

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

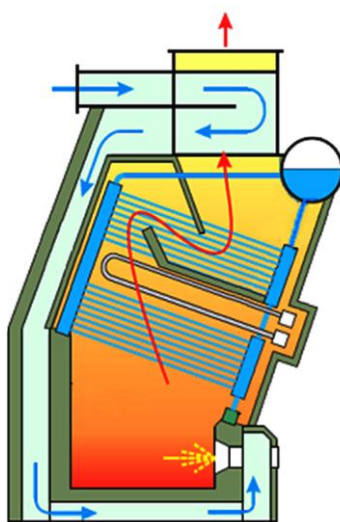
Морской институт

В.А. Очеретяный, Е.В. Хромов

СУДОВЫЕ КОТЕЛЬНЫЕ И ПАРОПРОИЗВОДЯЩИЕ УСТАНОВКИ

Лабораторные работы

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ



Севастополь
СевГУ
2026

УДК [621.18:629.5](075.8)
ББК 39.455.11я73
О-95

Рецензент:

Харченко А.А. – кандидат технических наук, доцент, кафедры
«Приборостроение и транспорт» инженерного факультета Высшей технологической
школы «Севастопольского приборостроительного института» СевГУ

Очеретяный В.А., Хромов Е.В.

0-95 Судовые котельные и паропроизводящие установки. Лабораторные работы : учеб.-метод. пособие. Расширенное издание / В. А. Очеретяный, Е.В. Хромов ; Севастопольский государственный университет, Морской институт. – Севастополь : СевГУ, 2026. – 127 с.: ил. : Текст непосредственный.

В расширенном издании пособия введена новая лабораторная работа, посвященная форсункам судовых котлов, заменена на более современную лабораторная установка по анализу котловой и питательной воды.

Рассматриваются рекомендации при подготовке, выполнении и защите лабораторных работ, выполняемых при изучении курса «Судовые котельные и паропроизводящие установки».

Пособие предназначено для студентов очной и заочной форм обучения Севастопольского государственного университета, Морского института, специальности 26.05.06 «Эксплуатация судовых энергетических установок».

Задачи, поставленные в пособии реализуют требования компетенций: УК-2, ОПК-2, ОПК-3, ПК-5, ПК-6, ПК-45, ПК-46.

УДК [621.18:629.5](075.8)
ББК 39.455.11я73

Рассмотрено и рекомендовано на заседании кафедры энергоустановок морских судов и сооружений Морского института Севастопольского госуниверситета в качестве учебного пособия при выполнении курсового проектирования и подготовки разделов выпускной квалификационной работы по дисциплине «Судовые котельные и паропроизводящие установки» для студентов специальности 26.05.06 – Эксплуатация судовых энергетических установок. Протокол заседания кафедры № 4 от 29.12.2025 г.

© Очеретяный В.А., Хромов Е.В., 2026
© ФГАОУВО «Севастопольский
государственный университет», 2026

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	5
Лабораторная работа № 1. Системы котельного отделения	6
1.1. Состав котельного отделения	6
1.1.1 Котел КВС-68	8
1.1.2 Котел КВЦ-15/8	11
1.1.3 Питательные насосы	12
1.1.4 Топливные насосы	15
1.1.5 Водоподогреватель	17
1.1.6 Теплый ящик	17
1.1.7 Топливоподогреватель	18
1.1.8 Топливные фильтра	19
1.1.9 Вентиляторы	20
1.1.10 Расходная цистерна	20
1.1.11 Дозерная установка	20
1.1.12 Трубопроводы и арматура	21
1.2. Условные обозначения элементов котельного отделения	22
1.3 Работа котельного отделения	24
1.4 Арматура систем котельного отделения	29
1.5 Оформление отчета	35
1.6 Вопросы к контрольной работе	35
Лабораторная работа № 2. Арматура судовых паровых котлов	37
2.1 Стопорные клапаны	38
2.2 Питательные клапаны	40
2.3 Водоуказательные приборы	42
2.4 Предохранительные клапаны	46
2.5 Клапаны продувания	51
2.6 Клапаны для отбора проб воды и для введения в котел химических присадок	52
2.7 Клапаны для манометров и удаления воздуха	52
2.8 Материалы арматуры котлов	53
2.9 Топочные устройства	53
2.10 Оформление отчета	56
2.11. Вопросы к контрольной работе	56
Лабораторная работа № 3. Изучение форсунок судовых котлов	57
3.1 Введение	57
3.2 Пароструйные форсунки	57
3.3 Форсунки механические вращающиеся	62
3.4 Механические форсунки	65
3.4.1 Форсунки механические нерегулируемые	65

3.4.2 Форсунки механические (центробежные) регулируемые	70
3.4.3 Форсунки паромеханические	77
3.5 Выполнение работы	80
3.6 Оформление отчета	83
3.7 Вопросы к лабораторной работе	83
Лабораторная работа № 4. Анализ продуктов сгорания	84
4.1 Введение	84
4.2 Описание установки	85
4.3 Порядок проведения работы	88
4.4 Схема установки прибора КГА-1-1	89
4.5 Оформление отчета	93
4.6 Вопросы к лабораторной работе	93
Лабораторная работа № 5. Анализ котловой и питательной воды с помощью судовой лаборатории СКЛАВ-1	95
5.1 Введение	95
5.2 Устройство лаборатория СКЛАВ-1	96
5.3 Подготовка лаборатории к работе	100
5.4 Осветление воды	102
5.5 Определение жесткости воды с помощью трилона Б	102
5.6 Определение щелочности котловой воды (по фенолфталеину)	104
5.7 Определение хлоридов	106
5.7.1 Определение хлоридов в котловой воде	106
5.7.2 Определение хлоридов в конденсате и дистилляте	108
5.8. Определение содержания фосфатов в котловой воде	108
5.9 Определение содержания нитратов в котловой воде	110
5.10 Определение содержания кислорода в питательной воде	112
5.11 Определение содержания нефтепродуктов воде	114
5.12 Лаборатория водного контроля Unitor	115
5.13 Оформление протокола лабораторной работы	120
5.14 Вопросы к лабораторной работе	120
Литература	122
Приложение Пример формирования функциональной схемы	126

ВВЕДЕНИЕ

Занятия выполняются в Лаборатории тренажерного и лабораторного практикума по судовым паровым котлам.

К лабораторным работам допускаются студенты, прошедшие инструктаж по правилам техники безопасности в лаборатории.

Первая и вторая лабораторные работы выполняются в течение 4 часов каждая; остальные – по 2 часа каждая.

В порядке подготовки к лабораторным занятиям студенты обязаны заблаговременно изучить содержание, порядок выполнения и оформления лабораторной работы по настоящим указаниям и необходимой литературе.

Проверка подготовки студентов к проведению работы проводится преподавателем непосредственно перед началом работы.

Студенты, недостаточно подготовившиеся, к проведению лабораторных работ не допускаются.

Для получения зачёта по лабораторной работе студент должен представить отчет по работе, содержащий требуемые схемы установок (или систем), необходимые расчеты результатов выполнения (при наличии), дать ответы по содержанию работ.

Лабораторная работа № 1

СИСТЕМЫ КОТЕЛЬНОГО ОТДЕЛЕНИЯ

Цель лабораторной работы:

- изучение устройства, работы и взаимодействия элементов лаборатории судовых паровых котлов кафедры ЭМСС;
- составление обобщенной функциональной схемы котельного отделения: паровой; питательной; топливной; воздушной и ввода химикатов.

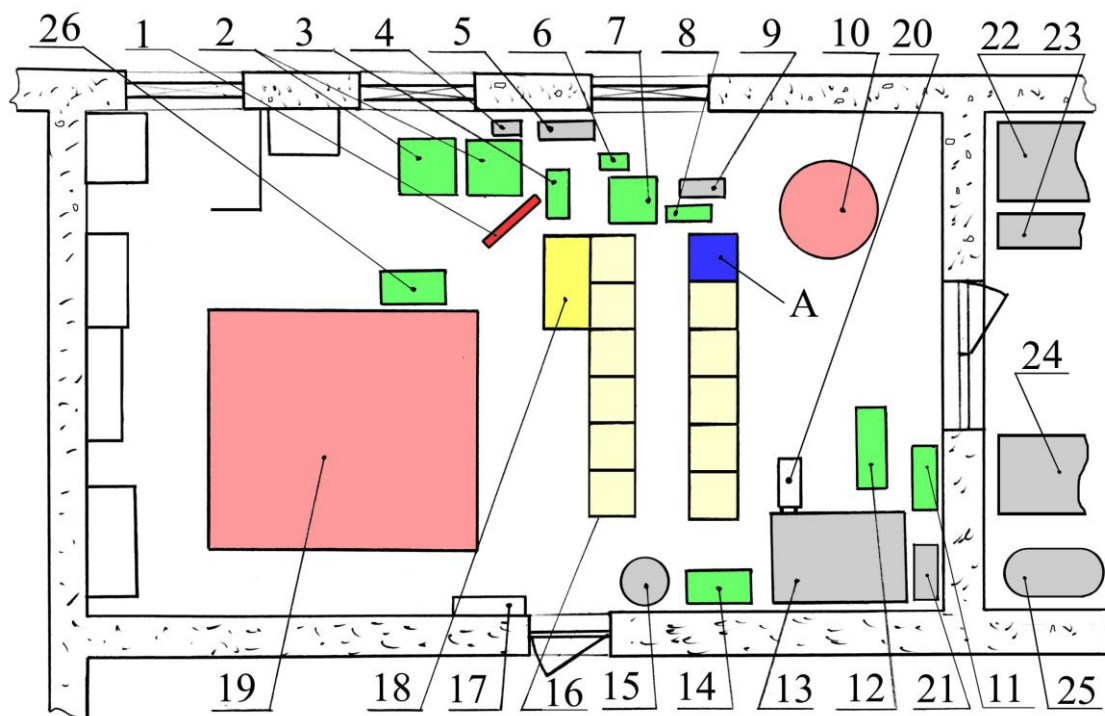
1.1. Состав котельного отделения

Назначение котельного отделения - подача пара заданных параметров и в необходимом количестве в турбинное отделение и на вспомогательные механизмы в котельном отделении (паровые насосы и теплообменные аппараты). На рисунке 1.1 представлен общий вид котельного отделения.



Рисунок 1.1 – Общий вид котельного отделения

На рисунке 1.2 представлен план котельного отделения с оборудованием, задействовавшим в настоящей лабораторной работе.



А – Пульт управления тренажером; 1 – щит управления, индикации и сигнализации; 2 – вентиляторы; 3, 7 – основные топливные насосы главного котла; 4, 9 – фильтры тонкой и грубой очистки; 5, 15 – подогреватели топлива и питательной воды; 6 – насос топливный пусковой; 8 – насос дозерный; 10, 19 – стояночный (вспомогательный) и основной (главный) котлы; 11 – питательные насосы (два насоса) вспомогательного котла; 12, 14 – питательные насосы главного котла; 13 – теплый ящик; 16, 18 – столы; 17 – манометрический щит; 20 – верстак; 21 – расходная цистерна; 22 – расходная цистерна тяжелого топлива; 23 – цистерна легкого топлива; 24 – цистерна основного запаса питательной воды; 25 – баллон сжатого воздуха; 26 – установка водокотроля

Рисунок 1.2 – Расположение оборудования в лаборатории котлов

В состав котельного отделения (рисунок 1.2) входит: котел вспомогательный (работает на ходу судна – главный) КВС-68 (19); котел стояночный (вспомогательный) КВЦ 15/8 (10); главный питательный насос с электрическим приводом (12); главный питательный насос – с паровым приводом (14); главный топливный насос с электрическим приводом (3); главный топливный насос с паровым приводом (7); пусковой топливный насос с электрическим приводом (6); паровой топливоподогреватель (5); паровой водоподогреватель (15); теплый ящик (13); двоянный фильтр топливный

грубой очистки (9); фильтр топливный тонкой очистки (4); паровые прямодействующие питательные насосы вспомогательного котла (11); дозерная установка 8 (дозерный насос и бачки фосфатов и нитратов); расходная цистерна 21; вентиляторы 2; 22 – расходная цистерна тяжелого топлива; 23 – цистерна легкого топлива; 24 – цистерна основного запаса питательной воды; 25 – баллон сжатого воздуха;

Перечисленные выше элементы вместе с соответствующей арматурой образуют системы котельного отделения:

- паровую (и конденсатную);
- питательную;
- топливную (тяжелого и легкого топлива);
- воздушную система (воздуха для горения);
- систему сжатого воздуха (для сажеобдува);
- систему ввода химических добавок в питательную воду.

Компоновка котельного отделения выполнена с учетом требований и рекомендаций Морского Регистра РФ [1, 2]

1.1.1. Котел КВС-68

Котел КВС-68 (рисунок 1.3) - с естественной циркуляцией, вертикальный, водотрубный, шатрового типа с двухсторонним протоком дымовых газов. Паропроизводительность 10 т/ч, рабочее давление 2,5 МПа.

Корпус котла состоит из пароводяного коллектора Ø770, соединенного двумя симметричными конвективными пучками парообразующих труб Ø29×2,5 с двумя водяными коллекторами Ø500 (рисунок. 1.3).

Каждый конвективный пучок состоит из 13 рядов труб. Расположение труб в пучке - шахматное. Трубы крепятся к коллекторам вальцовкой.

Для установки котла на фундамент к водяным коллекторам приварены стальные опоры по 2 штуки на каждый коллектор.

Передние опоры крепятся к котельному фундаменту наглухо, а задние опоры свободно скользят по поверхности фундамента.

Каркас и обшивка котла крепится к коллекторам. Каркас представляет решетку, сваренную из профильной листовой стали. Щиты обшивки выполнены из стальных листов и крепятся на штырях к каркасу и коллекторам.

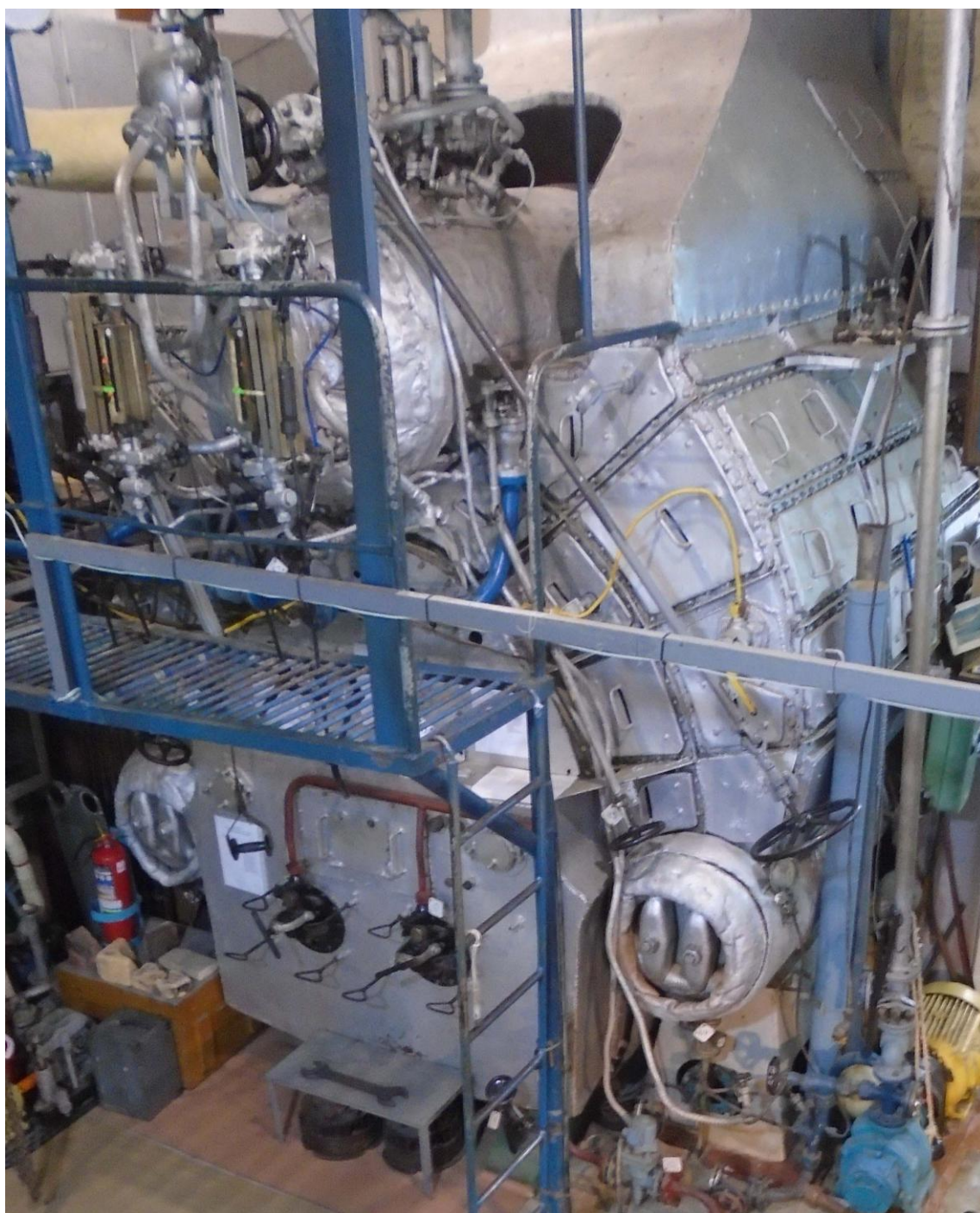
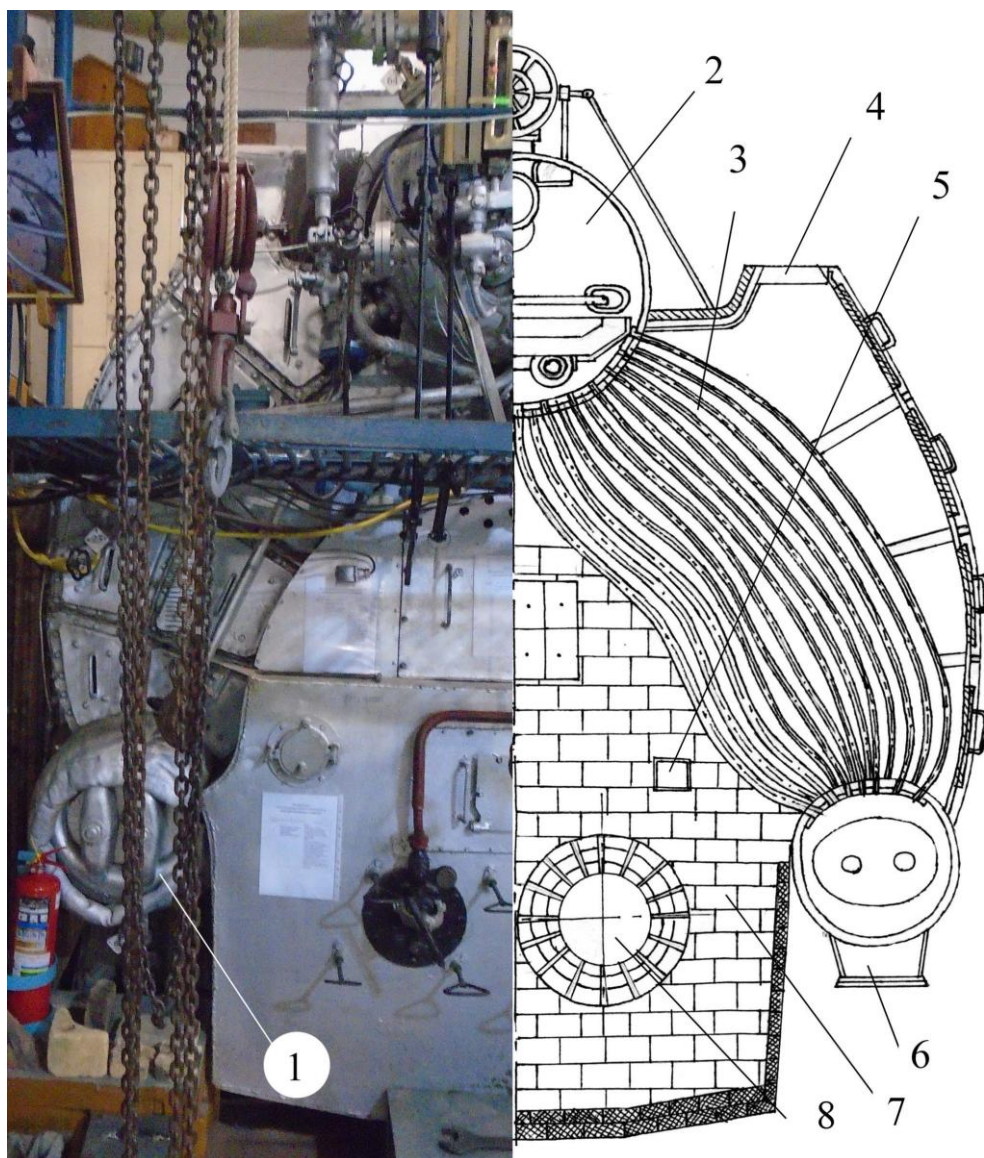


Рисунок 1.3 – Общий вид котла КВС-68

На рисунке 1.4 представлен главный вид котла с разрезом. Нижняя часть топки ограничена поддоном, который по длине котла примыкает к водяным коллекторам, а по фронтам сопрягается с фронтowymi стенками обшивки.



1 – водяной коллектор; 2 – пароводяной коллектор; 3 – испарительный трубный пучок; 4 – выход дымовых газов; 5 – окошко для наблюдения за процессом горения; 6 – опора; 7 – кирпичная обмуровка переднего фронта; 8 – фурменное отверстие
Рисунок 1.4 – Поперечный разрез котла КВС-68:

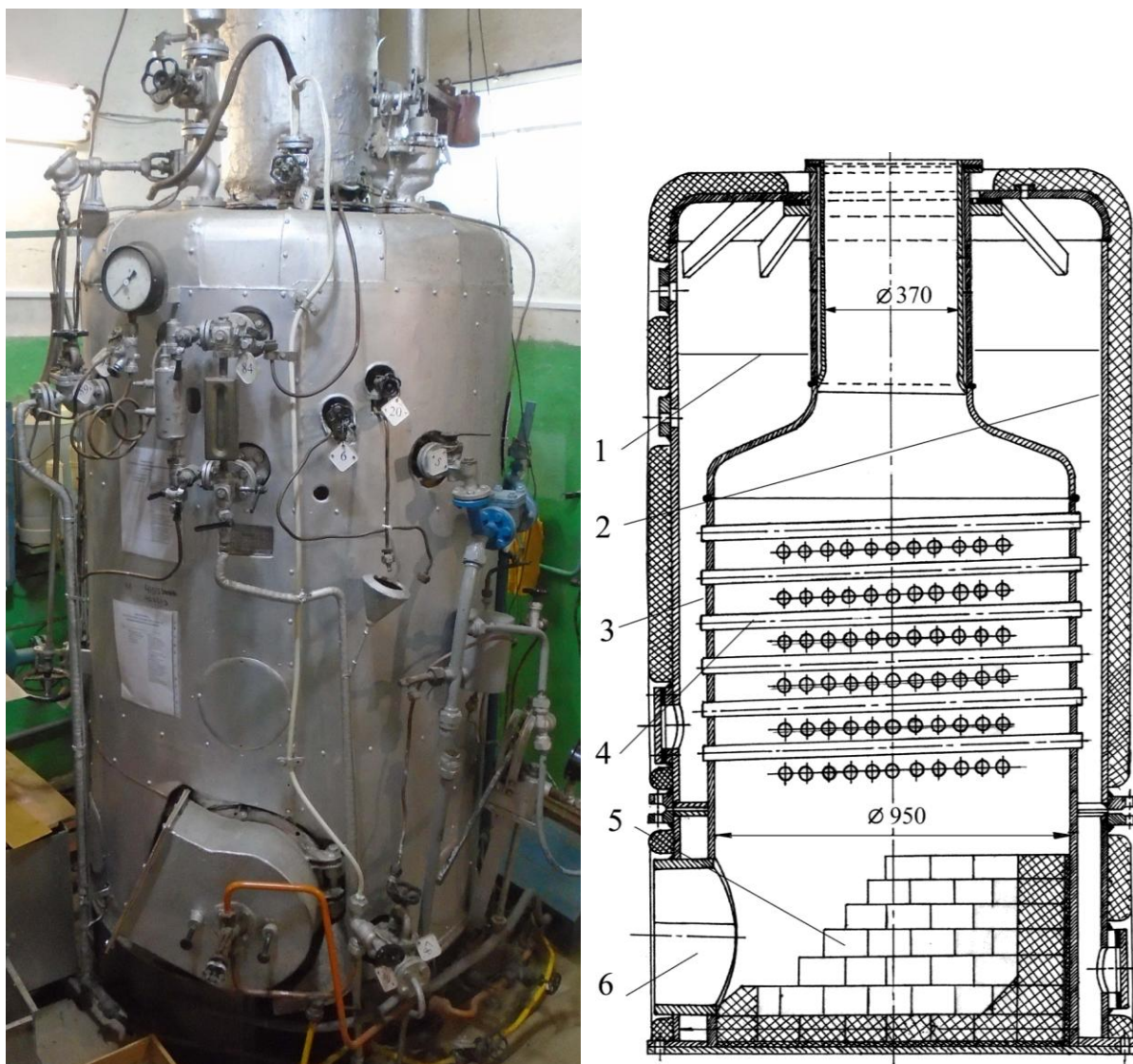
Фронтальные стенки обшивки топки и поддон изнутри облицованы огнеупорным шамотным кирпичом. Котел имеет одностороннее отопление.

Топочное устройство котла состоит из механической нерегулируемой форсунки, воздухонаправляющего устройства и диффузора с тягами.

На котле в соответствии с Правилами Регистра РФ установлена необходимая арматура [1, 2].

1.1.2 Котел КВЦ-15/8

На рисунке 1.5 представлен котел КВЦ-15/8.



- 1 – средний рабочий уровень воды в котле;
2 – внешняя обечайка; 3 – внутренняя обечайка; 4 – трубы испарительного пучка;
5 – кирпичная обмуровка топки; 6 – фурменное отверстие

Рисунок 1.5 – Котел КВЦ 15/8

Котел вертикальный, цилиндрический, состоит из 2 обечайек (внутренней и внешней) и 2 днищ. Между обечайками находится котловая вода, которая нагревается теплотой газов, движущихся по внутренней обечайке снизу-вверх. Во внутреннюю обечайку вварены трубы, в которых находится вода, обогреваемая уходящими газами. Труб образую конвективный испарительный пучек.

Топка представляет собой жаровую трубу, соединяющую внешнюю и внутреннюю обечайку. Для подачи топлива в котел установлена пароструйная щелевая форсунка инженера Шухова.

Необходимый для горения воздух поступает в топку за счет самотяги. Для обеспечения нормальной эксплуатации котел снабжен необходимым количеством арматуры.

1.1.3. Питательные насосы

Для работы котельной установки в лаборатории установлено четыре питательных насоса.

Два питательных насоса разного типа обеспечивают подачу питательной воды в котел КВС-68. Главный питательный насос – электроприводной центробежный консольного типа (позиция, 12 рисунок 1.2). Общий вид насоса представлен на рисунке 1.6. Создаваемое рабочее давление 3,0 МПа.



Рисунок 1.6 – Главный питательный насос котла КВС-68

Запасной питательный насос котла КВС-68 – поршневой прямодействующий с паровым приводом (позиция 14, рисунок 1.2). Общий вид насоса представлен на рисунке 1.7.

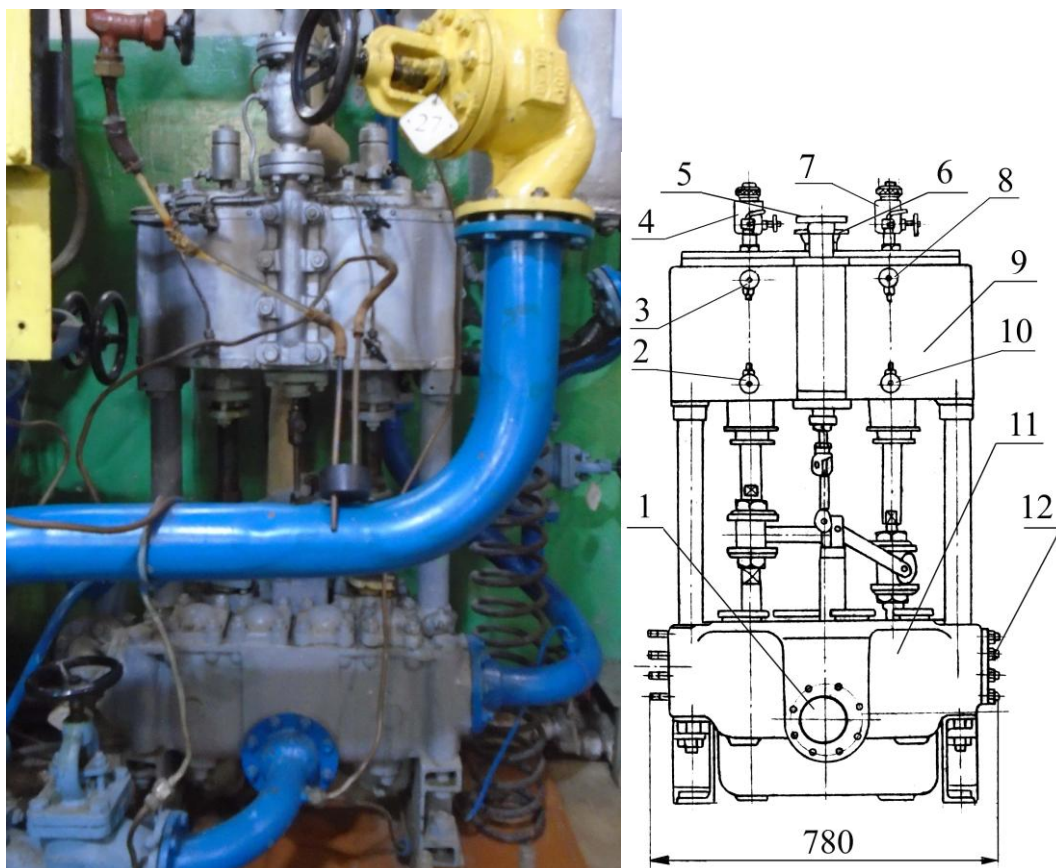


Рисунок 1.7 – Запасной питательный насос:

1 – подвод питательной воды (всасывающий фланец); 2, 3, 8, 10 – дренажные краники; 4, 7 – масленки; 5, 6 – фланцы подвода и отвода пара; 9 – приводная часть (паровые цилиндры); 11 – насосная часть (водяные цилиндры); 12 – отвод питательной воды

Паровой поршневой прямодействующий насос – вертикальный, состоит из двух паровых и двух насосных цилиндров, служит для подачи питательной воды в котлы из тёплого ящика. Создаваемое рабочее давление 3,0 МПа.

Два питательных насоса, включенные параллельно, служат для подачи воды из теплого ящика или цистерны основного запаса воды в котел КВЦ-15/8. Общий вид насосов представлен на рисунке 1.8. Также эти насосы (или один насос) могут быть использованы при заполнении питатель-

ной водой котла КВС-68. При запуске котла КВЦ-15/8 (отсутствии пара) эти насосы работают на сжатом воздухе. (или из теплого ящика) в котлы. Насосы паровые, прямодействующие, горизонтальные (рис. 1.6). Насосы приводятся паром или сжатым воздухом (при заполнении котлов водой).

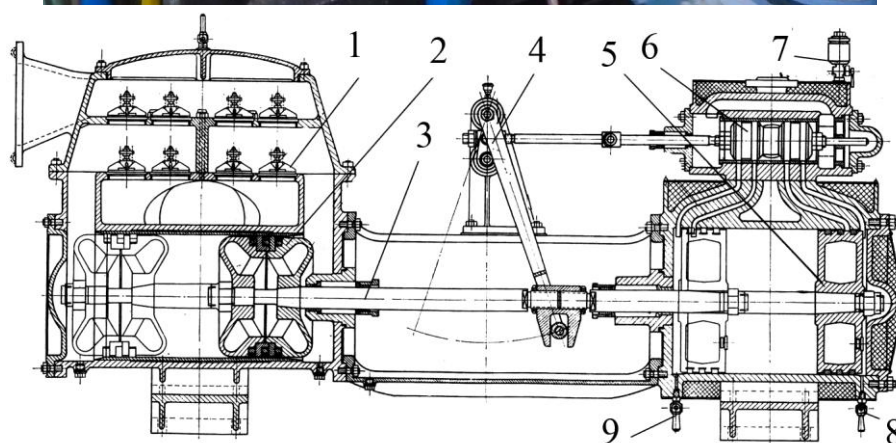


Рисунок 1.8 – Насосы котла КВЦ-15/8:

1 – клапанная коробка; 2 – водяной цилиндр и поршень; 3 – шток; 4 – система рычагов системы парораспределения; 5 – паровой поршень; 6 – золотник системы парораспределения; 7 – масленка; 8 – дренажные краники

1.1.4. Топливные насосы

Топливо в котел КВС-68 подается тремя насосами. При пуске котла используется шестеренчатый насос, подающий в котел легкое топливо (позиция 6, рисунок 1.2). Общий вид насоса представлен на рисунке 1.9.

Насос консольного типа, рабочее давление насоса 1,5 МПа, муфта – упругая пальцевая.



Рисунок 1.9 – Общий вид пускового насоса котла КВС-68:
1 – насос; 2 – муфта; 3 – электродвигатель

В основном режиме котел КВС-68 работает на тяжелом топливе. Подачу топлива обеспечивают два насоса: основной и запасной. Основной насос – винтовой электроприводной (позиция 3, рисунок 1.2). Общий вид насоса представлен на рисунке 1.10. Рабочее давление насоса 2,0 МПа.

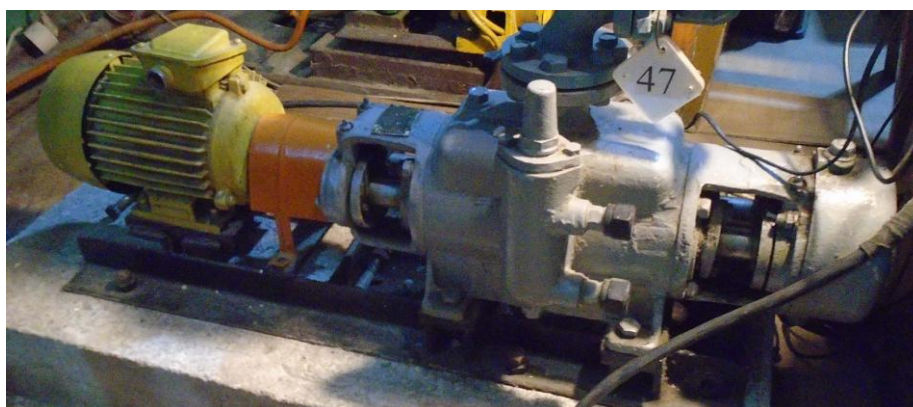


Рисунок 1.10 – Общий вид основного топливного насоса котла КВС-68

Запасной топливный насос (позиция 7, рисунок 1.2) – поршневой прямоточный одноцилиндровый. Общий вид насоса представлен на

рисунке 1.11. Для компенсации неравномерности давления и подачи на выходе из насоса установлен пневмоаккумулятор (воздушный колпак).



Рисунок 1.11 – Общий вид запасного топливного насоса котла КВС-68

Так как котел КВЦ-15/8 работает на легком топливе, подача его осуществляется самотеком. Для этого топливная цистерна легкого топлива (позиция 23 рисунок 1.2) расположена с подпором по отношению к форсунке котла. Распыл топлива осуществляется паром; при запуске – сжатым воздухом.

1.1.5. Водоподогреватель

В системе подачи питательной воды в котле КВС-68 возможно использование внешнего парового водоподогревателя. Водоподогреватель (позиция 15, рисунок 1.1) служит для подогрева питательной воды отработанным паром. Подогреватель вертикальный с U-образными трубками, двухходовой по воде. Конденсат греющего пара отводится в теплый ящик через конденсатоотводчик. Общий вид теплообменного аппарата представлен на рисунке 1.12.



Рисунок 1.12 – Общий вид парового водоподогревателя

1.1.6. Тёплый ящик

Теплый ящик (позиция 13, рисунок 1.2) служит для сбора и подогрева конденсата, для деаэрации, для очистки конденсата от механических при-

месей и масла; раздачи на насосы питательной воды по потребителям. Общий вид теплового ящика представлен на рисунке 1.13.

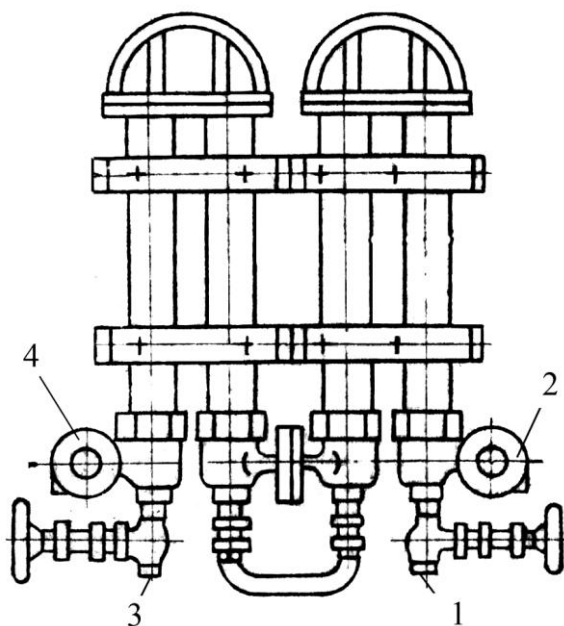


Рисунок 1.13 – Общий вид теплового ящика котельного отделения

1.1.7. Топливоподогреватель

Топливоподогреватель (позиция 5, рисунок 1.2) типа «труба в трубе», служит для подогрева мазута отработанным паром. Максимальная температура подогрева топлива 80 – 90 °С. Устройство теплообменного аппарата

представлено на рисунке 1.14. Конденсат греющего пара направляется в теплый ящик.



1 – подвод пара; 2 – подвод топлива; 3 – отвод конденсата; 4 – отвод топлива

Рисунок 1.14 – Устройство топливоподогревателя

1.1.8. Топливные фильтры

На рисунке 1.15 изображен фильтр тонкой очистки.

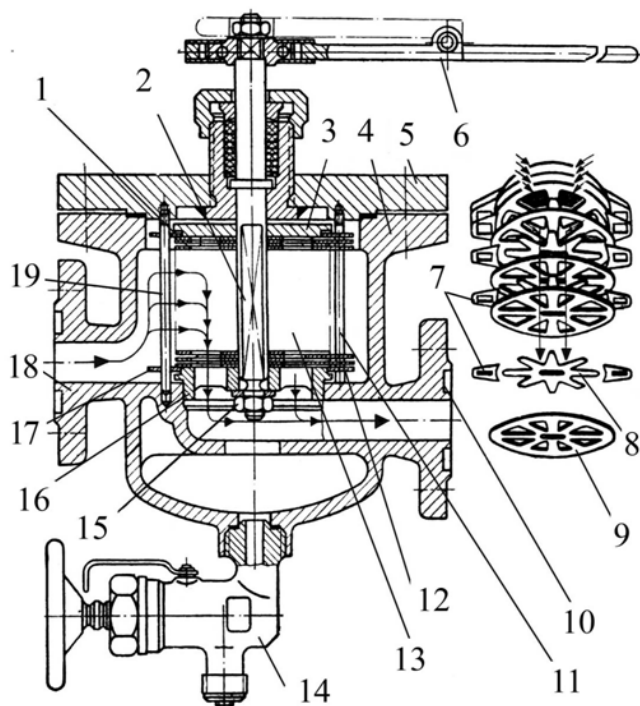


Рисунок 1.15 – Топливный
пластинчатый фильтр:

1 – круглые пластины; 2 – шток;
3 – тарелка; 4 – корпус; 5 – крышка;
6 – рукоятка; 7, 12, 17 – ножи;
8 – звездообразные прокладки;
9 – пластины; 10, 18 – выходной и
приемный фланцы; 11, 19 – стойки;
13 – фильтрующий патрон; 14 –
спускной клапан; 15 – гайка; 16 – втулка

Для удаления из топлива механических примесей установлены 3 фильтра: два фильтра грубой очистки (позиция 9, рисунок 1.2) и один фильтр тонкой очистки (позиция 4, рисунок 1.2).

Фильтры грубой очистки – сетчатые, тонкой очистки – пластинчатый. Устройство пластинчатого фильтра представлено выше.

1.1.9. Вентиляторы

Для обеспечения воздухом для горения котла КВС-68 установлены два вентилятора центробежного типа с электроприводом, включены параллельно (рисунок 1.16).



Рисунок 1.16 – Общий вид вентиляторов

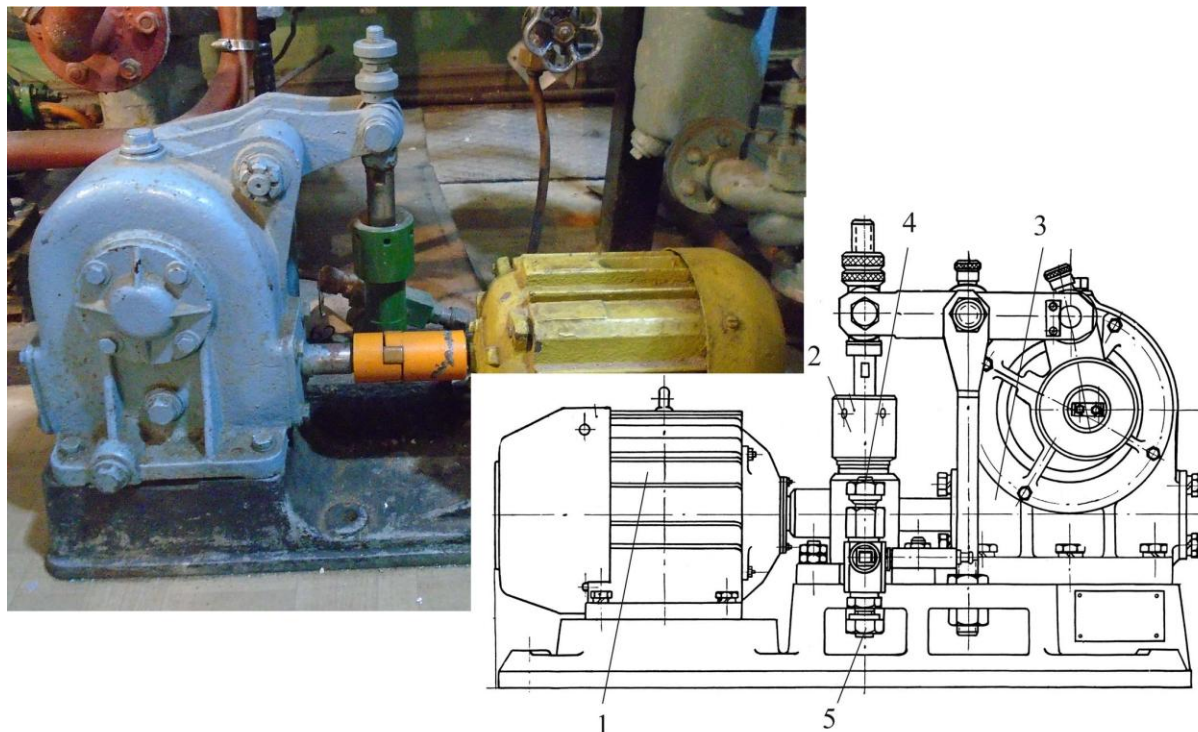
1.1.10. Расходная цистерна

Расходная цистерна (позиция 21, рис. 1.1) служит для сбора конденсата, поступающего в котельное отделение из турбинного отделения.

1.1.11. Дозерная установка

Дозерная установка (позиция 8, рис. 1.2) состоит из дозерного насоса (рисунок 1.17), двух бачков реагентов (фосфатов и нитратов) и трубопро-

вода с необходимой арматурой. Дозерный насос – плунжерного типа, привод насоса состоит из червячного редуктора и электродвигателя.



1 – электродвигатель; 2 – насос плунжерный; 3 – редуктор червячный; 4 – подвод раствора; 5 – отвод раствора

Рисунок 1.17 – Дозерный насос

1.1.12. Трубопроводы и арматура

Трубопроводы острого пара служат для подачи пара от котлов в турбинное отделение и к вспомогательным механизмам котельного отделения.

Трубопроводы отработанного пара служат для отвода отработанного пара от вспомогательных механизмов в турбинное отделение.

Трубопроводы питательной воды служат для подачи воды из цистерны или из теплого ящика к котлам.

Трубопровод тяжелого топлива (мазута) служит для подачи топлива к котлу КВС-68.

Трубопроводы дизельного топлива служат для подачи топлива к котлам КВС-68 (в период пуска) и КВЦ-15/8.

Трубопровод сжатого воздуха служит для подачи воздуха на паровоздушную форсунку котла КВЦ-8-15 и для подачи воздуха на привод питательных насосов. Возможна подача сжатого воздуха на обдувку поверхностей нагрева котла КВС-68.

Трубопровод воздуха низкого давления служит для подачи воздуха от вентиляторов к котлу КВС-68.

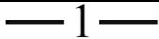
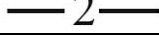
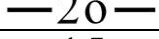
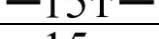
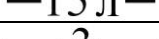
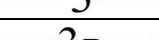
Трубопроводы конденсата служат для подачи конденсата в теплый ящик.

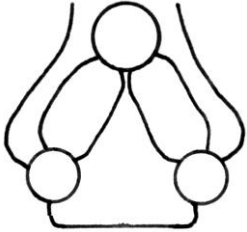
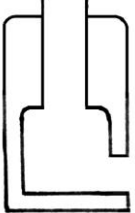
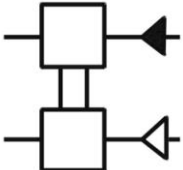
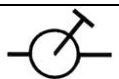
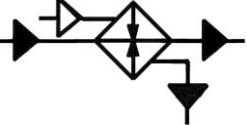
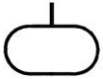
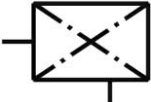
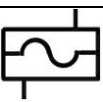
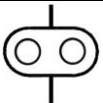
1.2. Условные обозначения элементов котельного отделения на функциональных схемах

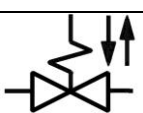
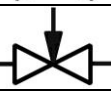
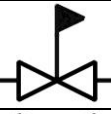
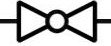
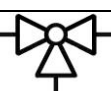
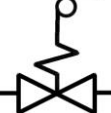
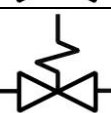
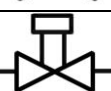
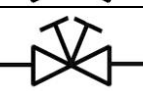
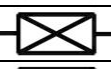
На всех трубопроводах котельного отделения установлена арматура, условные обозначения которой представлены в таблице 1.1 [3...5].

Т а б л и ц а 1.1

Условные обозначения элементов в судовых функциональных схемах

Обозначение	Описание элемента
1	2
	Трубопровод воды (без указания типа воды)
	Трубопровод питательной воды
	Трубопровод конденсатно-питательный
	Трубопровод паровой
	Трубопровод острого пара
	Трубопровод отработанного пара
	Топливные трубопровод (без указания типа топлива)
	Трубопровод тяжелого топлива
	Трубопровод легкого топлива
	Воздушный трубопровод
	Трубопровод сжатого воздуха
	Трубопровод воздуха для горения
	Указание направления движения среды (жидкость)
	Указание направления движения среды (газ, пар)
	Обводка трубопроводов (соединение отсутствует)
	Соединение трубопроводов

	Котел КВС-68, трехбарабанный, водотрубный, с двухпро- точным движением газов
	Котел КВЦ 15-8
	Насос с паровым приводом
	Центробежный насос
	Насос (без указания типа)
	Насос ручной
	Теплообменный аппарат (подогреватель) с указанием под- вода и отвода греющей и обогреваемой сред
	Баллон под давлением
	Вентилятор
	Фильтр
	Цистерна
	Форсунка
	Насос винтовой
	Насос шестеренчатый
	Клапан проходной запорный

	Клапан угловой запорный
	Клапан невозвратный
	Клапан невозвратно-запорный
	Клапан быстродействующий
	Клапан регулирующий
	Клапан с дистанционным управлением
	Кран двухходовой
	Кран трехходовой
	Задвижка
	Заслонка
	Конденсатоотводчик
	Клапан предохранительный с тросиковым приводом
	Клапан предохранительный
	Клапан с электромагнитным приводом на закрытие
	Клапан для манометра
	Клапан дроссельный
	Клапан редукционный

1.3. Работа котельного отделения

Котельное отделение работает следующим образом.

Главный котел, вырабатывающий пар в турбинное отделение – котел КВС-68.

Котел вспомогательный КВЦ 15/8 служит для запуска главного котла и для работы на стояночных режимах.

В начальном состоянии котлы порожние, т.е. без воды.

Вспомогательный котел КВЦ 15/8 заполняется питательной водой одним из двух горизонтальных питательных паровых насосов. Насосы паровые, поэтому имеется внешний источник их привода – два баллона со сжатым воздухом (давление до 6 МПа). Объем баллонов хватает на заполнение главного и вспомогательного котлов водой, теплого ящика (при необходимости) и распыл топлива на паровоздушной форсунке котла КВЦ 15/8 для его запуска. Т.о. из баллонов сжатый воздух подается на привод насоса (позиция 11, рисунок 1.2), который подает воду к потребителям из питательной цистерны, расположенной в соседнем помещении.

После заполнения водой запускается вспомогательный котел КВЦ 15/8. Воздух для горения обеспечивается самотягой. Зажигание форсунки – факелом. Топливо котла – легкое, поступает самотеком, за счет подпора высотой 3 м (0,03 МПа). Распыл топлива – сжатым воздухом.

После запуска котла подается пар от него на питательные насосы 11 и на форсунку. С помощью насосов питательная вода подается в главный котел 19 и в теплый ящик 13. Для запуска главного котла КВС-68 вентиляторами 2 воздух подается в топку котла 19.

Легкое топливо из топливной цистерны легкого топлива, расположенной в соседнем помещении, подается шестеренчатым насосом 6.

Потребители пара котла КВС-68 в турбинном отделении:

- паротурбогенераторная установка (рисунок 1.18),
- пожарные центробежные насосы с паротурбинным приводом (рисунок 1.19).

Потребители пара котла КВС-68 в котельном отделении:

– паровой поршневой прямодействующий топливный насос (рисунок 1.11);

– паровой поршневой прямодействующий питательный насос (рисунок 1.7).

Потребители пара котла КВЦ-15/8 в котельном отделении:

– паровые поршневые прямодействующие питательные насосы (рисунок 1.8).



Рисунок 1.18 – Паротурбогенераторная установка

Отработанный пар поступает в турбинное отделение на главный конденсатор (рисунок 1.20); а также в котельном отделении на топливоподогреватель (рисунок 1.14) и водоподогреватель (рисунок 1.12).

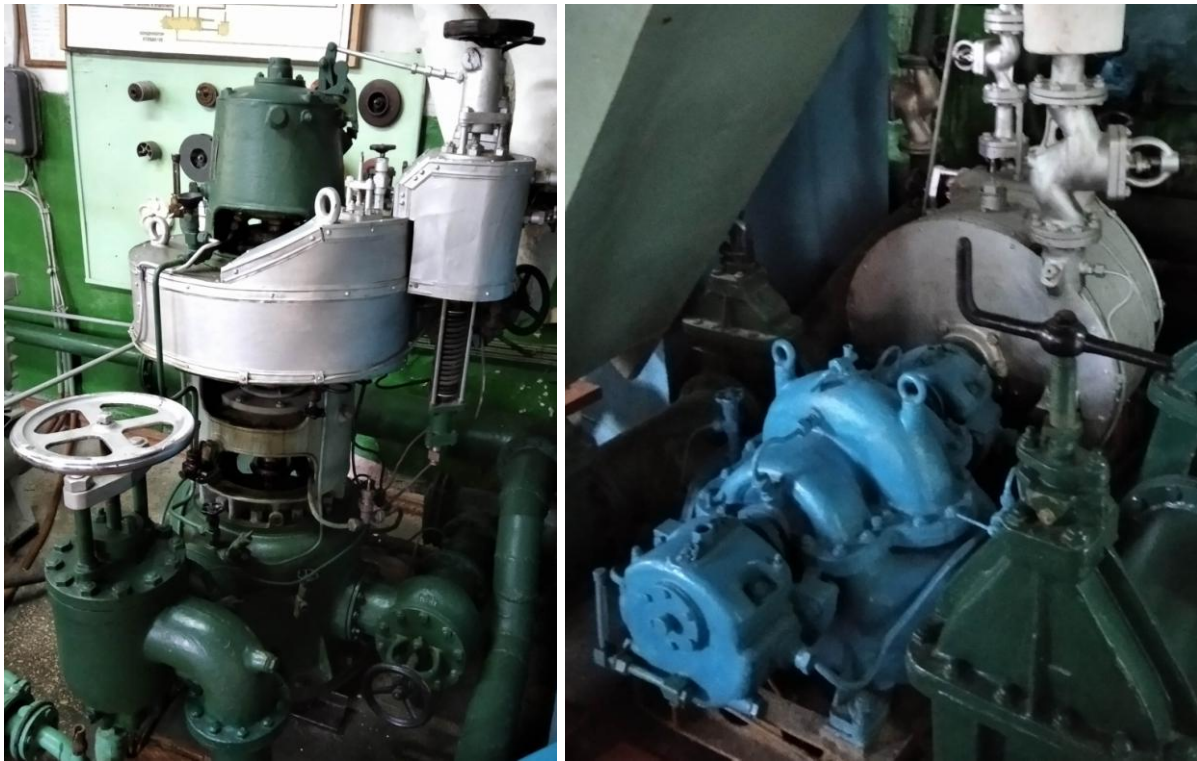


Рисунок 1.19 – Пожарные турбонасосы

В случае использования топливного и питательного насосов с электрическим приводом, отработанный пар поступает на подогреватели из турбинного отделения.



Рисунок 1.20 – Вспомогательный конденсатор

Конденсат от подогревателей отводится через конденсатоотводчики в теплый ящик.

Для имитации работы котельного отделения в лаборатории реализован электромеханический тренажер. Тренажер содержит щит управления, индикации и сигнализации (позиция 1, рисунок 1.2). Общий вид щита управления и индикации представлен на рисунке 1.21.

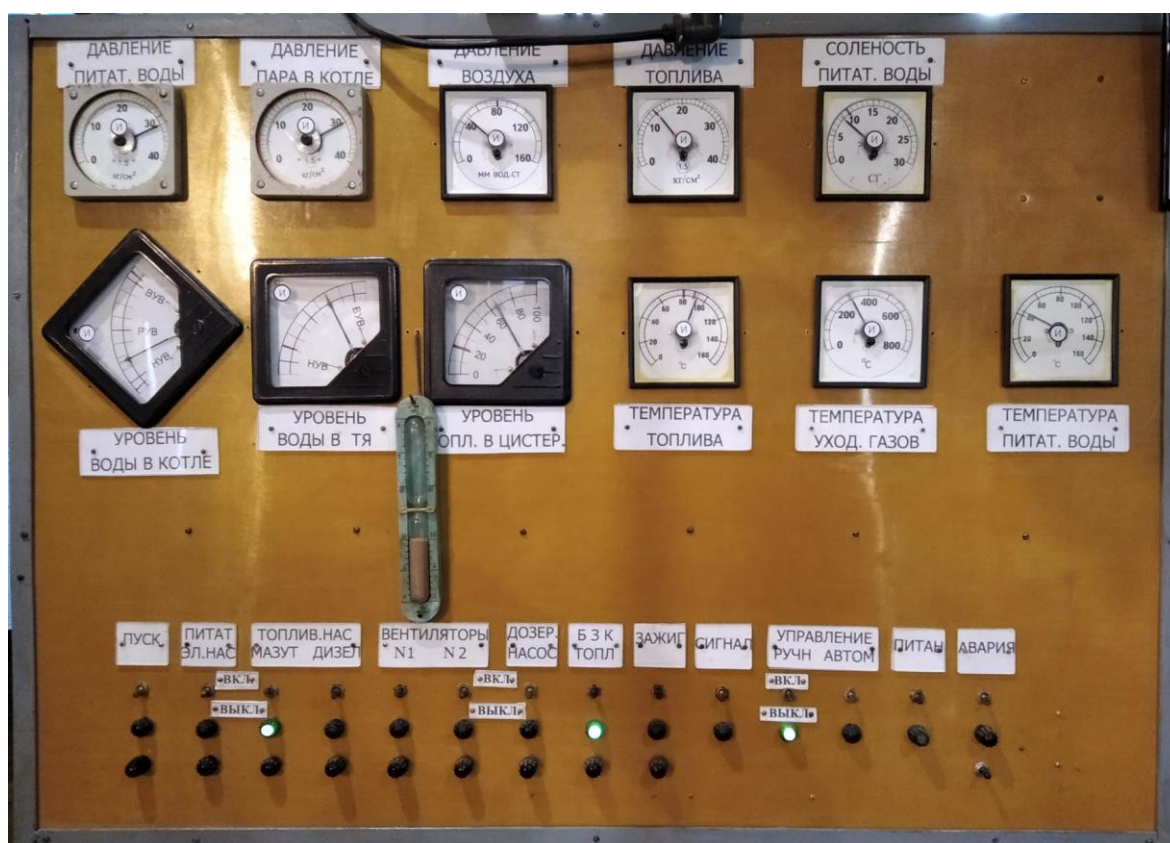


Рисунок 1.21 – Щит управления и индикации

На рисунке 1.22 представлен щит аварийно-предупредительной сигнализации.

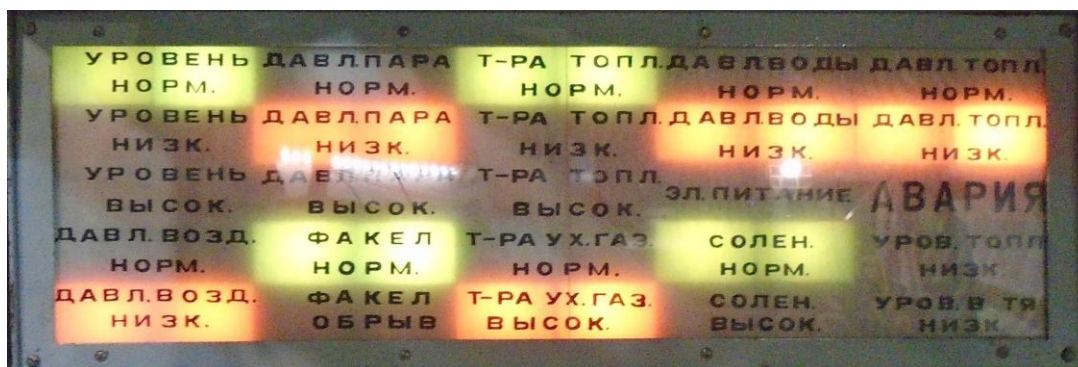


Рисунок 1.22 – Щит аварийно-предупредительной сигнализации

На рисунке 1.23 представлен пульт управления тренажером.

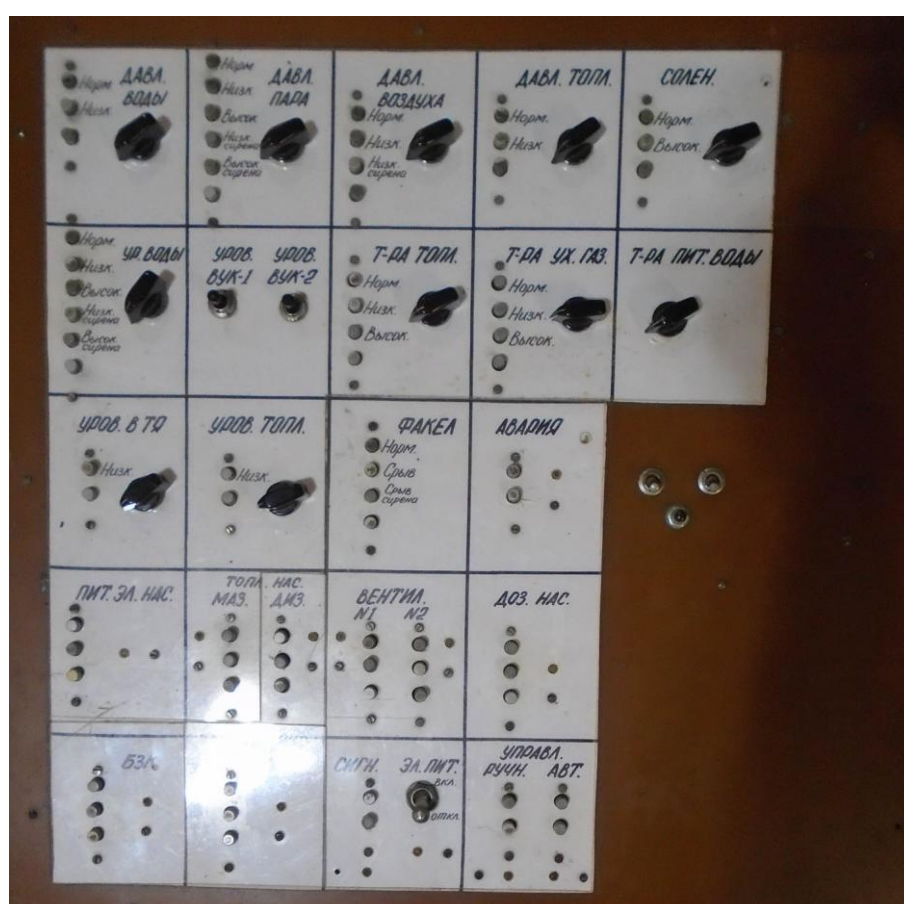


Рисунок 1.23 – Пульт управления тренажером

1.4. Арматура систем котельного отделения

В лаборатории, в зависимости от назначения судовая арматура подразделяется на:

а) запорную – для отключения отдельных участков трубопроводов (запорные клапаны, краны – пробковые и шаровые, задвижки);

б) регулируемую – для регулирования и поддержания заданных параметров среды (дроссельные, регулирующие, редукционные клапаны, регуляторы давления и уровня);

в) предохранительную и защитную – для предохранения отдельных участков трубопроводов и агрегатов (предохранительные, невозвратные);

г) контрольную – для контроля параметров среды (пробные краны и клапаны, краны и клапаны контрольно-измерительных приборов).

На рисунке 1.24 представлен внешний вид основной арматуры котельного отделения.



Рисунок 1.24 – Основная судовая арматура

По способу присоединения к трубопроводам арматура в лаборатории реализована фланцевой, штуцерной, муфтовой.

Для изготовления арматуры применяют латуни, бронзы, углеродистую, легированную, коррозионностойкую стали, алюминиевые и титановые сплавы.

Материал основных деталей арматуры приведен в таблице 1.2, материал основных деталей паровой арматуры – в таблице 1.3. Материалы и типы прокладок, применяемые в судовой арматуре представлены в таблице 1.4.

Т а б л и ц а 1.2

Материал основных деталей судовой арматуры

Детали	Материал деталей клапанов, кранов, задвижек		
	латунные	бронзовые	стальные
Корпус	ЛК80-3Л	Бр.ОЦ10-2	25Л, 2Х13
Крышка	ЛК80-3Л	Бр.ОЦ10-2	25Л, 30, 2Х13
Шпиндель	ЛЖМц59-1-1	Бр.Амц9-2	2Х13, 35, 1Х17Н2
Тарелка	ЛЖМц59-1-1	Бр.ОЦ10-2	25Л, 20, 2Х13
Болты	20, 25	20, 25, 2Х13	20, 25, 2Х13
Пружины	4Х13, 60С2А	4Х13, 60С2А	4Х13, 60С2А
Ходовая гайка	ЛМц58-2	Бр.Амц9-2	Бр.Амц9-2

Т а б л и ц а 1.3

Материалы основных деталей паровой арматуры

Детали	Материал
Корпус	20ХМЛ, 20ХМФЛ, Х18Н9ТЛ, 12МХ
Крышка	20ХМЛ, 20ХМФЛ, Х18Н9ТЛ, 2Х13
Шпиндель	38ХМЮА, 25Х2МФА, 4Х14Н14В2М, Х18Н10Т
Седло, тарелка	12МХ, 15ХМ, 2Х13, 38ХМЮА, Х18Н10Т, 1Х18Н10Т
Ходовая гайка	Бр.Амц9-2, ЛМц58-2, 2Х13, 40Х
Шпильки, гайки	20, 25, 30, 35ХМ, 25Х2МФА, Х18Н10Т, Х14Н14В2М

Т а б л и ц а 1.4

Прокладки для соединений трубопроводов

Материал прокладок	Параметры среды (не более)		Проводима среда
	Т, °К	Р, МПа	
1	2	3	4
Прессшпан	303	1,0	Нефтепродукты, масло, вода
Картон асбестовый	573	0,3	Дымовые газы, пар
Асбестовая ткань	723	0,6	Дымовые газы
Резина техническая	243	1,6	Вода, масло, бензин, топливо
Паронит	723	5,0	Вода, воздух, пар, выпускные газы
Текстолит	373	6,0	Вода, масло
Медь М1, М3	523	20,0	Воздух, пар, дизельное топливо, масло
Алюминий	573	2,0	Пар, нефтепродукты
Монель-металл	700	10,0	Перегретый пар, вода, бензин

Никель	725	7,0	Перегретый пар
Сталь 20	473	10,0	Питательная вода
Сталь 15ХМ	723	6,4	Перегретый пар

Наибольший по представительству класс судовой арматуры – запорная арматура (рисунок 1.25).

Запорные клапана предназначены для разобщения и герметизации участков трубопроводов. Запорный орган – тарелка – соединен со штоком и перемещается с ним. Тарелка соединяется со штоком таким образом, который позволяет вращаться штоку относительно тарелки, что предохраняет уплотнительные поверхности от истирания.

Трапецеидальная резьба штока входит в резьбовую втулку, который может быть частью корпуса или крышки клапана. При вращении штока маховиком по часовой стрелке клапан закрывается, при вращении против часовой стрелки – открывается.

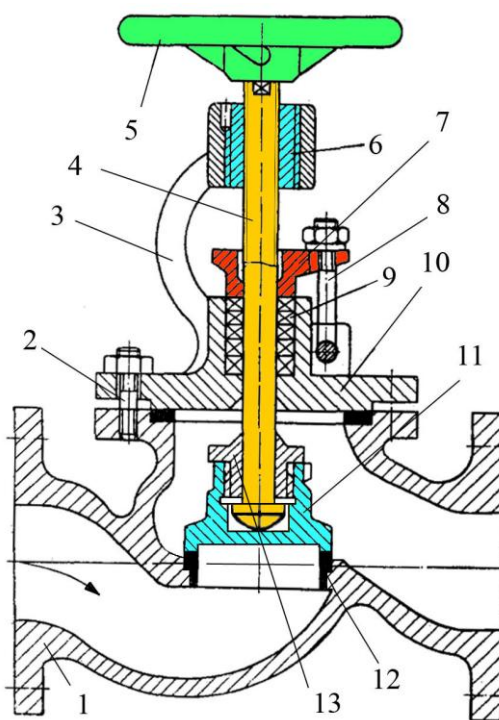


Рисунок 1.25 – Клапан запорный:

- 1 – корпус; 2 – шпилька; 3 – стойка; 4 – шпиндель (шток); 5 – маховик; 6 – ходовая гайка; 7 – нажимная втулка; 8 – откидной болт; 9 – сальниковая набивка; 10 – крышка; 11 – тарелка; 12 – седло; 13 – гайка

Трапецеидальная резьба штока входит в резьбовую втулку, который может быть частью корпуса или крышки клапана. При вращении штока маховиком по часовой стрелке клапан закрывается, при вращении против часовой стрелки - открывается.

Подвод среды в клапанах, как правило, производится под тарелку. Такой подвод имеет следующее преимущество: при закрытом клапане уплотнение корпуса с крышкой и сальник не подвержены действию рабочего давления и температуры. Если усилие на тарелку превышает 40...50 кН, подвод рабочей среды выполняется на тарелку. В этом случае для облегчения открытия клапана устанавливают разгрузочные обводы.

В судовых трубопроводах при условных проходах более 50 мм применяют задвижки, имеющие меньшее, чем клапаны гидравлическое сопротивление.

Для открытия задвижек требуется меньшее усилие, они допускают протекание среды в обоих направлениях, имеют меньшие размеры, особенно при больших условных проходах. Недостатки – уступают в плотности запираания трубопроводов, что объясняется сложностью пригонки уплотнительных поверхностей и деформацией корпуса от давления среды.

Уплотнительные поверхности задвижек подвержены быстрому износу, для открытия задвижек требуется значительно большее время.

В судовых трубопроводах для условных проходов до 80 мм в качестве запорной арматуры применяют также краны (пробки). Краны представляют собой арматуру, в корпусе которой устанавливается коническая пробка (конусность 1:7), для создания герметичности пробка плотно притирается к корпусу. Открытие и закрытие крана выполняется рукояткой. По конструкции краны делятся на проходные и трехходовые, которые различают с L-образной и с Т-образной пробками. Положение пробки кранов указывается рисками, нанесенными на ее торце. Краны отличаются от другой за-

порной арматуры быстротой переключения, меньшим по сравнению с клапанами гидравлическим сопротивлением.

В судовых трубопроводах для условных проходов до 80 мм в качестве запорной арматуры применяют также шаровые краны, свыше 80 мм применяют поворотные затворы (типа «бабочка»).

В качестве предохранительной арматуры применяются невозвратные (рисунок 1.26) и невозвратно-запорные клапана, которые открываются потоком среды и допускают ее движение только в одном направлении. В судовых трубопроводах такие клапана устанавливаются в питательных трубопроводах котлов, во всасывающих и нагнетательных трубопроводах насосов, за конденсатоотводчиками и других трубопроводах, где не допускается течение среды в обратном направлении.

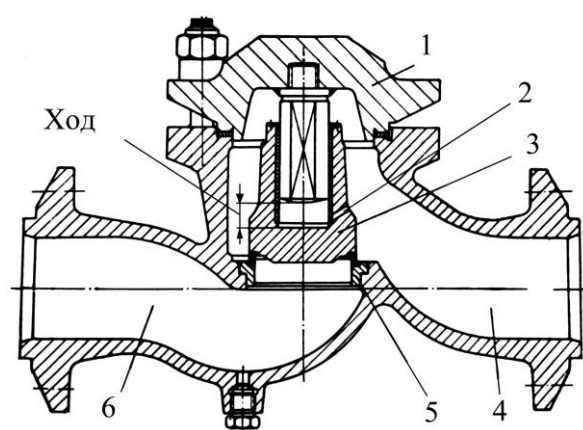


Рисунок 1.26 – Проходной невозвратный фланцевый клапан:

1 – крышка; 2 – разгрузочное отверстие 3 – тарелка;
4 – выходной патрубок; 5 – седло; 6 – входной патрубок

Невозвратно-запорные клапана в закрытом состоянии препятствуют движению среды в любом направлении, а при открытом клапане (поднятом штоке) работают как невозвратные. В невозвратно-запорных клапанах, в отличие от запорных, тарелка на штоке не закреплена. Невозвратные и невозвратно-запорные клапана должны устанавливаться при вертикальном

положении штока, отклонение от оси штока (тарелки) от вертикали допускается не более 15° .

Предохранительные клапаны предназначены для предотвращения повышения давления в трубопроводах сверх установленных норм.

В судовых трубопроводах применяют пружинные предохранительные клапаны, регулирование которых осуществляется поджатием пружины. В зависимости от отношения высоты подъема тарелки к диаметру проходного сечения седла предохранительные клапаны подразделяют на полноподъемные (отношение более $1/4$) и неполноподъемные (отношение менее $1/4$).

1.5. Оформление отчета

Отчет должен состоять из схемы котельного отделения, содержащей следующие системы:

- паровую и конденсатную;
- питательную и ввода химреагентов;
- топливную (тяжелого и легкого топлива);
- воздушную (для горения и сжатого воздуха).

Отчет может быть выполнен на одном листе (комбинированная схема) или каждая система может быть выполненная на отдельном листе.

Схема должны содержать все элементы котельного отделения. Все механизмы, трубопроводы и арматура должны быть обозначены в соответствии с нормативными требованиями.

1.6. Вопросы к лабораторной работе

1. Какое назначение имеет судовая котельная установка?
2. Перечислить потребители пара в котельном отделении.
3. Охарактеризовать основные характеристики питательных насосов котельного отделения.

4. Охарактеризовать основные характеристики топливных насосов.
5. Какое назначение парового водоподогревателя?
6. Какое назначение парового топливopодогревателя?
7. Охарактеризовать движение продуктов сгорания через котлы.
8. Каким образом регулируется подача в котлы воздуха для горения?
9. Каким образом регулируется подача в котлы топлива?
10. Каким образом осуществляется визуальное наблюдение за процессом горения топлива в котле?
11. Каким образом осуществляется доступ в топку котла?
12. Каким образом осуществляется доступ персонала в водяные коллектора?
13. Каким образом осуществляется доступ персонала в пароводяной коллектор?
14. Выполнить продувку водоуказателя котла КВЦ-15/8.
15. Выполнить продувку водоуказателя котла КВС-68.
16. Указать расположение на котлах арматуры продувания.
17. Указать расположение на котлах питательной арматуры.
18. Указать расположение на котлах воздушного крана (клапана).
19. Указать расположение на котле КВС-68 средств удаления сажи с поверхностей нагрева.
20. Обосновать применение в котельной установке трехходовых кранов.
21. Как работает топливная система котла КВС-68.
22. По сформированной комплексной схеме котельного отделения указать движение топлива (питательной воды, пара) и показать аналогичные элементы в лаборатории.

Лабораторная работа № 2

АРМАТУРА СУДОВЫХ ПАРОВЫХ КОТЛОВ

Целью данной лабораторной работы является изучение конструкции и работы арматуры судовых паровых котлов, а также изучение требований, предъявляемых к установке, испытаниям и материалам арматуры.

К арматуре судовых паровых котлов относятся устройства и приборы, устанавливаемые на паровых котлах и служащие для управления и контроля за правильной и безопасной их работой.

На паровых котлах устанавливается следующая основная арматура:

- а) главный стопорный клапан;
- б) вспомогательный стопорный клапан (при наличии);
- в) питательный клапан (два клапана);
- г) предохранительный клапан (два клапана);
- д) клапан верхнего продувания;
- е) клапан нижнего продувания;
- ж) клапан для удаления воздуха (деаэрационный);
- и) клапан отбора проб;
- к) клапан для ввода химических добавок (при наличии);
- л) клапаны предельных положений уровня (при наличии);
- м) дренажные клапаны (при наличии);
- н) водоуказательные колонки.

К расположению арматуры, к минимально необходимому количеству, к материалу арматуры Правила Регистра предъявляют следующие требования.

1. Арматура котла должна устанавливаться на приварышах или на специальных патрубках и крепиться к ним, как правило, на фланцах соот-

ветственно шпильками или болтами. Длина полной резьбы шпилек, входящих в тело приварыша, должна быть не меньше наружного диаметра резьбы шпильки. Штуцерная арматура допускается диаметром не более 15 мм. При этом крепления ее на котле должны выполняться на специальных приварышах.

2. Арматура должна быть доступной для управления и разборки.

3. Крышки клапанов должны крепиться к корпусам на шпильках или болтами. Клапаны с диаметром прохода 20 мм и меньше могут иметь крышки на резьбе при наличии на них надежных стопоров.

4. Клапаны должны иметь указатели положения "открыто", закрыто".

Закрытие клапанов должно производиться при вращении маховика по часовой стрелке.

2.1. Стопорные клапаны

Стопорные клапаны предназначены для сообщения котла с главным и вспомогательным паропроводами. Обычно они регулирующие неовратно-запорные и имеют дистанционный привод. При двух и более котлах до соединения их с общей магистралью должны устанавливаться неовратно-запорные клапана.

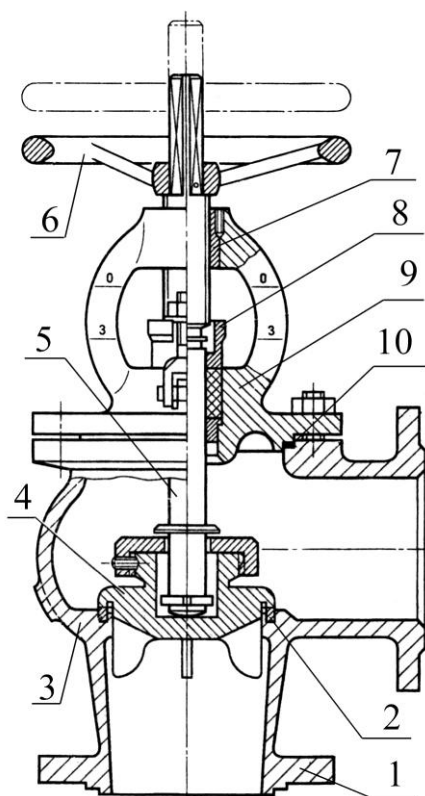
Стопорный угловой неовратно-запорный клапан, рассчитанный на невысокие параметры, представлен на рисунке 2.1.

Он имеет стальной корпус 3, который фланцем 1 крепится к приварышу на котле. У крышки 9, установленной на прокладке 10, имеется сальник с нажимной втулкой 8 и кронштейн (стойка) с резьбовой втулкой 7. На нижнем конце штока 5 свободно закреплена тарелка клапана 4, а на верхнем, на удлиненном квадрате – маховик 6.

Удлиненный квадрат сделан для присоединения дистанционного привода.

При вращении маховика против часовой стрелки шток клапана, вращаясь своей резьбовой частью во втулке 7, перемещается вверх и клапан под действием пара поднимается и соединяет котел с паропроводом.

При вращении маховика в противоположную сторону шток опускается, прижимает тарелку к гнезду 2 и закрывает клапан. Гнездо клапана изготовлено из нержавеющей стали и запрессовано в корпусе.



1 – фланец; 2 – седло; 3 – корпус;
4 – тарелка; 5 – шпindel (шток); 6 – маховик;
7 – ходовая гайка; 8 – нажимная втулка;
9 – крышка; 10 – прокладка

Рисунок 2.1 – Стопорный клапан



Рисунок 2.2 – Стопорный клапан
котла КВС-68

На рисунке 2.2 представлен стопорный клапан котла КВС-68. Как видно из рисунка, клапан угловой, непосредственный привод расположен горизонтально для уменьшения габаритов котла. Клапан имеет дистанци-

онный привод, на колене установлен воздушный кран. В нижней части корпуса над тарелкой установлен дренажный клапан отводящего паропровода.

2.2. Питательные клапаны

Каждый котел должен иметь два питательных клапана, соединяющих котел с независимыми питательными трубопроводами.

Вспомогательные паровые котлы поверхностью нагрева 15 м^2 и менее с давлением пара до 0,8 МПа (8 кгс/см²) и утилизационные котлы могут иметь по одному питательному клапану.

Питательные клапаны должны быть невозвратными. Между питательным клапаном и котлом должен быть установлен разобшительный клапан (регулирующий запорный). Невозвратный и разобшительный клапаны могут устанавливаться в одном корпусе.

На рисунке 2.3 изображен продольный разрез питательного клапана.

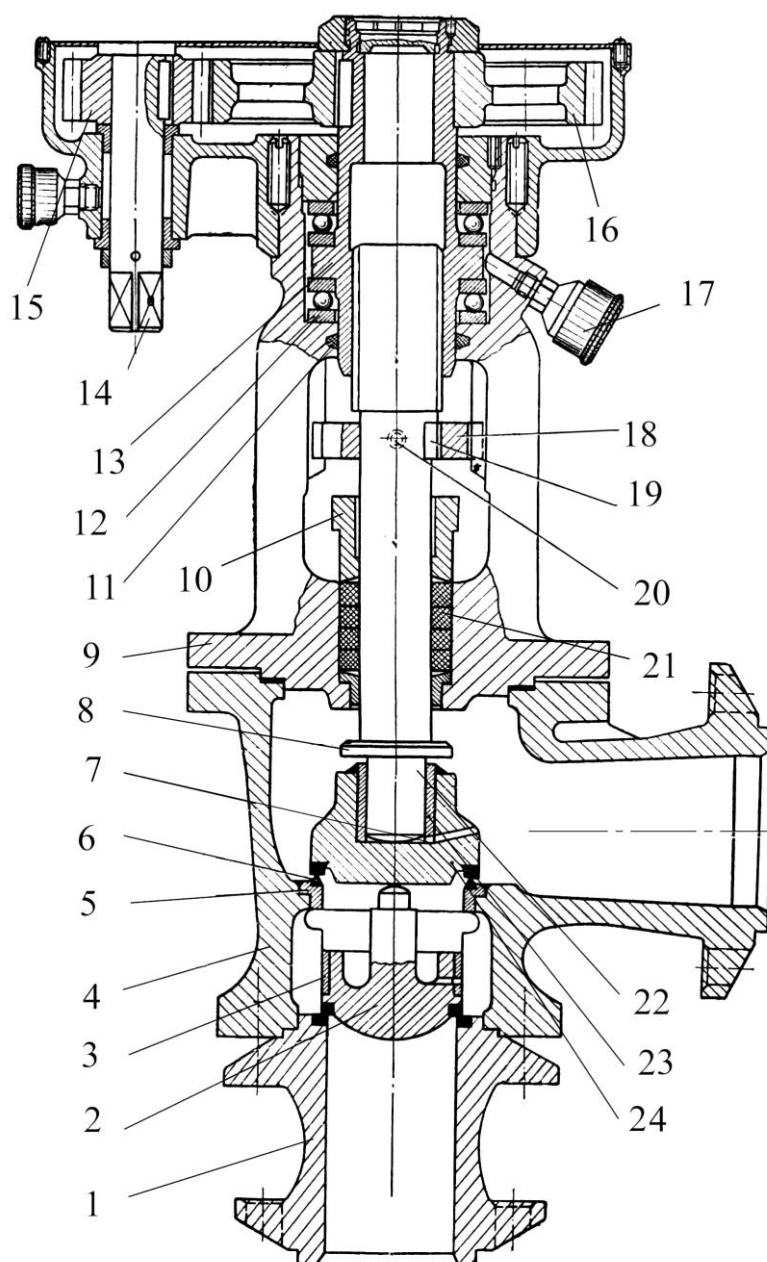
На рисунке большая шестерня 1 связана со штоком клапана 2 при помощи подъемной гайки 3.

Вращая большую шестерню через ручной привод 4, подъемная гайка вращается без осевого перемещения между двумя застопоренными шариковыми подшипниками, поднимая и опуская шток клапана.

Последний имеет только поступательное движение, так как стопор-указатель 5 своими вилкообразными концами охватывает направляющие приливы стойки 6. На крышке 7 корпуса клапана предусмотрены сальниковая коробка и ушки 8 для откидных нажимных болтов 9 сальниковой втулки 10.

Питательные клапаны должны располагаться в месте, удобном для управления ими с настила котельного отделения, или должны предусматриваться приводы для управления разобшительными клапанами.

На рисунке 2.4 представлен питательный клапан котла КВС-68.



1, 4 – корпус; 2, 24 – тарелка; 3, 5, 23 – втулка;
 6 – седло; 7 – разгружающее отверстие; 8 – упорный
 буртик; 9 – крышка; 10 – нажимная втулка; 11 – уплот-
 нение; 12 – подшипник; 13 – резьбовая втулка;
 14 – приводной вал; 15, 16 – шестерня; 17 – масленка;
 18, 19 – стопор-указатель; 20 – штифт; 21 – сальник;
 22 – шпindel (шток)

Рисунок 2.3 – Питательный клапан



Рисунок 2.4 – Питательный клапан котла КВС-68

2.3. Водоуказательные приборы

На каждом котле, должно быть установлено не менее двух независимых друг от друга водоуказательных колонок.

Допускается оборудование вспомогательных котлов поверхностью нагрева не более 15 м^2 и давлением пара не более $0,8\text{ МПа}$ (8 кгс/см^2) одним водоуказателем. Конструкция (рисунок 2.5), размеры, количество, расположение и освещенность водоуказателей должны обеспечивать хорошую видимость и надежный контроль за уровнем воды в котле.

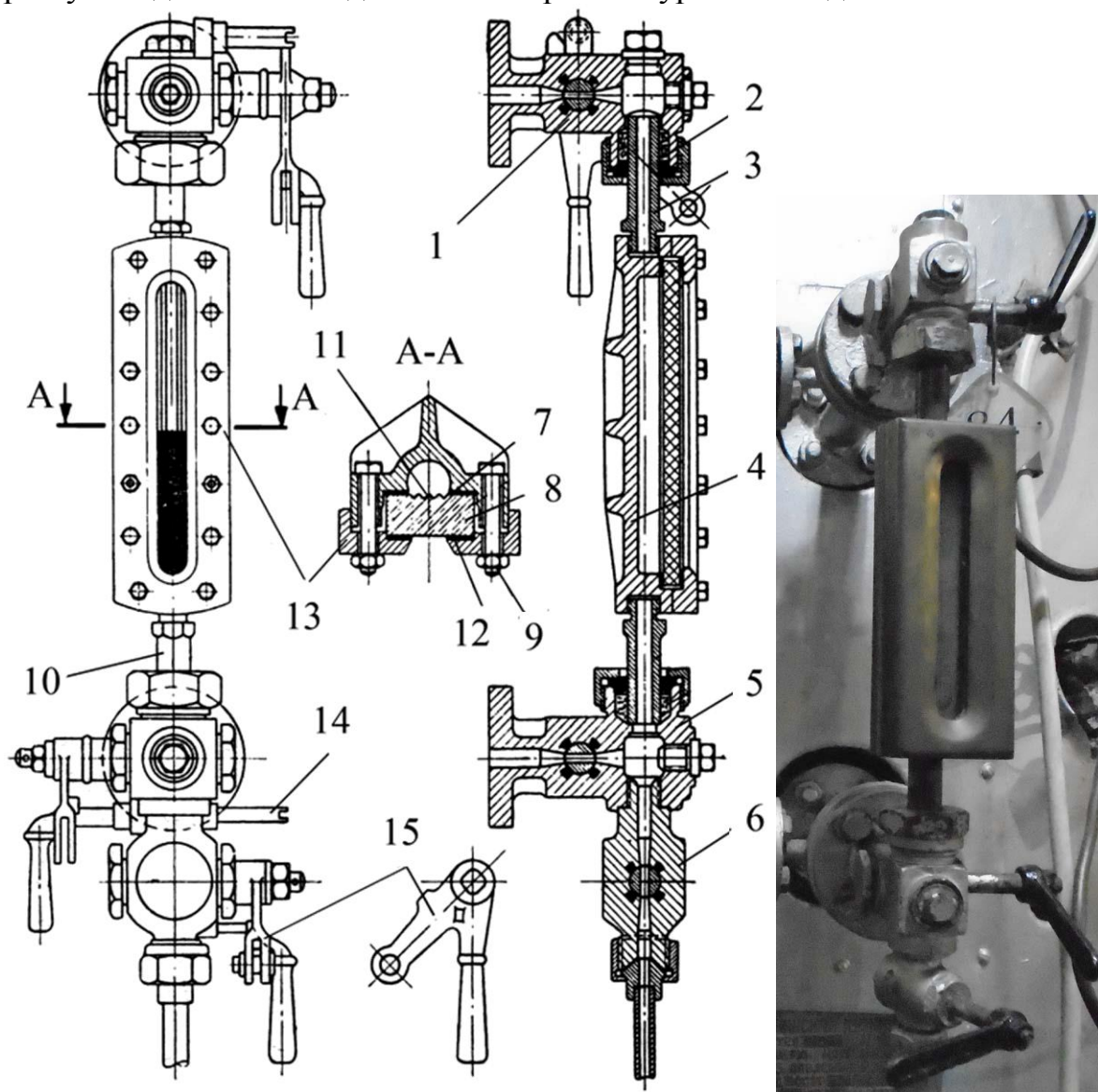


Рисунок 2.5 – Водоуказательный прибор:

- 1, 5 – паровой и водяной краны (корпуса);
2 – накидная гайка с уплотнением; 3, 10 – штуцер; 4 – рамка; 6 – кран продувания (корпус); 7, 12 – прокладки; 8 – боросиликатное стекло; 9 – болт; 11 – канавки; 13 – крышка; 14 – упор для ограничения поворота крана; 15 – рукоятка

Водоуказательный прибор состоит из бронзовой рамки 4, в гнездо которой вставляется на тонкой прокладке 7 плоское стекло 8. Стекло плотно прижимается к рамке бронзовой крышкой 13 и болтами 9. Между крышкой и стеклом ставится прокладка 12. Снизу и сверху рамки ввинчиваются два штуцера 3 и 9, которыми она вставляется в верхнюю и нижнюю оправы. Между оправой и штуцером ставится сальниковое уплотнение 2, которое обеспечивает возможность бронзовой рамке расширяться. В кольцевой зазор между оправой и штуцером помещается сальниковая набивка (асбестовый шнур), зажимаемая втулкой при помощи нажимной гайки. Стекло с наружной стороны имеет гладкую поверхность, а в средней части с внутренней стороны – продольные канавки 11.

Водоуказатели должны иметь клапаны для отдельного продувания паровой и водяной полостей водоуказателей. Каналы для продувания должны иметь внутренний диаметр не менее 8 мм. Конструкция водоуказателей должна допускать чистку клапанов продувания и смену стекол во время работы котла.

Между котлом и водоуказателями должны быть установлены разобщительные клапаны.

Применение пробковых кранов для водоуказателей допускается при давлении пара в котле не более 1,6 МПа (16 кг/см²).

Водоуказатели должны устанавливаться со стороны переднего фронта котла на равном, возможно меньшем расстоянии от диаметральной вертикальной плоскости барабана (котла).

Разобщительные клапаны и клапаны продувания водоуказателей должны иметь приводы для быстрого закрывания с настила котельного помещения.

На днище парового коллектора водотрубных котлов и на днище или бочке огнетрубных котлов вблизи каждого водоуказателя, а также на са-

мом водоуказателе должны наноситься риски или укрепляются планки с рисками, показывающими положение низшего, среднего и верхнего уровней воды в котле.

Должна быть возможность проверки правильности расположения водоуказателей по рискам.

На рисунке 2.6 представлена водоуказательная колонка котла КВС-68. Колонка содержит пять запорных органов: два паровых клапана (один разобшительный запорный, второй быстродействующий с дистанционным приводом); два водяных (один разобшительный запорный, второй быстродействующий с дистанционным приводом); один кран продувания. Быстродействующие клапаны с дистанционным приводом связаны единой тягой с пружинным компенсатором. Они могут приведены в действие непосредственно на месте установки или с палубы расположения котла. Собственно колонка (рамка с крышкой и установленным стеклом) со штуцерами может быть снята (для замены стекла) с прибора путем отдачи двух выжимных винтов. Быстродействующие клапаны приводятся в действие для моментального отключения прибора при разрыве стекла. Кран продувания имеет упорные штифты для выхода в требуемое положение (открыто – закрыто).

Колонка, представленная на рисунке 2.7, состоит из разобшительного клапана 7 паровой части; разобшительного клапана 8 водяной части; быстродействующего клапана 9 паровой части; быстродействующего клапана 10 водяной части; крана 11 продувания. Быстродействующие клапана связаны шарнирно тягой 12. Разобшительные клапана паровой 9 и водяной 10 первые по ходу движения сред из пароводяного коллектора. Собственно колонка состоит из рамки 1 с установленным в нем стеклом Клингера 2. Стекло установлено в уплотнениях на упорной планке 3 и обжато крышкой 4 винтами 5. Планка с двух сторон содержит фигурные втулки 6 и 14.

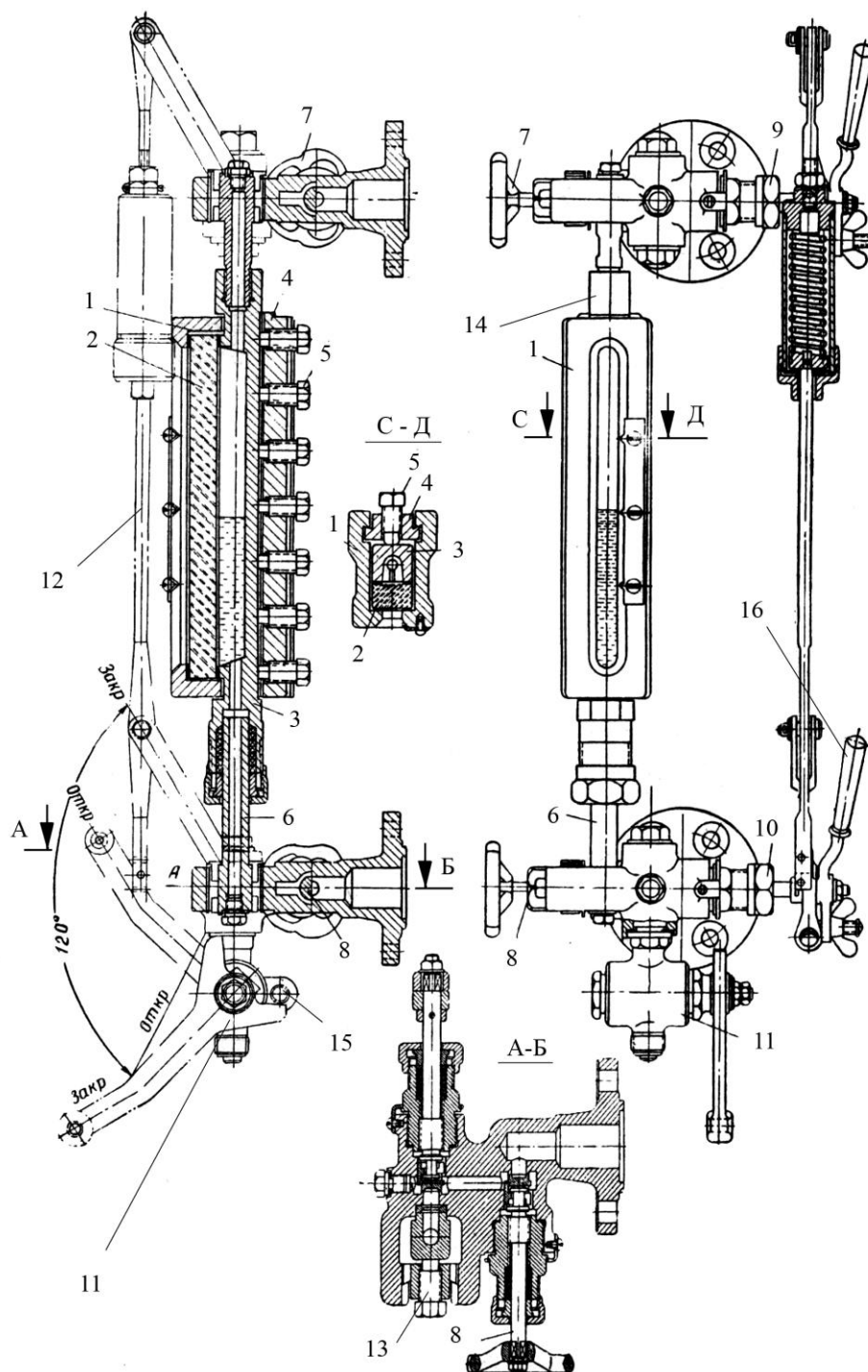


Рисунок 2.6 – Устройство водоуказательного прибора котла КВС-68

Элементы (позиции 1, 2, 3, 4, 5, 6, 14) установлены на корпусах клапанов посредством выжимных винтов 13. Упоры 15 обеспечивают требуемый поворот крана продувания. Рукоятки 16 обеспечивают управление быстродействующей арматуры колонки.

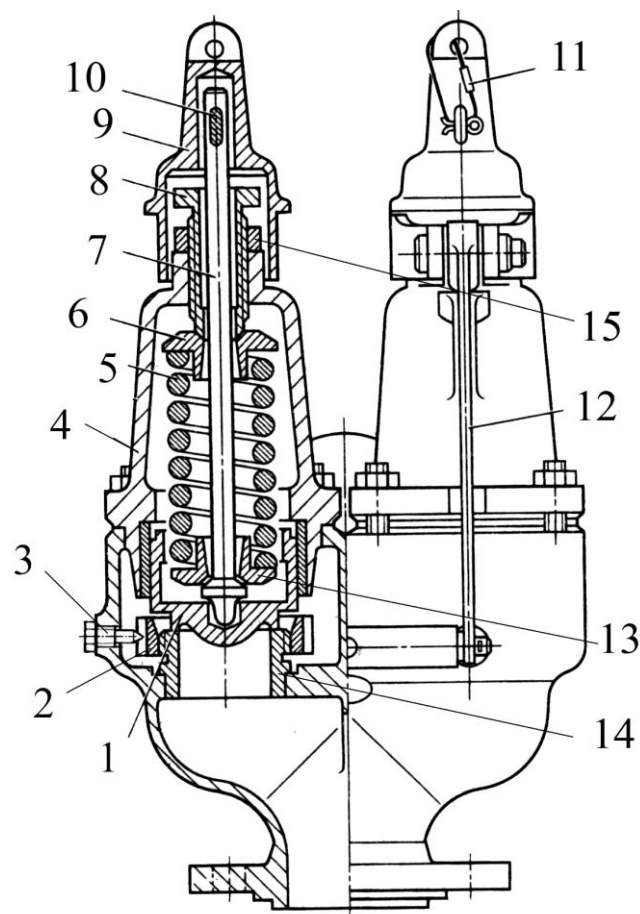
2.4. Предохранительные клапаны

Каждый котел должен иметь не менее двух предохранительных клапанов, устанавливаемых на барабане, на общем патрубке, и один клапан, устанавливаемый на выходном коллекторе пароперегревателя.

На котлах поверхностью нагрева 15 м^2 и менее и рабочим давлением не более $0,8 \text{ МПа}$ (8 кг/см^2), а также на котлах утилизационных и на сепараторах допускается иметь по одному предохранительному клапану диаметром не менее 25 мм .

Типовой предохранительный клапан представлен на рисунке 2.7.

В клапане давление пара воздействует непосредственно на тарелку 1 клапана. Тарелка 1 прижата к седлу 14 пружиной 5 через шток 7 пружиной 5 посредством тарелки 13. Пружина сжата с помощью нажимной втулки 8, ввернутой в крышку 4 посредством тарелки 6. Пружину затягивают, закручивая нажимную втулку 8 при снятом колпаке 9. При превышении заданного давления пара в аппарате (котле) тарелка клапана, преодолевая натяжение пружины, под действием давления пара поднимается, и избыток пара выпускается через пароотводящий трубопровод в атмосферу. После снижения давления до заданного под действием пружины клапан закроется. Для подрыва клапана вручную имеется привод с рычагом 12, который связан с колпаком; последний в свою очередь чекой 10 соединен со штоком 7. При повороте рычага колпак поднимется и, воздействуя через чеку на шток, поднимает тарелку клапана. Из-за наличия пломбы 11 исключается возможность дополнительной регулировки клапана. Нажимная втулка фиксируется контргайкой 15. Для поднятия тарелки клапана на необходимую высоту установлено регулировочное резьбовое кольцо 2. Кольцо фиксируется винтом 3.



1, 6, 13 – тарелка; 2 – регулировочное кольцо; 3 – винт; 4 – крышка; 5 – пружина;
7 – шток; 8 – нажимная резьбовая втулка; 9 – колпак; 10 – чека; 11 – пломба;
12 – рычаг; 14 – седло; 15 – контргайка

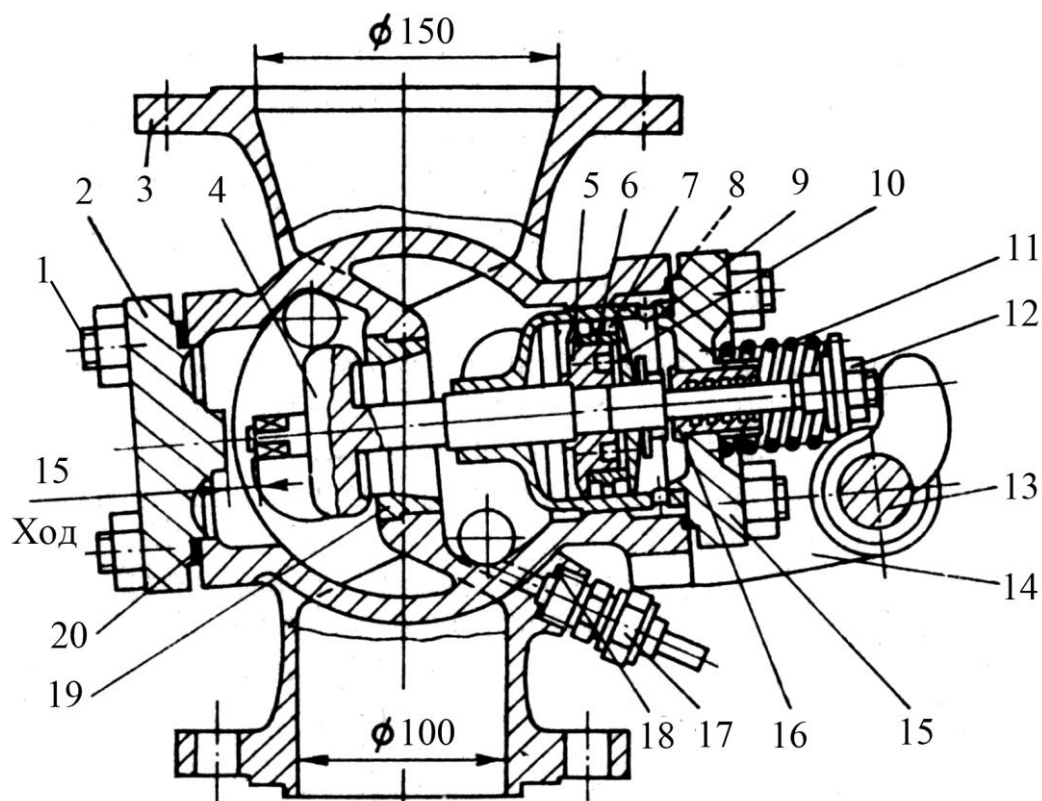
Рисунок 2.7 – Сдвоенный предохранительный клапан

Для паровых котлов с высоким рабочим давлением пара предохранительные клапаны должны быть импульсного действия. Эти клапаны состоят из двух отдельных: главного и импульсного.

Главный и импульсный предохранительные клапаны выполняются сдвоенными и попарно соединенными импульсными трубками.

Главный предохранительный клапан (рисунок 2.8) состоит из двух клапанов, расположенных в общем корпусе 3. Шток клапана выполнен заодно с тарелкой 4. На свободном конце штока насажен поршень 5, который перемещается в направляющей рубашке 9. Поршень имеет поршневые кольца 7, положение которых фиксируется кольцом с буртом 6 и крышкой

поршня 10. Выход штока через крышку 15 уплотняется с помощью втулки 16.



- 1 – шпилька; 2, 15 – крышка; 3 – корпус; 4 – тарелка; 5 – поршень; 6 – борт;
 7 – поршневое кольцо; 8, 18, 20 – прокладка; 9 – рубашка; 10 – крышка поршня;
 11 – пружина; 12 – гайка; 13 – кулачковый вал; 14 – кронштейн; 16 – втулка;
 17 – штуцерное соединение; 19 – седло

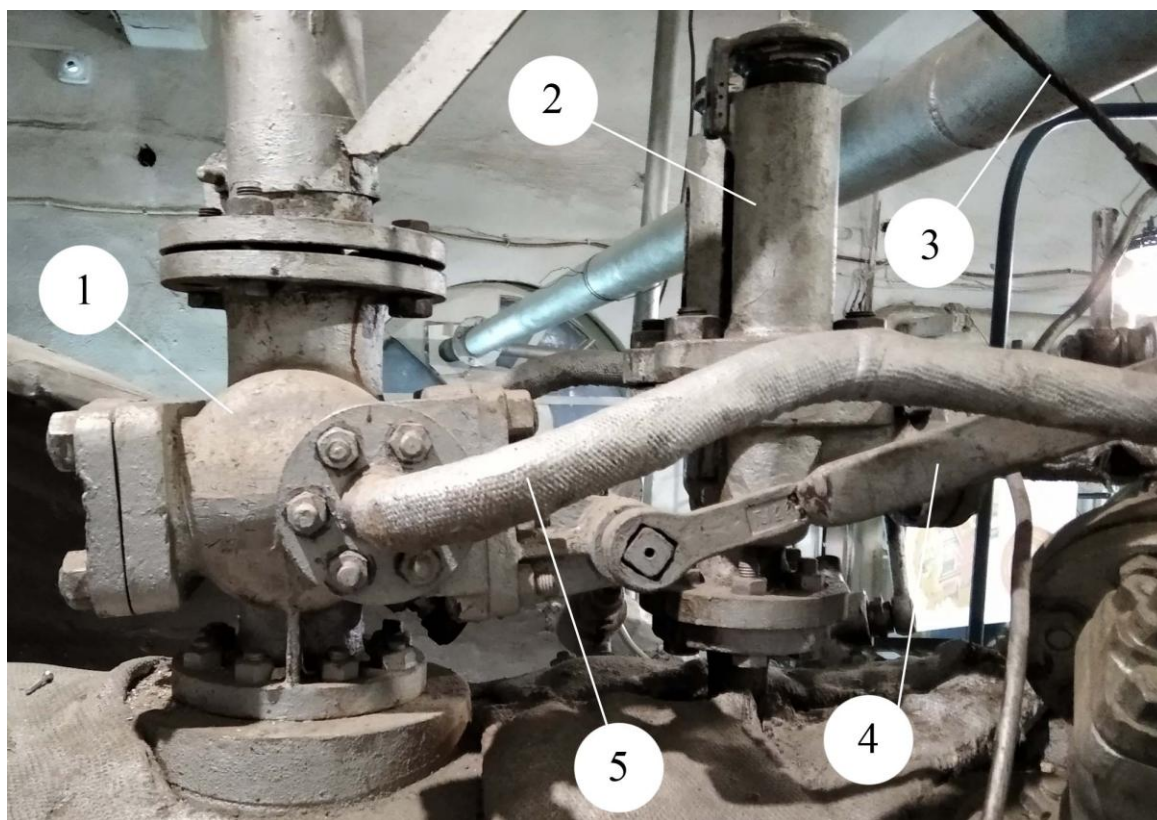
Рисунок 2.8 – Главный предохранительный клапан

Так как диаметр поршня больше диаметра тарелки, то под действием давления пара, поступающего по импульсной трубе от импульсного предохранительного клапана в полость над поршнем, главный клапан открывается и обеспечивает выход пара из котла в атмосферу.

После снижения давления пара в котле импульсный клапан закрывается, подача пара на поршень главного клапана прекращается, и клапан под действием давления пара в котле закрывается, т.е. тарелка 4 садится на седло 19.

Корпус главного предохранительного клапана имеет крышки 2 и 15, сняв которые, можно осмотреть подвижные части клапана. Слив конденсата из полости за клапаном производится через штуцерное соединение 17, к которому присоединяется сливная труба. Разъемные соединения уплотняются с помощью паронитовых прокладок 8, 18 и 20.

На рисунке 2.9 представлен общий вид предохранительных клапанов котла КВС-68.



1 – главный предохранительный клапан; 2 – импульсный предохранительный клапан;
3 – тросик для ручного открытия главного клапана;
4 – рычаг управления кулачковым валом

Рисунок 2.9 – Предохранительный клапан котла КВС-68

Для проверки подвижности штоков вручную клапан имеет кулачковый вал 13, концы которого имеют квадратное сечение под ключ. При повороте вала во втулках 1, запрессованных в кронштейнах 14, кулачки на-

жимают на торцы штоков и перемещают их. Возврат штоков в начальное положение осуществляется пружиной 11.

Пароотводящая труба не должна соединяться ни с какими другими трубопроводами.

Нагрузка на предохранительные клапаны должна быть пружинная. Конструкция клапанов должна допускать регулировку, исключать соприкосновение выходящего пара с пружинами и иметь устройство для пломбирования. В случае поломки пружины клапан не должен выскакивать из своего гнезда.

Устройство клапанов должно быть таким, чтобы их можно было открывать вручную при помощи специального привода. Привод для ручного подрыва клапанов должен быть устроен так, чтобы можно было приподнимать оба предохранительных клапана, а управление этими приводами производить с двух мест, одно из которых должно находиться в помещении котельного отделения, а второе – на верхней палубе или в другом, всегда доступном месте вне котельного отделения.

Дистанционный привод к предохранительным клапанам пароперегревателей, утилизационных котлов и сепараторов пара может иметь управление только из помещения котельного отделения.

Для удаления конденсата из корпуса клапана или из пароотводящей трубы, если она расположена ниже клапана, должна быть предусмотрена спускная труба с отводом конденсат под настил котельного отделения или в сточную цистерну. Спускная труба не должна иметь запорных органов.

Предохранительные клапаны должны быть отрегулированы таким образом, чтобы при повышении давления пара в котле выше допустимого в первую очередь начинал действовать предохранительный клапан, установленный на пароперегревателе, а при дальнейшем повышении давления - клапаны, установленные на коллекторе котла.

Давление пара, при котором предохранительные клапаны на котле должны открываться, приведены в таблице 2.1.

Предохранительные клапаны после подрыва должны автоматически закрываться и полностью прекращать выход пара при снижении давления пара в котле не более чем на 10 % рабочего давления.

Т а б л и ц а 2.1

Параметры настройки предохранительных клапанов

Расчётное давление $P_{\text{раб}}$, МПа (кг/см ²)	Наибольшее давление, при котором предохранительные клапаны должны открываться, МПа(кг/см ²)	
	При вычислении по рабочему давлению	При вычислении по расчётному давлению
До 1,2 (12)	$P_{\text{раб}} + 0,05(0,5)$	$P_{\text{раб}} + 0,03(0,3)$
12 и более		
Для огнетрубных котлов	$P_{\text{раб}} \cdot 1,05$	$P_{\text{раб}} \cdot 1,03$
Для водотрубных котлов	$P_{\text{раб}} \cdot 1,08$	$P_{\text{раб}} \cdot 1,05$

2.5. Клапаны продувания

Каждый котел должен иметь клапаны верхнего и нижнего продувания, а при необходимости - клапаны для спуска воды. Пароперегреватели, парохладители, экономайзеры и сепараторы должны снабжаться клапанами продувания или спускными клапанами. Во вспомогательных котлах, где невозможно загрязнение котельной воды нефтепродуктами, установке клапанов верхнего продувания не является обязательной.

Клапаны нижнего (рисунок 2.10) и верхнего продувания и спуска воды должны устанавливаться непосредственно на котлах. На котлах с давлением пара до 1,6 МПа (16 кг/см²) клапаны продувания и спуска допускается устанавливать на патрубках.

Диаметр клапанов и труб продувания должен быть не меньше 20 мм и не больше 40 мм, у вспомогательных котлов давлением не более 0,3 МПа (3 кг/см²) диаметр клапана и труб допускается принимать 15 мм.

2.6. Клапаны для отбора проб воды и для введения в котёл химических присадок

На каждом котле в доступном месте должен быть установлен клапан для отбора проб котловой воды, который должен размещаться в нижней части барабана. Установка клапана на трубах или на патрубках, предназначенных для других целей, не допускается.

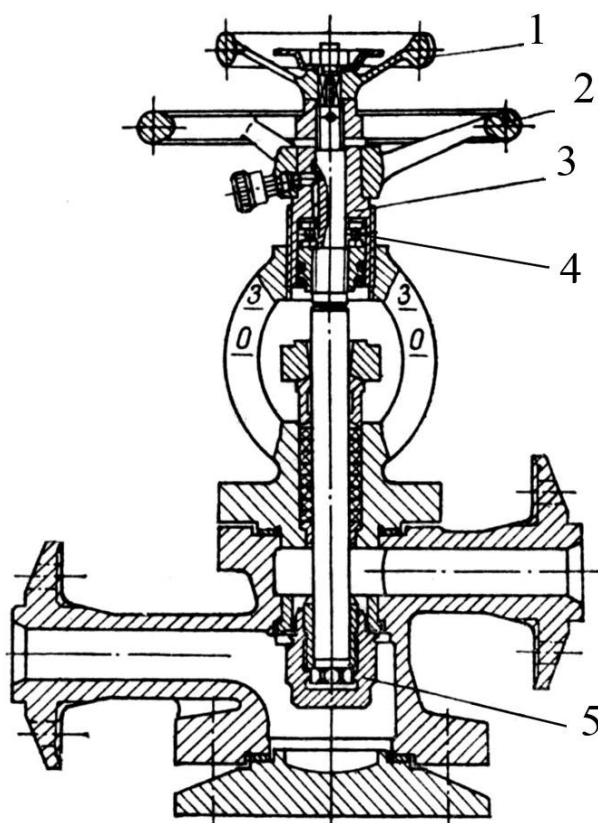


Рисунок 2.10 – Клапан нижнего продувания:

1 – малый маховик; 2 – большой маховик; 3 – втулка; 4 – подшипник; 5 – тарелка

2.7. Клапаны для манометров и удаления воздуха

На каждом котле должны предусматриваться клапаны для присоединения труб к манометрам и устройства для удаления воздуха из котла и экономайзера.

2.8. Материал арматуры котлов

Арматура паровых котлов должна быть стальная. Применение арматуры из бронзы и латуни допускается при температуре не более 250 °С.

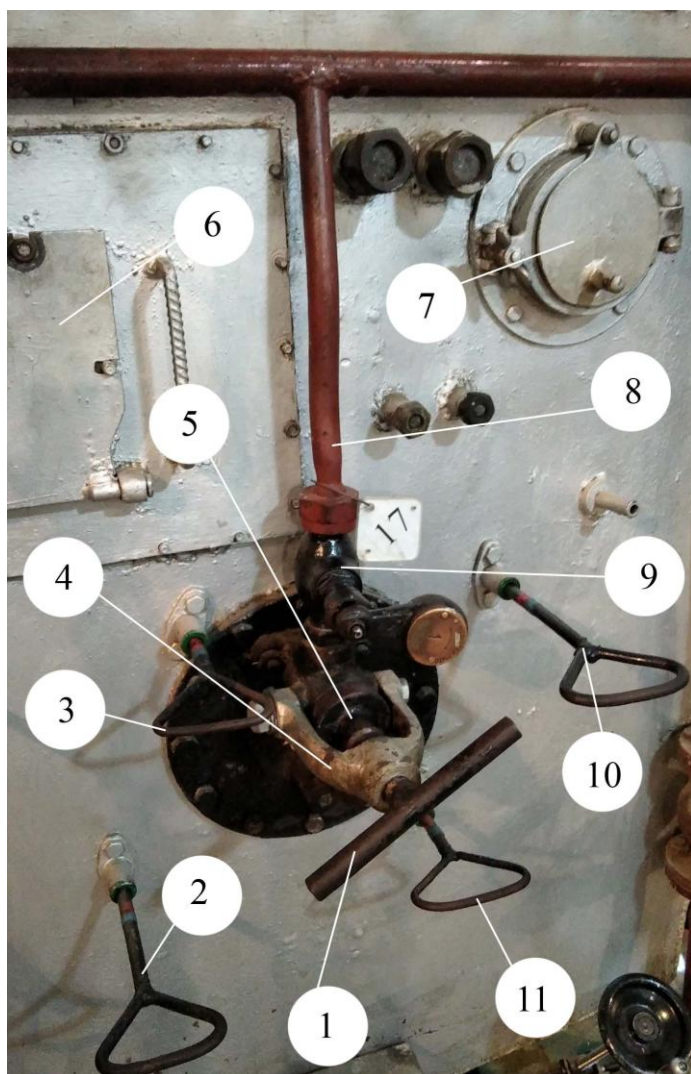
Котельная арматура из чугуна, за исключением питательной продувочной, предохранительной и спускной, допускается для пара давлением не более 1 МПа (10 кгс/см²) и температурой не выше 260 °С. Предел прочности чугуна при изгибе образцов с расчетной длиной 0,6 м должен быть не менее 4,4 МПа (44 кгс/см²) и стрела прогиба не менее 0,009 м (9 мм).

2.9. Топочные устройства

Топочные устройства предназначены для осуществления факельного процесса, образования и подачи топливовоздушной смеси в топку котла. Основные элементы топочного устройства – воздухонаправляющее устройство и форсунка. Вид на передний фронт котла КВС-68, содержащий форсунку, средства ее установки; элементы управления воздухонаправляющим устройством представлен на рисунке 2.11. На рисунке 2.12 представлен общий вид воздухонаправляющего устройства, расположенного в межобшивочном пространстве котла.

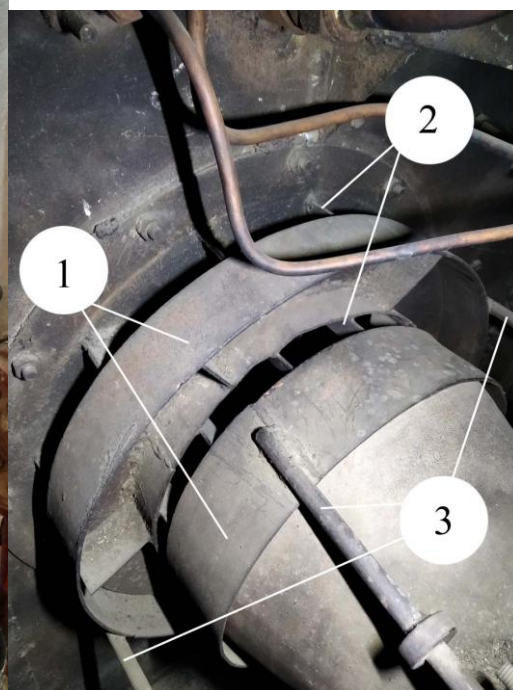
Назначение ВНУ – подача воздуха в топку и образование топливовоздушной смеси; создание турбулентного потока горячей смеси и топочных газов; непрерывное поджигание горючей смеси.

Назначение форсунки – распыливание и подача жидкого топлива в топку. На котле КВС-68 установлены две механические нерегулируемые форсунки. Изменение подачи топлива обеспечивается при запуске котла – установкой растопочных форсунок, при работе котла – изменением рабочего давления топлива.



1 – выжимной винт; 2, 10 – тяги управления внешним шибером; 3, 11 – тяги управления внутренним шибером; 4 – прижимная скоба; 5 – башмак форсунки; 6 – люк для осмотра воздухонаправляющего устройства; 7 – окошко для наблюдения за процессом горения; 8 – топливный трубопровод; 9 – форсуночный клапан

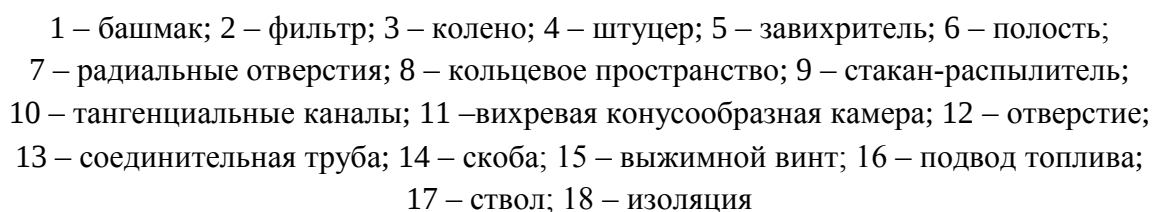
Рисунок 2.11 – Вид на топочное устройство котла КВС-68:



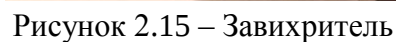
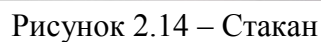
1 – шибера; 2 – завихряющие лопадки воздухонаправляющего устройства; 3 – тяги шиберов

Рисунок 2.12 – Воздухонаправляющее устройство:

На рисунке 2.13 представлено устройство механической нерегулируемой форсунки котла КВС-68.



Стакан–распылитель с калиброванным отверстием на определенный расход топлива представлен на рисунке 2.14. Завихритель, вкладываемый в стакан, представлен на рисунке 2.15.



2.10. Оформление отчета

Отчет должен содержать схемы котлов КВС-68 и КВЦ 15/8, находящихся в лаборатории, с обозначением установленной на них арматуры и спецификацией.

2.11. Вопросы к лабораторной работе

1. Классифицировать арматуру судовых паровых котлов.
2. В каких местах на котле устанавливается арматура, и какая?
3. Какие конструктивные особенности имеет стопорный клапан?
4. Какие конструктивные особенности имеет питательный клапан?
5. Какие конструктивные особенности имеет предохранительный клапан?
6. Почему питательный клапан должен быть невозвратным?
7. В каких случаях стопорный клапан должен быть невозвратным?
8. Продемонстрировать процедуру установки пусковой форсунки на котле КВС-68.
9. Продемонстрировать регулировку объема подаваемого воздуха в топку.
10. Указать расположение и назначение клапана верхнего продувания котлов.
11. Указать расположение и назначение клапанов нижнего продувания котлов.
12. Указать расположением и назначение воздушного клапана на котлах.

Лабораторная работа № 3

ИЗУЧЕНИЕ ФОРСУНОК СУДОВЫХ КОТЛОВ

3.1. Введение

Цель данной работы изучение устройства и работы форсунок судовых котлов [2, 10, 11].

Форсунки судовых паровых котлов делятся на:

- пароструйные (паровые) у которых топливо распыливается под действием кинетической энергии струи пара; при пуске котла и отсутствии пара – используется воздух;

- механические вращающиеся (ротационные) у которых распыливание происходит под действием центробежных сил, возникающей при вращении распыливающего стакана;

- механические невращающиеся, у которых распыливание происходит под давлением топлива, подаваемого к форсункам. Это форсунка обычно называют просто механическими или центробежными. Механические форсунки выпускают в основном трех видов:

- механические нерегулируемые, для котлов с постоянной нагрузкой;

- механические регулируемые (наиболее распространены);

- паромеханические, у которых распыл топлива осуществляется под действием струи пара и давления топлива.

3.2. Пароструйные форсунки

Пароструйные форсунки применяются в котлах с большим топочным объемом, в другом случае используются механические и ротационные форсунки.

Преимущества струйных форсунок: хорошее распыливание, обеспечивающее полное сгорание; высокая глубина регулирования по расходу топлива (от 5 до 20); простота устройства; удобство обслуживания; высокая надежность. Недостатки: относительно большой расход пара на распыливание (отношение массового расхода пара к расходу топлива 0,3...0,6 кг/кг).

На отечественных судах ранее широко применялась щелевая форсунка Шухова (рисунок 3.1). Установка форсунки на котле КВЦ 15/8 представлена на рисунке 3.2.

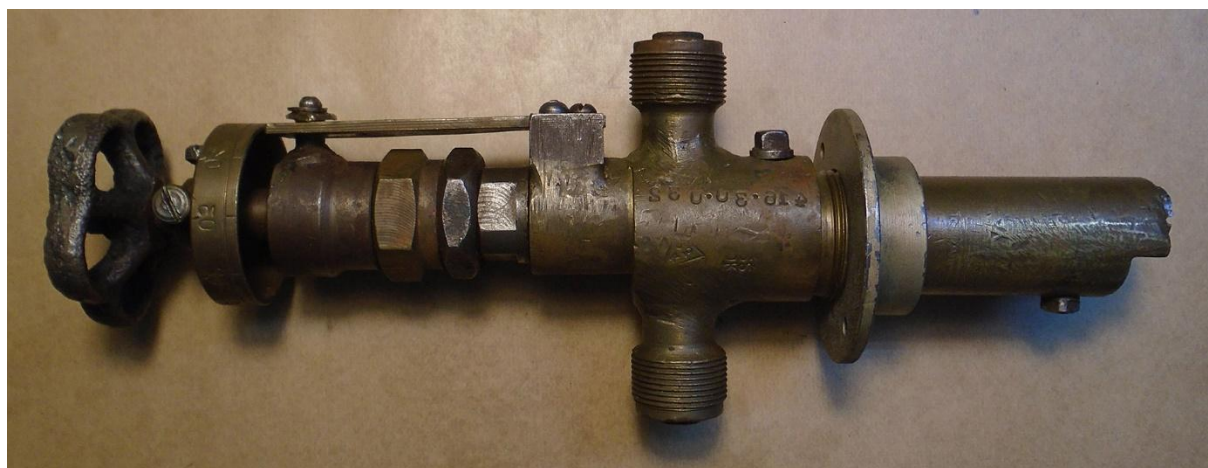
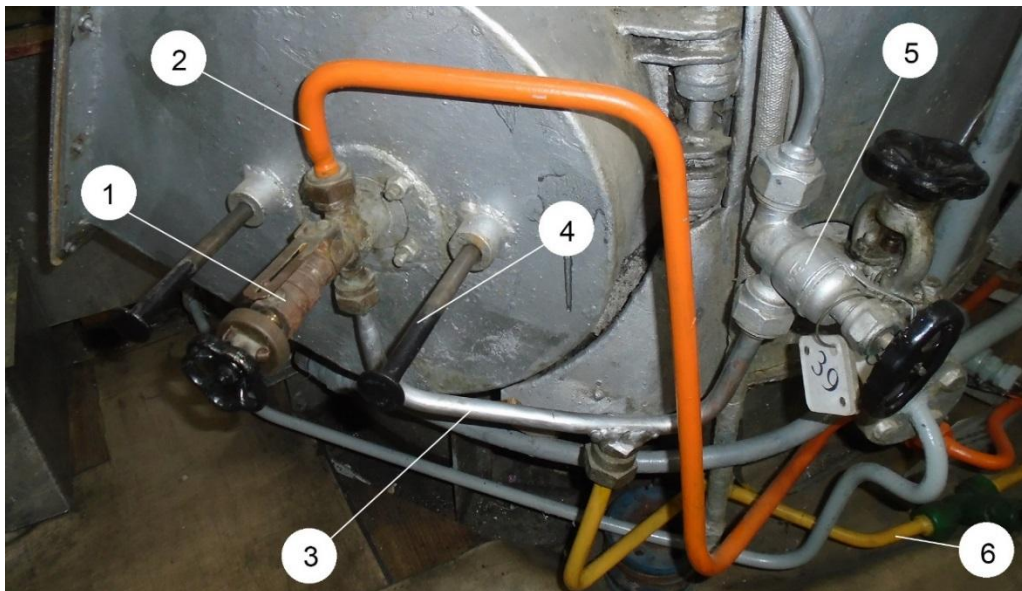


Рисунок 3.1 – Общий вид щелевой струйной форсунки Шухова

При работе топливо самотеком поступает из расходной цистерны по трубопроводу 2 к верхнему штуцеру форсунки, к нижнему подается распыливающий пар. При запуске котла к форсунке подается сжатый воздух 6. Воздух для горения регулируется регистрами 4.

На рисунке 3.3 показано устройство щелевой струйной форсунки. Топливо через штуцер 6 через систему отверстий поступает в трубчатый регулятор 11. Из регулятора через отверстие 10 топливо поступает плоскую щель 14. Через штуцер 18 поступает насыщенный пар, который по каналу 16 также поступает на плоскую щель 14. Регулятор представляет

собой поступательно перемещаемый полый шток. Перемещение осуществляется вращением штока 27. Осевая неподвижность штока 27 обеспечивается шайбой 20 и стопорной гайкой 19. Шток 27 вращается посредством маховика 1. На штоке 27 специальным винтом 30 неподвижно установлен ходовой винт 28 и цифровой лимб 29.



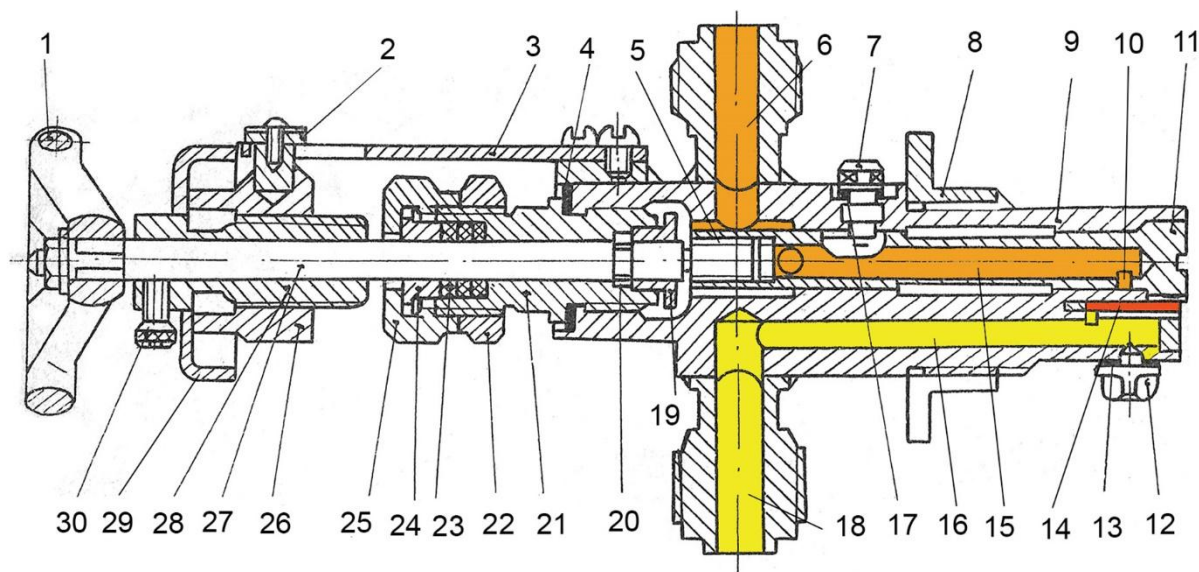
1 – форсунка; 2, 3, 6 – соответственно топливный, паровой и воздушный трубопроводы; 4 – воздушные регистры; 5 – клапан подачи пара

Рисунок 3.2 – Общий вид котла КВЦ 4/7

При вращении штока 27 по ходовому винту поступательно перемещается ходовая втулка 26 с закрепленной на ней стрелкой-указателем. 2. Стрелка перемещается поступательно относительно планки-указателя 3. От проворачивания регулятора 11 предусмотрен специальный палец 7, который также является ограничителем линейного перемещения последнего. Для удаления конденсата и продувки форсунки имеется винт-пробка 12. На фронте котла форсунка устанавливается посредством фланца 8. Количество подаваемого к форсунке топлива регулируется линейным перемещением регулятора 11.

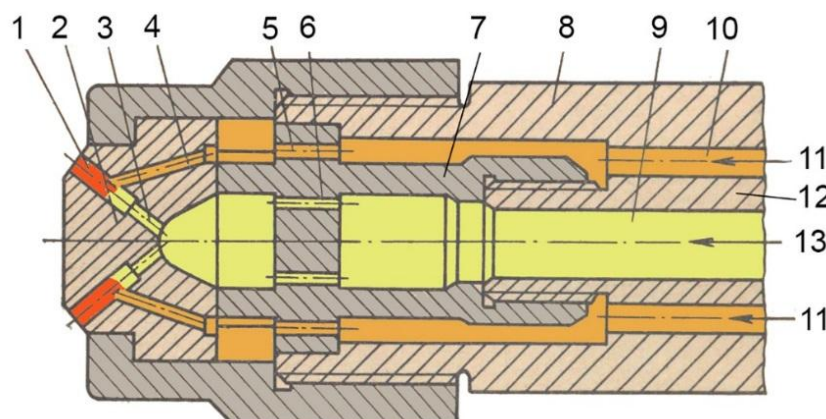
При смещении регулятора увеличивается сечение отверстия 10, через которое подается топливо в щелевую камеру 14.

На рисунке 3.4 представлено устройство распыливающей головки струйной форсунки.



1 – маховик; 2 – стрелка; 3 – планка-указатель; 4, 13, 17 – прокладки; 5 – винтовая пара; 6 – топливный штуцер; 7 – винт-ограничитель; 8 – фланец; 9 – корпус; 10 – отверстие; 11 – регулятор; 12 – винт; 14 – щель; 15 – топливная камера; 16 – паровая камера; 18 – паровой штуцер; 19 – стопорная гайка; 20 – упорная шайба; 21 – штуцер; 22, 25 – гайка; 23 – уплотнение; 24 – нажимная втулка; 26 – ходовая втулка; 27 – шток; 28 – ходовой винт; 29 – лимб; 30 – установочный винт

Рисунок 3.3 – Устройство щелевой форсунки



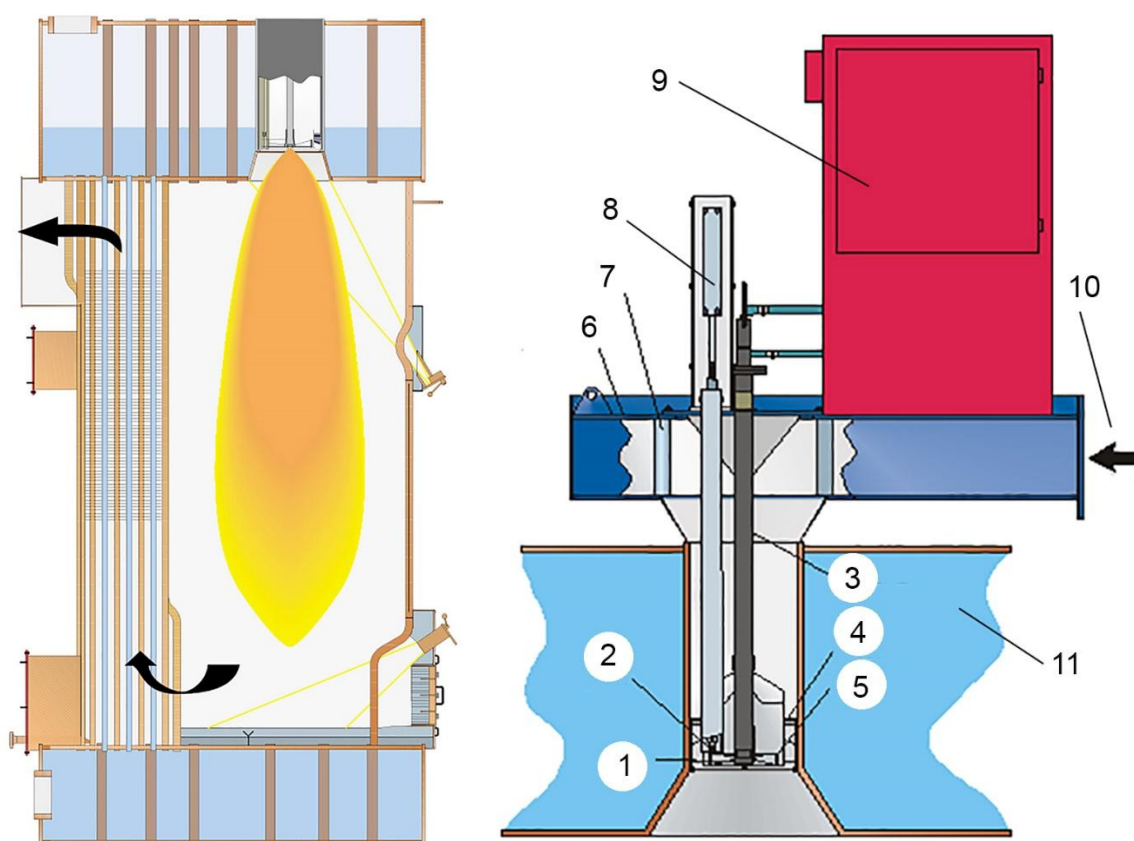
1 – сопло; 2 – распыливающая шайба; 3, 4 – наклонные отверстия; 5, 6 – коаксиальные отверстия; 7 – направляющая втулка; 8 – ствол; 9 – осевой паровой канал; 10 – кольцевой топливный канал; 11 – подвод топлива; 12 – паровой ствол; 13 – подвод пара

Рисунок 3.4 – Продольный разрез распыливающей головки

На рисунке 3.4 топливо по кольцевому каналу 10 ствола 8 и далее через отверстия 5 поступает в наклонные каналы 4 распыливающей шайбы 2. Пар поступает через канал 9, отверстия 6 и каналы 3. Распыливание осуществляется в соплах 1.

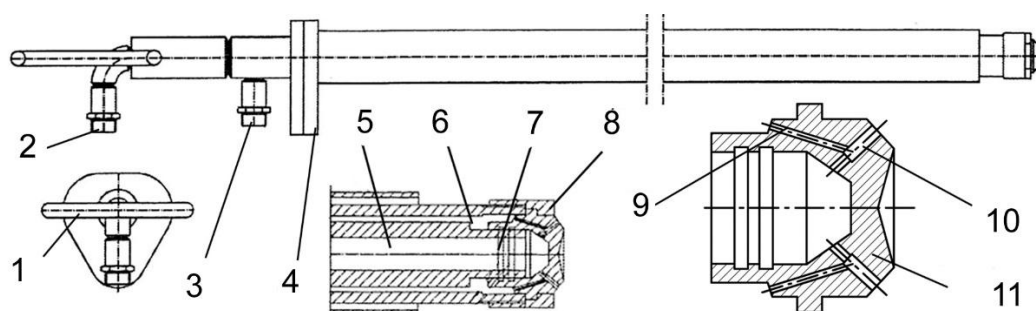
На котле типа MissionTMOL (рисунок 3.5) используется в качестве основной пароструйная форсунка, в качестве пусковой – механическая нерегулируемая.

Пароструйная форсунка имеет расход топлива от 80 до 1400 кг/ч (глубокое регулирование) при давлении распыливающего пара 0,6...1,6 МПа и давлении топлива 0,2 МПа и температуре подогрева топлива до 140 °С.



1 – Распылитель; 2 – электроды зажигания; 3 – основная форсунка в сборе;
4, 5 – первичный и вторичный завихрители воздуха для горения; 6 – корпус
вентилятора; 7 – воздушные шибера; 8 – пневматический привод подачи пусковой
форсунки; 9 – панель управления; 10 – вход воздуха; 11 – пароводяной коллектор
Рисунок 3.5 – Устройство котла MissionTM OL и его топочного устройства

На рисунке 3.6 представлено устройство струйной форсунки топочного устройства KBSD.



1 – рукоятка для установки и изъятия форсунки; 2 – подвод пара; 3 – подвод топлива; 4 – опорный фланец; 5 – подача пара к распылителю; 6 – подача топлива к распылителю; 7 – кольцевые уплотнения; 8 – обжимной стакан; 9 – топливные каналы; 10 – паровые каналы; 11 – распыливающая сопловая шайба

Рисунок 3.6 – Устройство пароструйной форсунки

На рисунке 3.7 представлен общий вид типового струйного распылителя. Видны характерные отверстия для разделения рабочих сред (топлива и пара) на локальные струи.

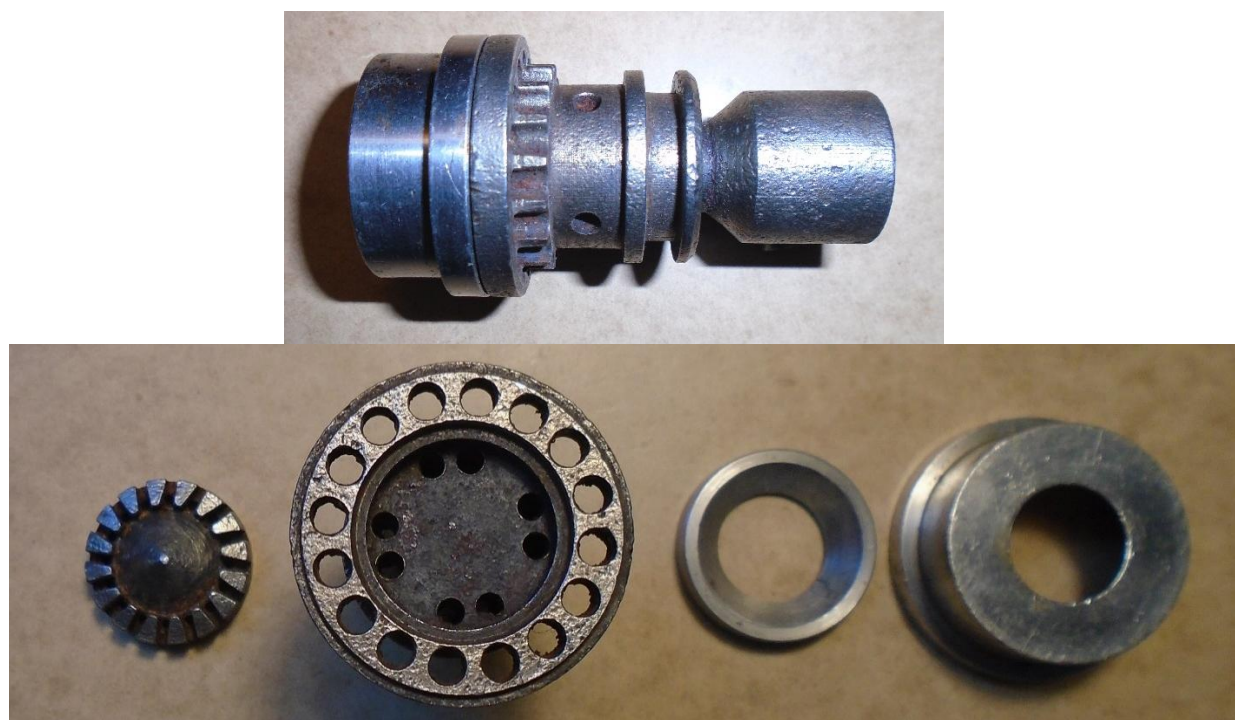
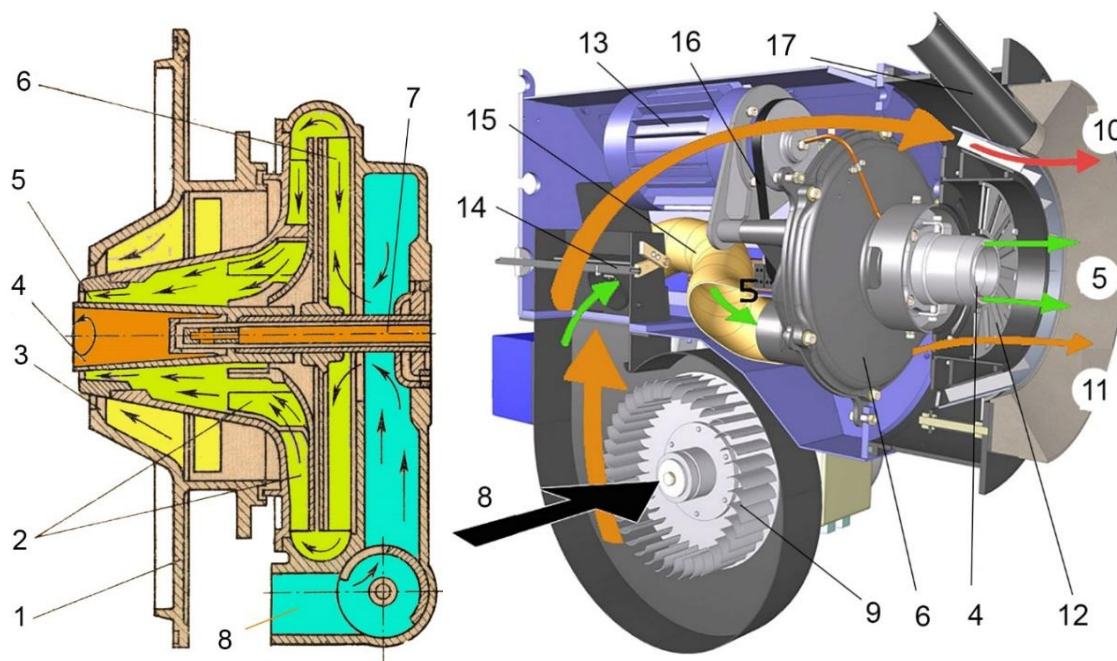


Рисунок 3.7 – Устройство распылителя пароструйной форсунки

3.3. Форсунки механические вращающиеся (ротационные)

Современные ротационные форсунки имеют частоту вращения распыливающего стакана: 6000...10000 оборотов в минуту.

На рисунке 3.8 представлена конструкция топочного устройства с ротационной форсункой. Топливо с требуемой вязкостью (12...40 сСт) подается на внутреннюю поверхность стакана 4 и под действием центробежной силы растекается в тонкую пленку, толщина которой уменьшается по мере движения ее к выходной кромке. Распад пленки на капли происходит при динамическом воздействии потока первичного воздуха, давление которого обеспечивается нагнетателем форсуночного агрегата в пределах 5...10 кПа. Вторичный воздух для обеспечения процесса горения подается через диффузор и воздухонаправляющие лопатки с некоторой закруткой под давлением 300...1000 Па.

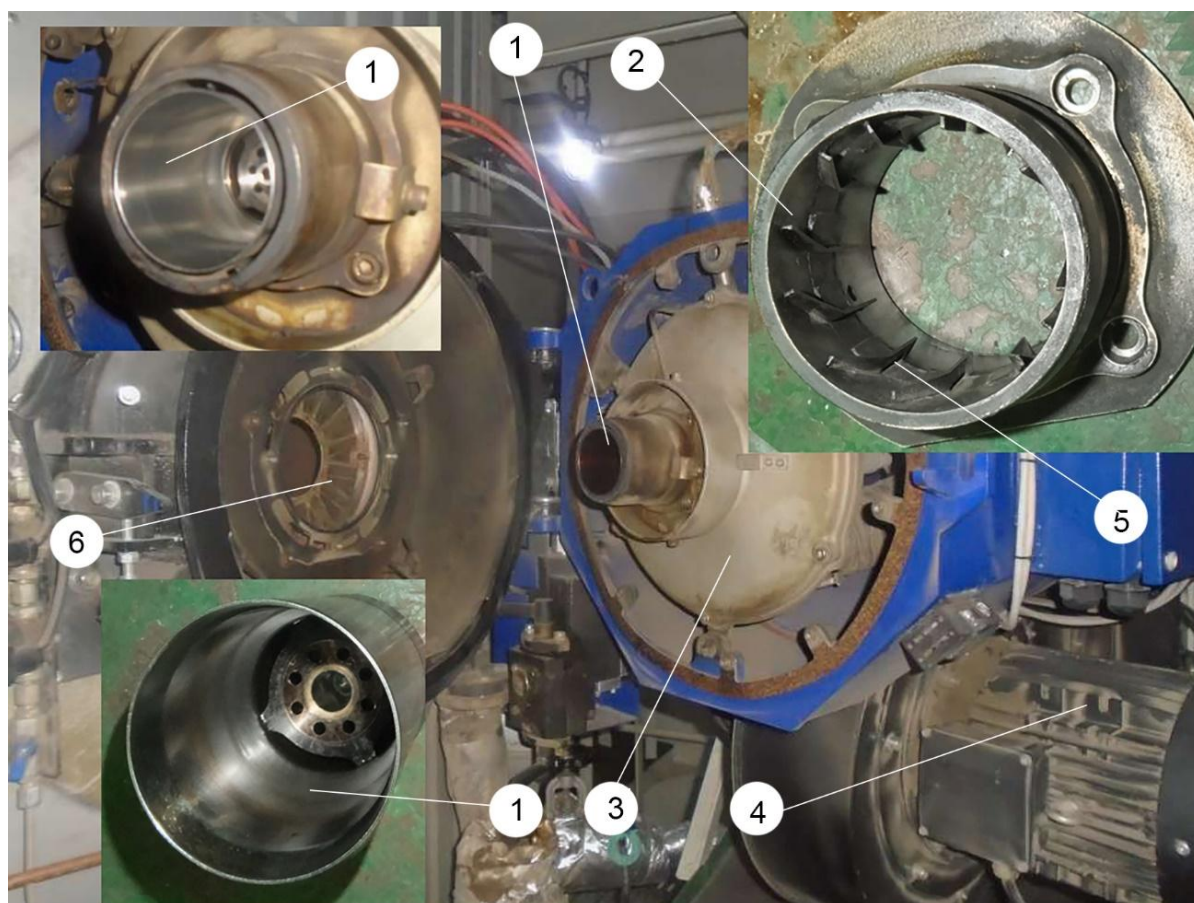


- 1 – дверца топки; 2 – направляющий лопаточный аппарат первичного воздуха;
3 – камера вторичного воздуха; 4 – стакан; 5 – первичный воздух; 6 – вентилятор
первичного воздуха; 7 – вращающийся вал; 8 – воздух от основного вентилятора;
9 – вентилятор; 10 – вторичный воздух для факела; 11 – диффузор; 13 – привод
вращающегося вала; 14 – воздушный шибер; 15 – воздуховод первичного воздуха;
16 – ременная передача; 17 – стакан для установки пусковой форсунки

Рисунок 3.8 – Общий вид ротационной форсунки

Подача топлива производится при небольшом избыточном давлении (до 0,2 МПа). Изменением подачи топлива при постоянной частоте вращения распыливающего стакана обеспечивается высокая глубина регулирования и качество распыливаемого топлива.

На рисунке 3.9 представлен общий вид ротационного агрегата, отдельно показаны вращающийся стакан и стакан с направляющими лопатками для подачи воздуха, разбивающего топливную пленку на элементарные капли топлива.



1 – вращающийся стакан; 2 – стакан с направляющими лопатками первичного воздуха;
3 – корпус вентилятора первичного воздуха; 4 – привод основного вентилятора;
5 – направляющие лопатки

Рисунок 3.9 – Общий вид топочного устройства с ротационной форсункой

3.4. Механические форсунки

Механические форсунки широко распространены на флоте. Формирование короткого факела заданной формы при производительностях 0,01 ... 1,2 кг/с на одну форсунку обусловило их широкое применение. Современные конструктивные решения позволили создать механические форсунки с глубоким регулированием (до 10). Кроме этого, механические центробежные форсунки имеют более тонкий распыл компонентов, большую однородность распыла, меньшую дальнобойность струи, высокие углы распыла [12]. Среди недостатков можно отметить: меньший коэффициент расхода по сравнению с о струйными; сложность конструкции и изготовления.

3.4.1. Форсунки механические нерегулируемые

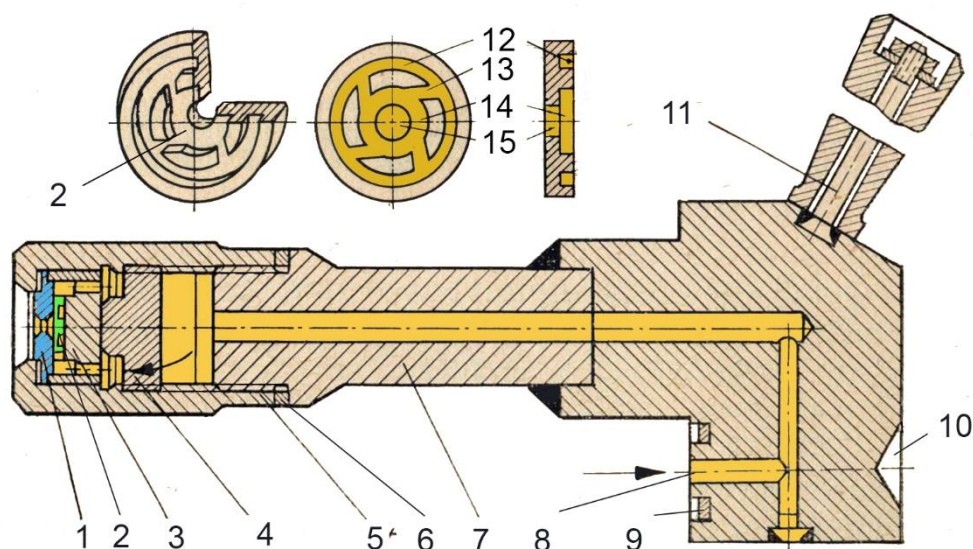
В этих форсунках возможно небольшое регулирование путем изменения давления (до 2). Поэтому эти форсунки в основном используются в котлах с постоянной нагрузкой. Для увеличения глубины регулирования устанавливаются сдвоенные или строенные форсуночные головки.

На рисунке 3.10 представлен общий вид нерегулируемой механической форсунки. Принцип действия механической (центробежной) форсунки основан на предварительном завихрении топлива и подачи его через отверстие при большом перепаде давлений. На выходе из форсунки образуется коническая пленка жидкости, которая по мере удаления от сопла становится тоньше, теряет устойчивость и распадается на мелкие капли. Процессу образования капель (50 ... 200 мкм) способствует поток воздуха, выходящий со скоростью 20...50 м/с через направляющие лопатки топочного устройства. Типовое давление топлива в механических форсунках – 2,2 ... 4,8 МПа.

Топливо подается через входное отверстие в башмаке форсунки 8, далее проходит через стопорную 4 и распределительную 3 втулки, попадает

на завихряющую шайбу 2 и выходит через сопловую шайбу 1. В завихряющей шайбе топливо из кольцевой 12 поступает на каналы 13, которые расположены касательно к завихряющей камере 14. Таким образом топливо меняет тип движения поступательные в тангенциальных каналах на вращательный в вихревой камере.

На рисунке 3.11 представлена схема работы механической центробежной форсунки [10]. Принцип действия форсунки заключается в том, что потоку жидкости сначала дается закрутка, а затем сужение.



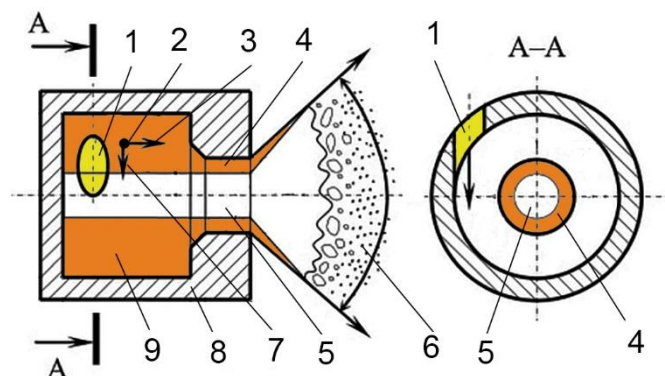
- 1 – сопловая шайба; 2 – завихряющая шайба; 3 – распределительная втулка;
4 – стопорная втулка; 5 – стакан; 6 – металлическая прокладка; 7 – ствол; 8 – подвод
топлива; 9 – прокладка паронитовая; 10 – глухой паз для установки форсунки;
11 – рукоятка; 12 – кольцевая камера; 13 – тангенциальные каналы; 14 – вихревая
камера; 15 – отвод завихренного топлива к сопловой шайбе

Рисунок 3.10 – Механическая нерегулируемая форсунка

В процессе сужения потока значительно возрастает окружная составляющая скорости, возникают значительные центробежные силы, образующие в выходном отверстии тонкую пленку кольцевого сечения, которая при выходе из форсунки распадается на мельчайшие капли.

Вдоль оси форсунки при этом образуется воздушный (газовый, паровой) вихрь 5, аналогичный вихревой воронке, которая образуется при

истечении из сосудов через донное отверстие. Выходное отверстие, таким образом, заполнено кольцевым потоком 4 или пленкой по периферии. Центральная часть занята газовым вихрем, простирающимся от выходного сопла до задней стенки [13].



- 1 – тангенциальное отверстие; 2 – окружная скорость рассматриваемой капли подвижной среды; 3 – осевая скорость капли; 4 – кольцевой поток жидкости; 5 – воздушный (паровой) вихрь; 6 – распыленное топливо; 7 – радиальная скорость; 8 – завихряющая шайба; 9 – вихревая камера

Рисунок 3.11– Принципиальная схема работы центробежной форсунки

Течение жидкости по соплу форсунки будет осуществляться не через всю площадь геометрического сечения диаметром с d_c , а лишь через кольцевую площадь сечения от диаметра d_c до диаметра $d_{ж}$, называемую живым сечением сопла форсунки. Коэффициент заполнения жидкостью выходного сечения сопла форсунки или живого сечения форсунки определяется так:

$$\varphi = \frac{F_{ж}}{F_c} = 1 - \frac{d_{ж}^2}{d_c^2}, \quad (1)$$

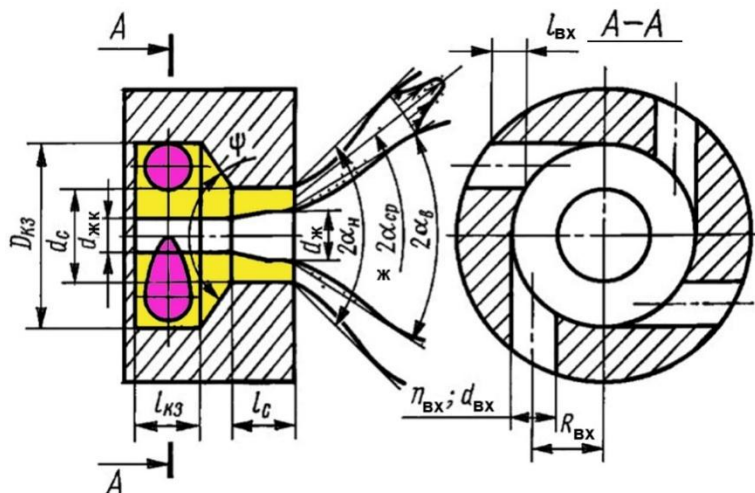
$F_{ж}$ – площадь живого сечения слоя жидкости, проходящего через сопло;

F_c – площадь живого сечения сопла.

На рисунке 3.12 – представлена схема центробежной форсунки и ее конструктивных параметров [13, 14].

Жидкость покидает форсунку в виде закрученной концентрической пелены. Далее в идеальном случае частицы жидкости движутся по прямым

линиям, касательным к траектории вращения. Однако реально в пелене действуют силы поверхностного натяжения, заставляющие траектории искривляться в направлении к оси форсунки.



$D_{КЗ}$ – диаметр камеры завихрения; d_C – диаметр сопла; $d_Ж$ – диаметр соплового газового вихря; $d_{ЖК}$ – диаметр газового вихря в камере завихрения; $l_{КЗ}$ – длина камеры авихрения; l_C – длина сопла; $l_{ВХ}$ – длина входного тангенциального канала; $d_{ВХ}$ – диаметр тангенциальных каналов; n – количество каналов; $R_{ВХ}$ – расстояние от оси сопла до оси входного канала (плече закручивания)

Рисунок 3.12 – Схема центробежной форсунки и ее технические параметры

Образуется поверхность усечённого однополосного гиперболоида вращения. Так как диаметр d_C небольшой (0,1...2,0 мм), то этот гиперболоид принимается за конус с углом 2α при вершине. Толщина пелены жидкости по мере удаления от среза сопла форсунки быстро уменьшается и под действием внешних и внутренних сил она распадается на мелкие капли, образуя факел распыла.

Для центробежных форсунок введена характеристика A [15]:

$$A = \frac{\pi \cdot R_{ВХ} \cdot d_C}{n \cdot F_{ВХ}} \cdot \sin \delta, \quad (2)$$

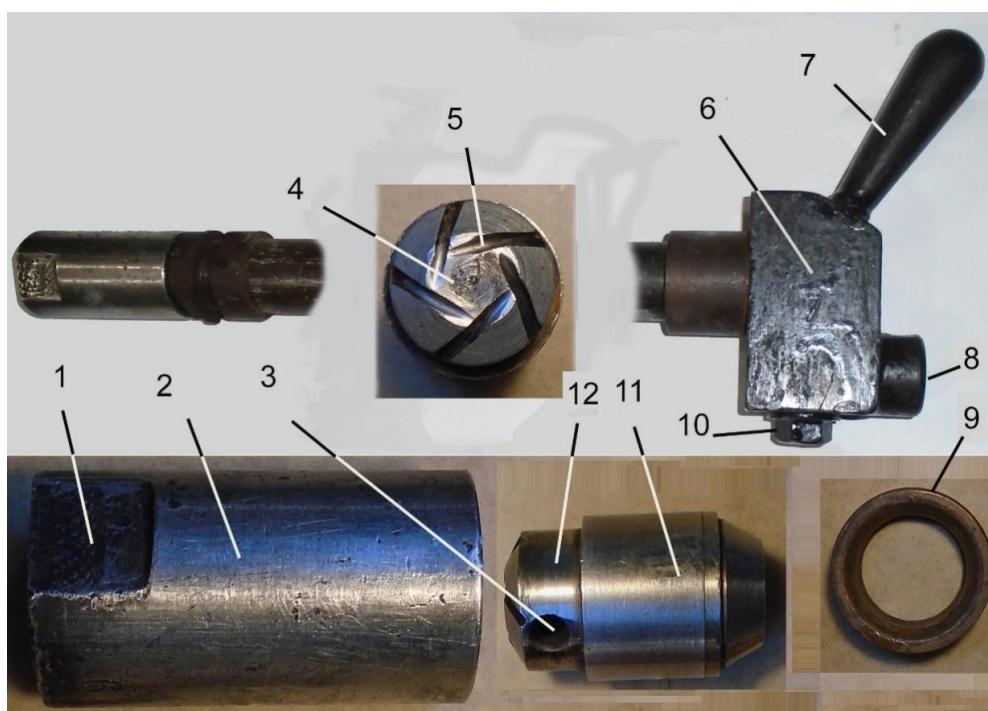
$F_{ВХ}$ – площадь сечения тангенциального канала;

n – количество каналов.

δ – угол наклона тангенциальных каналов к оси сопла.

Величина геометрической характеристики A однозначно определяет степень закрутки рабочей жидкости в центробежной форсунке. Чем больше A , тем сильнее закрутка жидкости на выходе из форсунки и выше отношение окружной и осевой скоростей. Геометрическая характеристика A однозначно определяет величины коэффициента расхода μ_ϕ и угла конуса распыла 2α центробежной форсунки при течении через неё невязкой несжимаемой жидкости.

На рисунке 3.13 представлена элементная база механической нерегулируемой форсунки. Стакан 2 наворачивается на штуцер ствола форсунки и обжимает распылитель и металлическую прокладку 9 (обычно медную). Для обжатия и снятия стакана с требуемым усилием последнем имеется двухсторонняя лыска 1 для инструмента. На днище стакана имеется сопло, диаметр которого определяет производительность форсунки.



1 – Лыска для снятия стакана; 2 – Стакан; 3 – отверстие для подачи топлива на тангенциальные каналы; 4 – задняя стенка камеры завихрения; 5 – тангенциальные каналы; 6 – башмак; 7 – рукоятка; 8 – прилив с глухим пазом для обжатия форсунки на фронте котла; 9 – медное уплотнение; 10 – пробка для чистки форсунки; 11 – распылитель

Рисунок 3.13 – Элементная база механической нерегулируемой форсунки

Распылитель содержит пять открытых тангенциальных канала, выполненных на конической поверхности распылителя. На внутренней поверхности днища стакана также имеется коническое выемка с соплом в центре. Конус стакан и сопла притерты для отсутствия внутренних перетечек, контролируется по пятну на краску. Напротив прилива 8 на башмаке имеет отверстие для подвода топлива с уплотняющими канавками типа шип-паз.

3.4.2. Форсунки механические (центробежные) регулируемые

На рисунке 3.14 представлен современный типовой форсуночный агрегат с регулируемой форсункой, установленный на паровом котле.

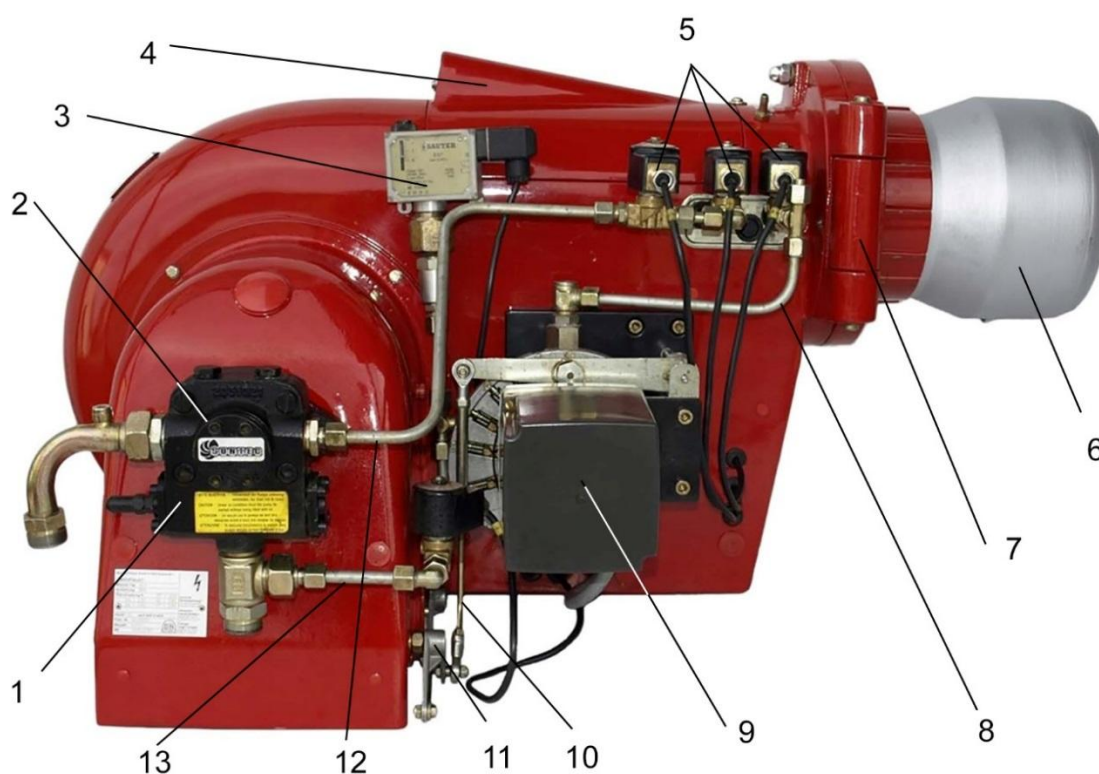


Рисунок 3.15 – Форсуночный агрегат, установленный на котле

Данные форсунки наиболее востребованы для котлов переменной паропроизводительности. Они обеспечивают достаточную глубину регулирования (до 20).

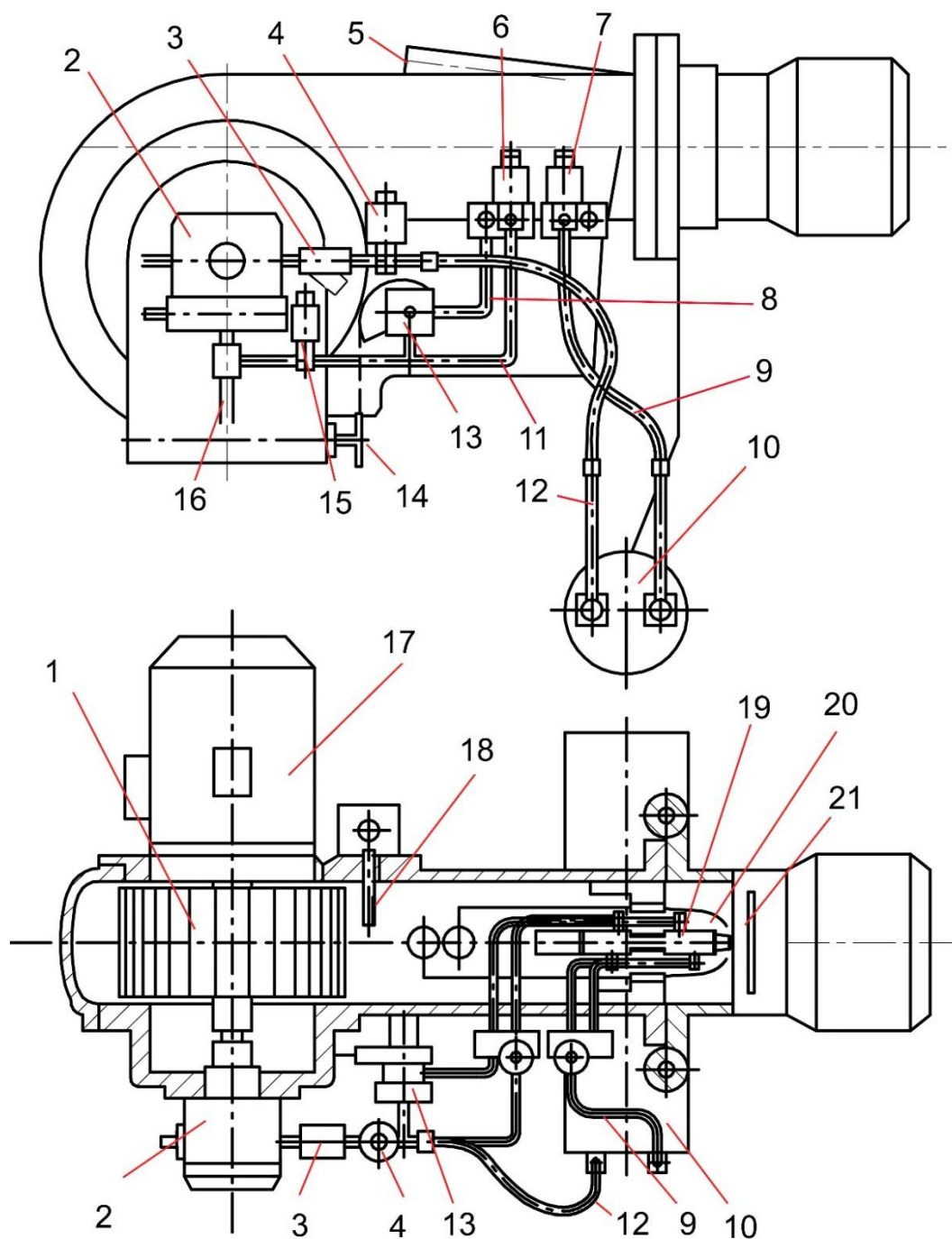
Данные форсунки применяются в форсуночных агрегатах, в которых на одном устройстве установлены форсунка, топливный насос и нагнетатель воздуха, подогреватель топлива, элементы автоматического управления, средства обеспечения требуемого коэффициента избытка воздуха.

Данные агрегаты, широко используются в судовых котельных установках. Общий вид форсуночного агрегата представлен на рисунке 3.15. Управление запиранием топливной иглы форсунки осуществляется электромагнитным клапаном, установленным на пятке форсунки.



1 – топливный переливной клапан; 2 – топливный насос; 3 – реле подогрева топлива;
 4 – корпус смотрового глазка; 5 – клапана запорные с электромагнитным приводом;
 6 – огневая труба; 7 – петля отворота агрегата; 8 – трубопровод отлива топлива от форсунки; 9 – регулирующий клапан отлива топлива от форсунки с моторным управлением; 10 – тяга управления положения воздушного шибер; 11 – ось воздушного шибер; 12 – напорный топливный трубопровод; 13 – сливной топливный трубопровод.
 Рисунок 3.16 – Форсуночный агрегат с регулируемой механической форсункой

Схема данного форсуночного агрегата представлена на рисунке 3.17.



1 – нагнетатель воздуха; 2 – топливный насос; 3 – фильтр; 4, 6, 7, 15 – электромагнитные запорные клапана; 5 – глазок; 8 – трубопровод отлива топлива из вихревой камеры форсунки; 9 – трубопровод подачи горячего топлива на форсунку; 10 – топливоподогреватель; 11 – трубопровод отвода топлива от запирающего поршня; 12 – трубопровод подачи топлива на топливоподогреватель; 13 – клапан отлива топлива с моторным управлением; 14 – привод воздушного шибера; 16 – слив топлива; 17 – электродвигатель; 18 – фотореле; 19 – форсунка; 20 – электроды; 21 – стабилизатор

Рисунок 3.17 – Схема форсуночного агрегата

Управление такими форсуночными агрегатами полностью автоматизировано. Работают они в позиционном режиме «Включено-выключено». К таким агрегатам относятся агрегаты типа «Монарх», «Ойлон», «Сааке».

Данные форсуночные агрегаты предназначены для работы на высоковязком топливе. Управление осуществляется от электросистемы программного механизма, обеспечивающего последовательное выполнение операций в зависимости от сигналов реле давлений, установленных на котле.

Агрегат (рисунок 3.17) может быть оборудован одной, двумя или тремя форсунками в одном корпусе, скомпонованными в головке 19. Топливный насос 2 и вентилятор 1 приводятся в действие от электродвигателя 17. Из расходной цистерны топливо поступает к насосу 2, а затем через электрический топливоподогреватель 10 к электромагнитным клапанам 6, 7. Топливоподогреватель включается одновременно с насосом и вентилятором и подогревает мазут до температуры около 95°C. От электромагнитных клапанов топливо направляется по трубопроводу 9 к соплу форсунки 19. Перед подачей мазута в топку производится её вентиляция в течение 20 – 30 с (в зависимости от настройки системы). На всасывающем патрубке вентилятора установлена заслонка 14, управляемая рычажной передачей от клапана отлива топлива. По обе стороны сопла расположены электроды зажигания 20. Для контроля включения форсунки служит фотоэлемент 18. Если зажигания не происходит, то по сигналу от фотоэлемента прекращается подача топлива и включается световая сигнализация. Программное управление предусматривает повторное включение форсунки только после вентиляции топки. В состав топочного устройства входят электрозапальное устройство (для зажигания топлива от вольтовой дуги, образуемой электродами 20), перепускной топливный клапан, реле дав-

ления, топливный фильтр 3 и диффузор 11. Общий корпус топочного устройства может поворачиваться на оси фланца.

Общий вид используемой в данном агрегате форсунки представлен на рисунке 3.18. Здесь же она представлена в разобранном виде. На рисунке справа снизу расположен распылитель. Спецификация элементов и их назначение понятно из продольного разреза форсунки (рисунок 3.19)

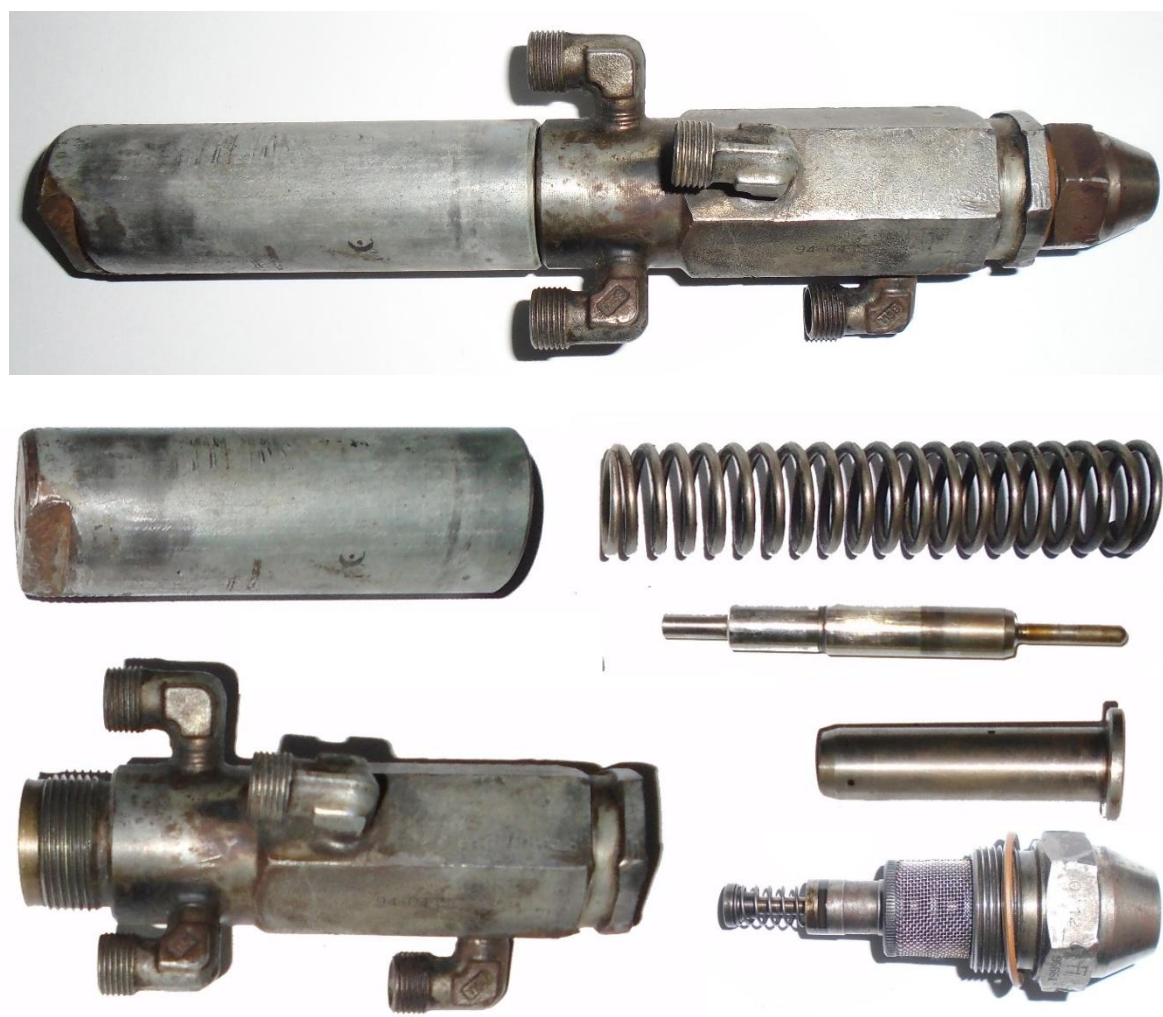
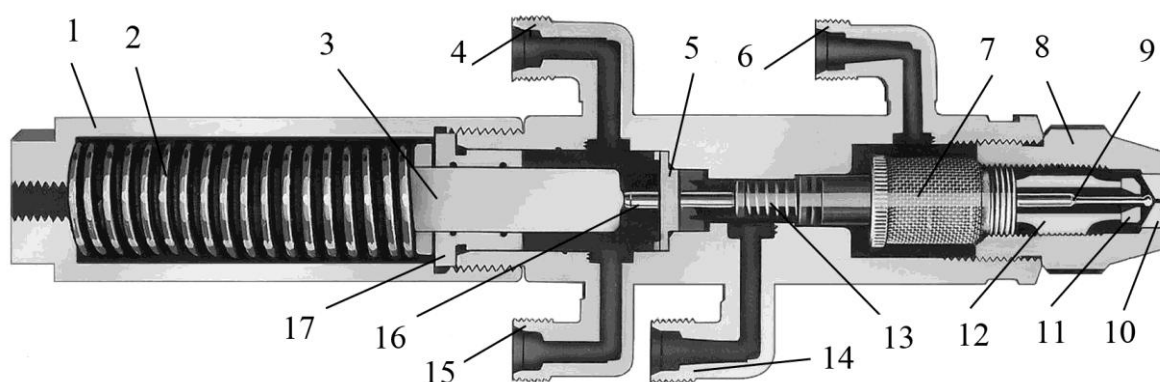


Рисунок 3.18 – Форсунка в сборе и в разобранном видах

Форсунка имеет четыре штуцера для подвода и отвода топлива. При подаче топлива к штуцеру 4 (при закрытом отводе от штуцера 15) посредством поршня 3 сжимается пружина 2, усилие на стержне 16 снижается.

Тогда топливо, поступающее к штуцеру 6 отжимает запорную иглу 9, формируя характерную кольцевую щель между соплом и запорной иглой.



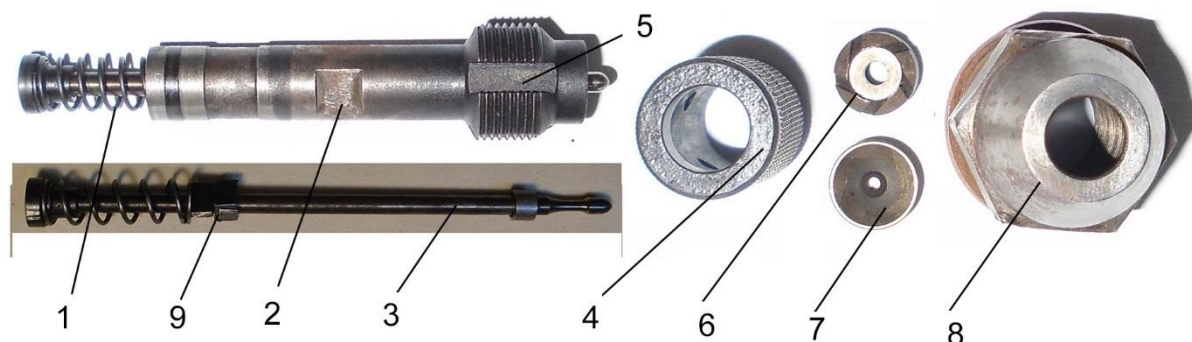
1 – стакан; 2, 13 – пружина; 3 – запирающий поршень; 4, 15 – штуцера подвода и отвода топлива на запирающий поршень; 5, 12, 17 – направляющая втулка; 6 – штуцер подвода топлива к распылителю; 7 – фильтр; 8 – наконечник; 9 – запорная игла; 10 – шайба распыливающая; 11 – завихритель; 14 – штуцер отвода топлива от распылителя; 16 – направляющий стержень; 17 – направляющая втулка

Рисунок 3.19 – Продольный разрез форсунки

В рассматриваемой механической регулируемой форсунке присутствует несколько пар скольжения, которые должны обеспечивать линейное перемещение ответственных узлов. При этом эти сопряжения должны обеспечивать работоспособность при переходе из холодного состояния в рабочее при подаче подогретого топлива до 140°C. Запорная игла (ее конечный участок) имеет характерный (нелинейный) профиль для обеспечения требуемой подачи топлива и минимальных гидродинамических сопротивлений.

Распылитель представляет собой сборочный узел, содержащий запирающую иглу 15, фильтр 14, кольцевой канал 6 подвода топлива на вихревую шайбу 8 с тангенциальными каналами 9, кольцевой канал 3 для отлива топлива из завихряющей камеры 11.

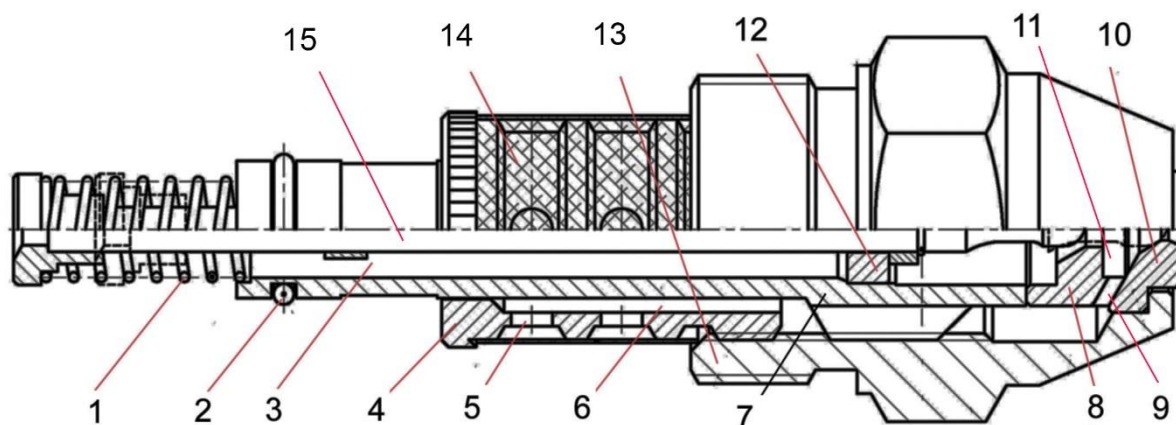
Внешний вид элементов, составляющих распылитель, другие представлен рисунке 3.20.



- 1 – возвратная пружина; 2 – лыска для установки и снятия запорной иглы в сборе;
 3 – запорная игла; 4 – фильтр сетчатый; 5 – каналы для доступа топлива
 на распыливание; 6 – завихряющая шайба; 7 – сопловая шайба; 8 – колпачок;
 9 – подвижный направляющий подшипник

Рисунок 3.20 – Устройство распылителя

Конструкция распылителя представлена на рисунке 3.21.



- 1 – возвратная (отжимающая) пружина; 2 – уплотнительное кольцо; 3 – канал
 для отлива топлива из камеры завихрения; 4 – корпус фильтра; 5 – отверстия
 для прохода топлива к завихрителю; 6 – канал для подвода топлива на тангенциальные
 каналы; 7 – втулка запорной иглы; 8 – вихревая шайба; 9 – тангенциальный канал;
 10 – сопловая шайба; 11 – вихревая камера; 12 – подвижный направляющий подшипник
 запорной иглы; 13 – колпачок; 14 – фильтр; 15 – запорная игла

Рисунок 3.21 – Продольный разрез распылителя

Подачу топлива обеспечивает возвратная пружина 1, однако игла отходит, если запорная пружина 2 (рисунок 3.19) отжата при подаче топлива на штуцер 4 и закрытым отводом топлива через штуцер 15. При открытии отлива топлива через штуцера 15 запорная пружина передавливает отжимную пружину 1 (рисунок 3.21) и запорная игла 15 проходит через отливное отверстие в вихревой шайбе и запирает отверстие сопловой шайбы 10.

3.4.3. Форсунки паромеханические

Достоинства паромеханических форсунок: высокое качество распыливания; достаточная глубина регулирования (до 12), возможность работы с низким коэффициентом избытка воздуха (до 1,3) малая склонность к закоксовыванию выходного сопла, по сравнению со пароструйными, меньший расход пара (0,01...0,05 кг/кг топлива).

Обычно в данных форсунках оба компонента подвергаются центробежному распыливанию. Давление пара с средним 0,2...0,35 МПа, давление топлива 0,8...2,8 МПа. Регулирование осуществляется путем снижения давления топлива. При малых давлениях топлива высокое качество распыливания обеспечивается за счет закрученной струи пара.

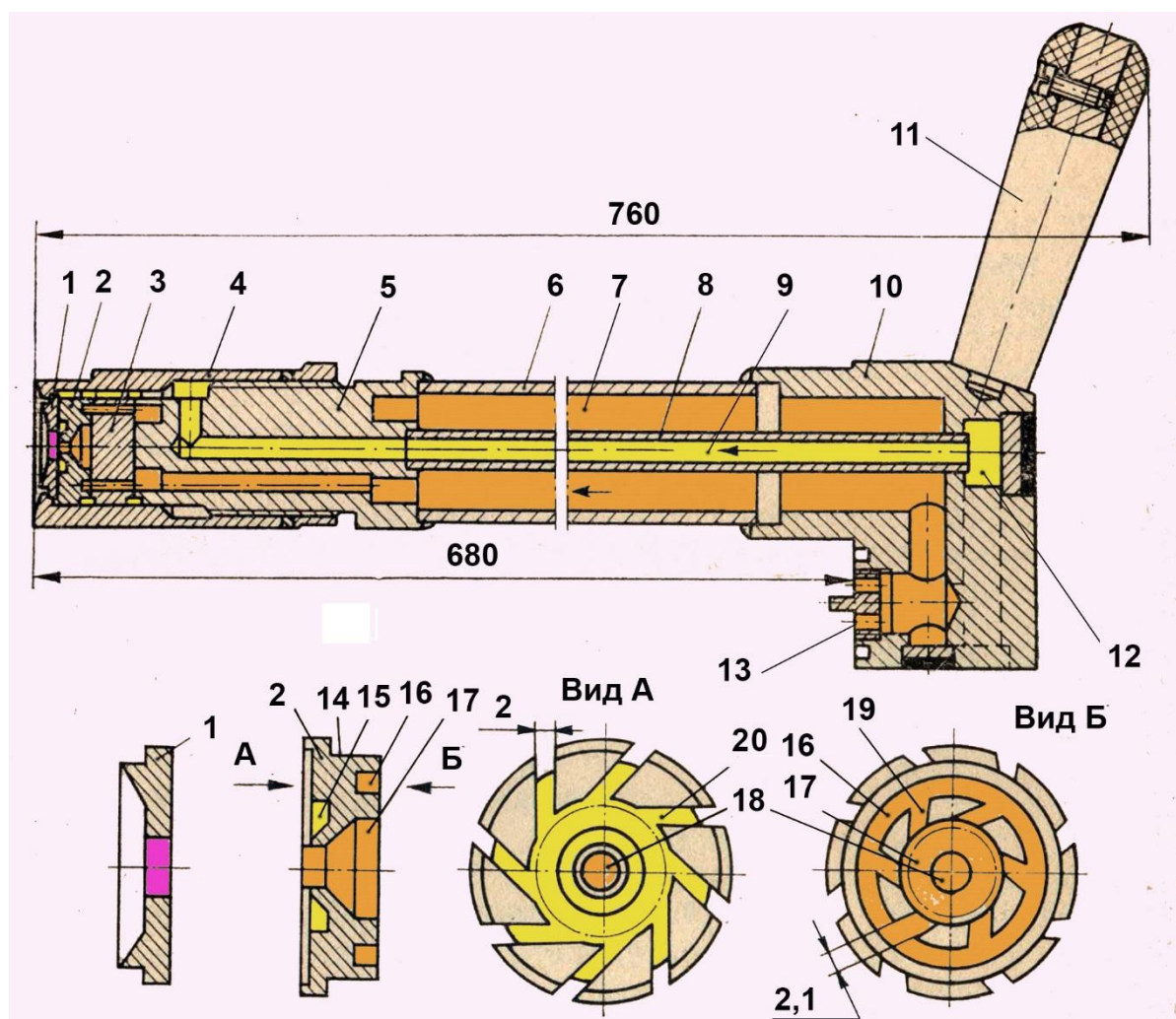
На рисунке 3.22 представлен внешний вид паро-механической форсунки.



Рисунок 3.22 – Общий вид паро-механической форсунки

На рисунке 3.23 представлено устройство паро-механической форсунки и конструкция распыливающей и завихряющей шайб.

Разрез форсунки проходит по топливному входному каналу.



1 – сопловая шайба; 2 – завихряющая шайба; 3 – направляющая втулка; 4 – обжимной стакан; 5 – наконечник; 6, 8 коаксиальные трубы (стволы); 7 – топливная кольцевая полость; 9 – паровая полость; 10 – башмак; 11 – рукоятка; 12 – подвод пара; 13 – подвод топлива; 14 – паровая кольцевая камера; 15 – паровая вихревая камера; 16 – топливная кольцевая камера; 17 – топливная вихревая камера; 18 – сопло; 19 – топливные тангенциальные каналы; 20 – паровые тангенциальные каналы

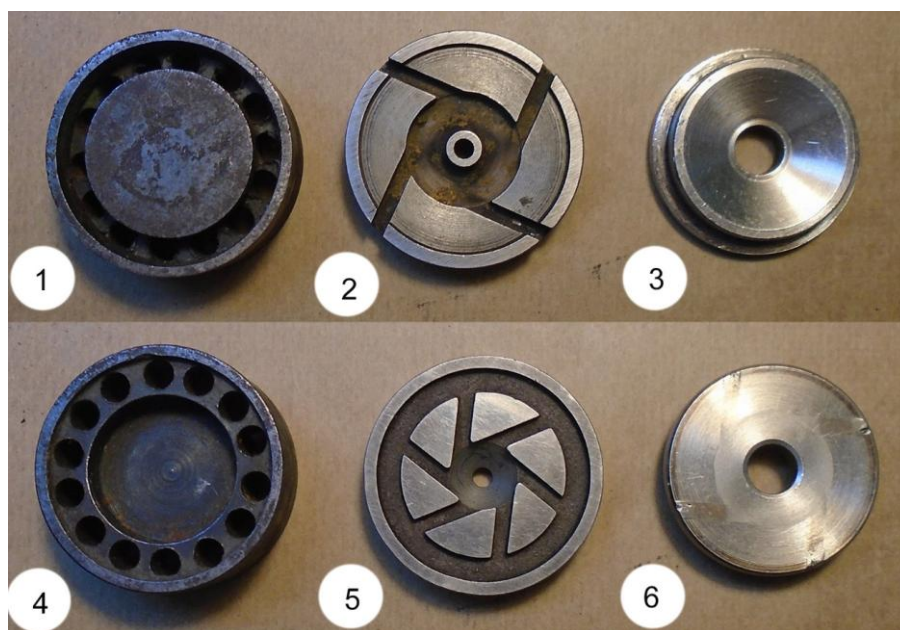
Рисунок 3.23 – Устройство паромеханической форсунки

Топливо поступает через сепаратор 13 по выполненному в башмаке каналу в межтрубное пространство 7, представляющего собой кольцо. Да-

лее через отверстие в наконечнике топливо поступает на направляющую втулку 3, которая обеспечивает равномерную его подачу в кольцевую топливную камеру 16. Из камеры топливо поступает в шесть тангенциальных каналов 19 и далее в вихревую камеру 17.

Пар поступает в башмак 12, как и топливо (вход показан пунктиром) и далее во внутренний паровой ствол 8. Далее пар 9 подается через наконечник 5 в ряд фигурных каналов направляющей втулки 3. Затем пар поступает в паровую кольцевую камеру 14, ограниченную наружной поверхностью вихревой шайбы 2 и внутренней поверхностью стакана 4. Из кольцевой полости пар подается к паровым тангенциальным каналам 20. Далее из паровой вихревой камеры 15 паровые вихри сталкиваются с топливными вихрями за кромкой сопла 18 и вместе поступают на шайбу 1.

На рисунке 3.24 представлены изображения шайб паромеханической форсунки.



1, 6 – паровая направляющая втулка 2 – паровая сторона вихревой шайбы;
3, 6 – сопловая шайба; 5 – топливная сторона вихревой шайбы

Рисунок 3.24 – Шайбы паромеханической форсунки

3.5. Выполнение работы

3.5.1 Получить образцы пароструйной форсунки. Разобрать. Идентифицировать составляющие элементы. Определить их назначение, движение топлива и пара. Указать сопрягаемые поверхности, обеспечивающие плотность форсунки при работе. Указать рабочие поверхности (соприкасающиеся с рабочими средами). Оценить состояние. Указать поверхности с наибольшей интенсивностью изнашивания. Собрать без приложения усилия. Сделать выводы.

3.5.2 Получить образцы механической центробежной нерегулируемой форсунки. Разобрать. Идентифицировать составляющие элементы. Определить их назначение, движение топлива. Указать сопрягаемые поверхности, обеспечивающие плотность форсунки при работе. Указать рабочие поверхности (соприкасающиеся с рабочими средами). Оценить состояние. Указать поверхности с наибольшей интенсивностью изнашивания. Собрать без приложения усилия. Сделать выводы.

3.5.3 Получить образцы паромеханической форсунки. Разобрать. Идентифицировать составляющие элементы. Определить их назначение, движение топлива и пара. Указать сопрягаемые поверхности, обеспечивающие плотность форсунки при работе. Указать рабочие поверхности (соприкасающиеся с рабочими средами). Оценить состояние. Указать поверхности с наибольшей интенсивностью изнашивания. Собрать без приложения усилия. Сделать выводы.

3.5.4 Получить образцы механической регулируемой форсунки. Разобрать. Идентифицировать составляющие элементы. Определить их назначение, движение топлива. Указать сопрягаемые поверхности, обеспечивающие плотность форсунки при работе. Указать рабочие поверхности (соприкасающиеся с рабочими средами). Оценить состояние. Указать по-

верхности с наибольшей интенсивностью изнашивания. Собрать без приложения усилия. Сделать выводы.

3.5.5 При анализе конструкции и работы механической регулируемой отливом форсунки выполнить замеры конструктивных геометрических параметров сопловой и вихревой шайб. По ниже изложенной методике определить расход форсунки при максимальной производительности (при закрытом клапане отлива топлива – поз. 13 рисунок 3.17).

Расчет производительности форсунки.

Рекомендуется расчеты выполнять в электронных таблицах, например, в Excel.

Расчет носит оценочный характер, не учитывает вязких свойств рабочей жидкости.

1. Назначается рабочее давление на форсунке p , МПа.
2. Назначается марка топлива.
3. В соответствии с рисунком 3.12 определяются следующие линейные размеры:

- диаметр камеры завихрения $D_{KЗ}$, мм;
- диаметр сопла d_C , мм;
- диаметр тангенциальных каналов d_{BX} , мм;
- ширина тангенциального канала b , мм;
- высота тангенциального канала h , мм
- плечо закручивания R_{BX} , мм;
- количество тангенциальных каналов n , шт.
- угол наклона тангенциальных каналов к оси сопла δ .

6. Определяется площадь тангенциального канала (в зависимости от его сечения круглого или прямоугольного F_{BX} , мм²

7. По формуле (2) рассчитывается геометрическая характеристика форсунки A .

8. Методом последовательных приближений из формулы (3) определяется коэффициент заполнения сечения сопла рабочим телом φ [104]:

$$A = \frac{1 - \varphi}{\sqrt{0,5 \cdot \varphi^3}} \quad (3)$$

9. Из формулы (1) определяется толщина слоя рабочей жидкости, проходящей через сопло Δ , мм.

10. Рассчитывается коэффициент расхода μ [105]:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{\frac{A}{1 - \varphi} + \frac{1}{\varphi^2}}} \quad (4)$$

11. Определяется расход топлива через форсунку Q , (м³/с):

$$Q = \mu \cdot F_c \cdot 10^{-6} \sqrt{\frac{2 \cdot p \cdot 10^6}{\rho}} \quad (5)$$

Результаты расчета заносятся в таблицу:

№	Параметр	Обозначение	Размерность	Результат
1	Марка топлива		—	
2	Рабочее давление	p	МПа	
6	Диаметр сопла	d_c	мм	
7	Диаметр тангенциального канала	d_{BX}	мм	
8	Высота тангенциального канала	H	мм	
9	Ширина тангенциального канала	b	мм	
10	Площадь поперечного сечения тангенциального канала	F_{BX}	мм ²	
11	Плечо закручивания	R_{BX}	мм	
12	Диаметр камеры завихрения	D_{K3}		
13	Геометрическая характеристика	A	—	
14	Коэффициент заполнения сечения сопла	φ	—	
15	Толщина слоя рабочей жидкости	Δ	мм	
16	Коэффициент расхода	μ	—	
17	Секундный объемный расход топлива	Q	м ³ /с	
		Q	см ³ /с	
	Часовой массовый расход топлива	Q	кг/ч	

12. Сделать выводы.

3.6. Оформление отчета

Отчет должен содержать краткое описание выполненной работы, результаты расчета производительности регулируемой механической форсунки.

3.7. Вопросы к лабораторной работе

1. Перечислить типы форсунок, используемых в судовых котлах.
2. Описать принцип работы струйной форсунки.
3. Описать принцип работы механической нерегулируемой форсунки.
4. Описать принцип работы механической регулируемой форсунки.
5. Описать принцип работы паромеханической форсунки.
6. Описать принцип работы механической вращающейся форсунки.
7. Изложить порядок определения температуры при подогреве топлива в период его подачи на форсунку.
8. Сравнить расход пара в пароструйной и паромеханической форсунках. Вывод прокомментировать.
9. Описать устройство распыливающей шайбы механической нерегулируемой форсунки.
10. Описать устройство распыливающей шайбы механической регулируемой форсунки.
11. Описать устройство распыливающей шайбы паромеханической форсунки.
12. Указать поверхности форсунки с наибольшими интенсивностями износа.

Лабораторная работа № 4

АНАЛИЗ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ

4.1. Введение

Цель данной работы изучение конструкции газоанализатора КГА-1-1 (Орса-Фишера) и определение состава продуктов сгорания при помощи этого газоанализатора [6 - 8].

Принцип действия газоанализатора основан на избирательном поглощении поглотительными растворами кислотообразующих газов и кислорода.

Зная состав дымовых газов, можно определить коэффициент избытка воздуха α , который определяет экономичность работы котла.

Сгорание называется полным, если горючие элементы топлива окисляются полностью. Горючими элементами топлива являются углерод, водород и сера. При полном сгорании образуются углекислый газ CO_2 , водяные пары H_2O и сернистый газ SO_2 . В продуктах полного сгорания будут присутствовать также азот (атмосферный и азот топлива) и избыточный кислород. Это объясняется тем, что вследствие несовершенства процесса перемешивания топлива с воздухом в топку подается избыточный воздух, в результате чего не весь кислород расходуется на горение.

При неполном сгорании топлива в продуктах сгорания наряду с перечисленными выше соединениями находятся оксид углерода (угарный газ) CO , водород H_2 , метан CH_4 и другие газообразные углеводороды. При сжигании жидких топлив эти продукты неполного сгорания (кроме CO) содержатся в очень незначительных количествах, и их не учитывают. Поэтому за показатель неполноты сгорания топлива принимают содержание в газах только CO .

Продукты сгорания принято разделить на сухие газы и водяные пары. Это объясняется тем, что перед газоанализатором устанавливается фильтр, в котором задерживается вода. Вследствие этого газоанализатор дает процентное содержание отдельных компонентов в сухих газах.

4.2. Описание установки

Прибор состоит (рисунок 4.1) из измерительной бюретки 1, в которую отбирают 100 см^3 дымовых газов для анализа. Газы отбирают при помощи уравнительной фляги 8 и резиновой груши 9. Отобранные горячие газы проходят фильтр 10 со стеклянной ватой, где задерживаются механические примеси и водяные пары.

Принцип действия прибора основан на уменьшении объема отобранной пробы дымовых газов после поглощения отдельных компонентов продуктов сгорания.

Для поглощения трехатомных газов RO_2 используется сосуд 6, в котором находится водный раствор щелочи (KOH или NaOH) для поглощения диоксидов серы и углерода.

Для поглощения кислорода O_2 , используется сосуд 5, в котором находится водный раствор пиросалата "А".

Возможна установка третьего поглотительного сосуда для поглощения монооксида углерода, в котором находится суспензия CuO в H_2SO_4 (с бета-нафтолом) или полухлористая медь (в $\text{NH}_3(\text{OH})$).

Устройство поглотительного сосуда представлено на рисунке 4.2.

Уравнительный сосуд 8 наполняют запирающей жидкостью, обычно подкисленным насыщенным раствором NaCl (рН понижают при помощи HCl или H_2SO_4). Для лучшей визуализации его подкрашивают метилоранжем.

Измерительная бюретка, которая представляет собой стеклянную трубку со шкалой. С одной стороны трубка утолщена, шкала деления $1,0 \text{ см}^3$, с другой – тонкая, со шкалой $0,2 \text{ см}^3$. Общий объем бюретки 100 см^3 .

Устройство измерительной бюретки представлено на рисунке 4.3.

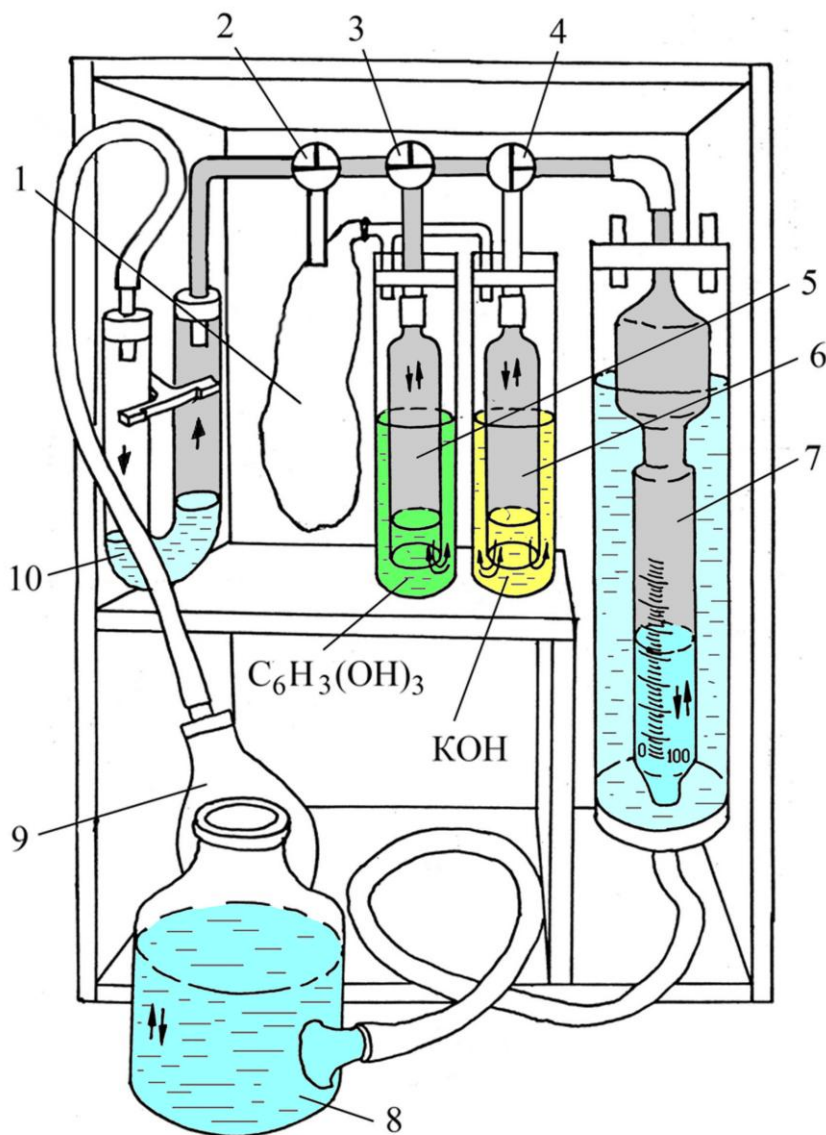


Рисунок 4.1 – Газоанализатор КГА-1-1:

- 1 – резиновый мешочек; 2, 3, 4 – краны трехходовые; 5, 6 – поглотительные сосуды;
7 – измерительная бюретка; 8 – уравнивательная фляга;
9 – груша (ручной насос); 10 – фильтр

Измерительная бюретка с поглотительными сосудами и фильтром соединяется при помощи соединительной гребёнки и краников 2, 3, 4. От ат-

мосферы поглотительные сосуды отключены при помощи резинового мешочка 1.

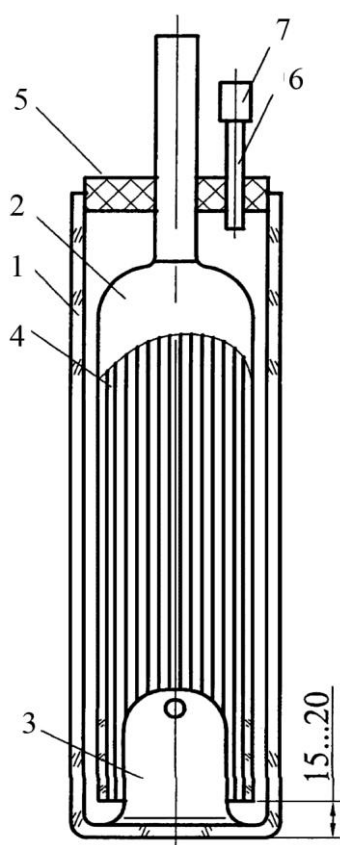


Рисунок 4.2 – Поглотительный сосуд:
1 – стакан; 2 – колокол; 3 – колпачок;
4 – тонкостенные стеклянные трубки
(45 шт.); 5 – пробка; 6 – трубка;
7 – силиконовая трубка

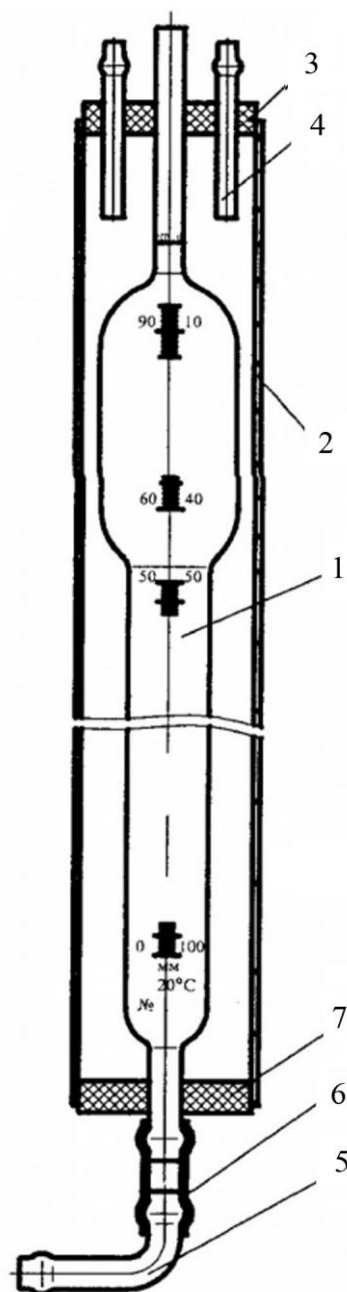


Рисунок 4.3 – Измерительная бюретка:
1 – бюретка; 2 – цилиндр; 3, 7 – пробка;
4 – стеклянные трубки; 5 – отвод;
6 – силиконовая трубка

4.3. Порядок проведения работы

1. Установить уровни в поглотительных сосудах на нулевые отметки.
2. С помощью груши 9 прокачать газы через измерительную бюретку и гребенку для удаления старых газов и подачи испытываемого газа в прибор.
3. При помощи уравнительной фляги 8 и крана 2 отобрать 100 см^3 испытываемого газа. Для этого надо предварительно отобрать газа больше, чем 100 см^3 . Закрыть кран 2 и, поднимая уравнительную флягу установить уровень воды в измерительной бюретке на нулевой отметке. Пережать шланг, открыть кран 2, выпустить излишек газа в атмосферу, а затем снова закрыть кран 2. Совместить уровни жидкости в измерительной бюретке и в уравнительной фляге. Уровень в измерительной бюретке должен установиться на нулевой отметке.
4. Для поглощения RO_2 кран 4 переключить на поглотительный сосуд 6 с едким калием. Флягу 8 перемещают 4 - 6 раз вверх и вниз для перекачивания отобранной пробы газа в поглотительный сосуд и обратно. Установить уровень в поглотительном сосуде на нулевой отметке, закрыть кран 4 и произвести отсчет, совместив уровни в измерительной бюретке 7 и фляге 8. Отсчет, произведенный по шкале бюретки 7, покажет количество миллилитров газа пробы, поглощенного КОН. При отборе 100 см^3 газа отсчет покажет процентное содержание газа RO_2 в отобранной пробе газов.
5. В том же порядке производится прокачка газов не менее 8 - 10 раз через второй поглотительный сосуд с пирогаллолом. После этого аналогичным способом производится отсчет по измерительной бюретке, который покажет процентное содержание $\text{RO}_2 + \text{O}_2$ в пробе газа.

Для проверки поглотительной способности пирогаллола целесообразно периодически производить контрольный анализ атмосферного воздуха. Прибор должен показывать процентное содержание кислорода в воздухе 20,9...21 %.

6. По формулам для определения коэффициента избытка воздуха по данным анализа дымовых газов рассчитать α .

В случае полного сгорания топлива, т.е., когда конечными продуктами сгорания топлива являются RO_2 , N_2 , O_2 α определяется по формуле

$$\alpha = \frac{1}{1 - 3,76 \cdot \frac{O_2}{100 - (RO_2 + O_2)}}. \quad (1)$$

При теплотехнических испытаниях судовых котлов на мазутном отоплении для оценки величины α пользуются приближенной формулой (3.2):

$$\alpha = \frac{15}{RO_2} + 0,06. \quad (2)$$

Коэффициент избытка воздуха можно выразить и как отношение объема кислорода (21 %), вводимого в топку к теоретический необходимому количеству кислорода $(21 - O_2)$ %, т.е.:

$$\alpha = \frac{21}{21 - O_2}. \quad (3)$$

В качестве справочного материала на рисунке 3.4 представлена зависимость содержания трехатомных газов и кислорода в продуктах полного сгорания мазута от коэффициента избытка воздуха.

4.4. Схема установки прибора КГА-1-1

Важным условием надежного определения состава дымовых газов является непрерывный подвод свежих порций газа к прибору. В схеме установки для газового анализа (рисунок 4.5) предусматривается эжектор 4, который обеспечивает непрерывный ток газа к прибору. Дымовые

газы из газозаборной трубки 2, установленной в газоходе котла, поступают в дренсельную банку 9.

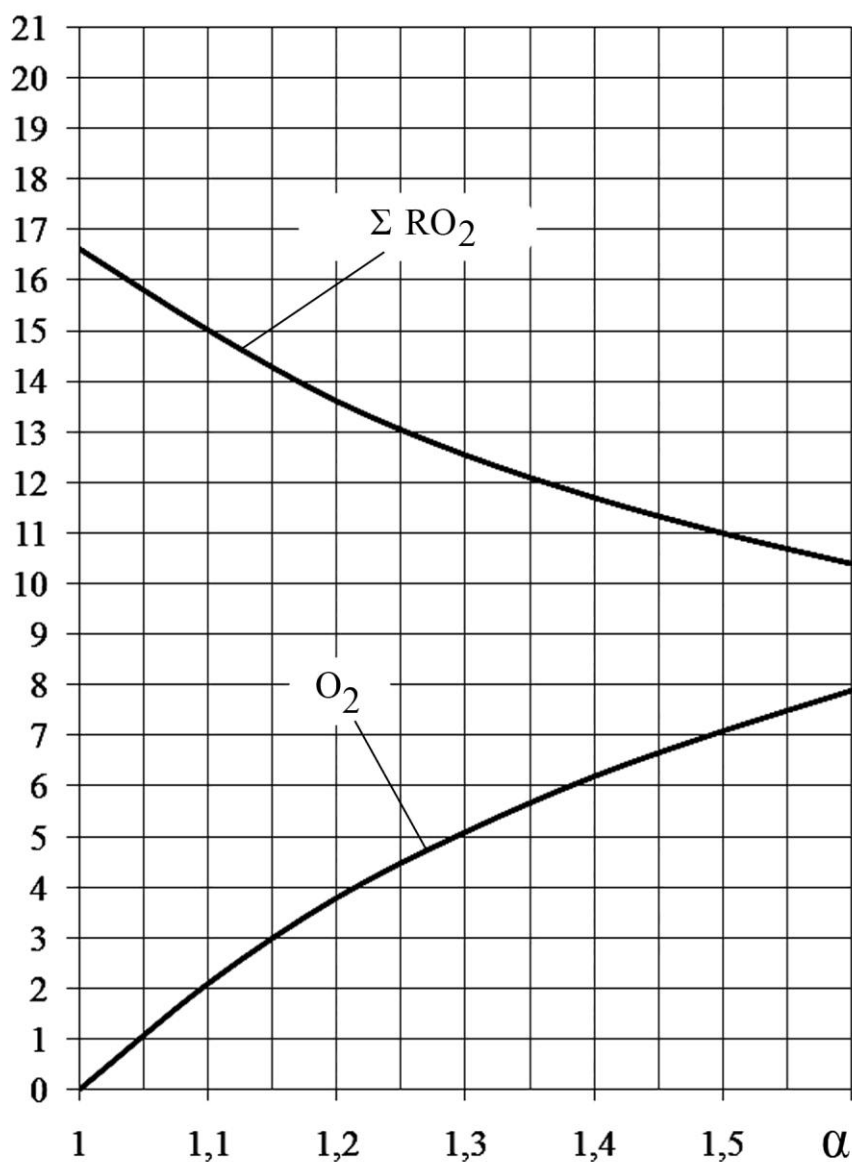


Рисунок 4.4 – Зависимость содержания трехатомных газов и кислорода в продуктах полного сгорания мазута от коэффициента избытка воздуха

Подвод газа в дренсельную банку производится под уровень воды, а отбор над уровнем воды, т.е. из газового объема. Вода в дренсельной банке должна иметь кислую реакцию с целью исключения поглощения водой компонентов газа.

По интенсивности движения пузырей газа из подводящей трубки в дрексельной банке можно судить о подводе газа из газохода котла. Газы из дрексельной банки, пройдя фильтр и трехходовой краник прибора, выбрасываются в атмосферу. Таким образом, применение эжектора дает возможность отбирать такую пробу газа, которая в момент отбора соответствует среднему составу дымовых газов в газоходе котла.

В отдельных случаях эжектор для отсоса газа не устанавливают, а подсос газа из газохода осуществляют посредством груши 9 (рисунок 4.1). Газоподводящие трубки до дрексельной банки должны быть медными или латунными с внутренним диаметром 8...10 мм.

При высоких температурах отбираемого газа и установке прибора в непосредственной близости к газоходу котла необходимо предусмотреть газоохладитель для охлаждения газов, поступающих в прибор, до температуры 30...40 °С.

В связи с тем, что во время работы вся система находится под вакуумом, необходимо после ее сборки произвести проверку на плотность. Все краники на приборе и места соединений должны быть смазаны техническим вазелином или ланолином.

Плотность соединений в приборе проверяется следующим образом.

В измерительной бюретке уровень воды устанавливается на делении 100, а в поглотительных сосудах уровень на метке. Краники сосудов должны быть перекрыты. Затем прибор отключается с помощью трехходового краника от подводящих газозаборных трубок.

После чего уравнительная фляга опускается. В результате в приборе создается разрежение. Если в течение 20...30 мин в измерительной бюретке уровень не изменился, то прибор является плотным. При изменении уровня в бюретке необходимо обратить внимание на положение уровней в поглотительных сосудах.

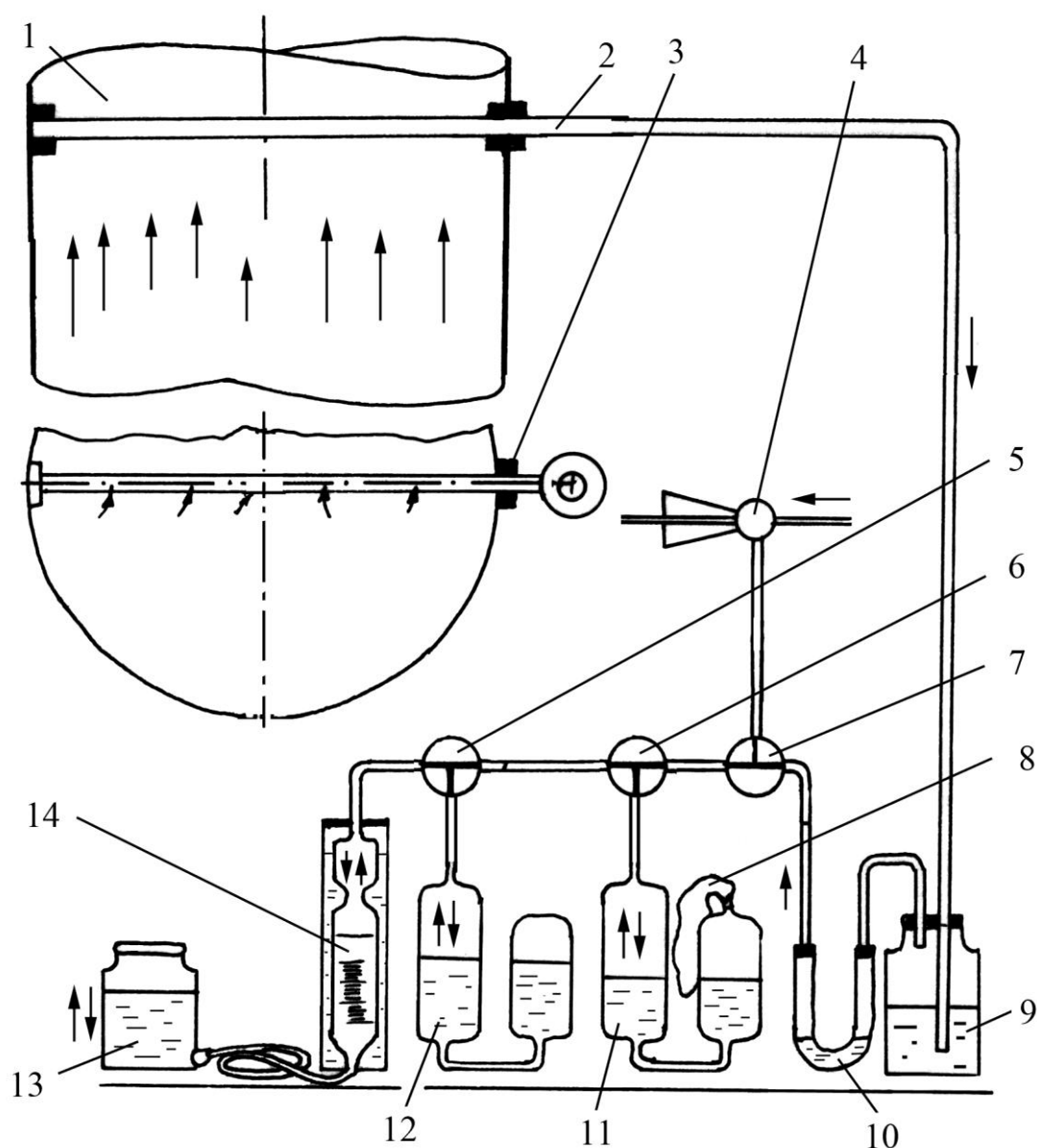


Рисунок 4.5 – Схема установки для газового анализа:

- 1 – газоход; 2 – газоотборная трубка; уравнильная груша; 3 – уплотнение;
 4 – эжектор; 5, 6, 7 – трехходовые краны; поглотительные сосуды; 8 – резиновый шарик; 9 – дрексельская банка; 10 – фильтр, 11, 12 – поглотительные сосуды;
 13 – уравнильная фляга; 14 – измерительная бюретка

Изменение уровня в поглотительных сосудах будет свидетельствовать о неплотности их краников. Если уровни остались без изменения, то неплотности следует искать в трехходовом кранике. Необходимо также проверить плотность всей проводки от газозаборной трубки до трехходового

краника прибора. С этой целью газоподводящую трубку отсоединяют от газозаборной трубки и присоединяют к U-образному манометру, залитому водой. Затем в системе создается разрежение с помощью эжектора и перекрывается трехходовой краник.

Если в течение 20...30 мин показание U-образного жидкостного манометра не изменится, систему следует считать плотной.

Раствор для CO_2 проверяют на изменение внешнего вида – он должен быть прозрачным, без осадка и изменения цвета. Из второго поглотительного сосуда (для O_2) раствор проверяют через каждые 20-25 определений. Для этого пропускают 50 см^3 воздуха 10 раз в сосуд из бюретки. Воздух для проверки берут наружный. Должен получиться результат – 20% или более O_2 в воздухе. Важно учитывать, что пирогаллол нестойкий при низких температурах (ниже $+15^\circ\text{C}$). Если скорость поглощения реактивов уменьшается, приходится делать больше повторений, то следует заменить наполнители. Обычно раствора пирогаллола А хватает на 300 определений, если O_2 в образцах до 2% или 50, если его до 20%.

4.5. Оформление отчета

Оформленный отчет лабораторной работы должен содержать название и цель работы, схему установки, основные теоретические положения, порядок выполнения работы, результаты замеров и расчетов.

4.6. Вопросы к лабораторной работе

1. Устройство газоанализатора.
2. Указать критерии эффективной работы судового котла.
3. Указать влияние коэффициента избытка воздуха на работу котла.
4. Указать пути снижения коэффициента избытка воздуха в котле.
5. Устройство поглотительного сосуда.

6. Устройство измерительной бюретки.
7. Зачем нужен резиновый мешочек на поглотительных сосудах?
8. Зачем залита вода снаружи измерительной бюретки?
9. Как проверить герметичность прибора?
10. Как определить пригодность к работе раствора пиросаллола в поглотительном сосуде для поглощения O_2 ?
11. Как определить количество азота в продуктах сгорания?
12. Как проверить, что все количество RO_2 и O_2 поглощено в поглотительных сосудах?
13. В какой последовательности проводят испытания?
14. Зачем определяют состав продуктов сгорания?
15. Как подготовить к измерениям поглотительные сосуды?
16. Как проверить плотность краников установки?

Лабораторная работа № 5

АНАЛИЗ КОТЛОВОЙ И ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ С ПОМОЩЬЮ СУДОВОЙ ЛАБОРАТОРИИ СКЛАВ-1

5.1. Введение

Цель работы – ознакомиться с методами определения качества котловой и питательной воды, изучить конструкцию лаборатории СКЛАВ-1 и ее использование.

Качество воды, используемой в судовых котельных установках (СКУ), определяет ресурс поверхностей нагрева, долговечность и сохраняемость корпуса котлов.

Задачей контроля качества воды является периодическое или постоянное определение показателей качества, позволяющих судить о правильности ведения водного режима в СКУ [2].

Контроль качества воды производится по нескольким показателям, основные из которых определяются в настоящей работе.

С помощью СКЛАВ-1 при работе СКУ контролируются [16]:

- общая жесткость: в пределах 0,1...0,5 мг-экв/л (0,1...0,5 ppm);
- щелочность: 0,1...5 мг-экв/л (0,1...5 ppm);
- содержание хлоридов в конденсате: 0,1...4,5 мг/л (0,1...4,5 ppm);
- содержание хлоридов в котловой воде: от 5 мг/л (от 5 ppm);
- содержание фосфатов: 10...50 мг/л (10...50 ppm);
- содержание нитратов: 10...50 мг/л (10...50 ppm);
- содержание кислорода, растворенного в воде: 0...0,1 мг/л (0...0,1 ppm);
- контроль за степенью загрязнения нефтепродуктами в конденсате: 1...20 мг/л (1...20 ppm).

Лаборатория предназначена для работы непосредственно в машинном отделении судна.

Цель анализа качества воды - расчет химических добавок (например, при внутрикотловой обработке - в котельную воду или в теплый ящик), выполненному с учетом:

- норм показателей качества для данного типа котла;
- результатов анализа;
- характеристик котла (паропроизводительности, объема парового пространства, массы воды в котле);
- типа водного режима.

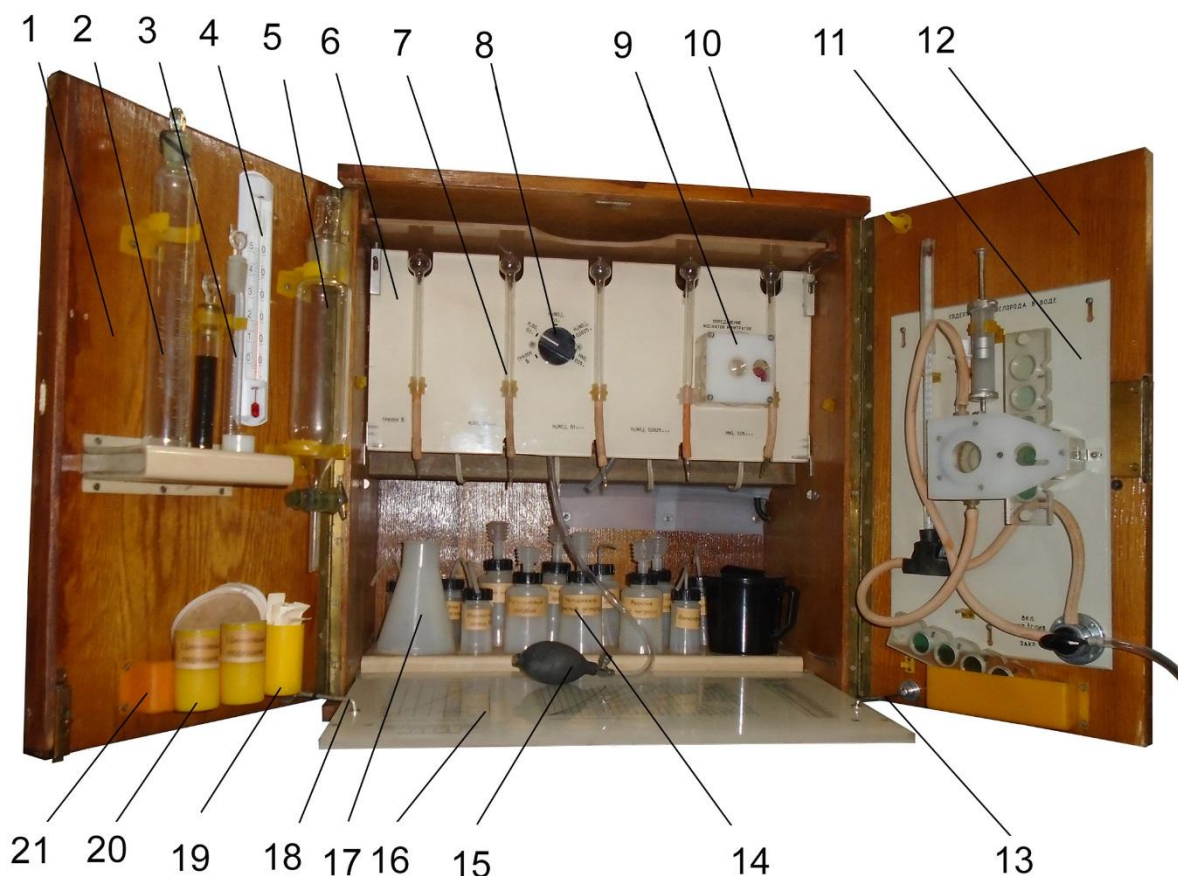
5.2. Устройство лаборатории СКЛАВ-1

Судовая комплектная лаборатория (СКЛАВ-1) размещается в деревянном (в новых модификациях – используются неметаллические материалы) двухдверном шкафчике размером 535×294×554 мм, который оборудован с задней стенки петлями для закрепления его на вертикальной переборке судна.

Она имеет массу основного комплекта (с посудой и растворами) не более 30 кг, поэтому может устанавливаться также на столе в каюте или в машинном отделении судна. Общий вид и содержимое лаборатории СКЛАВ-1 представлены на рисунке 5.1.

На левой створке 1 лабораторного шкафа расположены полки с гнездами для размещения на них стеклянных деталей: цилиндра 2, градуированных пробирок 3, делительной воронки 5 и термометра 4 и ложечки для перемешивания растворов. Здесь же детали из полипропилена: пенал 21 для фильтровальной бумаги; пенал 20 для хранения сыпучих реактивов и 19 для полосок фильтровальной бумаги «белая лента». Фиксаторы 13 и 18

позволяют обе передние подвижные створки шкафа закреплять к нижней откидной панели 16, которая служит полкой, где устанавливают химическую посуду и производят анализы. Эта панель сверху покрыта органическим стеклом, под которым установлена справочная информация: графики № 1 и № 2 для определения содержания нефтепродуктов в конденсате.



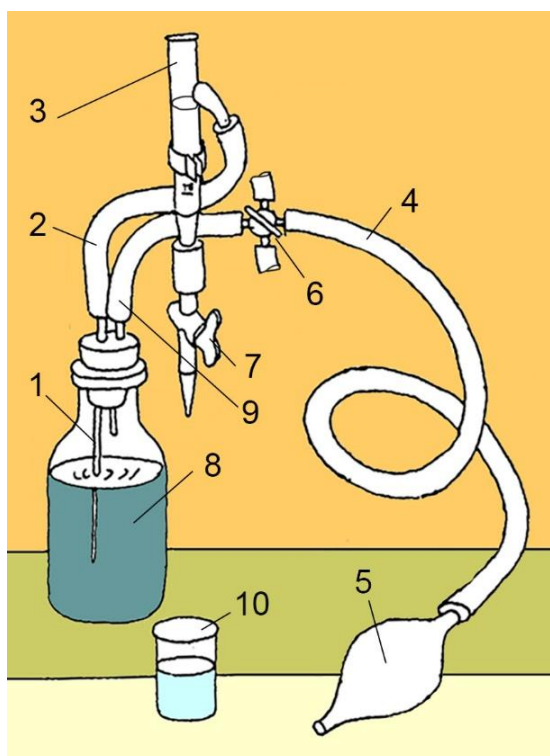
1 – левая дверца шкафа; 2 – стеклянный цилиндр; 3 – мерные пробирки; 4 – термометр;
 5 – делительная воронка; 6 – верхняя откидная панель; 7 – расходные титровальные
 пробирки с автоматическим нулем; 8 – кран-манипулятор для выбора титра; 9 – компа-
 ратор для определения фосфатов и нитратов; 10 – шкаф; 11 – плата с прибором для оп-
 ределения содержания кислорода в воде; 12 – правая дверца шкафа; 13, 18 – фиксаторы
 для нижней панели; 14 – емкости с индикаторами; 15 – насос воздушный для подачи
 титрующей жидкости в измерительную бюретку; 16 – нижняя откидная панель;
 17 – колба для титрования; 19 – пенал для полосок фильтровальной бумаги;
 20 – пеналы для сыпучих реактивов; 21 – пенал для фильтровальной бумаги
 Рисунок 5.1 – Устройство лаборатории СКЛАВ-1

Верхняя панель 6 изготовлена из свето-пропускающего пластика молочного цвета и установлена в корпусе шкафа на шарнирах. На ней закреплены стеклянные измерительные бюретки с автоматическим нулем 7, соединенные резиновыми трубками через кран-манипулятор 8 с резиновой грушей (воздушным насосом 15) и с соответствующими емкостями (5 шт. по 0,5 л) для титровальных растворов, расположенными в гнездах на полке в глубине шкафа. Доступ к ним открывается при опускании шпингалетов откидывании на себя верхней панели 6. В верхней части шкафа за панелью установлены осветительные лампы, обеспечивающая подсветку панели и установленных на ней бюреток 7 и компаратора 9 (для определения фосфатов и нитратов в воде).

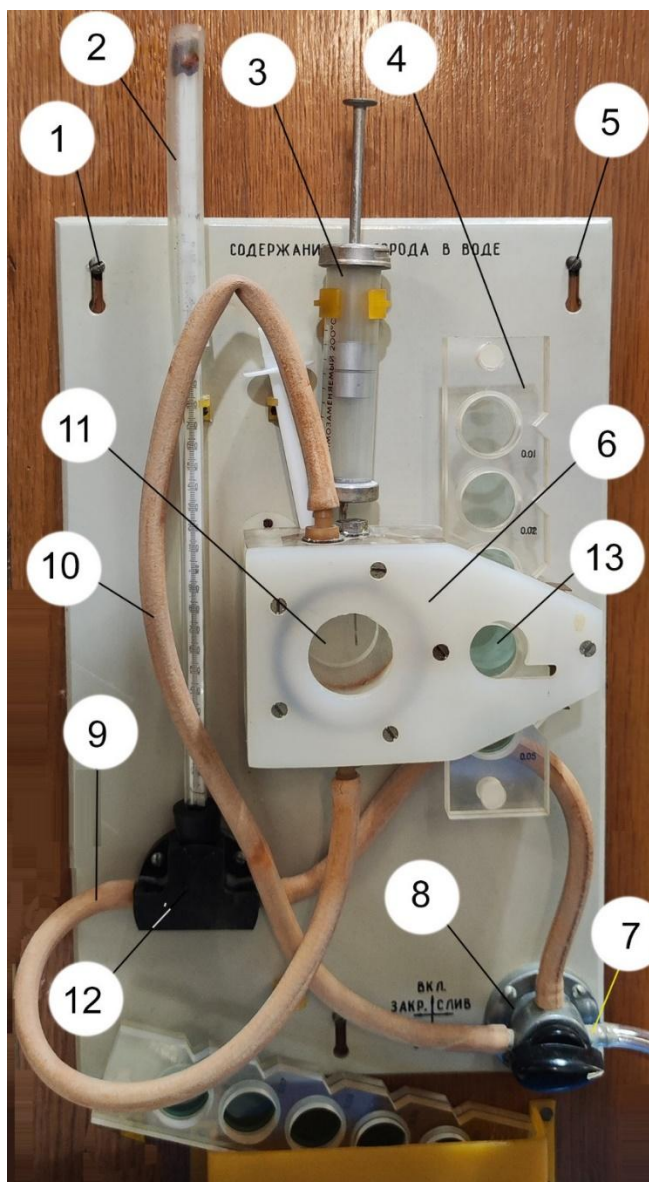
Схема подачи титра в бюретки с автоматическим нулем показана на рисунке 5.2. Резиновая груша 5 выполняет функции воздушного насоса, посредством которого в емкости с титром 8 через трубки 4 и 9 создается повышенное давление. Титр вытесняется через заборник 1 и трубку 2 в бюретку с автоматическим нулем 3. Излишки титра всегда сливаются обратно в колбу 9. Посредством краника 7 осуществляется подача титра и происходит собственно процедура титрования. По объему, израсходованному на титрование (достижения требуемой окраски жидкости в склянке 10).

На правой створке шкафа 12 установлена плата 11 с прибором для колориметрического определения содержания кислорода в воде.

Прибор включает в себя: компаратор 6, имеющий проточную кювету 11; переключатель 8 подачи анализируемой воды и проточную ячейку 12 со стеклянным термометром 2, соединенные последовательно между собой резиновыми трубками 9 и 10.



1 – заборная трубка; 2, 4, 9 – резиновые трубки; 3 – бюретка с автоматическим нулем; 5 – груша; 6, 7 – кран; 8 – емкость с титром; 10 – склянка с пробой
Рисунок 5.2 – Установка для титрования



1, 5 – винты; 2 – термометр; 3 – шприц; 4 – колориметрическая шкала; 6 – компаратор; 7, 9, 10 – резиновые трубки; 8 – кран; 11 – окошко с кюветой; 12 – блок проточной камеры; 13 – окошко с образцовой шкалой
Рисунок 5.3 – Панель для определения кислорода в воде

Компаратор имеет шприц 3 для ввода в анализируемую пробу индикаторного раствора и полость с колориметрической шкалой 13, по которой сравнивается окраска анализируемой пробы и определяется концентрация кислорода в воде.

В нижней части шкафа расположена полиэтиленовая посуда: колба 17 для титрования, полиэтиленовые капельницы 14 с химическими реактивами, а также пробоотборник (кружка) из термостойкого материала.

В комплекте лаборатории СКЛАВ-1 используются химические реактивы, требующие знания некоторых мер безопасности при работе с ними.

- Попавшую на руки кислоту или щелочь необходимо смыть сильной струей воды из водопроводного крана.

- При попадании кислоты в глаза необходимо промыть их 2%-м раствором соды (Na_2CO_3).

- При попадании щелочи в глаза необходимо промыть их 2-3%-м раствором борной кислоты.

- При определении нефтесодержания воды работать с четыреххлористым углеродом необходимо в месте, где происходит интенсивная вентиляция воздуха; остатки экстракта и воду, из которой производилось экстрагирование нефтепродуктов, вылить в канализацию и смыть сильной струей воды.

- Пролитый четыреххлористый углерод собрать ветошью и вымыть руки после этого. Ветошь подлежит утилизации.

- Хранить четыреххлористый углерод необходимо под слоем воды.

5.3. Подготовка лаборатории к работе

Лабораторию (шкаф) и комплект запасных частей (в двух коробах) распаковать и всю посуду тщательно вымыть и высушить. Укрепить шкаф лаборатории на вертикальной стенке или на столе в рабочем помещении. При установке лаборатории обязательно, чтобы её корпус имел жесткий упор снизу.

Открыть дверцы шкафа лаборатории и зафиксировать их фиксаторами. Фиксаторы вставить в специальные отверстия на нижней панели шкафа. Установить посуду и приборы на полках и дверцах шкафа в соответствии с рисунком 5.1.

Открыть верхнюю панель шкафа и заполнить емкости растворами реагентов по 0,5 л в соответствии с надписями. 5. Расположить емкости на полке в последовательности, в какой расположены бюретки на верхней панели: первое гнездо – трилон «Б»; второе – серная кислота 0,1Н; третье – раствор азотнокислого серебра 0,1Н и т. д. Закрыть емкости соответствующими крышками. Длинная трубка крышки для емкости с трилоном «Б» должна быть соединена резиновой трубкой с бюреткой для трилона «Б», а короткая – со штуцером переключателя подачи воздуха. Поэтому при соответствующей установке переключателя 8 нажатие груши 15 приводит к поступлению воздуха из неё по короткой трубке, например, в емкость с трилоном «Б». При этом повышение давления воздуха в емкости с реагентом приводит к вытеснению последнего по длинной трубке, опущенной в него, и заполнению соответствующей бюретки трилоном «Б». Длинная трубка крышки для емкости с серной кислотой должна быть соединена резиновой трубкой с бюреткой для серной кислоты, а короткая – с соответствующим штуцером переключателя 15 и т. д.

Проверить поступление растворов в бюретки, для чего поочередно поставить переключатель 8 в соответствующие положения и при помощи нажатия груши определить поступление растворов в соответствующие измерительные бюретки. 7. Заполнить находящиеся на нижней полке и левой створке шкафа емкости реактивами в соответствии с надписями на наклейках.

Примечание. В стандартной лаборатории СКЛАВ-1 для определения хлоридов в воде в качестве титра применялась азотнокислая ртуть (для

концентраций хлор-иона от 0,1 до 10 мг/с использовался 0,0025Н раствор азотнокислой ртути, для концентраций свыше 10 мг/с – 0,1Н раствор азотнокислой ртути. В связи с изменением оценки результатов воздействия ртутных продуктов на живые организмы, мировое сообщество приняло ряд конвенций по сокращению использования ртутесодержащих материалов в ряде отраслей и особенно в учебных заведениях. В настоящей лаборатории для определения содержания хлоридов используется азотнокислое серебро. Это титр используется в современных экспресс-лабораториях типа СЛКВ-1... СЛКВ-5 [17...21].

5.4. Осветление пробы воды

Перед проведением анализов котловой воды ее необходимо осветлить. Осветление воды основано на адсорбции размельченным активированным углем частиц, вызывающих окраску и помутнение воды.

Осветление котловой воды с помощью активированного угля не оказывает влияния на ее химический состав.

Навеску размельченного угля (1 г) поместить в колбу, туда же долить 100 мл котловой воды, колбу закрыть пробкой и содержимое энергично взбалтывать в течение 3 мин. После взбалтывания воду с углем отфильтровать до получения осветленной воды.

5.5. Определение жесткости воды с помощью трилона Б

Используемые реагенты.

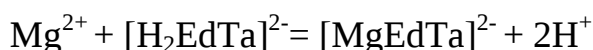
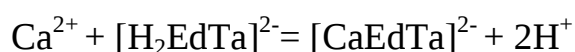
1. Отобранная проба воды 100 мл;

2. Титр трилон Б, это натриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты ЭДТА, сокращенные химические формулы: $\text{Na}_2[\text{H}_2\text{EdTa}]$; $\text{Na}_2\text{H}_2\text{Y}$; $\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{O}_8\text{N}_2\text{Na}_2$;

В водном растворе эта соль диссоциирует по схеме:



Комплексное соединение образуется (выпадает в осадок) в результате реакции иона металла (в нашем случае Ca^{2+} и Mg^{2+}) с полностью диссоциированным анионом комплексона по схеме:



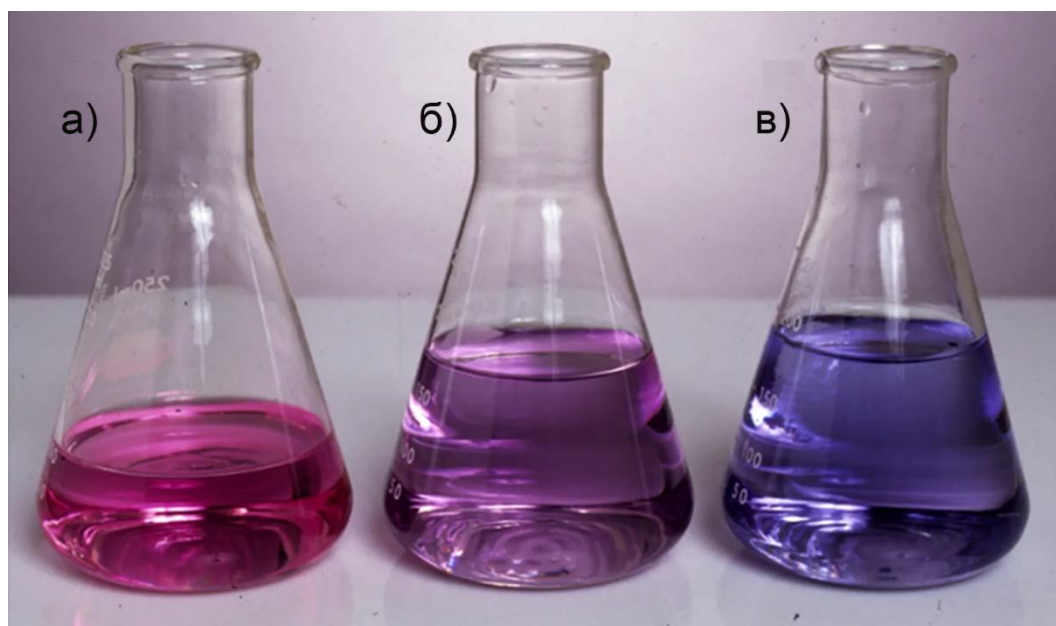
3. Индикатор хром темно-синий ($\text{C}_{18}\text{H}_{12}\text{N}_2\text{O}_6\text{S}_2$) вещество, при помощи которого определяют момент окончания титрования (по появлению, исчезновению или изменению окраски индикатора, находящегося в испытуемой воде).
4. Аммиачно-буферный раствор (получают путём смешивания слабой щелочи – аммиака (NH_3) с её солью – хлористым аммонием (NH_4Cl)) необходимо для более точного определения используемого титра за счет замедления реакции индикатора.

Метод определения общей жесткости воды с помощью трилона Б основан на том, что трилон Б реагирует с солями кальция и магния, содержащимися в воде. Момент окончания реакции определяют по изменению окраски введенного заранее индикатора.

Общую жесткость выражают в миллиграмм-эквивалентах на литр или в относительных единицах ppm или ppb.

В колбу 10 (рисунок 5.1) налить 100 мл испытуемой воды, ввести туда 5 мл аммиачного буферного раствора, добавить щепотку индикатора кислотного хрома темно-синего и, интенсивно перемешивая медленно тит-

ровать пробу трилоном Б до перехода розовой окраски раствора в синева-то-сиреневую (рисунок 5.4).



а) – окраска раствора после введения индикатора; б) – начало титрования;
в) – окончание титрования

Рисунок 5.4 – Определение содержания хлоридов

Общая жесткость, выраженная в миллиграмм-эквивалентах, численно равна количеству миллилитров трилона Б, израсходованного на титрование 100 мл испытуемой воды (а), умноженному на 0,1.

$$Ж_{\text{общ}} = a \times 0,1 \text{ мг-экв/л} \quad (5.1)$$

Пример. На титрование 100 мл пробы израсходовано 12 мл трилона Б.

$$Ж_{\text{общ}} = 12 \times 0,1 \text{ мг-экв/л} = 1,2 \text{ мг-экв/л. (1,2 ppm)}$$

5.6. Определение щелочности котловой воды (по фенолфталеину)

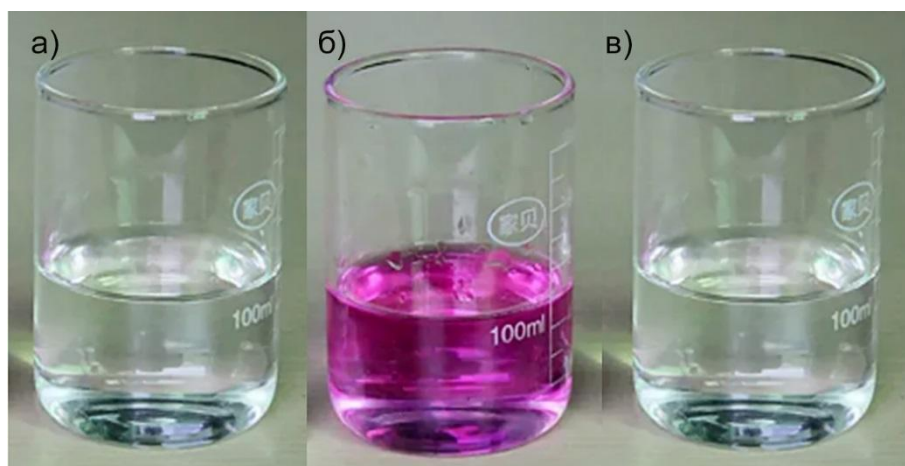
Используемые реагенты.

1. Проба котловой воды (100 мл);

2. Индикатор фенолфталеин, изменяет цвет в растворе при изменении кислотности (изменяет окраску от бесцветной (при $pH < 8,2$) до красно-фиолетовой, «малиновой» (в щелочной). При $pH > 12$ индикатор опять обесцвечивается.

3. Серная кислота 0,1 Н

Метод определения щелочности основан на нейтрализации кислотой котловой воды, содержащей щелочи, окрашивающие фенолфталеин в малиново-красный цвет. Конец реакции устанавливают в момент добавления последней капли кислоты, когда малиновая краска исчезнет и вода принимает свою первоначальную окраску (до введения в нее фенолфталеина) – рисунок 5.5.



а) – до введения индикатора; б) – после введения фенолфталеина при наличии щелочности; в) – после титрования кислотой

Рисунок 5.5 – К определению щелочности котловой воды

В колбу налить 100 испытуемой воды, туда же ввести 2-3 капли индикатора (фенолфталеина). При наличии щелочности вода окрашивается в малиново-красный цвет. Затем осторожно, по каплям, пробу воды титровать раствором серной кислоты до исчезновения окраски.

Щелочность котловой воды, выраженная в миллиграмм-эквивалентах, численно равняется количеству миллилитров кислоты, затраченному на титрование 100 мл воды.

Пример. На титрование 100 мл котловой воды израсходовано 5,0 мл кислоты. Щелочность воды равна 5,0 мл-экв/л.

Щелочность котловой воды выражают также и щелочным числом. Щелочное число котловой воды равняется количеству миллилитров кислоты, затраченному на титрование 100 мл воды котловой воды и умноженному на 40.

Пример. На титрование 100 мл котловой воды израсходовано 5,0 мл кислоты. Щелочное число котловой воды равно 200 мг/л NaOH (200 ppm).

5.7. Определение хлоридов

Метод основан на образовании в нейтральной среде нерастворимого осадка в результате взаимодействия хлоридов, находящихся в воде с раствором азотнокислого серебра.

5.7.1. Определение хлоридов в котловой воде

Используемые реагенты.

1. Проба котловой воды 10 мл;
2. 40 мл конденсата или дистиллята;
3. Индикатор фенолфталеин;
4. 0,1 Н раствор серной кислоты;
5. Индикатор хромовокислый калий (хромат калия) K_2CrO_4 поскольку хромат калия становится красным в присутствии избытка ионов серебра.
6. Азотнокислое серебро (ляпис) $AgNO_3$, реагируя с ионами хлора быстро выпадает в нерастворимый осадок белого цвета.

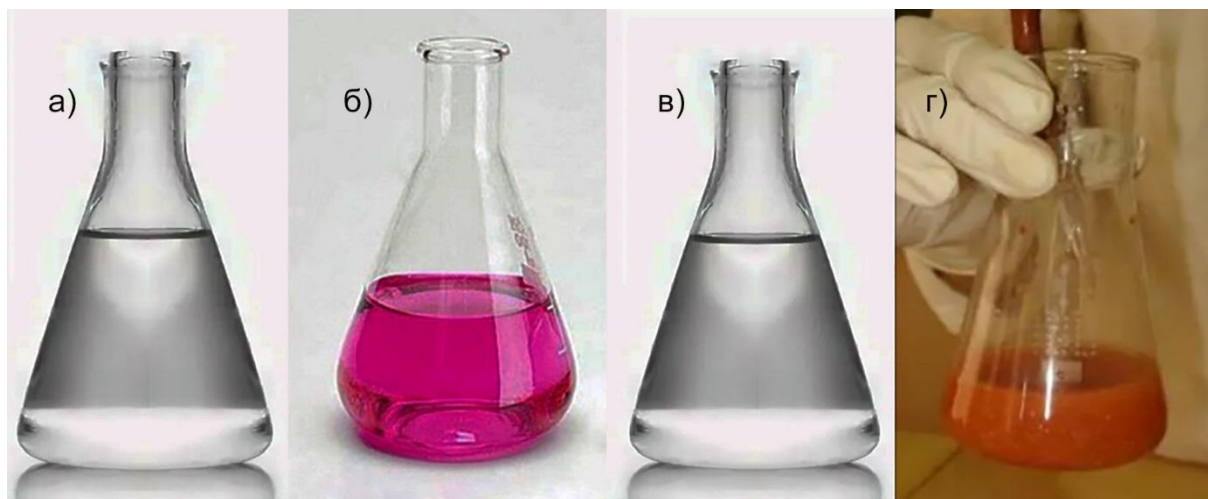
Из отобранной пробы котловой воды мерной пробиркой берут 10 мл и переливают в мензурку, в которую добавляют 40 мл конденсата или дистиллята.

Далее разбавленную пробу котловой воды нейтрализуют, для чего к ней добавляют две-три капли фенолфталеина, который окрашивает воду в малиновый цвет.

После этого по каплям добавляют раствор серной кислоты до обесцвечивания пробы (что указывает на нейтрализацию воды).

Затем добавляют 10 капель раствора хромовокислого калия, хорошо размешивают.

После этого из бюретки (осторожно, по каплям) приливают в мензурку раствор азотнокислого серебра (ляпис), все время помешивая воду стеклянной палочкой. Раствор азотнокислого серебра добавляют до тех пор, пока не появится устойчивый бурый оттенок (рисунок 5.6).



а) – исходная проба котловой воды; б) проба с фенолфталеином для определения щелочности; в) нейтрализация пробы кислотой; титрование азотнокислым серебром
Рисунок 5.6 – К определению хлоридов в котловой воде

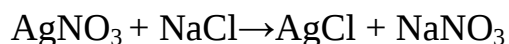
Содержание хлоридов в воде (в миллиграммах хлор-иона в 1 л воды) численно равно количеству миллилитров раствора азотнокислого серебра, пошедшему на титрование 10 мл пробы, умноженному на 100.

Пример: на титрование 10 мл котловой воды пошло 9,5 мл титрованного раствора азотнокислого серебра. Содержание в воде хлоридов, выраженное в хлор-ионах, равно $9,5 \times 100 = 950$ мл/л.

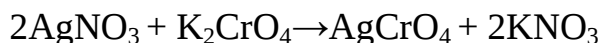
5.7.2 Определение хлоридов в конденсате и дистилляте

Для определения хлоридов в конденсате и дистилляте пробу не нужно предварительно нейтрализовать и разбавлять. Принимая во внимание, что содержание хлоридов в этих водах во много раз ниже, чем в котловой воде, для анализа берут пробу объемом не 10 мл, а 100 мл, затем добавляют 10 капель хромовокислого калия.

Затем воду титруют раствором азотнокислого серебра до появления исчезающего бурого оттенка. Уравнение реакции



протекает до полного замещения всех хлор-ионов, после чего азотнокислое серебро вступает в реакцию с хромовокислым калием:



Содержание вычисляют так же, как и в предыдущем случае, только результат умножают не на 100, а на 10.

Пример: на титрование 100 мл конденсата пошло 1,2 мл раствора ляписа. Содержание в воде хлоридов, выраженное в хлор-ионах равно $1,2 \times 10 = 12$ мл/л.

5.8. Определение содержания фосфатов в котловой воде

Используемые реагенты.

1. Осветленная котловая вода в объеме 10 мл;

2. Реактив на фосфаты (в 1 л водного раствора содержится 25 г молибдата аммония (соль аммония и молибденовой кислоты – $(\text{NH}_4)_2\cdot\text{MoO}_4$); 1 г ванадата аммония (соль аммиака и ванадиевой кислоты – NH_4VO_3); 125 мл серной кислоты).

Метод основан на образовании растворимого соединения состава $\text{P}_2\text{O}_5 \cdot \text{V}_2\text{O}_5 \cdot 22 \text{ MoO}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, окрашенного в интенсивно-желтый цвет.

Содержание фосфатов, выраженное в миллиграммах иона PO_4^{3-} в литре, измеряется в компараторе 9 (рисунок 5.1) путем сравнения окраски анализируемой пробы с окраской эталонных светофильтров. 36 Набор эталонных светофильтров имеет окраску, соответствующую 10, 20, 30, 40 и 50 мг/л PO_4^{3-} .

На рисунке 5.7 представлены результаты определения фосфатов котловой воды с различным содержанием фосфатов.



Рисунок 5.7 – К определению фосфатов в котловой воде

В градуированную пробирку 3 (рисунок 5.1) отобрать 10 мл пробы осветленной котловой воды и добавить туда 2 мл реактива на фосфаты.

Раствор тщательно перемешать. Через 5 мин содержимое пробирки перелить в кювету компаратора 9, вставить последнюю в компаратор, а затем, вращая диск со светофильтрами желтого цвета, подобрать визуально светофильтр с оттенком, соответствующим оттенку испытуемой пробы.

Диск с розовыми светофильтрами при определении фосфатов установить в нулевое положение.

В случае, если оттенок испытуемой пробы будет иметь промежуточное значение, то содержание фосфатов определяется, как среднее между двумя соседними величинами.

Пример. Установлено, что окраска пробы соответствует окраске пленки светофильтра со значением «50 мг/л» PO_4^{3-} . Содержание фосфатов в пробе котловой воды равно 50 мг/л.

В случае большого количества фосфатов пробу котловой воды разбавить в цилиндре 2 (в 2 или 4 раза). Анализ разбавленной пробы производить, как описано выше, а результат умножить на кратность разбавления.

Кювету после каждого определения следует ополоснуть дистиллятом, а по окончании определений вставить её в паз компаратора.

5.9. Определение содержания нитратов в котловой воде

Используемые реагенты.

1. Осветленная проба котловой воды 6 мл;
2. Дистиллят 5 мл;
3. Цинковый порошок;
4. Реактив на нитраты: (в 300 мл уксусной кислоты ($\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ или CH_3COOH) содержится 0,5 г сульфаниловой кислоты (внутренняя соль, структурная формула $\text{NH}_2\text{—C}_6\text{H}_4\text{—SO}_3\text{H}$) и 0,25 альфанафтиламина).

Определение нитратов основано на реакции образования азокрасителя при действии нитратов на смесь равных объемов уксусно-кислых растворов сульфаниловой кислоты и альфанафтиламина. Перевод нитратов в нитриты происходит под действием цинкового порошка.

Содержание нитратов, выраженное в миллиграммах NaNO_3 в литре воды, измеряется в компараторе 17 (рисунок 5.1) путем сравнения окраски испытуемой пробы с окраской эталонных светофильтров. Набор эталонных светофильтров имеет окраску, соответствующую 10, 20, 30, 40 и 50 мг/л NaNO_3 .

Отобрать в градуированную пробирку 3 (см. рисунок 5.1) 6 мл осветленной пробы котловой воды, прибавить дистиллят до метки «11 мл» и перемешать. Затем прибавить 2 мл реактива на нитраты и ещё раз перемешать. Прибавить ложечку цинковой стружки или порошка из пенала, пробирку закрыть пробкой и тщательно перемешать раствор встряхиванием. Пробирку оставляют в штатном гнезде (на полке) на 5–10 мин, время от времени встряхивая.

По истечении указанного времени содержимое пробирки (отстоявшуюся часть) перелить в кювету компаратора 8 и вставить её в паз компаратора, а затем, вращая диск со светофильтрами розового цвета, подобрать визуально светофильтр с оттенком, соответствующим оттенку испытуемой пробы.

Диск с желтыми светофильтрами при определении нитратов установить в нулевое положение.

Пример. Установлено, что окраска пробы котловой воды сильнее окраски стандартной пленки со значением «30 мг/л», но слабее окраски пленки со значением «40 мг/л». Следовательно, содержание нитратов в пробе котловой воды – 35 мг/л.

В случае большого содержания нитратов пробу котловой воды следует разбавить в цилиндре 2 (в 2 или 4 раза). Анализ разбавленной пробы производить, как описано выше, а полученный результат умножить на кратность разбавления.

Кювету после каждого определения следует ополоснуть дистиллятом, а по окончании определений вставить её в паз компаратора.

5.10. Определение содержания кислорода в питательной воде

Используемые реагенты.

1. Лейкосоединение метиленового голубого (восстановленная до бесцветной окраски форма индикатора метиленового голубого $C_{16}H_{18}ClN_3S \cdot H_2O$ (в 1 л водоглицериновом растворе содержится 0,246 г метиленового голубого и 2,5 г глюкозы);

Определение содержания кислорода, растворенного в питательной воде, основано на окислении бесцветной формы лейкосоединения метиленового голубого растворенным в воде кислородом.

Окисленная форма лейкосоединения имеет синюю окраску, интенсивность которой пропорциональна содержанию растворенного в воде кислорода (рисунок 5.8).

Содержание кислорода, выраженное в миллиграммах в литре, определяется визуально на компараторе 11, установленном на правой створке шкафа лаборатории СКЛАВ-1 (рисунок 5.1). Оценка осуществляется путем сравнения окраски испытуемой пробы в кювете 11 (рисунок 5.3) компаратора с окраской стандартных светофильтров колориметрической шкалы 4. Шкала стандартных светофильтров 4 позволяет измерять содержание растворенного в воде кислорода в диапазоне 0–0,1 мг/л.



Рисунок 5.8 – склянки с различным содержанием растворенного кислорода

Подсоединение прибора к месту отбора пробы на анализ осуществляется при помощи резиновых шлангов (трубок диаметром 6 мм), подключенных к штуцеру переключателя 8. Если лаборатория установлена далеко от деаэратора, то плату снимают с шурупов на правой створке шкафа и на время анализа переносят и укрепляют в удобном для исследования месте. После подсоединения прибора к источнику анализируемой воды установить переключатель 8 в положение «Вкл.» и открыть клапан, обеспечив проток воды через компаратор с небольшой скоростью в течение 3...4 мин. Избыточная вода при этом выходит из компаратора по трубке на слив в канализацию. Зажать сливную трубку пальцами и приподнять пробку с термометром 2, чтобы удалить оставшийся в системе воздух. Когда из отверстия начнет вытекать вода, пробку с термометром вставить на место. Добиться полного отсутствия пузырьков воздуха в полости кюветы 11 компаратора (при необходимости компаратор снимают со штырей «на себя» и легким покачиванием удаляют потоком воды пузырек воздуха, стараясь подвести его к верхнему сливному штуцеру). После удаления воздуха из проточной системы прибора установить переключатель 8 в положение «Выкл.» и приступить к анализу воды, находящейся в кювете компара-

тора. Нажатием на шток поршня шприца 3 осторожно ввести в кювету с водой 1 мл реактива. Нельзя очень сильно нажимать на поршень, т. к. скорость его перемещения зависит от скорости вытекания реактива из шприца. Снять компаратор со штырей и осторожным покачиванием перемешать содержимое кюветы. Окраска пробы воды при этом должна измениться. Затем установить компаратор на место. Подобрать по цвету эталонный светофильтр 13, окраска которого совпадает с цветом пробы воды в кювете компаратора. Содержание растворенного кислорода в воде соответствует значению, указанному на выбранном светофильтре. По окончании определения переключатель 8 установить в положение «Вкл.» и промыть водой содержимое кюветы 11, отключить подачу воды, слить её из полости компаратора и установить все элементы прибора на штатные места правой створки шкафа лаборатории.

5.11. Определение содержания нефтепродуктов в воде

Используемые реагенты.

1. Четыреххлористый углерод, CCl_4 (Тетрахлорид углерода).

Метод основан на экстрагировании нефтепродуктов из воды органическим растворителем (четырёххлористым углеродом, CCl_4) и последующим перенесением пленки экстракта на фильтровальную бумагу «белая лента». При наличии нефтепродуктов в конденсате на фильтре образуется темная полоска, ширина которой зависит от толщины пленки отделившегося от воды нефтепродукта, т. е. от количества нефтепродукта в воде. Измерив ширину полоски на фильтре после полного испарения четырёххлористого углерода, но не позднее чем через 1 час, можно по эталонному графику 1 или 2 (на рабочем столике 16 лаборатории) определить количество нефтепродукта в пробе воды.

В делительную воронку 5 (рисунок 5.1) отобрать 250 мл конденсата. Добавить в него 10 мл четырёххлористого углерода. Содержимое взболтать в течение 2-3 мин и оставить в лаборатории на штатном месте до полного разделения слоев. Нижний слой (экстракт) слить в одну из пробирок 3. Из пробирки 1 мл экстракта перенести в стаканчик на правой створке с помощью пинцета вставить в него полоску фильтровальной бумаги (55×5 мм) из пенала 19 под углом таким образом, чтобы нижний конец полоски упирался в противоположную стенку стакана. После испарения четырёххлористого углерода на фильтровальной бумаге образуется темная полоска. Измерить её толщину линейкой и с помощью эталонного графика на панели 16 определить содержание масла в конденсате.

Пример. После испарения четырёххлористого углерода на фильтровальной бумаге образовалась темная полоска шириной 1,5 мм. Пользуясь графиком 16, найти соответствующее ширине 1,5 мм содержание масла в конденсате: $Q = 8$ мг/л.

5.12. Лаборатория водного контроля Unitor

Кроме применяемой на отечественных судах лаборатории СКЛАВ-1, СЛВК-1, широко применяется лаборатория водного контроля фирмы Unitor (рисунок 5.9). В отличие от лаборатории СКЛАВ-1 данная лаборатория содержит дозированные комплексы титра и индикатора, объединенные в таблетках. Критерием окончания опыта в данной лаборатории является количество растворенных таблеток в объеме исследуемой жидкости, при котором обеспечивается требуемое изменение цвета пробы.

Компания Unitor (Норвегия) разработала и поставляет различные комплекты реактивов в виде таблеток или порошков (испытательные комплекты химических реактивов типа "Спектрапак"), а также комплексы

простой химической посуды, которые являются экономически целесообразными и доступными для морской практики.

Наиболее распространены экспресс-лаборатории (комплекты):

- "Spectrapak 310" (рисунок 5.9): для анализа котловой и питательной воды паровых котлов низкого давления, при использовании фосфатно-щелочного водного режима (определяется щелочность по фенолфталеину, хлориды и pH);

- "Spectrapak 315" (рисунок 5.10) для анализа котловой и питательной воды паровых котлов среднего и высокого давления (определяется щелочность по фенолфталеину, общая щелочность, фосфаты, нитраты, содержание гидразина, хлориды, общая жесткость, pH и солесодержание).



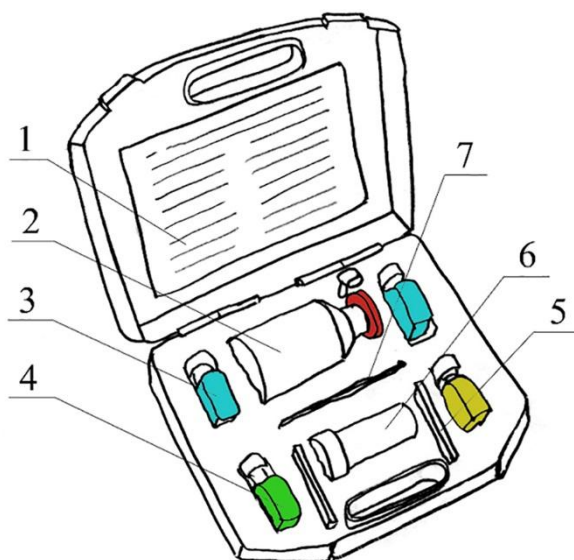
Рисунок 5.9 – Лаборатория "Spectrapak 310"



Рисунок 5.10 – Лаборатория "Spectrapak 315"

Все лаборатории, так же как и их элементы, имеют цифровые коды, которые позволяют оперативно произвести заказ необходимых изделий в представительствах фирмы Unitor базовых портпунктов.

Устройство экспресс-лаборатории представлено на рисунке 5.11.



1 - инструкция по применению; 2 - колба для смешивания; 3, 4 - таблетки для определения щелочность по фенолфталеину, хлоридов; 5 - пенал с полосками индикаторной бумаги; 6 - порошок для определения pH среды; солесодержания; 7 - смешивающая палочка

Рисунок 5.11 – Общий вид экспресс-лаборатории "Spectrapak 310"

В портативном футляре, в ячейках подушки из эластичного пенополиуретана размещены детали из прозрачного пластика: мерный цилиндр на 100 мл с пробкой; пенал с полосками индикаторной бумаги для определения pH воды; палочка для перемешивания. Здесь же в стеклянных бутылочках упакованы наборы таблеток для определения содержания в воде: хлоридов, 250 шт. таблеток, а также нитратов: – 100 шт. таблеток R-Alkalinity № 1 и – две склянки по 250 шт. таблеток № 2. На открывающейся крышке футляра установлена краткая инструкция с описанием методики проведения соответствующих анализов.

Методика отбора пробы воды.

Для качественного анализа должна отбираться представительная проба воды. Перед отбором пробы для анализа необходимо спустить воду из пробоотборного крана, чтобы убедиться в отсутствии осадка в трубопроводе. Прежде, чем проводить анализ отобранной пробы, необходимо охладить ее до комнатной температуры (20–25°C).

Определение щелочности по фенолфталеину (P-Alkalinity). Щелочность является более точным индикатором состояния котельной воды, чем pH. Щелочность по фенолфталеину измеряется, чтобы определить, существуют ли нормальные показатели щелочности в котле.

Отобрать в мерную емкость с крышкой 200 мл котловой воды. Добавить одну таблетку для определения щелочности (P-Alkalinity tablet). Плотно закрыть мерную емкость и взболтать содержимое до растворения таблетки. Если сред р-щелочь присутствует, то проба воды станет синей. Добавлять таблетки до тех пор, пока синий цвет не изменится на постоянный желтый.

Расчёт: $\text{P-Alkalinity ppm (CaCO}_3\text{)} = (\text{число таблеток} \times 20) - 10$.

Например: Если использовано 8 таблеток, то

$\text{P-Alkalinity} = (8 \times 20) - 10 = 150 \text{ ppm}$.

Определение солесодержания (хлоридов). Значение хлоридов показывает любое присутствие растворенных солей в котле. Увеличение, постепенное или внезапное, в уровне хлоридов является показателем загрязнения морской водой. Также уровень хлоридов часто используется в качестве контрольной точки при продувке котла.

Методика проведения теста:

1. Для котлов с давлением до 30 бар (кг/см²) отберите пробу котельной воды 50 мл в закупориваемую бутылку (входит в комплект).
2. Добавьте одну таблетку хлорида и взболтайте до растворения. Проба воды пожелтеет, если хлориды присутствуют.

3. Добавляйте таблетки до тех пор, пока желтый цвет не изменится на оранжевый/коричневый.

Расчёт: Хлориды ppm = (число использованных таблеток x 20) – 20.

Например: Если использовано 4 таблетки хлоридов,

ppm = (4 x 20) — 20 = 60 ppm.

Если ожидается высокий уровень хлоридов, уменьшите количество пробы котельной воды до 25 мл. Тогда число таблеток умножьте на 40. Если ожидается низкий уровень содержания хлоридов, увеличьте отбираемую пробу воды до 100 мл, тогда надо число используемых таблеток умножить на 10.

На рисунке 5.12 представлены образец результатов определения хлоридов в котловой воде и внешний вид полосок для определения pH среды.



Рисунок 5.12 – Элементы выполнения анализа котловой воды

Тест на pH.

Для судовых паровых котлов: рекомендуемые пределы pH 9,5 – 11,0.

Для конденсата и питательной воды, уровень pH конденсата должен быть между 8,3 – 9,0.

Методика проведения теста:

1. Отберите 50 мл воды для испытания в пластиковый контейнер (входит в комплект).
2. Возьмите входящую в комплект 0,6-граммовую лопаточку, отмерьте одну лопаточку pH реагента на отобранную пробу воды, дать раствориться (если нужно, то размешайте).
3. Отобрать нужную полоску для испытаний pH и погрузить ее на 10 секунд в отобранную пробу.
4. Выньте полоску из пробы воды и сравните цвет её (полученный) со шкалой цветов, расположенной на контейнере с pH-полосками.
5. Внесите полученный результат в программу WATERPROOF, напротив даты проведения теста.

5.13. Оформление протокола лабораторной работы

Отчет по данной работе должен состоять из схемы установки с описанием, краткого изложения проведения каждого опыта.

5.14. Вопросы к лабораторной работе

1. Устройство судовой лаборатории водного контроля СКЛАВ-1.
2. Перечислить задачи контроля качества воды.
3. Какие параметры воды контролируются лабораторией СКЛАВ-1.
4. Основы техники безопасности при работе с лабораторией.
5. Определение жесткости котловой воды с помощью лаборатории водного контроля СКЛАВ-1.

6. Определение щелочности (по фенолфталеину) котловой воды с помощью лаборатории водного контроля СКЛАВ-1.
7. Определение хлоридов в котловой воде с помощью лаборатории водного контроля СКЛАВ-1.
8. Определение фосфатов в котловой воде с помощью лаборатории водного контроля СКЛАВ-1.
9. Определение нитратов в котловой воде с помощью лаборатории водного контроля СКЛАВ-1.
10. Определение содержания кислорода в котловой воде с помощью лаборатории водного контроля СКЛАВ-1.
11. Чем отличается котловая вода от питательной воды? 12.
12. Какие вы знаете индикаторы для определения основных показателей качества питательной воды?
13. Какие реактивы необходимо иметь на судне, чтобы определять основные показатели качества воды?
14. Какова последовательность смешивания концентрированных кислот с водой?
15. Каким образом, и в какой последовательности производят продувку котловой воды парового котла?
16. Где и какие продувочные устройства устанавливаются на судовых паровых котлах?

ЛИТЕРАТУРА

1. Морской Регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. – Л.: РМРС, 2008. – 834 с. – Текст : непосредственный.
2. Сень Л.И Судовые котельные и паропроизводящие установки. Учебное пособие/ Л.И. Сень. – Владивосток, Мор. гос. ун-т, 2011. – 239 с. Текст электронный. Режим доступа: <https://seatracker.ru/viewtopic.php?t=30885&ysclid=mg5c7fwz4y563834684> (дата обращения: 28.09.2025).
3. ОСТ5Р.5613-2001. Обозначения условные графические в схемах судовых систем и систем энергетических установок. Стандарт отрасли. Принят и введен в действие Распоряжением ТК по стандартизации ТК «Судостроение» от 03.05.2001 № ТК-5613-10. Разр. НИИСиС «Лот» ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2001. – 60 с. – Текст: непосредственный
4. ГОСТ Р 58881-2020. Обозначения условные графические в схемах судовых систем и систем энергетических установок. Утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 25 июня 2020 г. № 301. - М.: Стандартинформ, 2020. – 27с. – Текст: непосредственный
5. ГОСТ 2.785-70. Обозначения условные графические. Арматура трубопроводная. Издание официальное. Постановлением Комитета стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР от 6 апреля 1970 г. № 451 с 01.01.71. Переиздание. Декабрь 2011. - М.: Стандартинформ, 2011. – 6с. – Текст: непосредственный
6. Очеретяный В.А., Егоров В.Р. Судовые котельные и паропроизводящие установки. Лабораторные работы : учебно-методическое пособие / В. А. Очеретяный, В. Р. Егоров ; Севастопольский государственный университет, Морской институт. – Севастополь : СевГУ, 2022. – 96 с.: ил.

Режим доступа: <http://lib.sevsu.ru/xmlui/handle/123456789/10098> (дата обращения 01.10.2025). – Текст электронный

7. Комплект оборудования для газовых анализов КГА 1-1. Руководство по эксплуатации гр 2.840.034 РЭ. / ОАО «Химлабприбор» 2016. – 12 с. Режим доступа: <https://promair.by/files/gazoanalizatory/kga-1-1-re.pdf?ysclid=mg7yb88dwd233353332> (дата обращения 01.10.2025). – Текст электронный

8. Газоанализаторы для котлов. Эко-Интех. Экологические приборы и оборудование. Режим доступа: <https://ecointech.com/catalog/gazoanalizatory/dlya-kotlov> (дата обращения 01.10.2025). – Текст электронный

9. Газоанализаторы на судах (морской и речной регистр (РМРС и РРР)) Режим доступа: <https://gaz-analitik.ru/catalog/portativnyie-gazoanalizatoryi/gazoanalizator-sudakh-morskoy-rmrs-rtr?ysclid=mg7zyg1xk5153551641> (дата обращения 01.10.2025). – Текст электронный

10. Хряпченков А.С. Судовые вспомогательные и утилизационные котлы/А.С. Хряпченков. – Л.: Судостроение, 1988. – 296 с. – Текст непосредственный.

11. Единые нормы времени на котельные работы по ремонту огнетрубных котлов судов флота рыбной промышленности / М.: ЦКТИС, 1982. – 135с. - Текст непосредственный.

12. Распыливание жидкостей/ Ю.Ф. Дитякин, Л.А. Клячко Л.А., Б.В. Новиков, В.И. Ягодкин. – М. Машиностроение, 1977. 288 с. - Текст непосредственный

13. Егорычев В.С. Расчёт и проектирование смесеобразования в камере ЖРД: [Электронный ресурс] : электрон, учеб. пособие / В.С. Егорычев; МОН России, Самарск. Гос. Аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева

(нац. исслед. ун-т). –Самара, 2011. – 99 с. Режим доступа: https://vk.com/wall-75699206_9650 (дата обращения: 28.09.2025).

14. Основы теории и расчета жидкостных ракетных двигателей: Учебник/ А.П. Васильев, В.М. Кудрявцев, В.И. Кузнецов и др.; под. ред. В.М. Кудрявцева. М. Высш. школа, 1983. – 703с. – Текст непосредственный

15. ГОСТ21980-76. Форсунки центробежные газовые с тангенциальным входом. Номенклатура основных параметров и методы расчета. / Издание официальное. Постановление Государственного комитета стандартов Совета Министров СССР от 29 июня 1976 г. № 1617 от 01.07.77. Переиздано 2003. ИПК Издательство стандартов. – 1977, 22с. – Текст непосредственный

16. Лаборатория комплектная СКЛАВ-1. Паспорт и инструкция по эксплуатации Б62.848.001 ПС/ Закарпатский облполиграфиздат. – Ужгород, 1975. – 32с. Текст непосредственный.

17. Пугачевич П.П. Работа со ртутью в лабораториях и производственных условиях/ П.П. Пугачевич. – М. : Химия, 1972. – 320с. Текст непосредственный.

18. Minamata Convention: Facts and Figures / <https://minamataconvention.org/en/about>

19. Массовая концентрация хлоридов в водах. Методика измерений аргентометрическим методом. РД 52.24.407-2017/ Росгидромет.: Ростов-на-Дону, 2107. – 27с. Текст электронный. Режим доступа: <https://meganorm.ru/Data2/1/4293739/4293739149.pdf> (дата обращения: 30.09.2025)

20. Котлы паровые низкого и среднего давления. Организация и методы химического контроля за воднохимическим режимом. РТМ 24.03-.24–72/ Машиностроение.: М. 40 с. Текст электронный. Режим доступа: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/7dd/4294847717.pdf?ysclid=mg6wbthaaam821636982> (дата обращения: 30.09.2025)

21. Судовые лаборатории КРИСМАС Текст электронный. Режим доступа: [/https://christmas-plus.ru/catalog/vodno_khimicheskie_laboratorii_krismas/sudovye_laboratorii_krismas](https://christmas-plus.ru/catalog/vodno_khimicheskie_laboratorii_krismas/sudovye_laboratorii_krismas) (дата обращения: 30.09.2025)

Приложение

Пример формирования функциональной схемы

Разработка схемы котельного отделения - трудоемкий и длительный процесс, поэтому ниже приведен пример составления схемы участка некоторой установки.

На рисунке 1 изображена часть судовой холодильной установки.

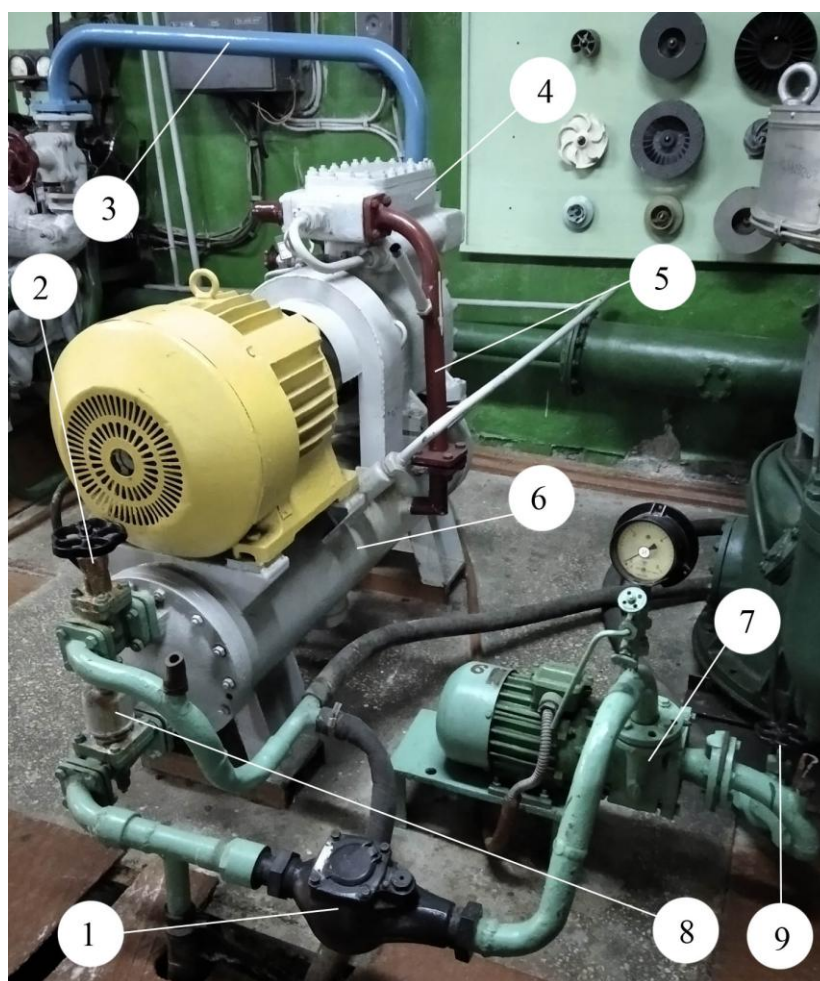


Рисунок 1 – Анализируемый участок установки:

1 – расходомер; 2, 9 – запорная арматура; 3 – входной трубопровод холодных паров хладагента; 4 – компрессор; 5 – выходной трубопровод сжатых паров хладагента; 6 – конденсатор; 7 – циркуляционный насос; 8 – клапан с электромагнитным приводом

На основании изучения установки сформирована часть соответствующая функциональная схема (рисунок 2). Спецификация элементов соответствует рисунку 1.

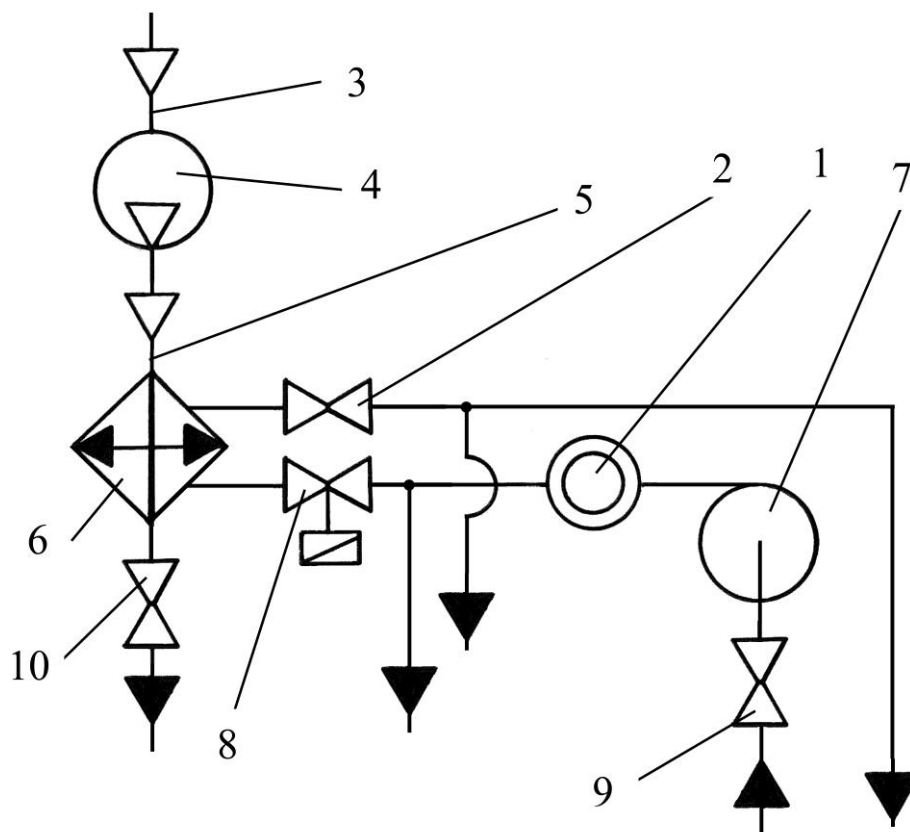


Рисунок 2 – Функциональная схема

На рисунке 2 запорный клапан 2 на рисунке 1 не виден.

У ч е б н о е и з д а н и е

**Очеретяный Владимир Анатольевич
Хромов Егор Владимирович**

**СУДОВЫЕ КОТЕЛЬНЫЕ
И ПАРПРОИЗВОДЯЩИЕ УСТАНОВКИ**

Лабораторные работы

Подписано к печати 27.02.26. Изд. №. 2/26. Зак. № 2/26. Тираж 50 экз.
Объем 8,0 п. л. Усл. печ. л. 7,44. Уч.-изд. л. 7,84.
Формат бумаги 60х84 1/16

Издательский центр ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»
299015 г. Севастополь, ул. Курчатова, 7