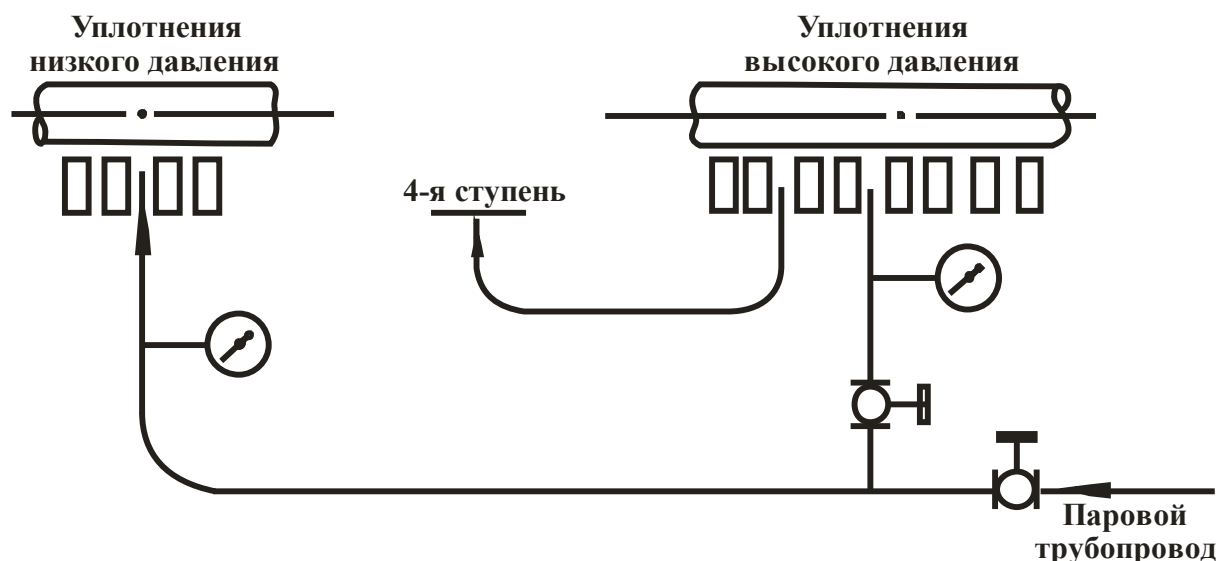
10. Пускается пар на уплотнительные коробки концов турбины согласно схеме (рис. 4).

11. После того, как турбина достаточно прогреется (температура масла на входе в подшипники достигает 38 °С), постепенно открывают быстрозапорный клапан.

Одновременно переключаем конденсат на питательную систему, поддерживая в конденсатосборнике постоянный уровень.

12. После того, как будет достигнута нормальная частота вращения ротора турбины 6583 об/мин (110 с^{-1}), а вала электрического генератора 1200 об/мин (20 с^{-1}), а регулятор скорости начнет автоматически поддерживать обороты постоянными, полностью открываем быстрозапорный клапан.

13. Когда температура масла, выходящего из подшипников, достигнет 50 °С, опускаем охлаждающую воду в маслоохладитель.



Режим	Клапан А	Клапан В	Маном. МПа
Во время пуска	Открыть	Заккрыть	0,007
Во время работы	Заккрыть	Открыть	0,015

Рис. 4 – Схема уплотнений турбины

6. Контроль рабочих параметров турбогенератора

1. Во время работы турбины давление масла в системе регулирования должно составлять 3,5 атм. (0,34 МПа), в системе смазки - 0,55 атм (0,054 МПа).

2. Рабочая температура масла в подшипниках должна быть в пределах 55...65 °С, максимальная -80 °С.

3. Температура масла в резервуаре должна поддерживаться 45 °С (минимум 40°С) регулировкой подачи воды в охладитель,

4. Необходимо следить за потоком масла через маслоуказательные стекла.

5. Необходимо следить за нормальной работой концевых уплотнений:
а) должно почти отсутствовать парение из них; б) давление в уравнительном коллекторе должно составлять 0,04...0,3 атм. (0,0039...0,029 МПа) согласно показанию мановакуумметра, установленного на коллекторе.

Таблица 1

Перечень контролируемых параметров паротурбогенератора

Наименование	Обознач.	Ед. изм.
Напряжение тока	U	В
Сила тока	I	А
Мощность на клеммах генератора	N _г	кВт
Давление пара перед стопорным клапаном	P ₀	МПа
Температура пара перед стопорным клапаном	t ₀	°С
Давление пара перед соплом	P ₁	МПа
Давление отработанного пара	P ₂	МПа
Расход пара	D	кг/с
Удельный расход пара	d _г	кг/кВт·ч
Частота вращения турбины	n _т	об/мин
Частота вращения генератора	n _г	об/мин
Температура масла		
а) упорный подшипник	t _у	°С
б) передний опорный подшипник турбины	t _{п1}	°С
в) задний опорный подшипник турбины	t _{п2}	°С
г) передний опорный подшипник шестерни	t _{ш1}	°С
д) задний опорный подшипник шестерни	t _{ш2}	°С
ж) передний подшипник зубчатого колеса	t _{к1}	°С
э) задний подшипник зубчатого колеса	t _{к2}	°С
Давление масла в регулировочной системе	P _р	МПа
Давление масла в системе смазки	P _{см}	МПа

7. Остановка турбогенератора

1. Уменьшаем постепенно нагрузку до нуля.
2. Отключаем быстрозапорный клапан посредством ручного выключающего рычага на разобщительном клапане регулятора.
3. Прокачиваем ручным насосом масло до полной остановки ротора турбины.
4. Переключаем конденсатный электронасос на рециркуляцию конденсата через эжектор.
5. Прекращаем подачу воды к маслоохладителю.
6. В случае остановки турбины на продолжительное время, в течение 20 минут поддерживаем эжектором вакуум в конденсаторе в целях осушения.
7. Прекращаем доступ пара в эжектор.
8. Останавливаем конденсатный и циркуляционный электронасосы.
9. Отключаем подачу пара в паропроводы, открываем клапаны продувания.

8. Оформление отчета

Отчет должен содержать описание установки, краткую характеристику элементов установки, схему и описание трубопроводов, описание конструкции турбины, ее масляной системы, системы регулирования и защиты. В отчете необходимо привести порядок пуска, работы, остановки, перечень контролируемых параметров турбогенераторной установки во время работы.

9. Контрольные вопросы

1. Каково назначение элементов установки?
2. Каков путь рабочего тела от котла и до теплого ящика?
3. Каковы конструктивные особенности элементов паровой турбины?
4. Как работает система регулирования и защиты турбинного агрегата?
5. Каково назначение элементов масляной системы, путь масла?
6. Опишите порядок пуска, контроля работы и остановки паротурбогенератора.
7. Перечислите основные параметры, контролируемые во время работы паротурбогенератора.

ЛИТЕРАТУРА

1. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. – Л.: РМРС, 2008. – 834 с.
2. Слободянюк Л.И. Судовые паровые и газовые турбины и их эксплуатация/ Л.И. Слободянюк, В.И. Поляков. – Л.: Судостроение, 1983. – 354 с.
3. Артемов Г.А. Судовые газотурбинные установки / Г.А. Артемов, В.П.Бойко, А.Г. Гильмутдинов. - Л.: Судостроение, 1978. – 246 с.
4. Зайцев В.И. Судовые паровые и газовые турбины / В.И. Зайцев и др. - М.: Транспорт, 1981. – 311 с.
5. Беляев И.Г. Эксплуатация судовых утилизационных установок / И.Г. Беляев. – М.: Транспорт, 1987. – 172 с.
6. Горбов В.М. Основы технической эксплуатации судовых газотурбинных установок / В.М. Горбов. – Н.: УГМТУ, 1996. – 233 с.
7. Правила технической эксплуатации судовых технических средств и конструкций. Часть VI Судовые паровые турбоагрегаты: РД 31.21.30-97, 1997. – 369 с.
8. Газотурбинные установки. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования. Стандарт Организации ОАО РАО «ЕЭС России». – М., 2008. – 23 с.

Гаршин Александр Юрьевич

ИЗУЧЕНИЕ ПАРОВОЙ ТУРБОГЕНЕРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ. ПОРЯДОК ПУСКА И ОСТАНОВКИ, КОНТРОЛЬ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ СУДОВОГО ПАРОВОГО ТУРБОГЕНЕРАТОРА

*Методические указания
по выполнению лабораторной работы*

В авторской редакции

Изд. № 281/19. Объем 1 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»