

Федеральное агентство морского и речного транспорта  
Федеральное государственное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Волжская государственная академия водного транспорта»

Кафедра эксплуатации судовых энергетических установок

В.И. Беспалов, В.А. Пискунов, М.Х. Садеков

# Эксплуатация судовых энергетических установок

Лабораторный практикум  
для студентов очного и заочного обучения специальности  
180403 «Эксплуатация судовых энергетических установок»

Нижний Новгород  
Издательство ФГОУ ВПО «ВГАВТ»  
2010

**УДК 629.12-8.004**  
**Б53**

Под редакцией канд. техн. наук А.А. Батялова

**Беспалов, В.И.**

Эксплуатация судовых энергетических установок : лабораторный практикум / В.И. Беспалов, В.А. Пискунов, М.Х. Садеков. – Н. Новгород : Изд-во ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2010. – 75 с.

Изложен материал лабораторных работ, предусмотренный программой курса «Эксплуатация СЭУ, СВКУ, Автоматизация СЭУ». Практикум включает в себя методики проведения лабораторных работ, выполняемых как на стендах, так и на действующем оборудовании лабораторий кафедры.

*Для студентов очного и заочного обучения.*

Работа рекомендована к изданию кафедрой эксплуатации судовых энергетических установок (протокол № 9 от 29.05.2006 г.).

© ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2010

## Введение

Надежная и экономичная эксплуатация главных и вспомогательных судовых энергетических установок и вспомогательных котлоагрегатов невозможна без регулярного контроля за качеством их настройки, регулировки, технического состояния и обслуживания.

Студентам электромеханического факультета, будущим специалистам по эксплуатации и ремонту оборудования судовых энергетических установок, крайне важно получить в дополнение к теоретическому курсу «Судовые энергетические установки, СВКУ и Автоматизация СЭУ» практические навыки по эксплуатации и ремонту средств автоматизации вспомогательных водогрейных и паровых котлов, дизель-генераторов, по диагностированию технического состояния главных и вспомогательных двигателей внутреннего сгорания. Для решения поставленных задач и предназначен настоящий практикум.

Опыт проведения испытаний главных судовых двигателей обобщает занятие по проведению теплотехнического контроля на действующем судне в реальных условиях эксплуатации с применением как штатных, так и переносных современных средств измерения.

В связи с тем, что эксплуатируемые и выпускаемые в настоящее время измерительные приборы, используемые при испытаниях судовых энергетических установок, отградуированы, как правило, не в единицах Международной системы единиц (СИ), а в единицах МКГСС и СГС, приводятся основные параметры оборудования в обеих системах.

В практикуме приведен перечень специальной литературы, которой могут воспользоваться студенты для более углубленного самостоятельного изучения рассматриваемого курса и получения ответов на контрольные вопросы.

# **1. Судовая дизельная энергетическая установка и ее элементы**

## **1.1. Цель проведения работы**

Ознакомиться с Правилами классификации и постройки судов внутреннего плавания, касающимися машинных помещений, расположения механизмов и оборудования и элементов судового валопровода, с составом классификации судовой дизельной энергетической установки (ДЭУ), с различными типами передач мощности и с конструкцией судового валопровода. Выполнение работы позволяет сократить лекционный курс и вынести данный раздел на самостоятельную проработку.

## **1.2. Основные элементы и классификация дизельных энергетических установок**

Среди различных судовых энергетических установок (паротурбинные и газотурбинные, использующие органическое или ядерное топливо, комбинированные, используемые одновременно два рабочих тела – пар и газ, смешанные – состоящие из разнотипных главных двигателей с термодинамически несвязанными циклами) дизельные установки нашли широкое применение на судах речного и морского флота. В настоящее время примерно из 64 тысяч судов морского мирового гражданского флота около 58 тысяч является теплоходами. Общая вместимость судов с ДЭУ составляет 67% тоннажа морского мирового флота. Доля ДЭУ в общем объеме строящихся морских судов превышает 90%, а среди судов речного флота – более 97%, что объясняется прежде всего их высокой топливной экономичностью и автоматизацией, значительным ресурсом и хорошей надежностью.

Судовая энергетическая установка (СЭУ) предназначена для обеспечения движения судна и снабжения различными видами энергии (механической, тепловой, электрической) всех потребителей, находящихся на судне. В состав СЭУ входят главная и вспомогательная установки.

Главная установка предназначена для обеспечения движения судна. В состав главной дизельной установки (ГДУ) обычно входят

следующие элементы: главные двигатели, главные электрогенераторы, гребные электродвигатели, главные передачи, валопроводы и движители, вспомогательные механизмы, теплообменные аппараты и другое оборудование систем, обслуживающих главные двигатели и передачи, системы дистанционного автоматического управления (ДАУ), аварийно-предупредительной сигнализации и защиты.

Вспомогательная дизельная установка (ВДУ) предназначена для удовлетворения энергетических потребностей ГДУ и общесудовых нужд непосредственно не связанных с движением судна. В состав ДЭУ входят следующие вспомогательные установки: вспомогательная котельная установка, опреснительная или испарительная установки, судовая холодильная установка, установка кондиционирования воздуха.

Совокупность трубопроводов с механизмами, аппаратами, устройствами и приборами называют системой энергетической установки. Совокупность систем СЭУ связывает все элементы установки в единый энергетический комплекс. Все механизмы, входящие в состав систем, называют вспомогательными. Системы обслуживают ГДУ и ВДУ. К основным системам ДЭУ относятся следующие: топливная, масляная, охлаждения, сжатого воздуха, газовыпускная.

Машинные помещения (МП) – это все помещения, в которых расположены дизели главные либо вспомогательные, вспомогательные автономные котлоагрегаты, а также шахты всех указанных помещений.

Машинное отделение (МО) – это машинное помещение, в котором находятся главные двигатели.

Котельное отделение (КО) – это машинное помещение, в котором размещены автономные котлоагрегаты.

Отделения вспомогательных механизмов (ОВМ) – это помещения, в которых размещают механизм судовой электростанции, сепараторы, рефрижераторные установки и др.

В МП размещают многие механизмы и устройства, не входящие в состав энергетической установки, к ним относятся: трюмные, балластные, пожарные и осушительные насосы, гидрофоры питьевой, мытьевой и забортной воды, сепараторы трюмных и фекальных вод, агрегаты кондиционирования воздуха. Поэтому в отечественной практике широко используется термин *энергетическая установка*, объединяющий, как правило, все механизмы, оборудование и технические комплексы, размещенные в МП судна.

Главные двигатели и вспомогательные механизмы, обеспечивающие движение судна, должны сохранять работоспособность при следующих условиях: длительном крене до  $15^\circ$ , длительном дифференте до  $5^\circ$ , бортовой качке  $\pm 22,5^\circ$  с периодом 7...9 с, килевой качке  $\pm 7,5^\circ$ , а также при совместном действии бортовой и килевой качек.

Судовую ДЭУ можно классифицировать по следующим основным признакам: по типу главных двигателей (чисто дизельные с различным типом дизелей и комбинированные – дизель – газотурбинные, дизель – электрические), по типу передачи мощности на движитель, по числу гребных валов, по числу главных двигателей, работающих на один вал (одномашинные, многомашинные), по типу движителя, по способу обеспечения реверса судна, по степени автоматизации, способу управления и обслуживания, по способу крепления главных двигателей к корпусу судна, по способу обеспечения судна электроэнергией.

### **1.3. Размещение механизмов и оборудования в машинном помещении**

Общее правило размещения механизмов и оборудования сводится к тому, что устанавливать их следует в местах, где они будут наиболее эффективно выполнять свои функции. Вспомогательное оборудование должно устанавливаться вблизи обслуживаемого главного механизма. Взаимосвязанные механизмы могут располагаться как по горизонтали, так и по вертикали. Трассировка коммуникаций, как правило, должна проходить в трех взаимно перпендикулярных направлениях: параллельно диаметральной плоскости судна, перпендикулярно ей и перпендикулярно основной плоскости, причем необходимо предусматривать достаточные пространства для монтажа, обслуживания ремонта. Механизмы, за которыми необходимо постоянное наблюдение во время работы, должны устанавливаться вблизи поста управления.

При размещении механизмов и оборудования в МП следует учитывать следующие основные рекомендации:

- компактность с минимальной протяженностью трубопроводов и кабельных трасс;
- обеспечение удобного доступа для обслуживания и ремонта;
- обеспечение надежного всасывания насосов СЭУ и систем судового назначения при различных эксплуатационных осадках, кренах, дифферентах и качке на волнении;

– расположение механизмов с горизонтальными валами (генераторы) параллельно диаметральной плоскости, что исключает влияние гироскопического эффекта на работу подшипников при бортовой качке;

– установка механизмов с высоким уровнем шума в наибольшем удалении от постов управления, переборок и палуб для снижения структурного шума в жилых и общественных помещениях;

– размещение электродвигателей вспомогательных механизмов без соприкосновения с судовыми конструкциями.

Цистерны расходные (топливные и масляные) располагают у бортов, на платформах и в шахтах машинных помещений, цистерны циркуляционные масляные – под настилом машинного помещения или в выгородках двойного дна; цистерны расширительные замкнутой системы охлаждения – над обслуживаемыми ими двигателями.

Автономные и утилизационные котлоагрегаты и обслуживающие их механизмы и устройства располагают обычно на платформе в выгороженном помещении или в трюме. Глушители и искрогасители целесообразно размещать в кожухах дымовых труб.

Главный распределительный щит (ГРЩ) обычно располагают на платформе или в трюме машинного помещения на площадке, которая находится выше уровня плит. При наличии в машинном помещении специально выгороженного отделения центрального поста управления ГРЩ часто устанавливают в этом отделении.

Компоновку современных судовых дизельных установок выполняют, используя агрегатирование. Агрегатирование заключается в объединении нескольких механизмов, теплообменных аппаратов и устройств, выполняющих определенные функции, в один блок, смонтированный на общей раме.

Размещение оборудования и механизмов в МП судов речного флота должно производиться с соблюдением Правил классификации и постройки судов внутреннего плавания.

Главные и вспомогательные механизмы должны размещаться в МП таким образом, чтобы из их постов управления и мест обслуживания были обеспечены свободные проходы к выходам из помещений шириной не менее 600 мм и высотой не менее 1900 мм. Ширина прохода со стороны поста управления главными механизмами, а также между главными механизмами должна быть не менее 1000 мм. При дистанционном управлении главными механизмами ширина прохода может быть снижена до 800 мм.

Каждое машинное помещение должно иметь не менее двух выходов. Выходы должны быть расположены на противоположных бортах и как можно дальше удалены друг от друга. Размеры в свету шахт, в которых установлены трапы, должны быть не менее 600 × 600 мм.

Грузовые насосные помещения на танкерах могут иметь один выход, ведущий непосредственно на открытую палубу.

Ступени сходных трапов должны быть шириной не менее 560 мм и иметь глубину не менее 100 мм. Наклон трапов должен быть не более 60° к горизонтали. Ступени трапов, должны быть рифлеными. Вертикальные трапы должны иметь ширину не менее 300 мм. Расстояние от ступеней трапов до жестких корпусных конструкций, находящихся за трапами должны быть не менее 150 мм. Расстояние между отдельными ступенями должно составлять не более 300 мм.

Площадки, предназначенные для обслуживания и ремонта механизмов, вспомогательных котлов приборов и различных устройств механических установок должны быть шириной не менее 450 мм и иметь прочные поручни высотой не менее 900 мм.

Все движущиеся части механизмов и приводы, представляющие опасность для обслуживающего персонала, должны быть ограждены поручнями или кожухами.

Узлы механизмов, приборы и трубопроводы, нагрев которых может достигать температуры выше 60°C должны быть оборудованы устройствами для предупреждения или ограничения теплового излучения. Нагретые выше 220°C поверхности механизмов, оборудования и трубопроводов должны иметь изоляцию, выполненную из негорючих материалов.

Расстояние от наружной поверхности изоляции котлов и деталей механизмов, нагретых выше 60°C, до стенок цистерн жидкого топлива должно составлять не менее 600 мм.

Вспомогательные котлы, устанавливаемые в одном помещении с двигателями внутреннего сгорания (ДВС), должны быть ограждены металлической выгородкой в районе топочного устройства.

Автономные котлоагрегаты, расположенные на платформах или промежуточных палубах и не выгороженные непроницаемыми перегородкам, должны ограждаться непроницаемыми комингсами высотой не менее 200 мм.

Автономные котлоагрегаты на нефтеналивных судах должны устанавливаться за коффердамами вне зоны грузовых нефтяных цистерн.



Топливные и масляные цистерны не должны размещаться над трапами, ДВС, котлами, газовыпускными трубами, дымоходами, электрическим оборудованием и постами управления главными механизмами.

Двигатели для привода грузовых насосов и вентиляторов насосных помещений на нефтеналивных судах, за исключением паровых, гидравлических и электрических двигателей во взрывозащищенном исполнении, не допускается устанавливать в грузовых помещениях.

## 1.4. Типы передач мощности

**1.4.1. Непосредственные передачи.** Такого типа передачи применяются на судах тогда, когда частота вращения главных двигателей (ГД) совпадает с частотой вращения движителей. Валопровод является продолжением линии коленчатых валов двигателей и располагается с ними. Число движителей, устанавливаемых на судне, обычно равно числу главных двигателей. Неравномерность вращения коленчатого вала, осевые удары и осевая сила упора движителя передаются вдоль всей валовой линии. Требуется установка опорных подшипников (ОП) для валов, а также упорных валов и упорных подлинников (УП) для восприятия осевой силы упора. Непосредственная передача бывает жесткой, если кормовой фланец двигателя прямо соединен с носовым фланцем судового валопровода, и эластичной, если между двигателем и судовым валопроводом расположена эластичная муфта (ЭМ) – электромагнитная, гидравлическая, шинно-пневматическая или пружинная. Применение эластичных муфт улучшает эксплуатационные качества установки, так как позволяет отключить валопровод от главного двигателя и снизить требования к точности монтажа валопровода.

Непосредственную передачу применяют обычно при установке на судне главных реверсивных двигателей и при винтах фиксированного шага (ВФШ). При установке нереверсивных главных двигателей применяют специальные реверсивные муфты (РМ) или вместо гребных винтов ВФШ устанавливают гребные винты регулируемого шага ВРШ, при этом в линию вала встраивают механизм изменения шага винта (МИШ). Основными преимуществами непосредственной передачи с ВРШ являются:

- повышение пропульсивных качеств движителя при переменных режимах хода;
- применение нереверсивных главных двигателей;
- пуск и разгон без нагрузки;
- получение самых тихих ходов судна независимо от минимальной устойчивой частоты вращения коленчатого вала двигателя;
- относительная легкость смены лопастей.

К недостаткам этих передач следует отнести сложность системы поворота лопастей, малую надежность и относительно высокую стоимость. Применение передач с ВРШ рационально на рейдовых буксирах, паромках.

К достоинствам непосредственных передач мощности можно отнести высокую экономичность, большой ресурс. При таких передачах мощность, потребляемая движителем, равна примерно 97–98% номинальной мощности, развиваемой главными двигателями. Потеря мощности определяется только затратой на трение в подшипниках валопровода.

Недостатком передач данного типа является большая масса и габариты, данная передача не может обеспечить трансформацию крутящего момента.

Передачи данного типа нашли широкое применение в речном флоте на буксирах-толкачах, пассажирских, сухогрузных и нефтеналивных судах. Возможные схемы дизельных установок с непосредственной передачей мощности показаны на рис. 1.1 (1, 2, 3, 4).

**1.4.2. Дизель-редукторные передачи.** Дизельные установки, имеющие в своем составе зубчатую передачу, называются дизель-редукторными (ДРУ) и применяются в тех случаях, когда частота вращения главных двигателей не совпадает с частотой вращения движителей. Наиболее типичные схемы дизель-редукторных установок показаны на рис. 1.1 (5, 6, 7, 8, 9). По сравнению с дизельными установками с прямой передачей в ДРУ включены два дополнительных – элемент-понижающий редуктор и муфта. Для ДРУ транспортных судов обычно используют одноступенчатые редукторы, передающие крутящий момент от одного или нескольких главных среднеоборотных двигателей. Двухступенчатые зубчатые передачи и передачи специальных типов находят применение в дизельных установках с высокооборотными дизелями на судах на воздушной подушке и подводных крыльях, на быстроходных катерах. Для ДРУ приняты два типа муфт между ГД и редуктором: высокоэластичные соединительные

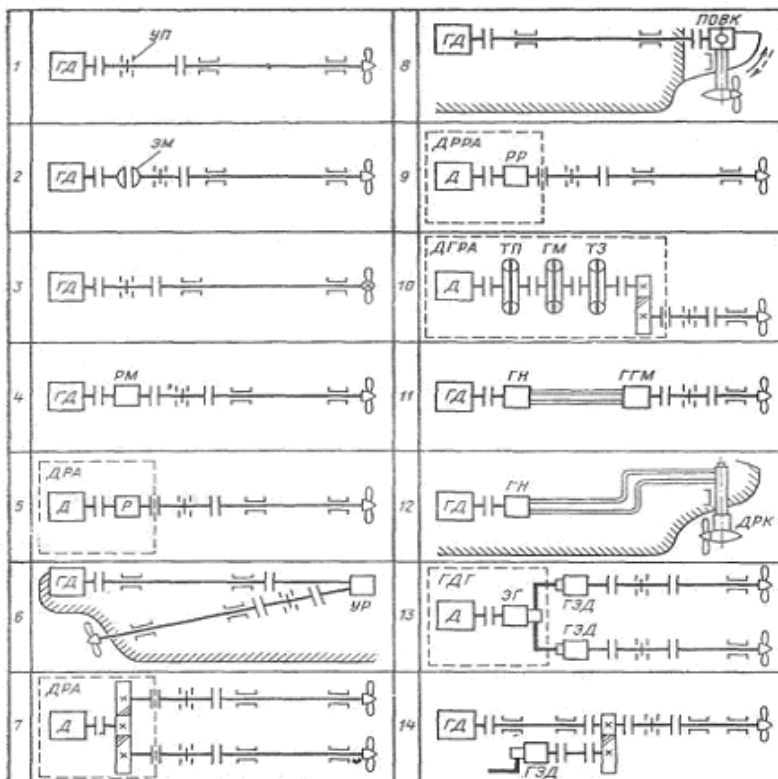


Рис. 1.1. Принципиальные схемы передач вращающего момента и мощности от главного двигателя к гребному винту:

1 – прямая к винту фиксированного шага с жесткой связью; 2 – то же, с гибкой связью; 3 – прямая к винту регулируемого шага с жесткой связью; 4 – прямая с реверсивно-разобщительной муфтой; 5 – зубчатая с прямым редуктором; 6 – то же, с угловым редуктором; 7 – то же, с разобщением мощностей; 8 – то же, с поворотноткидной выдвигной колонкой; 9 – то же, с реверс-редуктором; 10 – гидродинамическая с гидромуфтой и гидротрансформатором; 11 – объемная гидравлическая с насосом переменной подачи и гидромотором постоянного расхода; 12 – то же, с движительно-рулевым агрегатом; 13 – электрическая на постоянном или переменном токе с разобщением мощностей; 14 – комбинированная с главным двигателем и ускорительным гребным электродвигателем; ГД – главный двигатель; Д – двигатель; УП – упорный подшипник; ЭМ – эластичная муфта; РМ – реверсивная муфта; Р – редуктор; РР – реверс-редуктор; УР – угловой редуктор; ПОВК – поворотноткидная выдвигная колонка; ТП – гидротрансформатор переднего хода; ГМ – гидромуфта; ТЗ – гидротрансформатор заднего хода; ГН – насос; ГГМ – гребной гидромотор; ДРК – движительно-рулевой комплекс; ЭГ – электрогенератор; ГЭД – гребной электродвигатель; ДРА – дизель-редукторный агрегат; ДРРА – дизель-реверс-редукторный агрегат; ДГРА – дизель-гидроредукторный агрегат; ГДГ – главный дизель-генератор

муфты, защищающие редуктор от резких изменений крутящего момента дизеля, и соединительно-разобщительные (сцепные) муфты, допускающие различного рода отклонения ГД от редуктора. В ДРУ имеются широкие возможности отбора мощности от редуктора на другие нужды и, в первую очередь, для привода электрогенераторов, что позволяет в ряде случаев повысить эффективность и экономичность работы СЭУ. Применение угловых редукторов (УР) и колонок особенно эффективно на быстроходных катерах и СПК для обеспечения необходимого заглубления гребного винта. ДРУ с разделением мощности находят применение на судах с ограниченной осадкой, речного и смешанного плавания и др.

В ДРУ со среднеоборотными двигателями редуктор (как правило, со встроенным упорным подшипником) выполняется в виде отдельного агрегата, монтаж же ГД и редуктора предусматривается на общем судовом фундаменте. В ДРУ с высокооборотными дизелями редуктор может выполняться как отдельно от ГД, так и с встроенным в двигатель. ДРУ со среднеоборотными дизелями получили наибольшее распространение на транспортных судах с ограниченными размерами МО по высоте (паромы, суда с горизонтальной погрузкой). На судах вспомогательного и технического флота (буксирах, земснарядах и др.) ДРУ являются основным типом СЭУ. На этих судах наряду с отбором мощности на валогенератор практикуется отбор мощности от редуктора или свободного конца вала ГД на другие нужды, не связанные с движением судна (привод грунтовых и размывочных насосов, компрессоров, лебедок и т.п.). К недостаткам данного типа передач мощности можно отнести большой уровень шума в МО, потери мощности в редукторе 2–4%, утяжеление СЭУ, увеличение строительной стоимости и расходов на эксплуатацию.

**1.4.3. Гидродинамические передачи.** Подразделяются на гидродинамические муфты и гидродинамические трансформаторы. Гидродинамические муфты предназначены для передачи крутящего момента ведущего вала к ведомому валу без изменения величины и знака момента. Гидродинамические трансформаторы служат для передачи крутящего момента ведущего вала к ведомому валу при изменении величины, а в некоторых случаях и знака крутящего момента. Если при передаче крутящий момент должен изменяться только по величине, используют гидротрансформатор переднего

хода, а если одновременно должен изменяться и знак момента – гидротрансформатор заднего хода.

В гидродинамических передачах механическая энергия передается от ведущего вала к ведомому при помощи жидкого рабочего тела. Ведущая часть передачи (насос), приводимая двигателем, сообщает жидкости кинетическую энергию. Затем жидкость поступает в ведомую часть передачи (гидротурбину), где кинетическая энергия жидкости преобразуется в механическую работу вращения ведомого вала. Выделяющаяся в гидромуфте теплота отводится рабочей жидкостью, охлаждаемой забортной водой в охладителе. В качестве рабочих жидкостей в гидромуфтах и гидротрансформаторах применяют воду, различные сорта масел и специальные смеси жидкостей, предназначенные для гидромашин. Жидкость должна иметь малую вязкость, пониженную кислотность, высокую температуру вспышки и др. В отличие от гидромуфты, гидротрансформатор включает в себя не менее трех рабочих элементов: ведущее колесо или насос, ведомое колесо или турбину и неподвижный направляющий аппарат. Принцип работы гидротрансформатора аналогичен принципу действия гидромуфты, однако при прохождении жидкости через направляющий аппарат момент количества движения жидкости возрастает. При номинальном режиме работы установки КПД гидродинамических трансформаторов составляет 0,88–0,92. Зубчатые передачи с гидромуфтами в основном применяются в дизельных установках с двигателями пониженной быстроходности на судах морского транспортного флота, ледоколах, тяжелых буксирах и тральщиках, где КПД гидродинамической муфты при номинальном режиме работы установки 0,96–0,98. Преимущества гидромуфты:

- осуществляет гибкое соединение главного двигателя с зубчатой передачей;
- повышает надежность и маневренность СЭУ с несколькими двигателями, работающими на один винт;
- облегчает пуск двигателя и уменьшает расход пускового воздуха;
- улучшает условия реверсирования гребного вала.

Однако гидромуфта повышает массу СЭУ, снижает КПД, усложняет установку наличием необходимой дополнительной системы заполнения гидромуфт.

Универсальная гидрозубчатая передача (см. рис. 1.1, 10) из гидротрансформаторов переднего и заднего хода и гидромуфты обеспечивает большую степень редукции, хорошую тяговую характеристику и эффективное реверсирование гребного винта.

Гидротрансформаторы и гидравлические муфты широко используются в установках судов ледового плавания и буксиров.

**1.4.4. Гидростатические передачи.** В таких передачах гидравлический насос объемного типа расположен отдельно от гидравлического двигателя и связь между ними осуществляется по трубопроводам, в которых циркулирует рабочее тело (чаще всего минеральное масло).

На рис. 1.1, 11, показана принципиальная схема такой установки.

От ГД приводится в действие гидронасос (ГН), который под высоким давлением (10–20 МПа) направляет рабочую жидкость по магистрали в гидромотор, вращающий гребной винт. Упорный подшипник устанавливается в корму от гидромотора. На малых судах с установками мощностью до 200–250 кВт гидростатический привод размещают иногда в винторулевой колонке с подводом рабочего масла через отверстие в баллере руля (см. рис. 1.1, 12). При такой конструкции на судне отсутствует дейдвудное устройство и гребной вал.

КПД рассматриваемой передачи составляет 0,83–0,88 и мало изменяется на режимах частичных нагрузок.

Гидростатические передачи могут применяться на судах, связанных с частым маневрированием и буксировкой (паромы, буксиры, катера, малые промысловые суда), а также для привода подруливающих устройств, крыльчатых движителей.

**1.4.5. Электрические и комбинированные передачи.** В электропередаче главный двигатель непосредственно соединен с электрическим генератором, в котором механическая энергия преобразуется в электрическую. От генератора электрическая энергия передается гребному электродвигателю, соединенному с гребным винтом коротким валопроводом. Одна из возможных схем электропередачи показана на рис. 1.1, 13.

Применяемые в судовых установках электропередачи подразделяются на передачи постоянного, переменного и двойного рода тока. Выбор рода тока для гребных электрических установок определяется типом и назначением судна. На судах, где требуется

частое изменение скоростей хода и режимов работы с изменением мощности, применяют электрические передачи постоянного тока.

Для судов, движители которых большую часть времени работают на постоянных режимах без изменения скорости, используют электропередачи переменного тока. Передача постоянного тока имеет лучшую маневренность и наиболее благоприятную тяговую характеристику. Недостатками передачи является низкий КПД (0,85–0,9), значительная масса и относительно высокая начальная стоимость. Наибольшее применение такие передачи нашли на ледоколах и ледокольно-транспортных судах.

Электропередачи переменного тока выполняются на значительно более высокие мощности и напряжения, чем электропередачи постоянного тока. Они имеют более высокий КПД (0,9–0,94), меньшую массу и габариты, чем передачи постоянного тока.

Строительная стоимость передачи постоянного тока в среднем на 40–60% выше стоимости передачи переменного тока.

Передачи двойного рода тока характеризуются тем, что источники электрической энергии вырабатывают переменный ток, а потребители постоянного тока получают питание через выпрямители. В передачах двойного рода тока источниками электроэнергии служат трехфазные генераторы, а потребителями – электродвигатели постоянного тока. Выпрямительная установка выполняется на полупроводниковых приборах. Эти передачи рекомендуются ставить для установок с дизелями повышенной оборотности и высокооборотными.

Достоинства электропередач:

- отсутствие жесткой связи между ГД и движителем;
- возможность использовать легкие компактные дизели;
- использование только нереверсивных дизелей;
- способность электропередачи постоянного тока к саморегулированию по крутящему моменту при изменяющемся сопротивлении движению судна;
- высокие маневренные качества;
- возможность использования дизель-генераторов для удовлетворения всех нужд судна в электроэнергии.

К недостаткам следует отнести следующее – низкий КПД, повышенные эксплуатационные расходы, значительная масса и габариты, высокая строительная стоимость.

Кроме перечисленных типов передач мощности, на водном транспорте применяются комбинированные передачи, в которых для привода движителя используются два и более разнотипных главных двигателя. Однако такие передачи не нашли применения на судах речного флота. В качестве примера на рис. 1.1, 14, представлена схема комбинированной передачи с главным двигателем и ускорительным гребным электродвигателем.

## 1.5. Судовой валопровод

**1.5.1. Устройство и основные элементы валопровода.** Система валов и различных конструктивных элементов, соединяющих гребной винт с главным двигателем, называется судовым валопроводом. Основное назначение валопровода состоит в передаче движителю крутящего момента, развиваемого ГД, восприятии осевой силы (упора) и передаче ее через упорный подшипник корпусу судна. Осевая сила, преодолевающая сопротивление воды, сообщает судну поступательное движение.

В общем случае устройство судового валопровода показано на рис. 1.2. Кроме представленных на рисунке элементов, валопровод иногда оборудуют устройствами для отбора мощности, измерения вращающего момента (торсисметры), привода реле автоматики дистанционного управления двигателем, тахогенераторами и т.п.

Число валопроводов определяется типом передачи мощности и числом движителей. На судах речного флота встречаются одно-, двух- и трехвальные установки. Линии валопроводов имеют уклон ( $0...5^\circ$ ) относительно горизонтальной плоскости, при двух валопроводах имеется также веерность относительно диаметральной плоскости ( $0...3^\circ$ ). Уклон и веерность линии вала уменьшают полезный упор винта. При выборе угла веерности следует иметь в виду, что маневренные свойства судов с двухвальными установками зависят от положения точки пересечения бортовых линий валов с диаметральной плоскостью относительно центра вращения судна. Если эта точка лежит достаточно далеко в нос или корму от центра вращения судна, то возможно разворачивание его винтами на стоянке и управление судном винтами на заднем ходу. В эксплуатации более удобен вариант, когда точка пересечения линии валов лежит в нос от центра вращения судна.



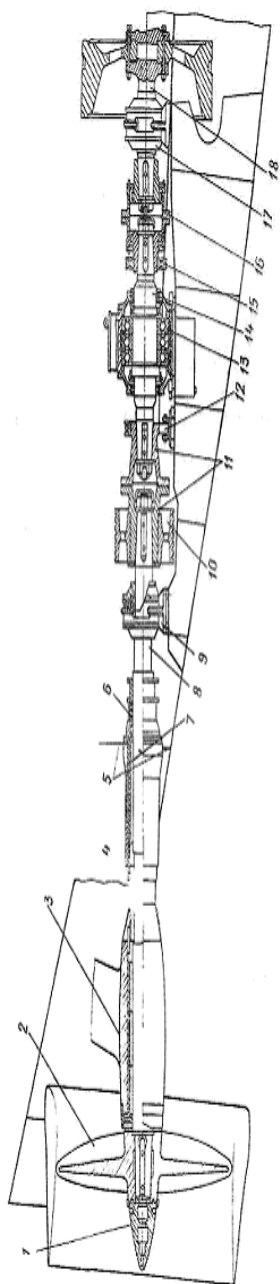


Рис. 1.2. Общее устройство валопровода танкера грузоподъемностью 3 тыс. т:

1 – обтекатель гребного винта; 2 – гребной винт в насадке; 3 – кормовая опора гребного вала; 4 – защитный кожух гребного вала; 5 – водонепроницаемая переборка; 6 – уплотнение дейдвуда в водонепроницаемой переборке; 7 – дейдвудная труба; 8 – гребной вал; 9 – кормовой опорный роликовый подшипник; 10 – шкив привода валогенератора; 11 – поперечно-свертная коническая муфта; 12 – ленточный тормоз; 13 – шариковый упорный подшипник; 14 – шкив привода реле частоты вращения ДАУ; 15 – упорный вал; 16 – зубчатая компенсирующая муфта; 17 – опорный шариковый подшипник проставочного вала; 18 – проставочный вал и маховик двигателя

Направление вращения винтов выбирают из условий обеспечения надежной их работы, маневренности и управляемости судна. В двухвальных установках целесообразно, чтобы ВФШ вращались на переднем ходу наружу, а ВРШ внутрь, при этом достигаются лучшие маневренные качества. В одновальных установках гребной винт имеет правое вращение, если смотреть с кормы в нос судна.

Рассмотрим некоторые элементы судового валопровода. Обтекатель – устройство, служащее для уменьшения гидравлических потерь от вихреобразования за ступицей и предохранения вала с гайкой от коррозии. Полость обтекателя обычно заполняется петролатумом или его заменителями.

Минимальный зазор между корпусом судна и лопастью винта в любом месте должен быть не менее  $(0,15 \dots 0,25) D_v$  для одновинтового и  $(0,22 \dots 0,25) D_v$  – для двухвинтового судна ( $D_v$  – диаметр гребного винта).

Гребной вал передает упор, создаваемый двигателем. Он работает при знакопеременных нагрузках и подвержен изгибу и кручению. При качке судна, механической и гидродинамической неуравновешенностью в гребном валу возникают дополнительные напряжения. Гребной вал вращается в двух подшипниках, один из которых (кормовой) расположен в кронштейне рядом с винтом, а другой (у носового конца гребного вала) в дейдвудной трубе. Иногда применяются бескронштейнные валопроводы.

Дейдвудные подшипники выполняются из бакаута (древесина) древеснослоистого пластика (лигнофоля), специального текстолита, капрона и резины, армированной металлом. Перспективными являются металлопластмассовые подшипники с вкладышами из капрона. На судах речного флота, с учетом специфики их работы, применяются в основном резинометаллические подшипники.

На шейки гребного вала в районе подшипников напрессовываются облицовки из оловянистой бронзы, латуни, стали 40Х. Смазываются дейдвудные подшипники водой, подаваемой под давлением в дейдвудную трубу.

Упор винта передается упорным валом на упорный подшипник. В качестве упорных подшипников используют подшипники качения и скольжения.

Валы судового валопровода соединяются жесткими и подвижными (некомпенсирующими) муфтами. Жесткие муфты (обычно фланцевые и муфты со съемным фланцем) применяются для со-

единения валов, вращающихся с небольшими окружными скоростями. Компенсирующие муфты при соединении валов допускают продольное смещение торцов валов, радиальное смещение и угловой поворот осей, в полужестких и упругих муфтах несовпадение соединяемых ими валов компенсируется за счет упругой деформации промежуточных металлических деталей муфты (стальных стержней, пластин, цилиндрических и пластинчатых пружин), а в упругодеформирующих муфтах – упругой деформации промежуточных деталей, изготовленных из резины, кожи или прорезиненного бельтинга.

В местах прохода валопровода через переборки устанавливаются переборочные сальники (уплотнения).

Для предотвращения поворота валопровода в случае производства ремонтных работ на нем имеется тормоз. Валоповоротное устройство устанавливается в районе выходного фланца главного двигателя или на упорном валу, оно должно быть реверсивным. Частота вращения поворачивания валопровода составляет 0,3...1,0 об/мин.

**1.5.2. Требования, предъявляемые к судовому валопроводу** базируются на Правилах Российского Речного Регистра.

Валопровод должен быть сконструирован таким образом, чтобы обеспечивалась надежность его работы, технологичность изготовления, простота обслуживания, монтажа и демонтажа. На всех судах должна быть исключена возможность выхода гребного вала из дейдвудного сальника и затопление машинного отделения в случае поломки вала.

Диаметры промежуточного и гребного валов рекомендуется определять по выражениям, приведенным в Правилах Российского Речного Регистра.

Диаметр носовой части гребного вала на участке от дейдвудного сальника до фланца (или муфты) может быть уменьшен до значения, равного 1,05 диаметра промежуточного вала.

Диаметр упорного вала в районе упорного гребня должен превосходить диаметр принятого промежуточного вала не менее чем на 5%, а вне упорного подшипника может быть уменьшен до диаметра промежуточного вала.

Конус гребного вала под гребной винт должен выполняться с конусностью не более 1:12. Для гребных валов рекомендуется применение сплошных облицовок. Во избежание попадания вод на конус

гребного вала должно быть установлено уплотнение. При масляной смазке дейдвудных подшипников должны применяться уплотнения одобренной конструкции. Анतिकоррозионную облицовку гребных валов должны иметь суда классов «М-СП», «М-ПР» и «О-ПР».

Промежуточные, упорные и гребные валы должны изготавливаться из стали с временным сопротивлением от 430 до 690 МПа.

У судов, предназначенных для плавания в битом льду, диаметры гребного, промежуточного и упорного валов должны быть увеличены по сравнению с расчетными значениями на 5%.

У ледоколов и судов ледокольного типа увеличение диаметра гребного вала должно быть не менее чем на 7%, упорного и промежуточного – не менее чем на 5% по сравнению с расчетными значениями.

При соединении валов соединительные болты, муфты и полу-муфты должны быть выполнены из стали, временное сопротивление которой не ниже временного сопротивления стали, применяемой для валопровода. Обычно 50% общего числа цилиндрических болтов фланцевых соединений валопровода, но не менее трех, должны быть плотно пригнаны (призонные болты). Толщина фланца гребного вала должна быть не менее 0,25 диаметра промежуточного вала. Радиус закругления у основания фланцев валов должен быть не менее 0,08 диаметра вала.

Длина подшипников в кронштейне и дейдвудной трубе должна быть не менее 2,5 диаметров вала. Клапан, отсекающей подачу вод для смазки дейдвудного подшипника, должен устанавливаться непосредственно на дейдвудной трубе или на переборке ахтерпика. При гидростатической смазке дейдвудных подшипников масляная цистерна должна располагаться выше ватерлинии максимальной осадки судна и должна быть снабжена указателем уровня.

В процессе эксплуатации валопровода используются контрольно-измерительные приборы – тахометры, торсиометры, термометры. Иногда на валопроводах делают приводы от вала тахометра к суммирующему счетчику оборотов и указателю направления вращения вала.

В процессе испытаний валопровода проверяются: правильность монтажа, его работа при запуске главных двигателей на передний и задний ход, работоспособность валоповоротного устройства и тормоза валопровода, работа всех подшипников, дейдвудных и переборочных сальников.

## **Вопросы для самостоятельной работы**

1. Состав судовой энергетической установки и взаимосвязи ее отдельных элементов.
2. Принцип размещения механизмов в машинном отделении и определение положения центра массы.
3. Сравнение различных типов передач мощности, применяемых в судовых дизельных установках.
4. Определение основных размеров судового валопровода по Правилам Российского Речного Регистра.
5. Статистический расчет валопровода как разрезной, так и неразрезной балки.
6. Расчет валопровода на усталостную прочность.
7. Типы, назначение и конструктивные особенности соединительных и соединительно-разобобщительных муфт.
8. Принцип действия классификация и тепловые схемы паротурбинных и газотурбинных установок.
9. Основные характеристики атомных энергетических установок и область их применения.
10. Комбинированные установки с термодинамическими связанными и независимыми двигателями.

## **2. Проверка и регулировка комбинированных реле типа КРД**

### **2.1. Цель проведения работы**

Приобретение практических навыков по проверке и регулировке комбинированных реле типа КРД в процессе эксплуатации.

### **2.2. Организация проведения работы**

Занятия проводятся с каждой подгруппой студентов 5-го курса механического факультета и 6-го курса заочного обучения. Подгруппа разбивается на бригады, состоящие не более чем из 5 человек.

Время проведения занятий в лаборатории автоматизированных судовых энергетических установок (АСЭУ) устанавливается рас-

писанием занятий на электромеханическом и факультетах заочного отделения.

Занятия проводят преподаватель и лаборант.

Перед выполнением данной лабораторной работы студенты должны ознакомиться с устройством и принципом работы комбинированного реле, основными его техническими характеристиками, испытательным стендом и с расположением реле на автономном водогрейном котлоагрегате КВС-68 и дизель-генераторах ДГА-50/9 и АСДА2-12/Т-400РУ.

Перед занятием лаборант готовит оборудование к проведению испытаний.

## 2.3. Техническое описание реле

**2.3.1. Назначение реле.** Комбинированное реле типа КРД предназначено для контроля температуры воды в водогрейных котлоагрегатах, а также температуры и давления в системах смазки и охлаждения дизельных установок. В системе смазки дизель-генераторов реле используются для контроля давления масла при пуске дизеля, для включения аварийно-предупредительной сигнализации и защиты.

Допустимая динамическая вязкость контролируемых жидкостей не более  $1,6 \text{ Па} \cdot \text{с}$  (16 пауз), кинематическая вязкость не более  $1,8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2/\text{с}$ .

Реле пригодны для эксплуатации во взрывобезопасном помещении с содержанием в окружающем воздухе коррозионно-активных агентов, соответствующем атмосфере типа II ГОСТ 15150–69.

**2.3.2. Технические данные.** Комбинированные реле КРД-1, КРД-2, КРД-3 и так далее выпускаются укомплектованными датчиками температуры или давления в любых комбинациях. Цифра в обозначении указывает на количество датчиков, очередность которых устанавливается слева направо, если смотреть со стороны крышки в рабочем положении реле. Основные параметры датчиков комбинированного реле указаны в табл. 2.1.

Каждый датчик имеет электрический переключатель и обеспечивает срабатывание на заданной установке при повышении (  $\uparrow$  ) или понижении (  $\downarrow$  ) значения контролируемого параметра и возврат в исходное положение при понижении или повышении значения контролируемого параметра на величину зоны нечувствительности.

Таблица 2.1

## Основные параметры датчиков КРД

Параметры	Наименование датчиков	
	Датчик температуры	Датчик давления
Диапазон установок срабатывания	0...125°C	10...1000 кПа (0,1...10 кгс/см <sup>2</sup> )
Зона нечувствительности	0,5...4,0°C	5...40 кПа (0,05...0,40 кгс/см <sup>2</sup> )
Погрешность срабатывания	± 3°C	± 25 кПа ± (0,25 кгс/см <sup>2</sup> )
Максимально допустимое значение контрольного параметра	± 135°C	1500 кПа (15 кгс/см <sup>2</sup> )

Комбинированные реле соответствуют требованиям табл. 2.1 при следующих условиях:

- температура окружающего воздуха  $25 \pm 5^\circ\text{C}$ ;
- атмосферное давление  $100 \pm 3$  кПа ( $750 \pm 25$  мм рт. ст.);
- изменение температуры и давления контролируемой среды при подходе к срабатыванию и возврату – плавное со скоростью соответственно не более  $0,5^\circ\text{C}$ , 50 кПа ( $0,5$  кгс/см<sup>2</sup>) в минуту.

В процессе эксплуатации реле сохраняют работоспособность при следующих условиях:

- вибрации с частотой 5...80 Гц и максимальным ускорением  $15$  м/с<sup>2</sup>;
- тряска с частотой ударов 80...120 в минуту и максимальным ускорением  $40$  м/с<sup>2</sup>;
- качка до  $45^\circ$  с периодом 5...19 с и длительные наклоны до  $15^\circ$  к любой из осей симметрии;
- температура окружающего воздуха  $-10...+50^\circ\text{C}$  при относительной влажности до 80% и отсутствие непосредственного воздействия солнечной радиации и атмосферных осадков;
- относительная влажность окружающего воздуха до 98% при температуре  $+35^\circ\text{C}$ ;
- атмосферное давление 61...107 кПа (460...800 мм рт. ст.).

Дополнительная погрешность срабатывания, вызванная отклонением температуры окружающего воздуха от  $25 \pm 5^\circ\text{C}$ , для датчиков температуры и давления не превышает соответственно  $0,8^\circ\text{C}$  и 7 кПа ( $0,07$  кгс/см<sup>2</sup>) на каждые  $10^\circ\text{C}$  изменения температуры. При отклонении атмосферного давления от  $100 \pm 3$  кПа ( $750 \pm 25$  мм рт. ст.) для датчиков температуры дополнительная погрешность не превышает  $0,4^\circ\text{C}$  на каждые 1,3 кПа (10 мм рт. ст.).

**2.3.3. Устройство и принцип работы.** Комбинированные реле изготавливаются на базе унифицированных датчиков температуры и давления, которые размещены в металлическом корпусе. Принцип действия датчиков основан на уравнивании сил, создаваемых давлением внутри чувствительных систем (сильфонных устройств), силами винтовых цилиндрических пружин. Устройство датчика температуры показано на рис. 2.1. Устройство датчика давления отличается лишь тем, что вместо термобаллона и капиллярной трубки он имеет ниппель для присоединения трубопровода, подводящего контролируемую среду, прокладку и накладную гайку.

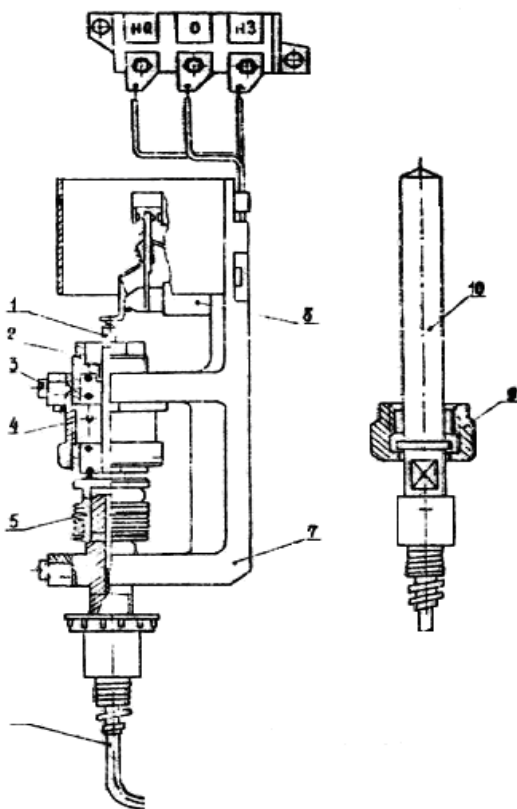


Рис. 2.1. Устройство датчика температуры



У датчика температуры (см. рис. 2.1) термобаллон 10, капиллярная трубка 6 и сильфон 5 представляют собой герметическую термосистему, заполненную специальной жидкостью. Для низкокипящих жидкостей нижний и верхний пределы контролируемых температур составляют: у хлорметила  $-20... +100^{\circ}\text{C}$ , хлорэтила  $0...120^{\circ}\text{C}$ , этилового эфира  $0...150^{\circ}\text{C}$ , ацетона  $0...170^{\circ}\text{C}$ , бензола  $0...250^{\circ}\text{C}$ .

Датчик работает следующим образом. При повышении давления или температуры контролируемой среды (повышение температуры термобаллона вызывает и увеличение давления в термосистеме) сильфон 5 растягивается, преодолевая сопротивление пружины 4. Подвижный конец сильфона 5 вместе с толкателем 1 перемещается вверх.

При достижении давлением величины, соответствующей установке, в датчиках с направлением срабатывания ( $\uparrow$ ), или превышающей установку на величину зоны нечувствительности – в датчиках с направлением срабатывания ( $\downarrow$ ), толкатель 1 нажимает на рычаг переключателя 8, производя переключение его контактов и вызывая соответственно срабатывание или возврат датчика.

При понижении давления или температуры контролируемой среды на величину зоны нечувствительности в датчиках с направлением срабатывания ( $\uparrow$ ), или до величины, соответствующей установке, в датчиках с направлением срабатывания ( $\downarrow$ ), сильфон 5 под действием пружины 4 сжимается. Подвижный конец сильфона с толкателем 1 перемещается вниз и освобождает рычаг переключателя, производя обратное переключение контактов и вызывая соответственно возврат или срабатывание датчика.

Каждый датчик на кронштейне 7 имеет маркировку, указывающую уставку и направление срабатывания, на которые он отрегулирован. Например:  $+85^{\circ}\text{C}$  ( $\uparrow$ ) – обозначает, что датчик температуры срабатывает при повышении температуры до  $85^{\circ}\text{C}$ . Возврат в исходное положение происходит при понижении температуры на величину зоны нечувствительности  $200\text{ кПа}$  ( $\downarrow$ ) ( $2,0\text{ кгс/см}^2$ ) – обозначает, что датчик давления срабатывает при понижении давления до  $200\text{ кПа}$  ( $2,0\text{ кгс/см}^2$ ). Возврат в исходное положение происходит при повышении давления на величину зоны нечувствительности.

Каждый датчик имеет три провода, присоединенных к клеммам, имеющим маркировку НО, О и НЗ. Сочетание клеммных пар обеспечивает коммутацию электрической цепи при срабатывании согласно табл. 2.2.

Сочетание клеммных пар

Маркировка клеммных пар	Направление срабатывания	Коммутация
О – НО	При повышении контролируемого параметра (↑)	Замыкание
	При понижении контролируемого параметра (↓)	Размыкание
О – НЗ	При повышении контролируемого параметра (↑)	Размыкание
	При понижении контролируемого параметра (↓)	Замыкание

В процессе эксплуатации комбинированных реле необходимо производить проверку и регулировку через 2500 ч работы (реле, изготовленных под надзором Регистра СССР – через 5000 ч работы), но не реже, чем через год эксплуатации. Необходимо следить за герметичностью присоединения трубопровода к датчику давления, не допускать перегрузки датчиков по давлению и температуре сверх максимально допустимых значений согласно табл. 2.1.

## 2.4. Содержание занятия

Целью проверки комбинированных реле является определение зоны нечувствительности, неравномерности регулирования, температур срабатывания и возврата, погрешности срабатывания. Под регулировкой подразумевается настройка комбинированного реле на заданную уставку срабатывания по температуре или давлению.

В качестве примера рассмотрим проверку и регулировку датчика температуры ( $85^{\circ}\text{C}$ ) ↑ комбинированного реле КРД-3.

**2.4.1. Снятие статической характеристики.** Статической характеристикой называется зависимость выходной величины (перемещение толкателя) от входной (температуры) при постоянной уставке датчика. Статическая характеристика снимается на испытательном стенде. Вид статической характеристики показан на рис. 2.2. После построения статической характеристики определяются величины: зона нечувствительности  $\Delta T_{\text{неч}}$  и неравномерности регулирования  $\Delta T_{\text{нер}}$ .

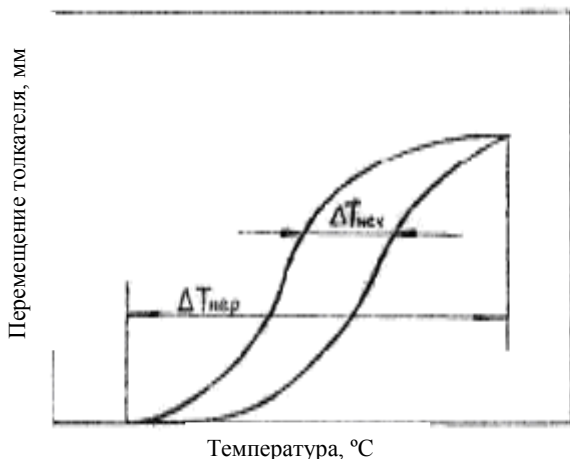


Рис. 2.2. Статическая характеристика датчика давления

При снятии статической характеристики термобаллон с накидной гайкой 9 (см. рис. 2.1.) полностью погружается в бачок, наполненный водой и подогреваемый электрическим нагревателем, включенным в сеть.

Для плавкого изменения температуры вода со скоростью не более  $0,5^{\circ}\text{C}$  в минуту в бачке имеется мешалка с электроприводом.

Статическую характеристику снимают следующим образом. Включают нагреватель и подогревают воду в бачке с термобаллоном до  $76^{\circ}\text{C}$ , при этом мешалка работает. Выставляют индикатор, по которому определяют перемещение толкателя, на ноль. По мере нагрева воды через каждый градус производят замеры перемещения штока и температуры воды. Температура воды замеряется по термометру с ценой деления не более  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Момент срабатывания переключателя 8 (см. рис. 2.1) определяют по включению сигнальной лампы, находящейся на панели испытательного стенда. При включении сигнальной лампы мешалка автоматически отключается.

Выключают нагреватель воды и записывают через один градус положение толкателя при охлаждении жидкости до тех пор, пока стрелка индикатора не возвратится в первоначальное положение. При охлаждении жидкости сигнальная лампа выключается при

температуре, которая ниже температуры срабатывания на величину зоны нечувствительности, после этого мешалка снова включается в работу. Результаты замеров представляют в табличной форме (табл. 2.3).

Таблица 2.3

**Результаты замеров при снятии статической характеристики**

Температура воды, °С	Перемещение толкателя, мм	
	Нагревание	Охлаждение
76		
77		
78 ...		
... 88		

По полученным замерам строят график (см. рис. 2.2.). По графику определяют нечувствительность (величина наибольшего несовпадения между кривыми прямого и обратного хода) в неравномерность регулирования. Если величины  $\Delta T_{\text{неч}}$  и  $\Delta T_{\text{нер}}$  отнести к средней температуре, которую поддерживает реле в процессе регулирования, то полученные величины будут соответственно степенью нечувствительности и степенью неравномерности.

**2.4.2. Определение температур срабатывания, возврата и погрешности срабатывания.** Действительные значения температуры срабатывания  $\Delta T_{\text{неч}}$  и возврата  $\Delta T_{\text{вер}}$  определяют как среднее арифметическое трех замеров по выражениям:

$$T_{\text{ср}} = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3};$$

$$T_{\text{вод}} = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3}.$$

Для этого включают нагреватель и доводят температуру в бачке до значения на  $\Delta T_{\text{неч}}$  ниже температуры соответствующей уставке и выдерживают 5 мин. Затем равномерно, со скоростью не более 0,5°С/мин, повышают температуру воды, момент включения сигнальной лампы определит искомое значение температуры срабатывания  $T_1$ .

Включают нагреватель, а при равномерном остывании воды момент выключения сигнальной лампы определяют значение температуры возврата  $T_1$ . Данные замеры повторяют три раза и в итоге определяют значения  $T_{кр}$ ,  $T_{воз}$ . При определении действительного значения температуры срабатывания необходимо учесть дополнительную погрешность, вызванную отклонением температуры °С окружающего воздуха и атмосферного давления (см. подразд. 2.3.2).

После этого определяют погрешность срабатывания  $\delta$ , как разность между температурой соответствующей уставке и действительным значением температуры срабатывания. По результатам проверки датчика температуры комбинированного реле КРД-3 составляют табл. 2.4.

Таблица 2.4

#### Результаты проверки

Наименование параметра	Обозначение	Паспортные данные	Результаты замеров
Температура окружающей среды, °С	$T_{oc}$	$25 \pm 5$	
Атмосферное давление, (мм рт. ст.)	$P_{бар}$	$100 \pm 3$ ( $750 \pm 25$ )	
Зона нечувствительности, °С	$\Delta T_{неч}$	0,5...4,0	
Неравномерность регулирования (не более), °С	$\Delta T_{нер}$	10...15	
Температура, °С: срабатывания	$T_{ср}$	+ 85	
возврата	$T_{воз}$	–	
Погрешность срабатывания, °С	$\delta$	$\pm 3$	

Результаты проверки считаются удовлетворительными, если зона нечувствительности, неравномерность регулирования и погрешность срабатывания укладываются в паспортные данные.

**2.4.3. Регулировка датчика температуры** производится при помощи резьбовой втулки 2 (см. рис. 2.1). При ввинчивании втулки увеличивается натяжение пружины 4 и, наоборот, при вывинчивании втулки натяжение пружины уменьшается. Самопроизвольное

перемещение втулки 2 предотвращается при помощи стопорного винта 3. Регулировка производится в том случае, когда погрешность срабатывания превышает допустимое значение  $\pm 3^{\circ}\text{C}$ .

Если погрешность срабатывания укладывается в допустимое значение, то с целью приобретения практического навыка, студенты под наблюдением лаборанта производят регулировку датчика температуры на новую уставку срабатывания. Температура уставки задается преподавателем.

## **2.5. Содержание отчета**

В отчете должны быть представлены: краткая характеристика комбинированного реле; таблица с результатами замеров, график статической характеристики (формат II), таблица результатов проверки датчика температуры и результаты регулировки, а также анализ полученных результатов и выводы.

# **3. Автоматизация вспомогательных дизель-генераторов**

## **3.1. Цель проведения работы**

Ознакомление студентов с автоматизацией механических установок, а конкретнее с автоматизацией первичных двигателей вспомогательных и аварийных дизель-генераторов. Приобретение навыков по проварке и регулировке системы автоматического перехода на использование аварийного дизель-генератора с помощью осциллографирования.

## **3.2. Степени автоматизации двигателей внутреннего сгорания**

**3.2.1.** Согласно ГОСТу 14228-80 двигателя в зависимости от объема автоматизированных и автоматически выполняемых операций и времени необслуживаемой работы (время между обслуживаниями или наблюдениями, требующими присутствия у эксплуатирующегося двигателя обслуживающего персонала) должны классифицироваться по степени автоматизации, указанных в табл. 3.1.

Таблица 3.1

### Степени автоматизации двигателей

Степень автоматизации	Характеристики степени автоматизации	Время необслуживаемой работы двигателя, ч
1	Автоматическое регулирование основных параметров; местное и (или) дистанционное управление; индикация, сигнализация и защита	4; 8; 12
2	Операция первой степени; дистанционное автоматизированное управление, в том числе при совместной работе двигателей	24; 36; 50
3	Операции второй степени; дистанционное автоматизированное и (или) автоматическое управление вспомогательными агрегатами и (или) операциями обслуживания двигателя	150; 250
4	Операции второй или третьей степени; централизованное управление и (или) централизованный автоматический контроль; автоматизированное и (или) автоматическое техническое диагностирование	250; 375

Примечание. Дальнейшее увеличение значений времени необслуживаемой работы двигателей допускается устанавливать с интервалом 4 ч для первой степени и 25 ч для остальных степеней.

#### **3.2.2. На двигателях, отвечающих первой степени автоматизации, должен выполняться следующий минимум операций:**

- автоматическое регулирование частоты вращения;
- автоматическое регулирование температуры в системах охлаждения и (или) смазки;
- автоматическое регулирование напряжения (для дизель-генераторов);
- местное и (или) дистанционное управление пуском, остановом, предпусковыми и послеостановочными операциями, а также частотой вращения, (нагрузением) и реверсированием;
- автоматический подзаряд аккумуляторных батарей, обеспечивающих пуск и (или) питание, средств автоматизации (при электростартерном пуске);
- автоматическая аварийно-предупредительная сигнализация и защита;

– индикация значений контролируемых параметров на местном (дизельном) щитке и (или) на дистанционном пульте.

**3.2.3. На двигателях, отвечающих 2-й степени автоматизации, помимо операций, указанных в п. 3.2.2, должно обеспечиваться выполнение следующих операций:**

– дистанционное автоматизированное и (или) автоматическое управление пуском, остановом, предпусковыми и послеостановочными операциями;

– дистанционное автоматизированное и (или) автоматическое управление частотой вращения (нагрузением) и реверсированием при его наличии;

– автоматический прием нагрузки при автономной работе или выдача сигнала о готовности к приему нагрузки (для дизель-генераторов);

– автоматизация совместной работы двигателей, в том числе автоматический прием нагрузки в ходе синхронизации при параллельной работе дизель-генераторов между собой или с внешней сетью;

– автоматическое поддержание двигателя в готовности к быстрому приему нагрузки;

– автоматическое регулирование вязкости тяжелого топлива и автоматизированное управление переходом с одного вида топлива на другой;

– автоматизированный экстренный пуск и (или) останов;

– исполнительная сигнализация.

**3.2.4. На двигателях, отвечающих 3-й степени автоматизации, помимо операций, указанных в п. 3.2.3, должно обеспечиваться выполнение следующих операций:**

– автоматическое пополнение расходных емкостей: топлива, масла, охлаждающей жидкости и сжатого воздуха;

– автоматизированное и (или) автоматическое управление отдельными операциями обслуживания двигателя.

**3.2.5. На двигателях, отвечающих 4-й степени автоматизации, помимо операций, указанных в п. 3.2.3 или 3.2.4, должно обеспечиваться выполнение одной или нескольких дополнительных операций:**

– централизованное управление двигателем с помощью управляющих машин;

– централизованный автоматический контроль;



– автоматизированное и (или) автоматическое техническое диагностирование состояния двигателя в целом или его отдельных частей.

**3.2.6.** Конкретный перечень операций и средств автоматизации, а также значение времени необслуживаемой работы по каждой степени (пп. 3.2.2–3.2.5) должен устанавливаться в стандартах и в технических условиях на отдельный тип двигателя.

**3.2.7.** Технические требования к отдельным операциям и средствам автоматизации двигателей должны соответствовать Правилам Морского судоходства и Российского Речного Регистра РСФСР в части автоматизации судовых двигателей, а также стандартам [З – Э].

### **3.3. Некоторые технические требования к автоматизируемым операциям и эксплуатационным характеристикам дизель-генераторов (ГОСТ 10032–80)**

**3.3.1. Требования к автоматизируемым операциям.** Предпусковая прокачка смазочного масла должна обеспечивать наличие предпускового давления в масляной магистрали. Значение предпускового давления, место и метод его контроля, а также длительность прокачки устанавливаются предприятием-изготовителем дизель-генераторов и указываются в инструкции по эксплуатации.

При пуске дизель-генератора электростартером должно автоматически осуществляться не менее трех попыток пуска в соответствии с ГОСТ 10150–82.

При пуске сжатым воздухом его подача должна ограничиваться временем по ГОСТ 10150–82 и одной попыткой пуска.

При достижения дизель-генератором частоты вращения, соответствующей состоявшемуся пуску, должно осуществляться выключение электростартера или подача сжатого воздуха. При несостоявшемся пуске за установленное время или число попыток, должен появляться аварийный сигнал.

Готовность дизель-генератора к приему нагрузки до номинального значения должна определяться контролем (прямым или косвенным) выхода дизель-генератора на заданную частоту вращения, а также контролем (инструкции по эксплуатации на конкретные дизель-генераторы) дополнительных параметров.

Останов дизель-генератора должен осуществляться отключением подачи топлива путем воздействия непосредственно на механизм управления топливоподачей или на регулятор частоты вращения. При состоявшемся останове должна обеспечиваться готовность очередного пуска.

Поддержание дизель-генератора в готовности к быстрому приему нагрузки должно осуществляться либо прогревом смазочного масла и при необходимости охлаждающей жидкости путем использования внешней энергии (электрической, теплоты горячей воды работающих дизелей и т.п.), либо путем периодических или постоянных прокачек масла и (или) воды, а также при необходимости прокруток и (или) пусков дизель-генератора.

В период работы дизель-генератора должны осуществляться автоматическая аварийно-предупредительная сигнализация и защита в соответствии с ГОСТ 11928–83.

**3.3.2. Требования к эксплуатационным характеристикам.** Время от поступления (подачи) сигнала на автоматический или дистанционный автоматизированный пуск до момента готовности приема нагрузки до номинального значения для дизель-генераторов, находящихся в готовности к быстрому приему нагрузки, должно быть не более указанного в табл. 3.2.

Таблица 3.2

**Готовность к приему нагрузки дизель-генераторами**

Номинальная мощность дизель-генератора, кВт	Время, с не более
До 100 включительно	10; 15*
Свыше 100 до 500 включительно	20; 30*
Свыше 500 до 1000	30; 45*
Свыше 1000	40; 80*

\* В разработках новых моделей не применяются.

По Правилам Российского Речного Регистра [5] время от момента подачи сигнала на пуск до готовности к приему 100%-й нагрузки для находящегося в прогретом состоянии двигателя не должно превышать:

– для вспомогательных двигателей мощностью до 100 кВт – 15 с;

– для вспомогательных двигателей мощностью от 100 кВт включительно до 500 кВт – 30 с;

– для двигателей аварийных дизель-генераторов – соответственно [13, 14] Правил – емкость пусковой аккумуляторной батареи должна обеспечивать не менее шести последовательных его пусков, начиная от холодного состояния, без подзарядки батареи. Продолжительность каждого пуска в течение не менее 5 с.

При автоматизации дизель-генераторов должна использоваться двухпроводная схема питания с электрическим источником на номинальное напряжение 24 (27) или 12 В постоянного или выпрямленного тока.

Допускается также применение схем питания с другим источником:

– электрическим – переменного тока напряжением 127, 220, 380 В и частотой 50 Гц; постоянного тока напряжением 75, 110, 220 В;

– пневматическим;

– гидравлическим;

– комбинированным из указанных видов.

### 3.4. Обработка осциллограммы

В нашей лаборатории находятся два дизель-генератора. Один из них – АСДА-12Р – агрегат стационарный дизельный автоматизированный мощностью 12 кВт (дизель 4Ч 8,5/11); другой – ДГА – 50/9 мощностью 50 кВт (дизель 6Ч 12/14), оборудованным второй степенью автоматизации.

Система аварийно-предупредительной сигнализации (АПС) ДГА-50/9 обеспечивает получение на дистанционном пульте светового (табло) и звукового (ревун) сигналов при нарушении следующих режимов работы:

– при температуре воды выше  $90 + 5^{\circ}\text{C}$ ;

– при давлении масла ниже  $200 + 20$  кПа ( $2 + 0,2$  кгс/см<sup>2</sup>);

– при давлении масла ниже  $170 + 20$  кПа ( $1,7 + 0,2$  кгс/см<sup>2</sup>);

– при частоте вращения дизеля  $1700 + 50$  мин<sup>-1</sup>.

Автоматически дизель останавливается: если давление масла в системе ниже  $170 + 20$  кПа ( $1,7 + 0,2$  кгс/см<sup>2</sup>); если частота вращения выше  $1700 + 50$  мин<sup>-1</sup>.

Автоматический пуск дизеля осуществляется при падении частоты тока в контролируемой сети на 20% или по другому параметру, указанному заказчиком. Если при поступлении сигнала на автоматический или дистанционный пульт не пущен дизель после четырех попыток, то загорается лампочка сигнала «Пуск не состоялся».

Автоматический перевод нагрузки с АСДА-12Р на ДГА-50/9 и осциллографирование осуществляется следующим образом:

– после запуска дизель-генератора АСДА-12Р нагрузка принимается на распределительный щит. При искусственном уменьшении напряжения на шинах распределительного щита на 15–20%, происходит автоматический запуск дизель-генератора ДГА-50/9. При этом все основные процессы автоматического запуска (включение и выключение маслопрокачивающего насоса, подогрев всасывающего воздуха, включение и выключение стартера, изменение частоты вращения при принятии нагрузки, остановка двигателя при падении давления масла) визуально проследить практически невозможно. Поэтому для фиксации на ленте всех перечисленных быстроизменяющихся процессов, а также для принятия решений по регулировке системы автоматического запуска дизель-генератора предусмотрено осциллографирование. На лабораторных занятиях предлагаются для обработки уже снятые осциллограммы. На рис. 3.1 представлена часть осциллограмм, на которой показано расположение линий, записанных от различных датчиков. *Верхняя линия* означает работу (включение и выключение) маслопрокачивающего насоса дизель-генератора ДГА 50/3 после падения напряжения на шинах распределительного щита от АСДА-12Р. *Вторая линия* доказывает давление в системе смазки дизель-генератора ДГА-50/9. *Третья линия* – включение и выключение стартера. *Четвертая линия* показывает частоту вращения ДГА-50/9. *Пятая и шестая*, соответственно, напряжение на шинах распределительного щита от ДГА-50/9 и от АСДА-12Р. *Нижняя линия* означает работу стоп заслонки при падении давления масла в системе ДГА-50/9 ниже допустимого.

По осциллограмме студентам необходимо вычислить продолжительность всех изменяющихся процессов и дать рекомендацию правильности регулировки включения и выключения по времени вспомогательных агрегатов дизель-генератора.

Прежде чем перейти к расчетам, необходимо вычислить скорость движения ленты осциллографа (то есть время, за которое лента продвинется на 1 см).

Исходные данные: частота тока 50 Гц, вертикальная линия, соответствующая 1 см отбивается через 10 Гц.

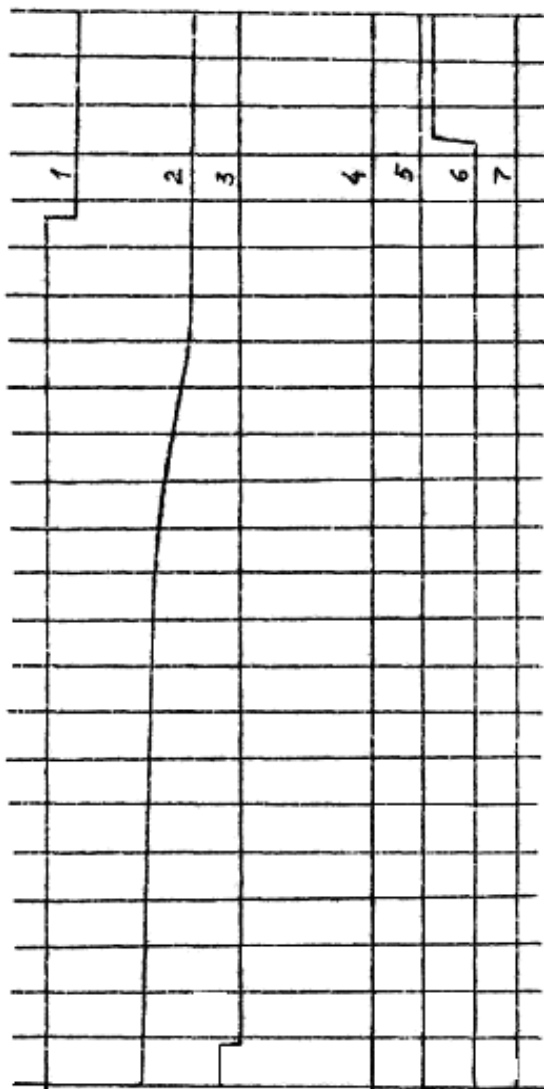


Рис. 3.1. Пример осциллограммы перехода на аварийный дизель-генератор

**Контрольные вопросы по защите работы**

1. Сколько степеней автоматизации контроля дизель-генераторов и каково время необслуживаемой их работы предусматривается ГОСТ 14226–80?

2. Какие операции автоматизации предусмотрены при второй степени автоматизации дизель-генератора?

3. Какими документами регламентируются технические требования к отдельным операциям и средствам дизель-генераторов в части автоматизации судовых двигателей?

4. Каковы технические требования к автоматизируемым операциям и эксплуатационным характеристикам дизель-генераторов?

5. В чём необходимость осциллографирования?

6. Какие мероприятия необходимо предпринять для сокращения времени перехода с одного дизель-генератора на другой?

## **4. Настройка и регулировка системы автоматики котлоагрегата КВС-200**

### **4.1. Цель проведения работы**

Настройка и регулировка системы автоматики котлоагрегата КВС-200 выполняется студентами с целью получения навыка теоретического и практического обслуживания систем автоматики автоматизированных котлоагрегатов.

### **4.2. Технические характеристики котлоагрегата**

Котлоагрегат водогрейный, газотрубный, двухоборотный с горизонтально расположенными жаровой трубой и дымогарными трубами предназначен для отопления судовых помещений в замкнутой системе водяного отопления – закрытой или открытой.

При работе котлоагрегата в закрытой системе отопления, вода, находящаяся в котле и системе отопления находится под давлением. Пополнение утечек воды из системы отопления производится непосредственно в котел через редуцирующий клапан (рис. 4.1), для этого необходимо поддерживать постоянное давление в подпиточной системе.

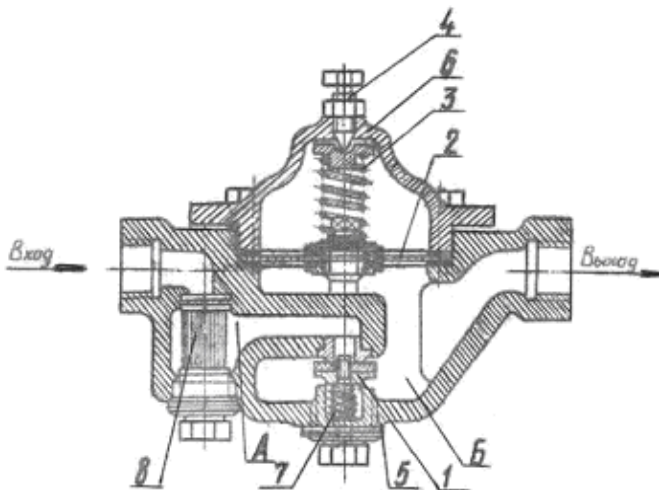


Рис. 4.1. Клапан редуционный:

1 – клапан регулировочный; 2 – мембрана; 3 – пружина; 4 – винт регулировочный; 5 – корпус; 6 – крышка; 7 – пружина; 8 – фильтр

При работе в открытой системе отопления, вода, находящаяся в котле и системе отопления, находится под давлением водяного столба расширительного бака. Пополнение утечек воды из системы отопления производится в расширительный бак.

Вместо защиты котлоагрегата по нижнему рабочему давлению подключается защита котлоагрегата по нижнему предельному уровню в расширительном баке. При этом отпадает необходимость в установке клапанов редуционного и предохранительного (рис. 4.2.), а также реле давлений. Основные технико-экономические показатели котлоагрегата КВС-200 представлены в табл. 4.1.

При работе котлоагрегата предохранительный клапан (в закрытой системе отопления) открывается при давлении 0,17 МПа, а закрывается при 0,1 МПа. Редуционный клапан открывается при давлении 0,09 МПа.

Клапан отсечной (рис. 4.3) прекращает подачу топлива к форсунке при давлении 0,8 МПа.



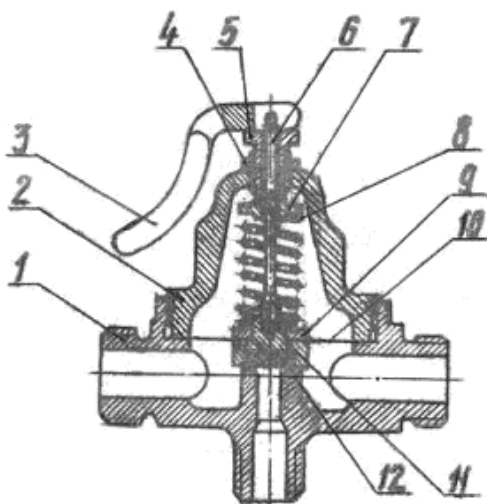


Рис. 4.2. Клапан предохранительный:

1 – корпус; 2 – крышка; 3 – рычаг; 4 – контргайка; 5 – регулировочный винт; 6 – шток; 7 – шайба; 8 – пружина; 9 – шайба мембраны; 10 – мембрана; 11 – клапан; 12 – кольцо резиновое

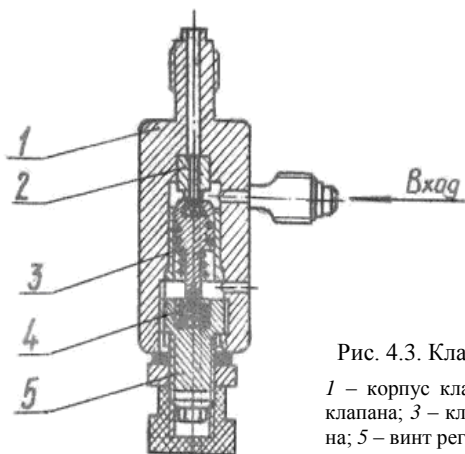


Рис. 4.3. Клапан отсечной:

1 – корпус клапана; 2 – седло клапана; 3 – клапан; 4 – пружина; 5 – винт регулировочный

Таблица 4.1

**Основные технико-экономические показатели котлоагрегата КВС-200**

Параметры		Величины параметров	
Тепловой поток, кВт (ккал/ч)		233(2 · 10 <sup>5</sup> )	
Температура воды в котле при включении горения:			
в закрытой системе отопления, К(°С)		348 ± 5 (75 ± 5)	
в открытой системе отопления, К(°С)		333 ± 5 (60 ± 5)	
Коэффициент полезного действия, %		90	
Топливо	Дизельное Л-0,2–62; ГОСТ 305–82	Моторное ДТ; ГОСТ 1667–68	
Расход топлива, кг/ч	22	23,5	
Давление топлива перед форсункой, МПа (кгс/см <sup>2</sup> )		1,6(16 ± 0,8)	
Температура наружной обшивки, К(°С)		313 (40)	
Температура уходящих газов, К(°С)		573 (300)	
Потребляемая мощность, кВт		3	
Масса котлоагрегата, кг			
сухого		1040	
в рабочем состоянии		1230	

Защита котлоагрегата осуществляется путем включения светозвуковой сигнализации, отработавшей в закрытой системе отопления, по верхнему предельному давлению воды в котле 0,13 МПа, по нижнему 0,08 МПа. При срыве факела время от погашения факела до закрытия электромагнитного клапана составляет 2 с. При срабатывании любой защиты происходит включение светозвуковой сигнализации, прекращается подача топлива к форсунке и отключаются электровентиль и топливный насос.

### 4.3. Система котлоагрегата

**4.3.1. Система автоматического управления, защиты и сигнализации.** Предназначена для поддержания температуры воды в рабочем диапазоне и обеспечения безопасной эксплуатации котлоагрегата. Она включает: щит автоматического управления; реле температуры и давления воды; фотореле; клапан электромагнитный; клапан предохранительный и редукционный для закрытой системы отопления; клапан топливный отсечной; звонок с лампой.

В качестве реле температуры и давления воды применено реле комбинированное КРМ. Реле предназначено для автоматического включения и отключения котлоагрегата при достижении предельных значений температуры воды в котле и для автоматического вывода из действия котлоагрегата при достижении предельно допустимых значений (верхнего и нижнего) давления воды в котле.

Фотореле предназначено для контроля за наличием факела в топке котла и прекращения действия котлоагрегата при срыве факела. И состоит из корпуса, в котором на панели крепится фоторезистор.

Щит автоматического управления предназначен для размещения элементов системы автоматического управления, защиты и сигнализации. Схема щита выполнена на печатных платах и состоит из плат: стабилизации напряжения; фотореле; реле времени и аварийной защиты.

Клапан топливный отсечной предназначен для прекращения подачи топлива к форсунке при падении давления в топливной системе.

Клапан электромагнитный предназначен для автоматической подачи топлива к форсунке котлоагрегата и является исполнительным органом (прекращает подачу топлива) по любому виду защиты.

Клапан предохранительный предназначен для сброса воды из котла при достижении давления открытия клапана.

Клапан редуционный предназначен для автоматической подпитки котла водой при понижении давления воды в котле.

**4.3.2. Топливная система** включает в себя: топливный насос, фильтры, клапан переливной (в корпусе насоса); радиационный подогреватель топлива, клапаны (электромагнитный, отсечной, предохранительный и сливной), форсунку, распределитель топлива, систему трубопроводов.

Распределитель топлива предназначен для промывки радиационного подогревателя дизельным топливом при работе котлоагрегата на моторном топливе. Промывка производится во время продувки топki перед включением котлоагрегата и после его отключения. Промывка радиационного подогревателя способствует уменьшению коксообразования моторного топлива на внутренних поверхностях змеевика.

Клапан сливной предназначен для слива топлива с радиационного подогревателя во время его промывки, а также предотвращает рост давления топлива, обусловленного его подогревом и темпера-

турным расширением от нагретых поверхностей отключенного котла. Клапан открывается при падении давления топлива до 0...0,2 МПа и закрывается при включении котлоагрегата.

#### **4.4. Характерные неисправности при эксплуатации**

**4.4.1. Не происходит пуск котла при включении переключателей** – проверить предохранители и при необходимости заменить. Проверить состояние контактов промежуточных реле и при необходимости произвести их чистку.

**4.4.2. При пуске котла не происходит воспламенение топливной смеси.** Отсутствие искры указывает на перегорание предохранителя в цепи трансформатора неправильность установки электродов зажигания, закоксовывание электродов или их обгорание. Необходимо заменить предохранитель. Или установить зазор в электродах  $5 \pm 1$  мм, зачистить их или заменить.

**4.4.3. Белый дым.** Указывает на большой избыток воздуха. Отрегулировать величину открытия воздушной заслонки.

**4.4.4. Черный дым** – недостаток воздуха или плохой распыл топлива вследствие засорения форсунки. Отрегулировать величину открытия воздушной заслонки или заменить форсунку. Снятую разобрать, почистить и промыть.

**4.4.5. Прерывистое горение, шипение и затухание факела, белый дым** – попадание воды в топливо.

**4.4.6. Резкий хлопок в топке при вводе котлоагрегата в работу** – взрыв паров топлива в топке. Провентилировать топку в течение двух минут при закрытом топливном клапане и выяснить причину попадания топлива в топку.

**4.4.7. Рост давления в отопительной системе** – выход из строя редукционного клапана. Необходимо заменить седло или мембрану.

**4.4.8. Погасание факела.** Вероятные причины: засорилась форсунка, большой избыток воздуха, попадание воды в топливо, закопилось стекло фотореле.

**4.4.9. При работе котлоагрегата по мере нагревания воды в котле происходит повышение давления и срабатывает защита по давлению.** Очевидно, в расширительном баке уменьшился объем воздушной подушки. Необходимо понизить уровень воды в расширительном баке до 2/3.

**4.4.10. Понижилось давление топлива перед форсункой ниже номинального.** Засорился фильтр или нарушена работа перепускного клапана топливного насоса. Необходимо почистить фильтр и отрегулировать перепускной клапан.

**4.4.11. При подаче напряжения на катушку клапан электромагнитный не открывается и при появлении искры не происходит розжиг котлоагрегата.** Основные причины – неисправность цепи питания электромагнита, катушка или диоды вышли из строя.

## 4.5. Организация проведения работы

Работа по регулированию и настройке приборов системы автоматического управления, защиты и сигнализации котлоагрегата КВС-200 проводится подгруппой студентов под руководством преподавателя и лаборанта в следующем порядке:

- ознакомиться с общим устройством котлоагрегата КВС-200 и его техническими характеристиками;
- ознакомиться с системами котлоагрегата и их назначением;
- изучить порядок работы системы автоматики котлоагрегата и конструкцию элементов автоматики;
- провести регулировку и настройку элементов системы автоматического управления, защиты и сигнализации;
- по окончании работы все требующиеся для работы инструменты, оборудование и материалы должны быть приведены в исходное состояние.

## 4.6. Содержание работы

В процессе эксплуатации котлоагрегата возникает необходимость в проведении технического обслуживания системы автоматического управления, защиты и сигнализации.

**4.6.1. Клапан топливный отсечной (см. рис. 4.3) состоит из корпуса, в котором расположен плунжер, установленный во**

**втупке и прижатый к седлу пружиной, и регулировочного винта.** Регулировочный винт фиксируется контргайкой и закрывается предохранительным клапаном. Под давлением топлива плунжер сжимает установочную пружину и открывает доступ топлива к форсунке. При падении давления топлива ниже заданного, на которое клапан регулируется установочной пружиной, под действием последней плунжер закрывает подачу топлива.

Регулировка клапана производится в следующем порядке:

- ослабить пружину отсечного клапана;
- включить котлоагрегат;
- переливным клапаном понизить давление топлива перед форсункой до давления отсечки топлива. Клапан прекращает подачу топлива к форсунке при давлении 0,8 МПа;
- винтом регулировочным клапана отсечного поджать пружину до тех пор, пока не произойдет отсечка топлива к форсунке;
- зафиксировать положение регулировочного винта контргайкой;
- переливным клапаном отрегулировать давление топлива перед форсункой.

**4.6.2. Клапан предохранительный (см. рис. 4.2) состоит из корпуса, в который ввернута крышка, прижимающая мембрану.** На мембране закреплен клапан, который пружиной прижат к седлу. Установочное натяжение пружины создается винтом регулировочным. Давление открытия клапана предохранительного  $0,17 + 0,02$  МПа, а закрытия не менее  $0,1 + 0,02$ .

**4.6.3. Клапан редуционный (см. рис. 4.1) состоит из корпуса и крышки, между которыми закреплена мембрана.** Корпус имеет две полости – «А» и «Б», разделенные клапаном, соединенным с мембраной. Полостью «А» клапан соединен с судовой системой подпитки, а полостью «Б» с котлом. На мембрану действует давление воды в котле и усилие пружин (регулируемой сверху и нерегулируемой снизу). При снижении давления в котле усилием пружины клапан открывается и подпиточная вода будет поступать в котел. При увеличении давления в котле, усилием на мембране клапан закроется и прекратит поступление воды в котел.

Регулировка клапана осуществляется регулировочным винтом, изменяющим усилие пружины на мембрану. Давление открытия клапана редуционного  $0,09 - 0,01$  МПа. Подпиточная вода очищается фильтром, установленным в полости «А».

**4.6.4. Проверку производительности форсунки необходимо производить в такой последовательности:**

- отсоединить топливный трубопровод от башмака форсунки;
- снять форсунку вместе с башмаком;
- подключить топливный трубопровод к башмаку, направить головку форсунки в мерную емкость;
- перевести работу котлоагрегата на ручное управление;
- запустить электровентильатор и топливный насос;
- открыть форсуночный клапан;
- через 3...5 мин закрыть форсуночный клапан;
- измерить объем топлива в мерной емкости;
- часовой расход топлива определить по формуле

$$B = \frac{3,6V_{\delta} \cdot \rho}{\tau} \text{ кг/ч,}$$

где  $V_{\delta}$  – объем топлива в мерной емкости за время испытаний, см<sup>3</sup>;

$\rho$  – плотность топлива, г/см<sup>3</sup>;

$\tau$  – время замера, с.

**4.6.5. Проверка действия системы аварийной защиты и сигнализации.** Производится на действующем котлоагрегате после каждого ремонта и ревизии приборов системы защиты и сигнализации, а также после снятия котлоагрегата с хранения свыше 30 суток, но не реже одного раза в год. Результаты проверки заносятся в вахтенный журнал и формуляр котлоагрегата.

Проверка защиты по горению производится путем перекрытия форсуночного клапана. При этом должно произойти закрытие клапана электромагнитного с одновременным включением аварийно-предупредительной сигнализации и последующей остановкой электровентильатора и топливного насоса.

Настройка и проверка предохранительного клапана осуществляется на действующем котлоагрегате. Повышение давления воды в котле достигается путем принудительного открытия редукционного клапана.

Проверка защиты по верхнему предельному давлению воды в котле производится после настройки предохранительного клапана путем увеличения подачи подпиточной воды в котел и принудительного открытия редукционного клапана. После проверки защиты отрегулировать клапан редукционный.

Проверка защиты по нижнему предельному давлению воды в котле производится снижением давления в котле за счет принудительного открытия предохранительного клапана или клапана продувания при закрытой подпиточной линии.

#### **4.7. Содержание отчета**

В отчете приводятся основные технические характеристики котлоагрегата, перечень инструментов и оборудования, используемого при настройке и регулировке системы автоматического управления, защиты и сигнализации.

Даются принципиальные схемы систем, наладка которых осуществляется при проведении работы. Сравниваются регулировочные параметры средств автоматики и защиты котлоагрегата, полученные при регулировке, с паспортными, а также делаются выводы о качестве регулировки и о влиянии регулировочных параметров на технико-экономические показатели котлоагрегата.

#### **Вопросы для самостоятельной работы**

1. Устройство котлоагрегата КВС-200.
2. Назначение и область использования котлоагрегата КВС-200.
3. Вспомогательные механизмы котлоагрегата.
4. Топливная система котлоагрегата.
5. Форсунка котлоагрегата, регулировка форсунки.
6. Система циркуляции горячей воды, управление работой циркуляционных насосов.
7. Система подпитки котлоагрегата.
8. Горение топлива и регулирование качества горения.
9. Техническое обслуживание котлоагрегатов и их систем.

#### **Контрольные вопросы**

1. При каких параметрах окружающего воздуха гарантирована работа вспомогательных механизмов и аппаратуры?
2. Основные технические характеристики и назначение котлоагрегата КВС-200.



3. Назначение и устройство основных узлов котлоагрегата.
4. Принцип работы системы автоматического управления, защиты и сигнализации.
5. Что означает система двухпозиционного регулирования?
6. Как оценить качество горения топлива в топке котлоагрегата?

## **5. Изучение автоматики паровых котлов типа КГВ**

### **5.1. Цель проведения работы**

Работа проводится с целью практического закрепления знаний, полученных студентами на лекциях по курсу «Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация флота» в разделе «Автоматизация котельных установок».

Перед студентами ставится задача по регулированию параметров всех элементов котлоагрегата на заданный преподавателем режим работы и привитию навыков поиска и устранения неисправностей в системе автоматики паровых котлов типа КГВ.

### **5.2. Порядок проведения работы**

Работа проводится бригадой студентов из 2–3 человек.

Для проведения работы применяется следующее оборудование, приборы, пособия: котлоагрегат КГВ 0,25/3-М; лабораторный стенд на базе элементов автоматики котла КГВ 0,5/5 и его принципиальная схема; принципиальные электросхемы блока автоматики и стенда; плаката и модели для изучения конструкции элементов автоматики; линейка длиной 30 см; ключ, отвертка и щуп.

Для успешного выполнения работы необходимо строго соблюдать принятую последовательность:

- убедиться в отсутствии питания на блоках управления;
- изучить принципиальную схему работы котлоагрегата и его автоматики;
- ознакомиться с блоком автоматики и его элементами на стенде;
- провести собеседование с преподавателем и получить индивидуальное задание на проведение регулировочных работ;

- в присутствии лаборанта выполнить задание с обязательным соблюдением правил техники электробезопасности, аккуратно и соответствующим инструментом;
- сдать выполненное задание лаборанту или преподавателю, которые принимают, подписывают его и выставляют соответствующую оценку;
- отключить питание на блок управления и разомкнуть электросхему в помеченных местах;
- составить подробный отчет по заданию с поясняющими рисунками и схемами;
- подготовить контрольные вопросы в устной форме и защитить работу у преподавателя.

### **5.3. Конструкция основных элементов котлоагрегата**

**5.3.1. Общие сведения о котлах типа КГВ.** Паровым котлом можно назвать всякий аппарат, приспособленный для получения водяного пара с давлением выше атмосферного.

Паровые котлы с замкнутым циклом работы предназначены для обеспечения нужд в насыщенном паре на судах нефтеналивного, транспортного и пассажирского флота.

Вся емкость котла делится на водяное и паровое пространство, т.е. в котле необходимо поддерживать оптимальный уровень воды, обеспечивающий нормальную работу котла и требуемую сухость (влажность) пара. По мере расходования пара надо пополнять котел водой. Пополнение (питание) котла водой может быть прерывным или непрерывным в зависимости от назначения котла, объема водяного пространства и других причин для каждого конкретного котла.

На вспомогательных котлах питание в основном прерывное, т.е. начало подачи с момента рабочего низшего уровня воды и прекращение при достижении верхнего уровня. Слежение за уровнем воды является наиболее важной задачей системы автоматизации котлов, так как и превышение и занижение уровней воды вызывают аварийную ситуацию.

Автоматический розжиг и постановка котлов осуществляется регуляторами давления пара, а слежение за горением – фотореле. Котлы оборудованы средствами защиты по превышению давления пара (предохранительный клапан) и от чрезмерного понижения уровня воды (легкоплавная пробка).

**Основные технические характеристики вспомогательного автономного газотрубного парового котлоагрегата КГВ-0,25/3**

Паропроизводительность, кг/ч		250
Рабочее давление пара, МПа		0,3
Тепловой поток, кВт		180
Степень сухости пара		0,98
Коэффициент полезного действия		0,80
Коэффициент избытка воздуха		1,22
Температура уходящих газов, °С		320
Температура питательной воды, °С		24
Поверхность нагрева, м <sup>2</sup>		4,1
Давление топлива перед форсункой, МПа		1,3
Топливо (марка, ГОСТ)	Моторное ДТ 1667–68	Дизельное Л-0,2-62 ГОСТ 305–82
Расход топлива, кг/ч	21	19
Удельная теплота сгорания низшая в рабочей массе топлива, кДж/кг	41 594	42 973
Диапазон рабочего давления пара, МПа	0,25...	0,35
Предельное давление пара, МПа		0,4
Рабочий уровень воды в котле от среднего, мм		± 20
Верхний и нижний предельные уровни воды в котле, мм		± 80
Масса котлоагрегата, кг:		
без воды		1300
с водой до среднего уровня		1490
Потребляемая мощность, кВт		2,5
Габаритные размеры, мм		1980×1410×1800

**5.3.2. Принцип работы котла.** Топливо, подаваемое насосом к форсунке, распыливается, перемешивается с воздухом от электро-вентилятора и сгорает в топке котла (жаровой трубе). Выделившееся при этом тепло передается через поверхности нагрева (жаровая труба, трубы дымогарные, днища) воде, находящейся в барабане котла, в результате чего происходит парообразование. Через парозаборную трубу пар отводится потребителю.

Котел цилиндрический горизонтально расположенный двух-оборотный состоит из следующих основных узлов (см. плакат): корпуса котла, камер газовых задней и передней, топочного устройства, рамы, термоизоляции и арматуры.

Корпус котла является сварным и состоит из обечайки, жаровой трубы, переднего и заднего днищ (к которым приварены дымогарные трубы), дымника, воротника задней газовой камеры, наружной и внутренней стенок камеры газовой передней, внутрикотлового устройства, а также приварного насыщения для арматуры.

Для интенсификации теплообмена внутри дымогарных труб 2-го газохода вставлены пристеночные завихрители из нержавеющей стали.

Дымник предназначен для отвода газов из второго газохода в дымовую трубу. На задней стенке дымника имеются две съемные крышки (правая и левая) для осмотра и чистки дымогарных труб второго газохода.

Внутри котловое устройство включает в себя:

- а) парозаборную трубу;
- б) устройство верхнего продувания;
- в) устройство нижнего продувания;
- г) успокаивающие листы;
- д) отбойный козырек питательной воды.

Парозаборная труба предназначена для отбора и сепарации пара. Через профильную щель пар поступает в парозаборную трубу. Отделившаяся при этом влага стекает в водяной объем котла.

Устройство верхнего продувания предназначено для удаления с зеркала испарения маслянистых веществ.

Устройство нижнего продувания служит для удаления из котла шлама, продуктов коррозии и для спуска воды с целью поддержания показателей качества котловой воды в пределах норм.

Успокаивающие листы расположены в водяном объеме котла вблизи зеркала испарения и служат для успокоения воды при килевой качке.

Отбойный козырек приварен внутри корпуса котла напротив питательного штуцера и служит для равномерного распределения питательной воды, поступающей в котел.

Камера газовая задняя образована частью заднего днища котла, цилиндрической стенкой (воротником) и крышкой задней газовой камеры и служит для изменения направления потока газов из топки в первый газоход.

Корпус крышки защищен от воздействия горячих газов топки футеровкой из торкретмассы.

В центре крышки установлен глазок для визуального контроля горения в топке. Глазок имеет обдув воздухом, предотвращающий перегрев и загрязнение стекла.

Камера газовая передняя образована частью переднего днища, наружной и внутренней стенками передней газовой камеры и фрон-

товым листом топочного устройства и служит для изменения направления потока газов из первого газохода во второй.

Устройство топочное состоит из следующих основных элементов:

- а) воздухонаправляющего устройства;
- б) форсунки;
- в) фурмы;
- г) электродов зажигания.

Воздухонаправляющее устройство предназначено для подачи воздуха закрученным потоком в топку котла и состоит из воздушного короба с крышкой и лопаточного аппарата.

На лопаточном аппарате со стороны топки установлен змеевик (радиационный топливоподогреватель).

На котлоагрегатах КГВ 0,25/3 и КГВ 0,63/5 подача воздуха устанавливается заслонкой (шибером) вручную.

Форсунка состоит из корпуса, ствола, распыливающей головки, прижимной втулки, распылителя. Топливо, подводимое к форсунке через башмак, проходя тангенциальные каналы распылителя, закручивается и распыливается в топку через прожимное отверстие.

Форсунки котлоагрегатов КГВ 0,25/3 и КГВ 0,63/5 имеют постоянную производительность.

В топке за лопаточным аппаратом для формирования факела и создания высокотемпературной зоны горения установлена фурма.

Электроды зажигания, установленные в обойме лопаточного аппарата, предназначены для воспламенения топливовоздушной смеси, поступающей в топку, и представляют собой два электрода из молибденовой проволоки, закрепленных в изоляторах и объединенных в блок.

Электроды зажигания соединены высоковольтным проводом с трансформатором зажигания.

Обечайка корпуса котла, передняя и задняя газовые камеры изолированы плитами и матрацами из супертонкого базальтового волокна и обтянуты асбестовым полотном. Поверх изоляции установлена металлическая обшивка.

Арматура котла включает в себя: клапан предохранительный, водоуказатель, клапан нижнего продувания, клапан верхнего продувания, клапан паровой стопорный, клапан питательный, клапан перепускной топливный.

Кроме перечисленной арматуры, на котлоагрегате установлена арматура для подключения приборов системы автоматического управления, а также арматура топливной и питательной системы.

Клапан предохранительный предназначен для защиты котла по аварийному давлению пара. Ручной привод подрыва клапана выведен на передний фронт котла.

Клапан предохранительный состоит из двух пружинных клапанов (секций), заключенных в один общий корпус с запрессованными седлами.

На нарезную часть седел накруты кольца, предназначенные для регулировки давления закрытия предохранительного клапана.

Тарелки имеют цилиндрические стаканы, входящие в крышки, благодаря чему пружины штока и другие детали предохранительного клапана изолированы от пара.

Тарелки клапанов прижаты к седлам пружинами через штоки, которые упираются наконечниками в тарелки.

Нажимными втулками создаются установочные натяжения пружин. Подрыв предохранительного клапана вручную осуществляется рычагом при помощи кулачков и колпачков.

Колпак связан со штоком при помощи чеки.

Водоуказатель со стеклом рифленным предназначен для наблюдения за уровнем воды в котле.

Продувание паровой полости водоуказателя производят при закрытом нижнем кране открытием верхнего крана и крана продувания.

Продувание водяной полости водоуказателя производят при закрытом верхнем кране открытием нижнего крана и крана продувания.

Продувание водоуказателя следует производить путем медленного открытия кранов для обеспечения равномерного прогрева стекла во избежание его растрескивания.

### ***5.3.3. Устройство и работа составных частей котлоагрегата и его систем.***

#### **Вспомогательные механизмы**

Электронасосный агрегат типа ЭПНМ представляет собой блок, состоящий из центробежно-вихревого насоса, упорно-опорной промежуточной части (проставки) и электродвигателя, служит для подачи питательной воды и устанавливается на судовой фундамент в вертикальном или горизонтальном положении. Подробно об электронасосе питательном см. «Электронасосный агрегат типа ЭПНМ. Паспорт».

Топливный насос ТЗН-3 шестеренчатого типа, одноступенчатый с приводом посредством клиноременной передачи от электродвигателя вентилятора.

Топливо, подводимое через всасывающий патрубок в приемную камеру, поступает в пространство между корпусом и зубьями шестерен.

Электровентилятор центробежного типа предназначен для подачи воздуха в топку и установлен на раме котлоагрегата на амортизаторах.

Система управления и автоматической защиты – см. плакат.

Система управления и автоматической защиты предназначена для автоматического управления процессами горения и питания, то есть поддержания заданных значений давления пара, давления топлива и уровня воды в котле на всех его нагрузках, а также прекращения горения в топке и включения аварийно-предупредительной сигнализации в автоматическом и ручном режимах работы при

пределном давлении пара в котле;  
минимальном давлении топлива перед форсункой;  
нижнем предельном уровне воды в котле;  
верхнем предельном уровне воды в котле;  
срыве и погасании факела.

Система управления и автоматической защиты включает в себя:

а) регулятор давления пара РДП-5А (АО или АОС) только для КГВ 1,0/5;

б) датчик уровня воды в котле типа ДУ-III;

в) реле давления РД1-ОМ5-02 или РДК-57;

г) реле давления РД1-ОМ5-03;

д) фотореле;

е) клапан электромагнитный;

ж) щит автоматического управления;

з) ревун;

и) дистанционный звонок с лампой и дистанционный выключатель (если они предусмотрены проектом судна).

Регулятор давления пара гидравлического типа предназначен для поддержания давления пара в котле в пределах 0,46...0,54 МПа (4,6...5,4 кгс/см<sup>2</sup>) и относительного соотношения «топливо – воздух» на нагрузках 35...100%.

Регулятор питания гидравлического типа предназначен для поддержания уровня воды в котле на всех нагрузках в пределах  $\pm 20$  мм от среднего уровня.

Датчик уровня воды ДУ-III предназначен для выключения котлоагрегата и включения аварийно-предупредительной сигнализации при достижении верхнего предельного и нижнего предельного уровня воды в котле  $\pm 80$  мм от среднего уровня. На котлоагрегатах КГВ 0,25/3 и КГВ 0,63/5 установлен второй датчик уровня, который предназначен для управления подачей воды в котел путем включения питательного насоса при низшем уровне воды в котле – 20 мм и выключения его при высшем уровне воды в котле + 20 мм по водоуказателю.

На котлоагрегате установлены три реле давления РДК-57:

а) реле рабочего давления – для поддержания давления пара в рабочем диапазоне включением и выключением котлоагрегата;

б) реле предельного давления – для прекращения горения при достижении предельного значения давления и включения аварийно-предупредительной сигнализации;

в) реле минимального давления топлива – для прекращения горения при снижении давления топлива до минимального значения.

### Приборы автоматического управления котлоагрегатом

На котлоагрегате смонтирован одноимпульсный, электромеханический, двухпозиционный регулятор, принципиальная схема которого представлена на рис. 5.1.

Рассмотрим регулятор уровня воды в котле (рис. 5.2). В корпусе измерительного устройства 1 (рис. 5.2, а) крепится мембрана 5 в сборе с грузами 3, ось мембраны упирается в рычаг передачи 2, на оси которой крепится рычаг 6 (рис. 5.2, а, б). В водозащищенном корпусе 4 на панели 7 расположены два микропереключателя 10. Импульсом для изменения уровня воды в баке является изменение высоты столба воды, действующего на мембрану 5. При нулевом уровне воды в баке горизонтальное положение мембраны обеспечивается массой грузов и силой натяжения пружины 9, которая одним концом крепится к рычагу 6, а другим к штоку указателя 8 деформации пружины, являющегося настроечным органом регулятора.



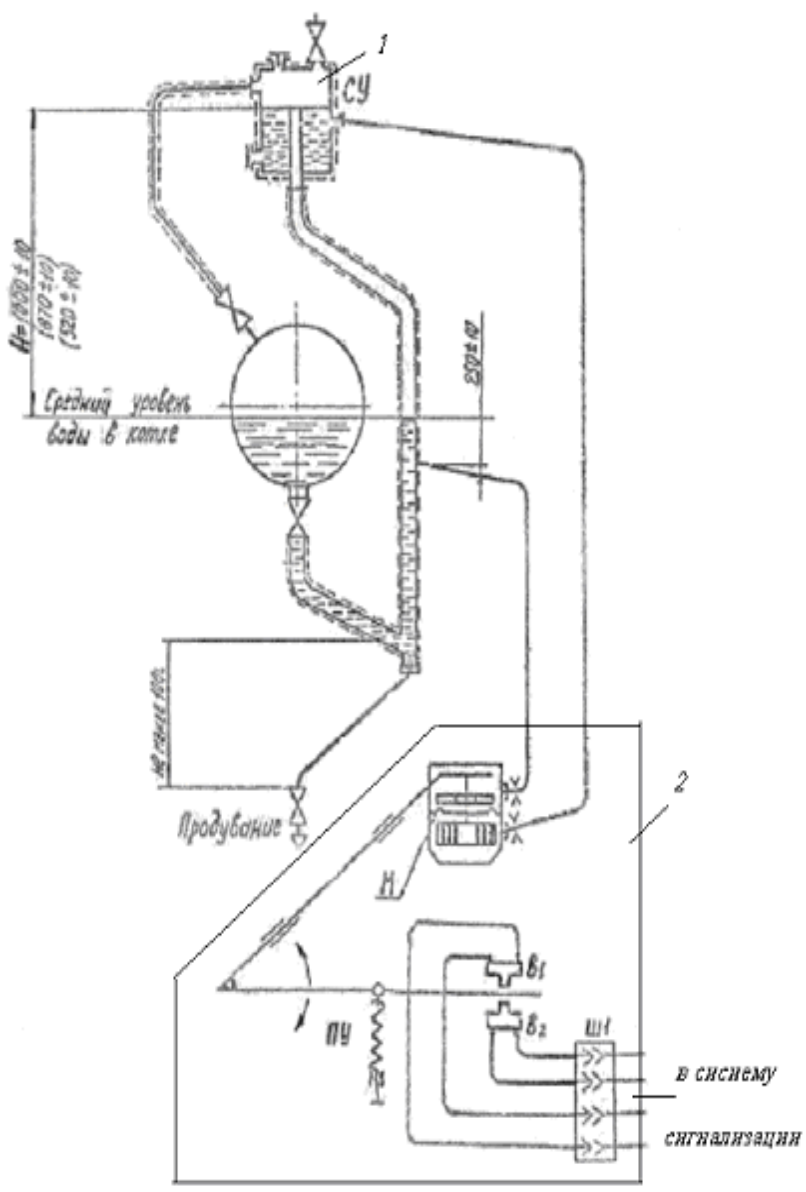


Рис. 5.1. Принципиальная схема ДУ-III

1 – сосуд уравнильный; 2 – датчик уровня (М – мембрана, ПУ – передающее устройство)

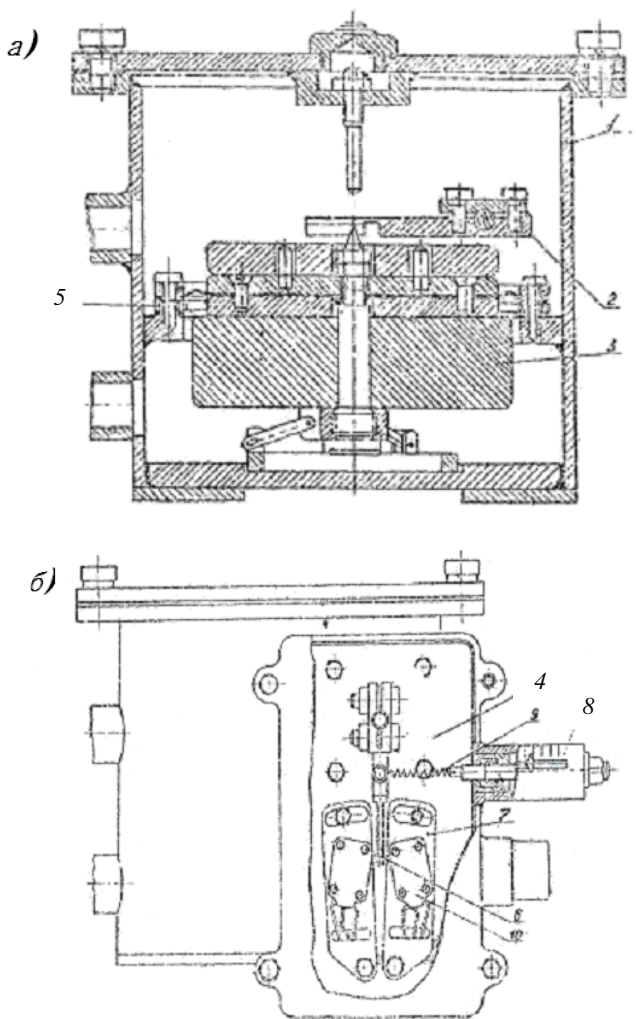


Рис. 5.2. Регулятор уровня воды в котле:  
*a* – в разрезе; *б* – общий вид

Рычаг *б* при нулевом уровне должен находиться строго в среднем (вертикальном) положении. При понижении уровня воды в баке до нижнего рабочего ( $-20$  мм) мембрана *5* прогибается вверх, так как давление сверху от бака при понижении уровня уменьшилось. Через передачу *2* поворачивается влево рычаг *б*, который нажимает на

подвижный контакт левого микропереключателя. Последний через промежуточное реле блока управления включает пускатель питающего насоса.

При увеличении уровня в котлоагрегате до верхнего рабочего (+30 мм) мембрана прогибается вниз, так как давление сверху будет больше, чем снизу от конденсационного сосуда. Рычаг 6 поворачивается вправо, нажимает на правый микровыключатель, который через промежуточное реле отключает электродвигатель питающего насоса. Конструкция регулятора аварийного уровня аналогична, но он перемещением микропереключателей настраивается на изменение уровня воды в диапазоне  $\pm 50$  мм от нулевого уровня и при предельных уровнях не включает насос, а выключает всю систему с подачей световой и звуковой сигнализации.

Пружина 9 служит для смещения диапазона регулирования по высоте водомерного стекла, то есть нулевая отметка на водомерном стекле может быть смещена, не изменяя диапазона регулирования. Диапазон регулирования устанавливается перемещением панелей микропереключателей.

Конденсационный бачок (рис. 5.3) в системе автоматической подпитки котла водой предназначен для поддержания постоянного давления под мембраной регуляторов питания рабочего и аварийного уровней. Бачок представляет собой цилиндрическую емкость с ввернутой снизу трубой и штуцерами для соединения его с паровым и водным пространствами котла и регуляторами питания. Уровень воды в бачке автоматически поддерживается постоянным, так как избыточная вода после возможной конденсации пара переливается в трубу, соединенную с водным пространством котла (принцип сообщающихся сосудов). Следовательно, давление  $P_c$  высоты столба воды (напор), действующее на мембрану регулятора снизу, будет постоянным на любом режиме работы котла.

На мембрану регулятора питания сверху действует переменное давление  $P_k$  высоты столба воды (напор) в баке. Давление пара в котле  $P_n$  величина переменная, но влияние на работу регуляторов уровня не оказывает, так как оно входит в составляющую сил, действующих на мембрану сверху и снизу.

На мембрану снизу действуют силы  $P_c + P_n$ , а сверху  $P_k + P_n$ .

В положении нулевого уровня в котле соблюдается равенство сил, то есть  $P_c + P_n = P_k + P_n$ , или  $P_c = P_k$ .

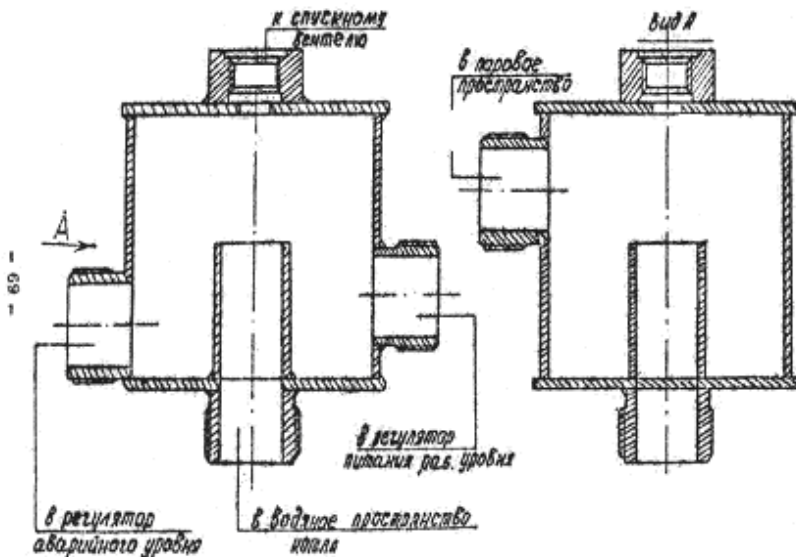
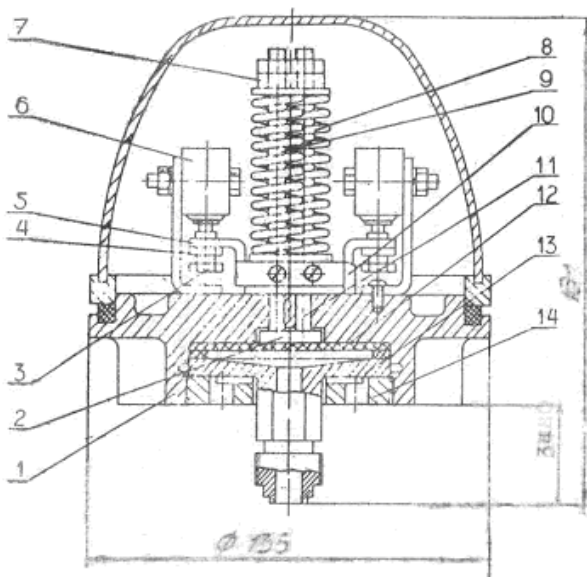


Рис. 5.3. Конденсационный бачок

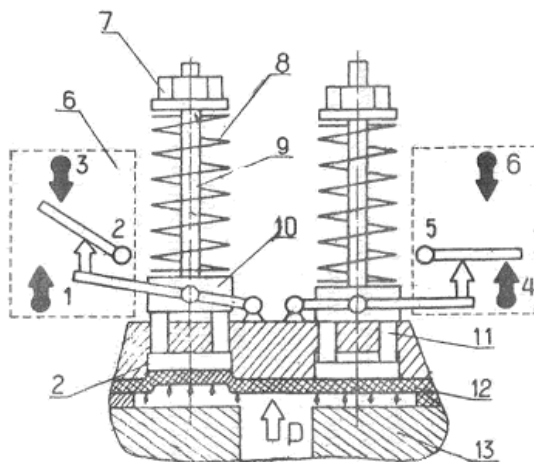
Реле давления (РД) является датчиком изменения давления пара в котле и предназначено для подачи сигнала на пуск и останов котла при достижении параметров пара, предусмотренных инструкцией по эксплуатации (рис. 5.4, а, б). Необходимо иметь два реле давления: рабочее и аварийное. Конструкция их одинакова, и отличаются они регулировкой зазоров в микропереключателях, таких, как и в регуляторе питания. Основные элементы: мембрана, передающее звено и микропереключатели. Регулировка производится натяжением пружины и изменением зазора.

Реле представляет собой конструкцию сдвоенного типа. Корпус 1 является базой для монтажа всех узлов и деталей реле. В нижней части корпуса установлены два поршня 2, колонки 11 и мембрана 12 (см. рис. 5.4).

Колонки поршня упираются в подушку 10. Мембрана, зажатая гайкой 14, предназначена для передачи давления, подаваемого через штуцер 13 на поршень механизма контактной системы, и для исключения возможности проникновения среды, на которой работает реле, внутрь корпуса. В верхней части корпуса расположены контактная система и регулирующее устройство. Контактная система



*a*



*б*

Рис. 5.4. Устройство (*a*) и схема работы (*б*) реле давления РДК-57:  
 1 – корпус; 2 – поршень; 3 – болт; 4 – гайка; 5 – шпора; 6 – микро-  
 выключатель; 7 – гайка; 8 – пружина; 9 – стержень; 10 – подушка;  
 11 – колонка; 12 – мембрана; 13 – штуцер; 14 – гайка

реле состоит из двух микровыключателей б типа МГК2101 и рычажной системы. Один из микровыключателей размыкает или замыкает цепь (в зависимости от подключения контактов) при нижнем, другой – при верхнем пределах давления.

Подвижный и неподвижный контакты микровыключателя помещены внутри карболитового корпуса и могут занимать только два положения, замыкая подвижный контакт с одним и размыкая его с другим неподвижным контактом.

Регулирующее устройство реле позволяет производить двухпозиционное регулирование пределов давления с изменением диапазона между ними.

Регулирующее устройство состоит из двух пружин 8, установленных на стержнях 9, жестко соединенных с корпусом. Одна из пружин предназначена для регулирования нижнего, а другая – для регулирования верхнего пределов давления. Регулирование достигается изменением степени сжатия пружин при помощи гаек 7. Болт 3 служит упором для кнопки микровыключателя, а гайка 4 – для законтривания этого болта.

Электрическая схема автоматического управления котлоагрегатом (рис. 5.5) работает следующим образом, при нижнем рабочем уровне воды в котле замыкается контакт КР<sub>1</sub> регулятора нижнего рабочего уровня РРУ воды в котле. Катушка К1 получает питание, и реле Р1 срабатывает, замкнув цепь питания своим контактом К<sub>1</sub> в цепи питания катушки К2 в цепи реле Р2. Через нормально замкнутый контакт регулятора КР<sub>2</sub> и нормально разомкнутый контакт К<sub>1</sub> катушка К2 получает питание и самоблокируется своим нормально разомкнутым контактом К<sub>2</sub>. Нормально разомкнутый контакт К<sub>2</sub> реле Р2 замыкает цепь питания лампочки ЛРН, сигнализирующей о работе питательного насоса.

При нижнем аварийном уровне воды в котле замыкается контакт КР<sub>3</sub> регулятора аварийного уровня РАУ воды в котле. Катушка К3 получает питание, реле Р3 срабатывает и замыкает нормально разомкнутый контакт К<sub>3</sub> в цепи питания лампочки ЛАНУ, сигнализирующей об аварийном уровне воды (нижнем) в котле.

Второй нормально разомкнутый контакт реле Р3 замыкает цепь питания звонка при включенном выключателе ВК. При предельном верхнем уровне воды в котле контакт КР<sub>4</sub> замыкается. Катушка К4 реле Р4 получает питание, и реле Р4 срабатывает и замыкает два нормально разомкнутых контакта в цепи питания лампочки ЛПВУ и звонка ЗВ. Выключатель ВК служит для отключения звонка.

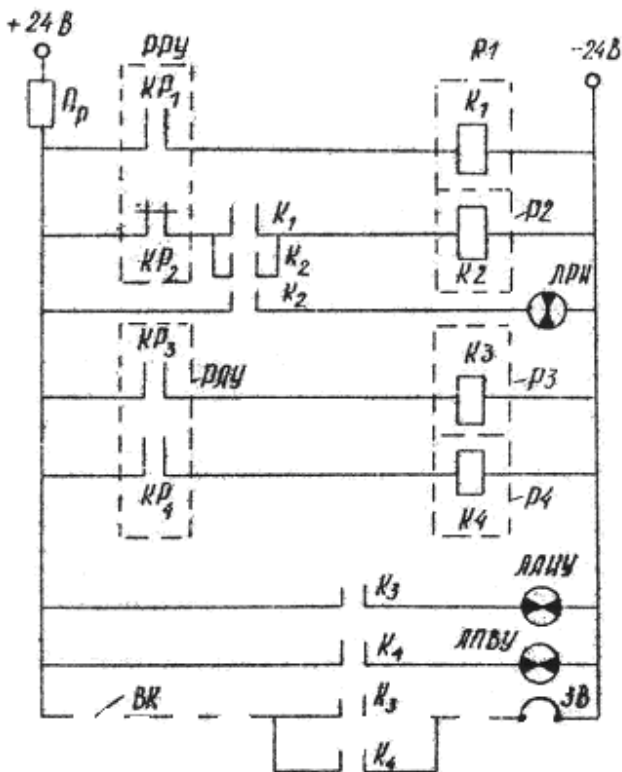


Рис. 5.5. Электрическая схема регулирования уровня воды

### Контрольные вопросы

1. Назначение и основные характеристики котла.
2. Виды питания котла водой.
3. В чем опасность снижения уровня воды в котле ниже низшего рабочего?
4. В чем опасность превышения уровня воды выше определенного?
5. Тип регулятора питания на котле КГВ 0,25/3.
6. Конструктивные отличия регуляторов рабочего и аварийного уровней.

7. Каким элементом регулятора можно изменить диапазон регулирования уровня воды относительно нулевой отметки?
8. Принцип работы регулятора питания.
9. Назначение, устройство и принцип работы конденсационного бачка.
10. Элементы защиты в котле от понижения и повышения уровней воды.
11. Сравнить и оценить регуляторы по чувствительности.
12. Пояснить электросхему стенда.
13. Пояснить на электросхеме и на стенде работу насоса питательной воды.
14. Назначение, устройство и работа регулятора давления в системе автоматике котла.
15. Система звуковой и световой сигнализации.

## **6. Теплотехнический контроль судового двигателя**

### **6.1. Общая часть**

Проведение теплотехнических испытаний на судах является сложной ответственной задачей, так как регулярный теплотехнический контроль – одно из условий правильной технической эксплуатации флота. Теплотехнический контроль содействует обеспечению надежности, долговечности и экономичности работы энергетической установки с высокими эксплуатационно-техническими показателями, помогает выявить и использовать резервы мощности, повышает рентабельность работы флота.

Теплотехнический контроль серийных теплоходов включает в себя проверку работы главных двигателей, скоростных и тяговых качеств судов. Теплотехнический контроль в навигационный период осуществляется как теплотехническими партиями, так и экипажами судов под руководством механика.

Основная задача настоящей работы заключается в проверке основных эксплуатационно-технических показателей судна на их соответствие паспортным значениям и проведение соответствующих регулировочных работ.



## 6.2. Цель работы

Ознакомить студентов с порядком проведения теплотехнического контроля, приемами выполнения необходимых замеров, методикой обработки результатов испытаний, их анализом и выработкой рекомендации по регулировке.

## 6.3. Организация проведения работы

Лабораторная работа выполняется самостоятельно группой студентов на среднеоборотном дизеле лаборатории кафедры ЭСЭУ с индикаторными кранами и гидротормозом.

Руководство и ответственность при выполнении работы возлагается на преподавателя кафедры СЭУ и заведующего лабораторией.

Ввиду обширности объема теплотехнических испытаний всего судна в данной работе ограничиваются проведением только контрольного испытания главного двигателя.

На судне студентам отводится роль теплотехнической партии, во главе которой избирается (назначается) механик, который согласно инструкции по эксплуатации несет ответственность за проведение испытаний и составляет протоколы, то есть эта работа выполняется на уровне деловой игры.

Вся работа разбивается на 4 этапа:

- работы, выполняемые до начала контрольных испытаний;
- контрольные замеры;
- обработка и анализ результатов испытаний;
- разработка рекомендаций для обеспечения экономичной работы дизеля.

## 6.4. Методика проведения контрольных испытаний

**6.4.1. При проверке и регулировке главных двигателей, которые выполняются до начала контрольного испытания, необходимо:**

- а) проверить форсунки на плотность и качество распыливания топлива, заменить или отремонтировать неудовлетворительно работающие;

б) определить зазоры в клапанном механизме каждого цилиндра (между роликом и кулачковой шайбой или между рычагом и штоком клапана); при обнаружении отклонений от норм довести их до величин, нормальных для двигателей данной марки;

в) проверить топливные насосы на герметичность и нулевое положение;

г) замерить давление сжатия  $p_c$  и максимальное давление цикла  $p_z$  по цилиндрам. При обнаружении отклонений от норм довести значение  $p_z$  до нормальных для двигателей данной марки и регулировки;

д) проверить равномерность распределения нагрузки по цилиндрам, оценивая ее по величине максимального давления цикла  $p_r$  и температуре выпускных газов  $t_{в.г.}$ .

**6.4.2. Регулировка главных двигателей** в судовых условиях должна производиться при номинальном в эксплуатации буксире (или толкаемом) составе для буксиров (и толкачей), полной грузовой осадке для грузовых судов и среднеэксплуатационной осадке для пассажирских теплоходов.

**6.4.3. Качество работы форсунок** проверяют на судовом стенде опрессовкой в соответствии с инструкцией по эксплуатации двигателя.

**6.4.4. Давление сжатия  $p_c$  и максимальное давление цикла  $p_z$**  по каждому цилиндру двигателя определяют индикатором. При помощи его снимают «гребенки», по которым подсчитывают давление с учетом применяемого масштаба.

На всех «гребенках» должны указываться дата и время замера, порядковый номер цилиндра, обозначение двигателя (левый, правый), масштаб пружины индикатора, температура выпускных газов цилиндра.

Для замера давлений в цилиндрах двигателей следует пользоваться индикаторами типа 30 или 50. При отсутствии индикатора разрешается пользоваться максиметром.

**6.4.5. Одновременно с определением  $p_c$  и  $p_z$  следует замерять температуру выпускных газов по цилиндрам высокоградусными термометрами или оттарированными термоэлектрическими пирометрами.**

Нормативные значения  $p_c$ ,  $p_z$  и  $t_{в.г.}$  для различных типов двигателей приведены в приложении I Руководства [7].

Если при проверке будет обнаружено, что величина максимального давления цикла по всем или отдельным цилиндрам не соответствует нормативной для двигателей данного типа в допускаемых пределах, то должна быть произведена регулировка двигателя с целью доведения показателей  $p_z$  до нормативных величин и обеспечения равномерного распределения нагрузки по всем цилиндрам.

При отклонении  $p_c$  по цилиндрам двигателя от нормативных значений в рапорте должен быть указан срок выполнения работ для доведения давления сжатия до нормативных величин.

Регулировку двигателя с целью доведения  $p_c$ ,  $p_z$  и  $t_{вг}$  до нормативных значений, определение качества работы топливной аппаратуры и нулевого положения насосов нужно выполнять в соответствии с руководством или инструкцией по эксплуатации двигателей данного типа.

## 6.5. Контрольные замеры

**6.5.1. Под контрольным замером следует понимать определение посредством приборов: температуры (выпускных газов, воздуха, воды, масла), давления (газов и воздуха в цилиндрах, масла в системе двигателя), частоты вращения и расхода топлива по двигателям, производимое несколько раз в течение короткого отрезка времени при постоянном режиме их работы.**

Частота замеров при контрольных испытаниях должна быть следующая: показания штатных приборов (термометров, манометров) – через каждые 5 мин, но не менее трех замеров; частота вращения главных двигателей – три замера за период испытаний; расход топлива по мерным бачкам – два-три замера за период испытаний.

**6.5.2. Контрольные замеры могут быть начаты не раньше чем через 1 ч после запуска двигателя, чтобы установился его температурный режим.**

Если в ходе испытаний была изменена частота вращения, то замеры могут быть начаты не раньше чем через 10–15 мин после установления необходимой для контрольных замеров частоты вращения. Нормальная продолжительность испытаний должна быть около 30 мин.

**6.5.3. Контрольные замеры необходимо проводить только на отрегулированных двигателях при условии хорошего распыливания топлива форсунками и нормальной работы топливных насосов.**

**6.5.4.** Контрольные замеры по грузовым и пассажирским судам в ходу следует проводить на прямом глубоководном участке реки или водохранилища при глубине судового хода, характеризуемого, как правило, отношением  $H/T_{\text{ср}} = 6 \div 8$ , где  $H$  – глубина фарватера в районе испытаний, м;  $T_{\text{ср}}$  – средняя осадка судна, м.

Меньшие значения  $H/T_{\text{ср}}$  относятся к судам, имеющим скорость хода до 19–20 км/ч, большие – к судам со скоростью хода выше 20 км/ч.

Не разрешается проводить испытания на глубинах, меньших, чем четыре осадки под днищем судна.

**6.5.5.** Испытания грузовых теплоходов необходимо проводить с грузом при полной грузовой осадке, пассажирских теплоходов – с грузом и пассажирами при среднеэксплуатационной осадке. Контрольные замеры по земснарядам следует выполнять при проектной длине плавучего рефулера и высоте поднятия его конца над поверхностью воды 2 м.

**6.5.6. При выполнении контрольных замеров по каждому двигателю необходимо определить:**

- а) частоту вращения коленчатого вала двигателя  $n$ , об/мин;
- б) температуру выпускных газов по цилиндрам  $t_{вг}$ , °С;
- в) температуру охлаждающей воды на выходе из двигателя  $t_{в}$ , °С;
- г) температуру масла на выходе из двигателя  $t_{м}$ , °С;
- д) давление масла после фильтра  $p_{м}$ , кгс/см<sup>2</sup>;
- е) плотность топлива  $\rho$ , кг/см;
- ж) время расходования топлива в объеме мерного бачка  $t$ , с.

Фактическую скорость грузовых и пассажирских теплоходов определяют, если теплотехнические испытания проводятся на мерной линии.

**6.5.7. Частоту вращения главных двигателей определяют посредством суммирующих счетчиков оборотов.**

У четырехтактных тихоходных двигателей допускается определение частоты вращения по числу качаний тяги или коромысла клапана. При этом частоту вращения подсчитывают по формуле

$$n = \frac{6000}{t},$$

где  $t$  – число секунд за 50 открытий клапана (качаний тяги или коромысла), определяемое по секундомеру.

У быстроходных и средней быстроходности двигателей частоту вращения определяют штатным или ручным тахометром.

**6.5.8. Температуру выпускных газов определяют ртутными высокоградусными термометрами, установленными в выпускном патрубке каждого цилиндра или оттарированными термоэлектрическими пирометрами.**

Если конструкция двигателя не позволяет замерять температуру газов по каждому цилиндру, то ее замеряют на выходе из выпускного коллектора.

**6.5.9.** Температуру охлаждающей воды и масла определяют штатными термометрами, а давление масла в системе двигателя после фильтра – штатными манометрами.

**6.5.10.** Плотность топлива определяют ареометром.

**6.5.11. Количество израсходованного топлива по объему определяют при помощи оттарированных мерных бачков.**

Часовой расход топлива  $G$ , кг/ч, подсчитывают по формуле

$$G = \frac{3600V\rho}{t},$$

где  $V$  – объем мерного бачка,  $\text{дм}^3$ ;

$\rho$  – плотность топлива,  $\text{кг/дм}^3$ ;

$t$  – время расходования топлива из мерного бачка, с.

**6.5.12.** При проведении теплотехнического контроля силами судовых команд эффективную мощность по данным контрольных замеров не подсчитывают. Загрузку двигателя оценивают по расходу топлива и температуре выпускных газов. Для двигателей, находящихся в хорошем техническом состоянии и имеющих нормальную регулировку, подсчет мощности может быть проведен в соответствии с Руководством [7].

## **6.6. Анализ показателей работы двигателей и оформление результатов теплотехнического контроля**

**6.6.1.** Анализ работы двигателя производят путем сопоставления фактических показателей, полученных при контрольных замерах, с показателями, которые должен иметь нормально работаю-

щий двигатель при частоте вращения, фактически достигнутой во время испытания.

**6.6.2.** Фактические показатели работы двигателя находят как среднее значение ряда последовательных контрольных замеров по каждому контролируемому параметру на одном режиме.

**6.6.3.** Нормативные значения контролируемых показателей давления сжатия и максимального давления цикла, температуры охлаждающей воды, температуры и давления масла, номинальной частоты вращения, температуры выпускных газов, среднего эффективного давления, эффективной мощности определяют по таблицам характеристик главных двигателей серийных теплоходов (см. приложение I Руководства) по таблицам эксплуатационно-технических показателей судов (см. приложения II–V), по типовым графикам стендовых винтовых характеристик и номограммам (см. приложение X), а нормальные значения контролируемых показателей часового расхода топлива, эффективной мощности – по паспортным характеристикам теплоходов (см. приложения VI–IX Руководства [7]).

## **6.7. Порядок проведения контрольных испытаний**

**6.7.1.** Механик распределяет обязанности между участниками испытаний, назначает ответственных за этапы выполнения.

**6.7.2.** По руководству бригадиров изучается подробно методика выполнения порученного этапа и составляются соответствующие рабочие бланки для записи результатов.

**6.7.3.** Проверяется исправность контрольно-измерительных приборов (штатных) и переносных).

**6.7.4.** Механик предъявляет преподавателю программу испытаний с указанием режима работы главного двигателя и его длительности.

**6.7.5.** Ответственный за выполнение работ до начала контрольных испытаний докладывает об окончании первого этапа и представляет механику соответствующий протокол по форме, указанной в [7].

**6.7.6.** Преподаватель и механик обходят наблюдателей на постах: частоты вращения; температуры выпускных газов; температуры охлаждения воды из двигателя; температуры масла на выходе из двигателя; давления масла после фильтра; плотности топлива; расхода топлива, убеждаются в их готовности к проведению контрольных испытаний, знакомят с программой.

**6.7.7.** Докладывают механику о готовности к испытаниям.

**6.7.8.** Контрольные замеры.

**6.7.9.** Обработка и анализ результатов.

**6.7.10.** Составление протокола согласно пунктам 6.5.12 и 6.6.

**6.7.11.** Выводы и рекомендации группы студентов по необходимым регулировочным работам.

**6.7.12.** Собеседование с участниками испытаний по контрольным вопросам.

### **Контрольные вопросы**

1. Задачи теплотехнического контроля судовыми командами.
2. Комплекс работ, входящий в теплотехнический контроль.
3. Виды теплотехнического контроля.
4. Эксплуатационно-технические показатели теплоходов и их главных двигателей.
5. Какие работы выполняются до начала контрольного испытания главных двигателей?
6. Какие условия нужно соблюдать при выполнении контрольных испытаний?
7. Что называется паспортной характеристикой судна?
8. Методы определения частоты вращения главных двигателей.
9. Методы определения часового расхода топлива.
10. Методы определения эффективной мощности главных двигателей.
11. Когда и каких показателей работы двигателя нужна корректировка?
12. Какие допустимые отклонения от нормальных для давления  $P_z$ ,  $P_c$ ,  $t_{02}$  и часового расхода топлива?
13. Основные приборы, используемые при теплотехнических испытаниях.

## Библиографический список

1. **Исаков, Л.И.** Устройство и обслуживание судовой автоматики : справочник / Л.И. Исаков. – Л. : Судостроение, 1989. – 296 с.
2. **Конаков, Г.А.** Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация флота: под общ. ред. Г.А. Конакова : учеб. для вузов водн. трансп. / Г.А. Конаков, Б.В. Васильев. – М. : Транспорт, 1980. – 423 с.
3. **Опанасенко, В.С.** Автоматизация судовых энергетических установок : учеб. пособие / В.С. Опанасенко. – М. : Транспорт, 1981. – 272 с.
4. **Толшин, В.И.** Автоматизация судовых энергетических установок : учеб. / В.И. Толшин, В.Л. Сизых. – 2-е изд., перераб. и доп.– М. : Консульт, 2003. – 304 с.
5. Российский Речной Регистр. Правила. В 4-х т. Т. 3. – М. : По Волге, 2002. – 419 с.
6. **Лебедев, О.Н.** Судовые энергетические установки и их эксплуатация : учебник для вузов водного транспорта / О.Н. Лебедев, С.А. Калашников. – М. : Транспорт, 1987. – 336 с.
7. Руководство по теплотехническому контролю серийных теплоходов / Минречфлот РСФСР. – М. : Транспорт, 1980. – 424 с.



## Оглавление

Введение.....	3
1. Судовая дизельная энергетическая установка и ее элементы	4
1.1. Цель проведения работы.....	4
1.2. Основные элементы и классификация дизельных энергетических установок.....	4
1.3. Размещение механизмов и оборудования в машинном помещении.....	6
1.4. Типы передач мощности.....	9
1.5. Судовой валопровод.....	16
Вопросы для самостоятельной работы.....	21
2. Проверка и регулировка комбинированных реле типа КРД	21
2.1. Цель проведения работы.....	21
2.2. Организация проведения работы.....	21
2.3. Техническое описание реле.....	22
2.4. Содержание занятия.....	26
2.5. Содержание отчета.....	30
3. Автоматизация вспомогательных дизель-генераторов.....	30
3.1. Цель проведения работы.....	30
3.2. Степени автоматизации двигателей внутреннего сгорания.....	30
3.3. Некоторые технические требования к автоматизируемым операциям и эксплуатационным характеристикам дизель-генераторов (ГОСТ 10032–80).....	33
3.4. Обработка осциллограммы.....	35
Контрольные вопросы по защите работы.....	38
4. Настройка и регулировка системы автоматики котлоагрегата КВС-200.....	38
4.1. Цель проведения работы.....	38
4.2. Технические характеристики котлоагрегата.....	38
4.3. Система котлоагрегата.....	41
4.4. Характерные неисправности при эксплуатации.....	43
4.5. Организация проведения работы.....	44
4.6. Содержание работы.....	44
4.7. Содержание отчета.....	47
Вопросы для самостоятельной работы.....	47
Контрольные вопросы.....	47

5. Изучение автоматики паровых котлов типа КГВ.....	48
5.1. Цель проведения работы.....	48
5.2. Порядок проведения работы.....	48
5.3. Конструкция основных элементов котлоагрегата.....	49
Контрольные вопросы.....	62
6. Теплотехнический контроль судового двигателя судовыми компаниями.....	63
6.1. Общая часть.....	63
6.2. Цель работы.....	64
6.3. Организация проведения работы.....	64
6.4. Методика проведения контрольных испытаний.....	64
6.5. Контрольные замеры.....	66
6.6. Анализ показателей работы двигателей и оформление результатов теплотехнического контроля.....	68
6.7. Порядок проведения контрольного испытания.....	69
Контрольные вопросы.....	70
<i>Библиографический список.....</i>	<i>71</i>

*Беспалов Валентин Иванович  
Пискунов Владимир Алексеевич  
Садеков Мансур Хасьянович*

**Эксплуатация судовых  
энергетических установок**

Лабораторный практикум

Редактор *Н.С. Алёшина*  
Корректор *Д.В. Богданов*  
Компьютерная вёрстка *М.Е. Савинова*

Подписано в печать 25.05.10.  
Формат бумаги 60×84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Гарнитура «Таймс».  
Ризография. Усл. печ. л. 4,5. Уч.-изд. л. 4,7.  
Тираж 400 экз. Заказ 537.

---

Издательско-полиграфический комплекс ФГОУ ВПО «ВГАВТ»  
603950, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а



} и часового расхода топлива.

13. Основные приборы, используемые при теплотехнических испытаниях.

### Библиографический список

1. **Исаков, Л.И.** Устройство и обслуживание судовой автоматики : справочник / Л.И. Исаков. – Л. : Судостроение, 1989. – 296 с.
2. **Конаков, Г.А.** Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация флота: под общ. ред. Г.А. Конакова: учеб. для вузов водн. трансп. / Г.А. Конаков, Б.В. Васильев. – М. : Транспорт, 1980. – 423 с.
3. **Опанасенко, В.С.** Автоматизация судовых энергетических установок. / В.С. Опанасенко. – М. : Транспорт, 198/1. – 272 с.
4. **Толшин, В.И.** Автоматизация судовых энергетических установок : учеб. –/ В.И. Толшин, В.Л. Сизых. 2-е изд., перераб. и доп.– М.: Консульт, 2003. – 304 с.
5. Российский Речной Регистр. Правила. В 4-х т. Т. 3. М. : «По Волге». 2002 – 419 с.
6. **Лебедев, О.Н.** Судовые энергетические установки и их эксплуатация / О.Н. Лебедев, С.А. Калашников. – М. : Транспорт, 1987. – 336 с.
7. Руководство по теплотехническому контролю серийных теплоходов. Минречфлот РСФСР. – М. : Транспорт, 1980. – 424 с.

## Оглавление

	Введение.....	
1.	Судовая дизельная энергетическая установка и ее элементы.....	
	1.1. Цель проведения работы.....	
	1.2. Основные элементы и классификация дизельных энергетических установок.....	
	1.3. Размещение механизмов и оборудования в машинном помещении.....	
	1.4. Типы передач мощности.....	
	1.5. Судовой валопровод.....	
	1.6. Вопросы для самостоятельной проработки.....	
2.	Проверка и регулировка комбинированных реле типа КРД.....	
	2.1. Цель проведения работы.....	
	2.2. Организация проведения работы.....	
	2.3. Техническое описание реле.....	
	2.4. Содержание занятия.....	
	2.5. Содержание отчета.....	
3.	Автоматизация вспомогательных дизель-генераторов...	
	3.1. Цель проведения работы.....	
	3.2. Степени автоматизации двигателей внутреннего сгорания.....	
	3.3. Некоторые технические требования из ГОСТ 10032–80 к автоматизируемым операциям и эксплуатационным характеристикам дизель-генераторов.....	
	3.4. Обработка осциллограммы.....	
	3.5. Контрольные вопросы по защите работы.....	
4.	Настройка и регулирование системы автоматики котло-	



	агрегата ГОАВ 68-1.....	
4.1.	Цель проведения работы.....	
4.2.	Технические характеристики котлоагрегата ГОАВ 68-1.....	
4.3.	Системы котлоагрегата.....	
4.4.	Характерные неисправности при эксплуатации....	
4.5.	Организация проведения работы.....	
4.6.	Содержание работы.....	
4.7.	Содержание отчета.....	
4.8.	Вопросы для самостоятельной работы.....	
4.9.	Контрольные вопросы.....	
5.	Изучение автоматики паровых котлов типа КВА.....	
5.1.	Цель проведения работы.....	
5.2.	Порядок проведения работы.....	
5.3.	Перечень индивидуальных заданий для самостоятельной работы на стенде.....	
5.4.	Конструкция основных элементов котлоагрегата..	
5.5.	Контрольные вопросы.....	
6.	Теплотехнический контроль судового двигателя.....	
6.1.	Общая часть.....	
6.2.	Цель работы.....	
6.3.	Организация проведения работы.....	
6.4.	Порядок проведения контрольных испытаний....	
6.5.	Контрольные вопросы.....	
7.	Диагностика технического состояния цилиндропоршневой группы двигателей внутреннего сгорания.....	
7.1.	Цель проведения работы.....	
7.2.	Приборы и оборудование, необходимые при проведении работы.....	
7.3.	Порядок проведения работы.....	
7.4.	Содержание отчета.....	
7.5.	Вопросы для самостоятельной работы.....	
	Библиографический список.....	