

С.В. Волин

СУДОВЫЕ КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ



Учебное пособие

**Одесса
2014**

*Учебное пособие разработано преподавателем специальных дисциплин высшей категории **Волиным Сергеем Владимировичем** для курсантов и студентов-заочников судомеханической специальности, обучающихся по специальности 5.07010403 «Эксплуатация судовых энергетических установок», квалификации «младший специалист» - механик (судовой).*

Направление подготовки «Морской и речной транспорт»

Отрасль знаний 0701 «Транспорт и транспортная инфраструктура»

_____ *С.В. Волин*

Рассмотрено и одобрено на заседании цикловой комиссии судомеханических дисциплин

Протокол № _____ от « ____ » _____ 2014 года

Председатель цикловой комиссии _____ *А.И. Охлобыстин*

ПРЕДИСЛОВИЕ

В процессе своей работы судовой механик вынужден сталкиваться с самым разнообразным энергетическим оборудованием, которым насыщено современное судно. Основное назначение судовой энергетической установки (СЭУ) – обеспечение движения судна. Кроме того, она служит для снабжения судна и судовых систем электроэнергией, паром, водой (питьевой, санитарной и технической) холодной и горячей, а также для управления судном, сохранения его мореходных качеств, производства грузовых операций, отопления, вентиляции и охлаждения жилых и служебных помещений, охлаждения грузовых трюмов (рефрижераторные суда), хозяйственно-бытовых помещений и др.

Все судовые силовые установки, включая установки, использующие ядерную энергию (атомоходы), являются теплосиловыми, т.е. в них совершается преобразование тепловой энергии, выделяющейся при сгорании топлива или делении ядер расщепляющихся элементов, в механическую работу.

Тепловые двигатели разделяются по роду рабочего тела, т.е. вещества, при расширении которого теплота превращается в работу. В двигателях внутреннего сгорания и газовых турбинах рабочим телом является смесь газов, получающихся при сгорании топлива. Рабочим телом паровых двигателей служит водяной пар.

Двигатели, предназначенные для вращения гребных винтов, называются *главными двигателями*. Для обеспечения паром главных паровых турбин (паровых машин – в настоящее время довольно редко) *устанавливаются главные паровые котлы*. Для удовлетворения различных потребителей в паре на теплоходах, *применяются вспомогательные паровые котлы*.

Если на судне в качестве главного двигателя установлен дизель, то такие суда называются *теплоходами* (суда всех типов), если в качестве главного двигателя установлена паровая машина, то эти суда называются *пароходами* (в настоящее время крайне редко – это небольшие раритетные прогулочные пассажирские суда и катера, небольшие пассажирские паромы).

Суда с главным двигателем паровой турбиной называются *паротурбоходами* (в основном – это крупнейшие быстроходные пассажирские суда, крупнотоннажные танкера, а также большие военные корабли старой постройки), а с главным двигателем газовой турбиной – *газотурбоходами* (некоторые быстроходные крупные контейнеровозы, специализированные суда: ро-ро, ло-ло, лихтеровозы, автомобилевозы и др., широко применяются на военноморских флотах всего мира). Что касается самой паровой турбины, то это пока единственный тип двигателя на судах и кораблях с ядерными силовыми установками – *атомоходах* (мощные ледоколы, подводные лодки, авианосцы, было построено несколько торговых судов).

Суда специального назначения (ледокольно-транспортные суда, паромы, специализированные суда, обеспечивающие газо-и нефтедобычу и др.) должны обладать очень высокими маневренными качествами. Поэтому на них широко применяется электродвижение, т.е. привод гребных винтов от главных гребных электродвигателей, такие суда называются *дизель-электроходами*. Для обеспечения электрической энергией главных гребных электродвигателей на судах с электродвижением устанавливаются главные электрические генераторы с приводом от двигателей внутреннего сгорания, редко – от паровых и газовых турбин.

Выбор типа СЭУ и конструкции главного двигателя производится в зависимости от мощности установки, назначения судна, условий его использования и т.д. От надежной работы СЭУ зависят безопасность плавания судна, выполнение им перевозок грузов и пассажиров, выполнение грузовых операций, жизнедеятельность и безопасность судового экипажа.

На судах имеются многочисленные вспомогательные механизмы. К ним относятся: судовые насосы, рулевые машины, якорные, швартовные и грузоподъемные механизмы, холодильные установки, котельная установка. Все эти механизмы и системы предназначены как для обеспечения работы силовой установки, так и для общесудовых нужд.

На современных судах вспомогательные механизмы имеют паровой, электрический, либо гидравлический приводы.

В состав СЭУ обязательно входит судовая электростанция, обеспечивающая все потребности судна в электроэнергии. Электрические генераторы приводятся в действие от

вспомогательных двигателей внутреннего сгорания (дизелей) или от вспомогательных паровых турбин. Соответственно агрегаты судовых электростанций называются дизель-генераторами или турбогенераторами. Иногда электрические генераторы имеют привод от главных двигателей (валогенераторы).

В состав СЭУ входят также различные теплообменные аппараты: конденсаторы, подогреватели, опреснители забортной воды, охладители масла, топлива, воды, пара и т.д.

В настоящее время лишь на очень немногих теплоходах в состав СЭУ не входит паровой котел той или иной конструкции. На дизельных танкерах обычно устанавливают два больших водотрубных котла, часто двухконтурного типа. Практически на всех судах установлен утилизационный котел, который существенно увеличивает экономичность всей СЭУ.

Вспомогательный и утилизационный котлы, как правило, входят в заведование 4-го или 3-го механика (котельных механиков), и в этом заведовании котлы занимают особое положение. Т.к. от правильной и безопасной эксплуатации котлов в соответствии с Правилами технической эксплуатации судовых паровых котлов (ПТЭ СПК), зависит безаварийная работа, как судовой энергетической установки, так и обеспечение нормальной жизнедеятельности судового экипажа и судна в целом.

В последнее время на небольших судах устанавливают масляные котлы (Thermal Oil System). В настоящем учебном пособии масляные котлы не рассматриваются, т.к. они не являются паровыми котлами.

Коротко, принцип работы масляных котлов следующий. Система представляет собой обычную замкнутую циркуляционную схему (рабочим телом служит масло) с расширительной цистерной, рабочее давление 6 – 8 бар (давление испытания – 10 бар.). В систему также входят два циркуляционных насоса, вспомогательный котел (снабжен топливо-форсуночным агрегатом типа «Монарх»), утилизационный котел. Котлы работают по отдельности, или в ходу судна в параллели (поддерживают друг друга). Из котла масло поступает к потребителям: подогрев топлива в танках и в топливоподогревателях, подогрев воды, на кондиционер и к другим потребителям тепла (как и в паровой системе судна). Если потребителей тепла мало, а температура масла растет (на ходу судна), в систему включен холодильник (DUMP COOLER) куда и направляется масло (охлаждение – водой). Рабочая температура масла в пределах 170 - 300° С. В системе используется специальное масло типа «Castrol-Thermal В».

В настоящем учебном пособии, рассчитанном на курсантов судомеханической специальности (дневного и заочного обучения) *квалификационного уровня младший специалист* основное внимание уделено рассмотрению конструкции и обслуживанию вспомогательных и утилизационных котлов, систем и установок в соответствии с Правилами технической эксплуатации, Правилами Квалификационных обществ, основанными на многолетнем опыте эксплуатации паровых котлов. Теоретические вопросы, например основы теории рабочих процессов, теории автоматизации и другие, изложены упрощенно, в объеме, необходимом лишь для уяснения принципов работы вспомогательной пароэнергетической установки, что вполне достаточно для уровня «эксплуатация». И занимать на судне должность «Вахтенный механик» (4 и 3 –й механик), на основании «Положений Международной Конвенции по подготовке, дипломированию моряков и несению вахты 1978 года» с поправками (ПДНВ – 78/95). В дальнейшем, продолжая обучение в морских ВУЗах более высокого уровня, курсанты смогут получить знания, необходимые для выполнения других функциональных обязанностей.

Историческая справка о развитии судовых паровых котлов

Создание и практическое применение паровых тепловых двигателей стали возможными благодаря развитию учения о теплоте, основы которого заложены М.В. Ломоносовым. Бурным развитием паротеплотехники был ознаменован XIX век, вошедший в историю как «Век пара».

В экономическом развитии России XIX век примечателен важнейшими техническими открытиями, которые внесли коренные изменения в организацию промышленного производства и транспорта. Начало этим преобразованиям было положено изобретением паровой машины. Первая попытка применить паровую машину в речном судоходстве была предпринята американским изобретателем Робертом Фултоном в Америке, где испытания построенного им для перевозки грузов и пассажиров стимбота (т. е. судна с паровой машиной) 11 августа 1807 г. дали положительные результаты. Этот колесный пароход получил название «Клермонт».

В 1813 г. Фултон обратился к русскому правительству с просьбой предоставить ему привилегию на постройку изобретенного им парохода и употребление его на реках Российской империи. 10 декабря 1813 г. в ответ на эту просьбу было дано такое высочайшее предписание министру внутренних дел: «Во уважение пользы, каковой можно ожидать от сего изобретения... выдать ему (Фултону — прим. авт.), или поверенному от него, таковую привилегию... В случае если бы Фултон сам, или поверенный его в течение трех первых лет не успели ввести в употребление в России, хотя одного судна, — данная привилегия считается недействительной».

Но три льготных года прошло, однако в России пароходов Фултон не создал. В 1815 г. он скончался, а в 1816 г. выданная ему привилегия была аннулирована.

Для использования паровой машины в качестве судового двигателя созрели все необходимые исторические предпосылки, и в России независимо от Фултона начались самостоятельные работы в этом направлении. Велись они параллельно, но независимо и почти одновременно в Петербурге и на Урале.

В 1811 году с поршневым двигателем в России был построен паровой дноуглубительный снаряд.

Первый русский пароход был построен на Неве в 1815 г. владельцем механиколитейного завода в Петербурге Карлом Бердом. Постройка парохода состояла в том, что в деревянную тихвинку (небольшое парусное судно) была установлена, изготовленная на заводе, балансирующая паровая машина изобретателя Уатта мощностью 4 л. с. и паровой котел, приводившие в действие бортовые колеса.

В газете «Сын Отечества» № 38 за 1815 г. в статье «Стимбот на Неве» дано подробное описание созданного Бердом парохода, где, в частности, приводятся его размеры: корпус длиной 60 футов (18,29 м), шириной 15 футов (4,57 м) и осадкой 2 фута (0,61 м). Гребные колеса диаметром 8 футов (2,44 м), имели шесть лопастей длиной 4 фута (1,22 м), закрепленных на спицах.

Машина делала 40 оборотов в минуту. В статье говорится: «К. Берд не построил для приложения паровой машины к судам нового судна, а только вделал сию машину в обыкновенную Тихвинскую лодку... По середине судна возвышается железная труба диаметром около фута и вышиною футов двадцать пять. При попутном ветре труба сия служит вместо мачты для поднятия паруса».

Осенью 1815 г. проходили испытания этого судна на Неве, а 3 ноября 1815 г. был совершен рейс из Петербурга до Кронштадта. Весь путь был пройден за 5 ч 20 мин со средней скоростью около 9,3 км/ч.

Путешествие это описано в статье морского офицера, в будущем адмирала Рикорда также в газете «Сын Отечества» № 46 за 1815 г., где он впервые применил в печати термин

“пароход”, нашедший всеобщее распространение. Название этого первого парохода в точности не установлено: по одним данным он назывался “Елизавета”, по другим “Фултон”, по третьим вообще не имел названия. На протяжении нескольких лет этот пароход курсировал между Санкт-Петербургом и Кронштадтом.

В какой степени проект парохода был разработан лично Бердом, сказать сейчас невозможно. Известно лишь, что в 20-х годах XIX в. для него проектировали и строили пароходы адмиралтейские мастера К. А. Глазырин и А. С. Михельсон. При постройке был, видимо, учтен и зарубежный опыт.

12 июня 1821 г. пароход, получивший название “Пожва” (по другим данным “Всеволод”), под управлением Н. О. Беспалова и мастера П. К. Казанцева отправился из Пожвы в Ярославль. В команде были 2 лоцмана, 3 слесаря, 1 кузнец, 2 столяра и 6 рабочих. 28 июня Беспалов сообщал, что, следуя от Камского устья до Казани, пароход шел “весьма медленно и для накопления паров часто временно останавливался...”

В числе созданных Бердом пароходов упомянут и построенный в 1820 г. пароход “Волга”. Его деревянный корпус имел длину 24,6 м, ширину 6,4 м, высоту борта 2,7 и осадку 1,3 м, а по обводам напоминал волжские расшивы. В корпусе была установлена сдвоенная паровая машина мощностью 60 л. с. и один общий паровой котел. Гребные колеса диаметром 4,5 м имели по 7 лопастей и делали 14—15 оборотов в минуту.

Началось строительство пароходов и на других реках. В 1823 г. в Киевской губернии в имении князя Воронцова был построен первый на Днепре пароход “Пчелка” мощностью 25 л. с. Через два года он был проведен через пороги в Херсон, откуда и совершал рейсы до Николаева.

Мало изменилось положение и в следующие десять лет. В 1831 г. на р. Мегре вытегорский купец И. Столбков, получив в 1830 г. привилегию на содержание пароходства на Белом и Онежском озерах с использованием машин, выпущенных Выксунским заводом, построил два парохода мощностью 45 и 50 л. с. (“Петр Великий” к “Николай I”). В 1834 г. на этом же заводе по заказу нижегородского купца Сомова был построен пароход “Выкса” мощностью 28 л. с., а в 1835 г. Астраханское адмиралтейство построило пароход “Святой Макарий”, установив на нем машину завода Берда мощностью 42 л. с.

Идея применения *турбины* в качестве главного судового двигателя связана с именем талантливого русского изобретателя инженера-механика П.Д. Кузьминского, который в 1892 году начал постройку опытной турбинной установки для быстроходного катера.

Английский инженер Ч.А. Парсонс в 1894 -1896 гг. установил на яхте «Турбиния» трехвальную турбинную установку.

При испытаниях «Турбинии» был выявлен ряд преимуществ судового турбинного двигателя по сравнению с паровой поршневой машиной.

Первым турбинным судном в России была военная яхта «Ласточка», построенная в 1904 году.

В 1912 г. с верфи Путиловского завода сошел на воду самый быстроходный в мире эскадренный миноносец «Новик» с турбинной установкой мощностью 2940 кВт, обеспечивающей ему скорость более 37 узлов.

С появлением турбин потребовались более высокопроизводительные агрегаты, генерирующие пар повышенных параметров. Начался этап разработки и внедрения более совершенных паровых котлов. Начался новый этап разработки и внедрения более совершенных водотрубных паровых котлов. Выдающаяся роль в их совершенствовании принадлежит конструктору В.И. Калашникову, под чьим руководством было построено более 150 котлов, инженеру В.Г. Шухову, чья разносторонняя деятельность была тесно связана с котельной техникой, В.Я. Долголенко, разработавшему конструкции ряда высокопроизводительных водотрубных агрегатов для кораблей военно-морского флота. Судовые котлы в России, а затем в СССР строили Путиловский (Кировский), Балтийский, Невский, Сормовский, Николаевский и другие заводы.

Одновременно с совершенствованием конструкций разрабатывались и теоретические методы расчетов пароэнергетических установок. Профессором И.А. Вышнеградским была

разработана механическая теория теплоты, инженером И.П. Алымовым – теория тяги, профессором В.И. Гриневецким – графический метод расчета.

Основное развитие котлостроения продолжалось с 20-х до 80-х годов XX века. Были созданы высокопроизводительные главные котельные агрегаты для паротурбоходов с рабочими параметрами пара: давлением до 120 кг/см^2 , паропроизводительностью до 100 т/ч, температурой перегретого пара свыше 550° , к.п.д. до 97 %. Эти котлы имеют развитые дополнительные поверхности нагрева (экономайзеры, воздухоподогреватели и пароперегреватели), на них установлены самые современные системы автоматического регулирования (САР) всеми процессами протекающими в котле, а также системы автоматического контроля, защиты и блокировки.

Но, в последние десятилетия развитие котлостроения было приостановлено в связи с удорожанием нефтепродуктов на мировом рынке. Ведь некоторые главные котлы (а их на паротурбоходе не менее двух) сжигают в своих топках до 100 т/сутки мазута.

Вспомогательные котлы вместе с утилизационными котлами теплоходов и газотурбоходов устанавливаются более чем на 90 % судов мирового флота и сейчас, т.к. необходимость в обеспечении паром СЭУ актуальна и в XXI веке.

Котельная установка судна, принцип работы Назначение, классификация паровых котлов Основные показатели работы котельной установки теплохода

Под паровыми котлами судовые механики понимают закрытые сосуды, содержащие жидкость (т.е. воду), которую путем подвода тепла превращают в пар заданного давления и температуры, т.е. – это теплообменный аппарат, преобразующий энергию органического топлива в энергию пара, используемую для нужд судна. Пар, полученный в котле, имеет давление выше атмосферного и используется для приведения в действие главных турбин, СВМ, а также для различных хозяйственно-бытовых нужд.

Котел или несколько котлов вместе с вспомогательными механизмами и устройствами составляют котельную установку.

Принцип действия котельной установки: топливо фильтруется, подогревается и топливными насосами подается в форсунки топочного устройства. Кроме топлива в топку одновременно подается воздух. В топке топливо перемешивается с воздухом, воспламеняется и сгорает. Образующийся при горении факел передает тепло первым рядам водогрейных трубок котла. Топочные газы, имеющие высокую температуру, передают своё тепло воде, находящейся в водогрейных трубок, а также другим элементам установки (пароперегревателю, экономайзеру, воздухоподогревателю) и охлажденные уходят по газоходам в дымовую трубу. На ряде судов для принудительного удаления газов устанавливают *дымососы*.

Паровые котлы, установленные на турбоходах (атомоходах) и предназначенные для производства пара, необходимого для работы главных паровых турбин и вспомогательного оборудования судна называются главными котлами (ГК).

На теплоходах и других судах (газотурбоходах, электроходах) паровые котлы служат для обеспечения паром некоторых СВМ, технологических, общесудовых и хозяйственно-бытовых потребителей. Эти котлы называют *вспомогательными котлами (ВК)*.

По виду используемой энергии котлы теплоходов (газотурбоходов) можно разделить на: *вспомогательные* (автономные), *утилизационные* и *вспомогательно-утилизационные*. Вспомогательные котлы, как правило, работают только на стоянке судна и при маневренном режиме судна, используя тепло, сжигаемого в топке топлива. В ходовом режиме судна работают, как правило, утилизационные котлы, которые используют тепло выпускных газов от СДВС или ГТУ. Вспомогательно-утилизационные (котлы с комбинированным отоплением и смешанного типа) объединяют в себе элементы как вспомогательного, так и утилизационного котла.

Котлы смешанного типа на ходу судна работают как утилизационные (используют тепло выпускных газов), а на стоянке – как вспомогательные, а также при недостаточной температуре выпускных газов или при непродолжительной остановке ГД (имеют общую поверхность нагрева).

С комбинированным отоплением – имеют отдельные поверхности нагрева (одна – для работы на выпускных газах, другая – на жидком топливе).

По конструкции (виду среды, которая движется в трубках поверхности нагрева) котлы делятся на *водотрубные* (вода движется внутри труб, а газы омывают их снаружи), *огнетрубные* (газы движутся внутри труб и камер, образующих поверхность нагрева, а вода – снаружи) и *огнетрубно-водотрубные* или комбинированные (включают в себя элементы водотрубных и огнетрубных котлов).

Некоторые марки котлов:

КВВА 2,5/5 Котел водотрубный вспомогательный. Паропроизводительность 2,5 т/час, рабочее давление пара 0,5 МПа.

КАВ 6,3/7 Котел автоматизированный водотрубный. Паропроизводительность 6,3 т/час, рабочее давление пара 0,7 МПа.

Поверхность, обогреваемая с одной стороны горячими газами, а с другой омываемая водой называется *поверхностью нагрева котла*.

Пространство котла, занимаемое водой (водяной барабан, трубки и нижняя часть пароводяного барабана) называется *водяным пространством котла*, а занимаемое паром (нижняя часть пароводяного барабана) – *паровым*.

Поверхность, разделяющая водяное и паровое пространство котла называется *зеркалом испарения*.

В паровом котле непрерывно происходят следующие процессы:

1. *Топочный процесс* – горение топлива в топке.
2. *Аэродинамический процесс* – непрерывная подача в топку воздуха и удаление продуктов сгорания топлива.
3. *Гидродинамический* – подача питательной воды в котел, и циркуляция в нем воды и пароводяной смеси вдоль поверхности нагрева.
4. *Теплопередача* – передача тепла от газов к нагреваемой среде через поверхность нагрева.

Основные характеристики и показатели работы котла:

1. *Паропроизводительность* (главный показатель работы котла) – количество пара, производимое котлом в течение 1 часа (т/час; кг/час – для малых котлов):
 - а) номинальная паропроизводительность – количество пара, которое котел может давать в течение неопределенно долгого времени;
 - б) максимальная паропроизводительность – достигается форсировкой котла, выше номинальной на 10 – 30 %.
2. *Параметры вырабатываемого пара*, т.е. его давление (МПа; кг/см²) и температура (t°). Указывается всегда давление пара по манометру – избыточное давление и температура (для перегретого пара). У насыщенного пара каждому давлению соответствует своя температура пара (температура насыщения), поэтому для него указывается и степень сухости пара.
3. *Вес котла с водой* в рабочем состоянии, и без воды (кг).
4. *Поверхность нагрева котла* (м²) со стороны газов и его отдельных узлов (пароперегревателя, экономайзера, воздухоподогревателя).
5. *Удельный паросъем* – характеризует интенсивность работы поверхности нагрева котла (кг/м² · ч):

$$d = \frac{D}{H},$$

где: D – паропроизводительность котла, кг/ч;
 H – площадь поверхность нагрева котла, м².

6. *Водосодержание* (ч) котла – отношение массы воды в котле (m_v) к его паропроизводительности (D):

$$\omega = \frac{m_v}{D}$$

Водосодержание определяет аккумуляционную способность котла, а, следовательно, его работоспособность при изменениях нагрузки на него. Значение водосодержания оп-

ределяет время, которое потребуется на испарение всей воды, содержащейся в котле, если его нагрузка соответствует расчетной паропроизводительности.

Чем меньше водосодержание, тем более заметны колебания уровня воды и давления пара при изменениях режима работы котла. При малом водосодержании надежная работа парового котла может быть обеспечена лишь автоматическим регулированием подачи воды в котел. Современные котлы имеют, как правило, небольшое водосодержание, т.к. сокращается время, необходимое для растопки и подъема давления пара в котле.

7. *Коэффициент полезного действия* котла – это отношение количества тепла, затраченного для производства пара, к количеству тепла, выделившегося при полном сгорании израсходованного топлива:

$$\eta_k = \frac{Q_1}{BQ_n^p} 100 \%$$

где: B – расход топлива, кг/ч;

Q_n^p - низшая теплота сгорания топлива, кДж/кг.

Коэффициент полезного действия характеризует экономичность работы парового котла и зависит от его нагрузки. Значение к.п.д. котла обычно дается применительно к определенному виду топлива и при заданном значении температуры питательной воды.

К.п.д. у ГК = 92 – 94%, а при использовании промежуточного перегрева пара = 96 – 97%.

К.п.д. у ВК = 72 – 87% (низкие значения к.п.д. объясняются отсутствием дополнительных поверхностей нагрева).

Устройство и принцип действия вспомогательных котлов

Основные разновидности вспомогательных котлов

По виду циркуляции пароводяной смеси в котле котлы делятся на котлы:

- а) с *естественной циркуляцией* – вода движется вследствие разности плотности пароводяной смеси в подъемных трубах и плотности воды в опускных трубах;
- б) котлы с *принудительной циркуляцией* – циркуляция в котле создается циркуляционным насосом.

Котлы с принудительной циркуляцией делятся на котлы прямоточные и котлы с многократной принудительной циркуляцией.

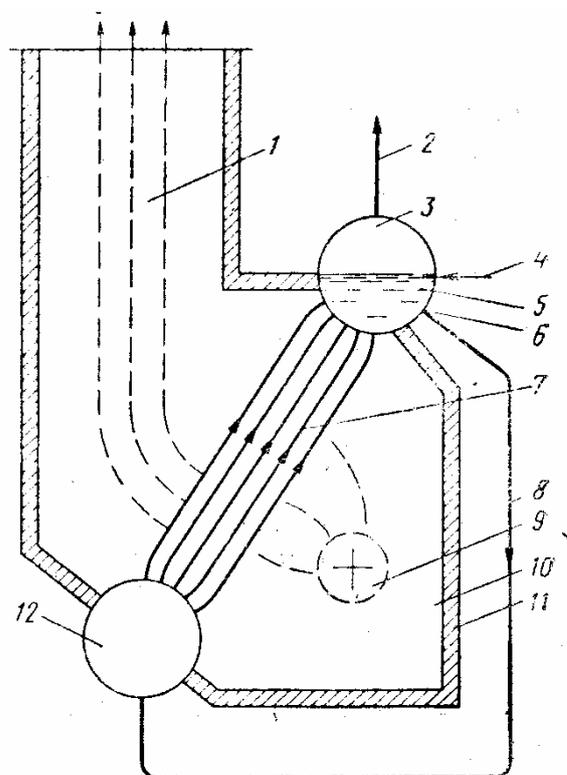
По конструкции котлы можно разбить на две большие группы: горизонтальные (в основном огнетрубные) и вертикальные (водотрубные и комбинированные).

В свою очередь вертикальные котлы можно различать по углу наклона трубок на:

- а) *вертикально-водотрубные или барабанные* – трубы располагаются внутри котла под углами от 30° до 90° , соединяя пароводяной и один-два водяных коллектора;
- б) *секционные или горизонтально-водотрубные* – трубы наклонены к горизонтали под углами от 15° до 22° , имеют только один пароводяной барабан.

Водотрубный котел

- 1 - газоход;
- 2 - паропровод;
- 3 - паровое пространство котла;
- 4 - зеркало испарения;
- 5 - часть водяного пространства котла;
- 6 - пароводяной коллектор;
- 7 - подъемные трубы;
- 8 - опускные трубы;
- 9 - топочное устройство;
- 10 - топка;
- 11 - футеровка котла;
- 12 - водяной коллектор.



Простейший водотрубный паровой котел представляет собою два цилиндрических барабана (водяной коллектор 12 и пароводяной коллектор 6, соединенных пучками водогрейных (подъемных) труб 7, заполненными водой и обогреваемыми горячими газами – продуктами сгорания топлива, и опускных труб 8. Опускные трубы бывают частично обогреваемыми и необогреваемыми. В топке 10, стенки которой выложены огнеупорным кирпичом 11 (футеровка котла), сжигается топливо с одновременным подводом воздуха и удалением продуктов сгорания топлива. В пароводяном коллекторе – зеркало испарения 4. Топочное устройство 9 для сжигания топлива состоит из форсунок, к которым топливо-форсуночным насосом подается топливо, и воздухо-направляющего уст-

ройства (ВНУ), через которое в топку непрерывно вентилятором подается воздух. Топочные газы, образующиеся при сгорании топлива, непрерывно уходят через газоход 1. Большая часть поверхности нагрева котла образована трубками 7. Для контроля за давлением пара в котле установлен манометр (на рисунке не показан). Он устанавливается на пароводяном коллекторе. Для контроля за уровнем воды – водомерное стекло (на рисунке не показано).

К потребителям пар отбирается через стопорный клапан в паропровод 2.

Пополнение котла водой осуществляется с помощью питательного трубопровода с питательным клапаном.

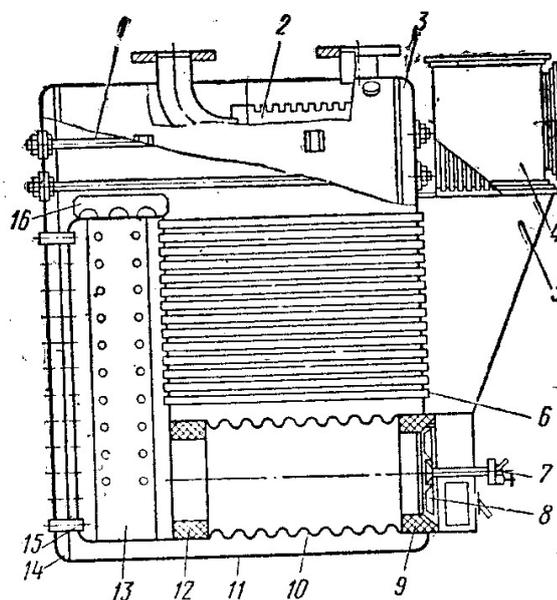
Если давление в котле превысит допустимое, пар автоматически стравливается предохранительным клапаном.

Для удаления воды из котла при осмотре или ремонте предусмотрен осушительный клапан.

Кроме этого, на паровом котле устанавливают необходимую арматуру, различные запорные, невозвратно-запорные и невозвратные клапаны, а также контрольно-измерительные приборы (КИП).

Огнетрубный котел

- 1 - длинные связи;
- 2 - паросепарирующее устройство;
- 3 - переднее днище;
- 4 - воздухоподогреватель;
- 5 - дымовая коробка;
- 6 - дымогарные трубы;
- 7 - форсунка;
- 8 - воздухонаправляющее устройство (ВНУ);
- 9 - переднее огнеупорное защитное кольцо;
- 10 - жаровая труба;
- 11 - барабан котла;
- 12 - заднее огнеупорное защитное кольцо;
- 13 - огневая камера;
- 14 - заднее днище;
- 15 - короткие связи;
- 16 - анкерные (потолочные) скобы.



Самым известным горизонтальным **огнетрубным** котлом является шотландский оборотный котел (во многих странах эти котлы называют *цилиндрическими котлами*). Компоновка котла остается неизменной в течении многих лет, хотя повышение давления привело к некоторому изменению соотношений размеров, а заклепочные соединения элементов уступили место сварным. Горизонтальные котлы шотландского типа могут достигать в длину 6 м и более.

Для сухогрузных судов выпускают небольшие горизонтальные котлы, вместо вертикальных водотрубных котлов обычных типов, т.к. оказалось, что они очень удобны для применения в составе установок с высокой степенью автоматизации. Компактные котлоагрегаты изготовляют паропроизводительностью до 15000 кг/ч, с расчетным давлением до 1,72 МПа и температурой пара 220 - 270°.

Корпус котла представляет собой барабан 11 с приваренными к нему передним 3 и задним 14 днищами. Огневая камера 13 образуется передней и задней стенками, шинельным листом и потолком 13. Длинные связи 1 соединяют днища котла, а короткие связи 15 – заднее днище котла и заднюю стенку огневой камеры, а также шинельные листы огневой камеры с барабаном котла. Они служат для предотвращения разрыва котла от давления воды и пара. Кроме того, имеется жаровая труба (топка) 10 и дымогарные трубы 6. Котел оборудован паросепарирующим устройством 2, воздухоподогревателем 4, дымовой коробкой 5, форсункой 7 и ВНУ 8.

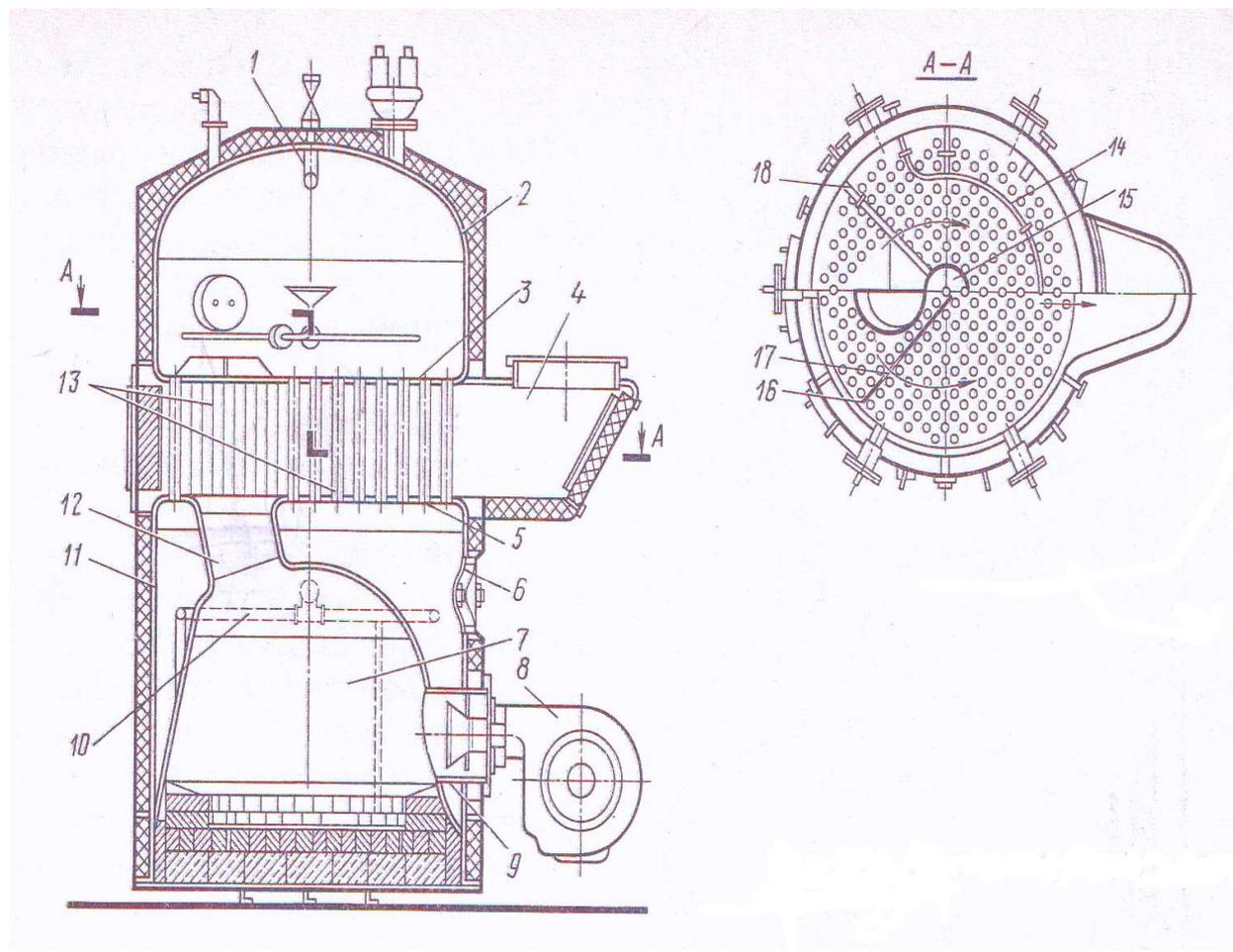
Жаровая труба котла имеет круглое поперечное сечение, позволяющее хорошо противостоять сжимающим усилиям от давления воды. В передней и задней частях выложены из огнеупорного кирпича кольца 9 и 12, предохраняющие соединительные швы от воздействия пламени. Жаровая труба котла имеет круглое поперечное сечение, позволяющее хорошо противостоять сжимающим усилиям от давления воды, обеспечивать необходимую эластичность для компенсации возникающих термических напряжений.

Огневая камера предназначена для сжигания летучих частиц, не сгоревших в жаровой трубе (топке), и поворота потока газов. Потолок огневой камеры крепится анкерными (потолочными) скобами 16 с помощью болтов.

Дымогарные трубы 16, составляющие основную часть поверхности нагрева котла, крепятся одними концами к переднему днищу котла, а другими – к передней стенке огневой камеры. Части переднего днища 3 котла и передней стенки огневой камеры, в которых установлены дымогарные трубы 6, соответственно называются передней и задней трубными решетками.

Топливо подается через форсунку в жаровую трубу, где сгорает, затем топочные газы проходят через огневую камеру (где догорают), дымогарные трубы (где отдают часть тепла омывающей трубы воде), дымовую коробку, воздухоподогреватель и уходят из котла.

Комбинированный котел VX



- 1 – парозаборное устройство;
- 2 – верхняя часть цилиндрического корпуса;
- 3 – верхняя трубная решетка;
- 4 – газоход котла;
- 5 – нижняя трубная решетка;
- 6 – лазы для доступа внутрь котла;
- 7 – сфероконическая топка;
- 8 – форсунка;
- 9 – патрубок для установки форсунки;
- 10 – труба нижнего продувания;

- 11 – верхняя часть цилиндрического корпуса;
- 12 – огневой патрубок;
- 13 – испарительные трубы;
- 14 – питательная труба;
- 15 – воронка для верхнего продувания;
- 16 – газонаправляющая перегородка;
- 17 – отверстие газонаправляющей перегородки;
- 18 – труба верхнего продувания;

Комбинированные котлы типа «VX» выпускаются разных типоразмеров, позволяют производить насыщенный пар с параметрами пара: паропроизводительность от 0,3 до 3,0 т/ч рабочее давление пара от 0,5 до 1,0 МПа. КПД котла = 75 %.

Котел сварной конструкции состоит из нижнего 11 и верхнего 2 цилиндрических корпусов трубными решетками 3 и 5, к которым приварены трубы 13. В нижний корпус вварена сферическая топка 7, имеющая огневой патрубок 12 для выхода газов, и патрубок 9, предназначенный для размещения топочного устройства. Там же расположена труба нижнего продувания 10. В верхнем корпусе котла размещены: питательная труба 14, парозаборное устройство 1, а также труба 18 с воронкой 15 (для верхнего продувания). Огнетрубную часть поверхности нагрева образуют стенки топочной камеры и патрубок 12. Водотрубную часть – трубы 13.

Продукты сгорания из топочной камеры по огневому патрубку направляются в межтрубное пространство, огражденное снаружи корпусом газохода 4. Газонаправляющая перегородка 16 с отверстием 17 обеспечивает двустороннее движение газов.

В качестве топочного устройства наиболее часто применяют топливно-форсуночный агрегат 8 типа «Monarch», обеспечивающий работу котла в полностью автоматическом безвахтенном режиме. Для доступа внутрь корпусов (для осмотра и ремонта) предусмотрены лазы 6.

Основным преимуществом котлов типа «VX» является простота устройства, однако из-за отсутствия хвостовых поверхностей нагрева КПД таких котлов невысок.

Основные требования к вспомогательным котлам:

1. Минимальная масса и размеры.
2. Простота устройства.
3. Надежность в эксплуатации.
4. Невысокие требования к качеству питательной воды.
5. Возможность работы в автоматическом режиме (безвахтенное обслуживание).
6. Быстрый переход с одного режима работы на другой.

Преимущества водотрубных котлов перед огнетрубными:

1. Меньшее время подъема пара до рабочего давления (водотрубный 1,5 – 3 час., огнетрубный 4 – 24 час., т.к. в водотрубном котле меньше количество воды и хорошая циркуляция).
2. Более высокая паропроизводительность и высокие параметры пара.
3. Менее взрывоопасны из-за намного меньшего количества воды в котле. В случае разрыва трубки содержащаяся в котле вода выходит со скоростью, определяемой сечением трубки. В котле шотландского типа разрыв жаровой трубы вследствие перегрева приводит к практически мгновенному поступлению до 20 т воды из котла в МО.
4. Меньшая масса – соотношение масс огнетрубного и водотрубного котлов при равных поверхностях нагрева и рабочих уровнях воды ~ 3:1.
5. Водотрубный котел менее чувствителен к изменению давления пара. Конструктивно в огнетрубном котле, возникают механические напряжения (вследствие вялой циркуляции воды, особенно при подъеме пара), которые способствуют ослаблению многочисленных фланцевых соединений (болтовых, клепаных или сварных). Эти недостатки отсутствуют в водотрубном котле благодаря интенсивной циркуляции воды и «податливой» механической конструкцией – более «гибкой».

Преимущества огнетрубных котлов перед водотрубными:

1. Воды в котле больше его часовой паропроизводительности, поэтому изменение уровня воды от рабочего до минимально допустимого уровня происходит, намного медленнее, чем у водотрубного котла. Следовательно, отпадает необходимость применять более сложные и дорогостоящие системы автоматического регулирования, и меньше вероятность упуска воды из котла.
2. Более низкие требования к качеству питательной воды, чем у водотрубных (у водотрубных котлов, при отложении накипи на поверхности нагрева, создается опасность перегрева металла труб, что в конечном итоге может привести к их пережигу и разрыву).
3. Более высокая степень сухости пара вследствие невысокой интенсивности парообразования.
4. Менее «капризны» в эксплуатации.

В конечном итоге, при приблизительном равенстве достоинств и недостатков на большинстве сухогрузных судов большее применение нашли водотрубные котлы, хотя некоторые зарубежные судостроительные компании отдают предпочтение огнетрубным котлам, если на судне нет потребности в большом количестве пара.

Комбинированные котлы, в принципе, в своей конструкции соединили в себе все лучшее из конструкции водотрубных и огнетрубных котлов. Поэтому, такие котлы широко применяются в качестве вспомогательных котлов на судах, где невелики потребности в паре. При установке на этих котлах соответствующей САР (системы автоматического регулирования) полностью отвечают поставленной задаче по выработке пара соответствующих параметров, полностью обеспечивающие потребности судна в паре.

Особо выделяются вспомогательные котлы, *установленные на танкерах с главной дизельной установкой*. На этих судах большие потребности в паре объясняются их назначением, а это:

а) в качестве привода грузовых насосов (перекачивающих груз – нефтепродукты) используются паровые турбины. Это связано с тем, что необходимо выдавать груз непрерывно в течение 8 – 16 часов, необходимы насосы большой мощности ~ 10 000 КВт и более – может не хватить мощности судовой электростанции, и экономически не выгодно использовать электропривод. Поэтому, используется либо турбопривод, либо гидропривод;

б) Регистр запрещает использование на танкерах (перевозящих сырую нефть) и газовозах палубных механизмов с электроприводом. Допускается лишь в том случае, если длина передаточного вала электродвигателя не менее 2 м, электродвигатель находится в изолированном помещении и вал, проходя через переборку, имеет искрогасящий сальник. Поэтому, в качестве приводов палубных механизмов применяются вспомогательные турбоприводы и гидроприводы;

в) большое количество пара уходит на подогрев груза, подогрев воды для мойки грузовых танков, на пропаривание грузовых танков.

Поэтому, вспомогательные котлы на крупнотоннажных дизельных танкерах по размерам и компоновке поверхности нагрева близки к главным котлам.

Также на танкерах устанавливают высокопроизводительные утилькотлы, которые в ходовом режиме судна обеспечивают все потребности в паре вспомогательных механизмов, технологических и хозяйственно-бытовых систем. Установка на таких утилизационных котлах пароперегревательной секции позволяет обеспечить перегретым паром ходовой турбогенератор – получать электроэнергию, не затрачивая на её получение жидкое топливо в дизель-генераторах, а используя для этого теплоту уходящих газов главного двигателя.

Теплообмен в паровых котлах

Назначение поверхности нагрева котла состоит в передаче тепла от газов воде, пару и воздуху, т.е. *теплопередачей*, когда тепло от газов передается среде с меньшей температурой. Тепло передается тремя способами: излучением, конвекцией и теплопроводностью.

Теплопроводность – это вид теплообмена внутри тела путем непосредственного соприкосновения между частицами, имеющими разную температуру.

Процесс передачи тепла излучением называется *радиационным (лучистым) теплообменом*. При радиационном теплообмене теплота от одного тела другому передается с помощью электромагнитных волн определенной длины. При этом соприкосновения тел не требуется. Поверхности нагрева воспринимающие тепло в виде радиационной энергии, называются *радиационными (лучевоспринимающими)*. Радиационные поверхности нагрева, расположенные на стенках топки, называются *экранами*. При радиационном теплообмене тепло передается поверхности нагрева котла, обращенной к топке, которая воспринимает излучение факела форсунки. К ним относятся трубы первого ряда бокового экрана и трубы первого ряда притопочного пучка (в огнетрубных котлах – жаровые трубы и огневые камеры).

Передача тепла от одного тела другому путем перемещения теплоносителя называется *конвекцией*. При *конвективном теплообмене* теплота распространяется вместе с частичками теплоносителя, т.к. нагретые и холодные частички взаимно соприкасаются. Конвективный теплообмен иногда называют *теплопередачей соприкосновения*.

Трубы, омываемые газами, называются *конвективными* (в огнетрубных котлах – это дымогарные трубы).

Радиационный теплообмен во много раз интенсивнее, чем конвективный. При нем обеспечивается съём пара с единицы поверхности нагрева в несколько раз больший, чем при конвективном.

Из уравнения теплопередачи количество тепла, переданного газами через поверхность нагрева котла нагреваемой среде (воде, пару, воздуху):

$$Q = KH\Delta t_{cp},$$

где: Δt_{cp} – разность средних температур газов и воды или *температурный напор*;

H – площадь поверхности нагрева, m^2 ;

K – коэффициент теплопередачи, $ккал/m^2 \text{ час } ^\circ C$

$$\Delta t_{cp} = 0,5(t_1 + t_2) - t_k$$

где: t_1 и t_2 – температуры дымовых газов до и после поверхности нагрева, $^\circ C$;

t_k – температура кипения воды в котле при рабочем давлении, $^\circ C$.

Коэффициент теплопередачи K , показывает, какое количество тепла в $ккал$ передается за 1 час от газов воде через поверхность нагрева в $1 m^2$ при разности температур между водой и газами в $1 ^\circ C$.

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\kappa_1} + \frac{\delta_2}{\kappa_2} + \frac{\delta_3}{\kappa_3} + \frac{1}{\alpha_2}} \text{ ккал}/m^2 \text{ час } ^\circ C,$$

где: α_1 и α_2 – коэффициенты теплоотдачи от газов поверхности нагрева и от поверхности нагрева воде, показывающие, какое количества тепла в $ккал$ передается в 1 час от газов поверхности нагрева в $1 m^2$ или от поверхности в $1 m^2$ воде при разности температур в $1 ^\circ C$ (обычно $\alpha_1 = 15 \div 30$, $\alpha_2 = 4000 \div 6000 \text{ ккал}/m^2 \text{ час } ^\circ C$), большие значения α_1 соответствуют более высоким скоростям газов по газходам;

δ_1 – толщина стального листа, представляющего поверхность нагрева, m ;

δ_2 – толщина слоя золы, м;

δ_3 – толщина слоя накипи, м; если поверхн. нагрева чистая, то $\delta_2 = \delta_3 = 0$;

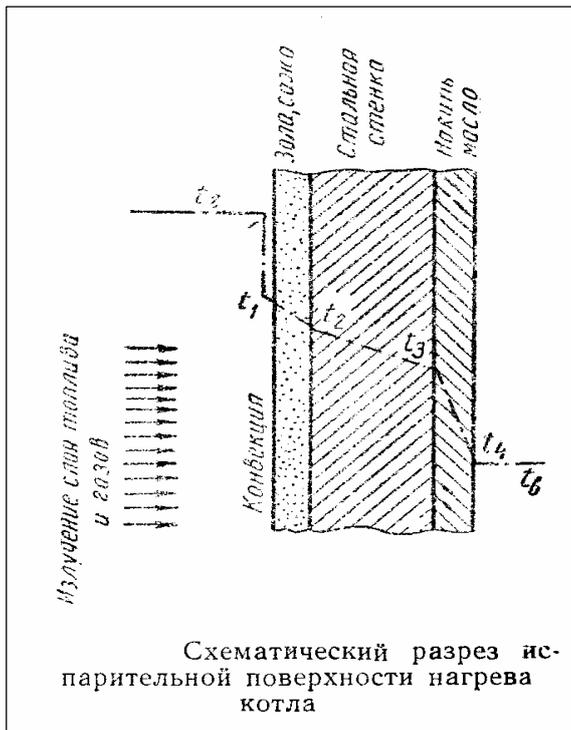
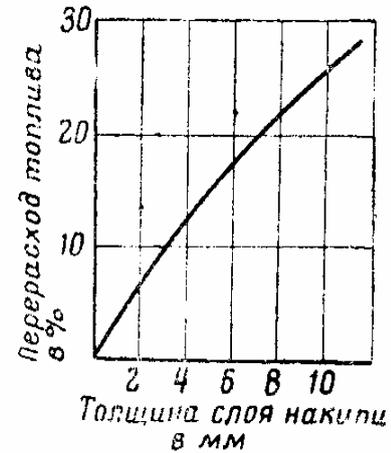
κ_1 , κ_2 и κ_3 – коэффициенты теплопроводности стального листа, золы и накипи; коэффициент теплопроводности показывает, какое количество тепла в ккал проходит через стенку в 1 м^2 при толщине её в 1 м и разности температур в 1°C в течении часа.

Значения коэффициентов теплопроводности “к” для некоторых материалов, встречающихся в котельной практике:

Медь	330 – 335
Сталь	40 – 50
Зола	0,06 – 0,10
Гипсовая накипь	1 – 3
Сажа	0,06 – 0,10
Масло	0,10

Низкая теплопроводность золы, сажи и накипи обуславливает неэкономичную работу загрязненных поверхностей нагрева

котла. Чем толще слой золы, сажи и накипи, тем хуже теплопроводность, тем меньше количества тепла будет передано от газов воде. Температура уходящих газов при этом повысится, что снизит к.п.д. котла; для выработки одного и того же количества пара потребуется сжигать больше топлива.



Наличие на поверхности нагрева слоя накипи или масла вредно не только тем, что приводит к перерасходу топлива.

Переход тепла от газов с температурой t_2 (см. схематический разрез трубы) к воде возможен только при условии $t_2 > t_6$ (t_6 – температура воды). Температуры на внешних и внутренних поверхностях сажи, металла и накипи (t_1 , t_2 , t_3 и t_4) – будут связаны неравенствами: $t_1 > t_2 > t_3 > t_4$. Увеличение толщины слоя сажи будет ухудшать переход тепла от газов к поверхности нагрева, и температуры металла t_2 и t_3 уменьшатся – экономичность котла снизится, но это еще полбеды.

А вот увеличение толщины слоя накипи ухудшит переход тепла от поверхности нагрева к воде и температуры металла t_2 и t_3 увеличатся. Это приведет к снижению не только экономичности, но и надежности работы котла.

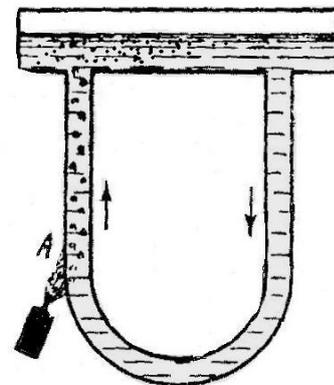
Поэтому, при увеличении толщины слоя сажи, накипи или масла ухудшится переход тепла от поверхности нагрева к воде. Это повлечет за собою

перегрев стенок поверхности нагрева котла. При перегреве стенки поверхности нагрева возможны *выпучины* и даже *разрывы* под большим давлением пара, а также *пережог* трубок котла.

Циркуляция воды в котлах

Если U-образную трубку, верхние концы которой присоединены к сосуду с водой, подогреть в точке A , то повышение температуры приведет к уменьшению удельного веса воды в этом месте.

Более легкие частицы горячей воды будут подниматься вверх по левому колену, а более тяжелые – опускаться вниз по правому. Появляются, таким образом, восходящие и нисходящие потоки, распространяющие тепло по всей массе воды, заполняющей сосуд. Это явление будет усиливаться по мере увеличения подогрева и появления пузырьков пара, т.к. удельный вес пароводяной смеси значительно меньше удельного веса воды. Аналогичное явление происходит и в котлах.



Циркуляция воды обеспечивает прочность металлических поверхностей нагрева. Т.е. надежность работы котла путем интенсивного охлаждения стенок обогреваемых труб.

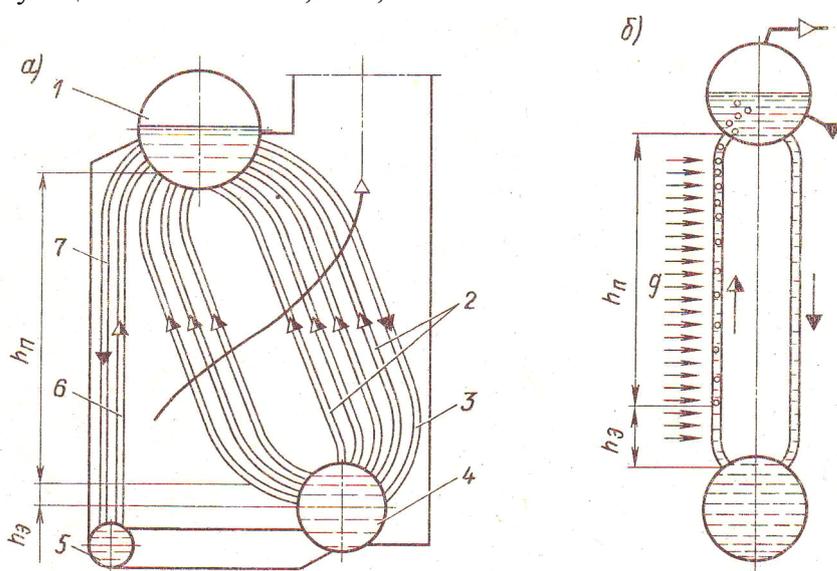
Движение воды внутри котла под действием разности удельных весов воды и пароводяной смеси называется *естественной циркуляцией*.

Разность между весом воды в опускной трубке и весом пароводяной смеси в подъемной трубке называется *движущим напором циркуляции*.

При установившемся режиме движущий напор уравнивается сопротивлением в опускных и подъемных трубках, в результате чего в контуре устанавливается определенная скорость циркуляции. Скорость, с которой вода поступает в подъемные трубы циркуляционного контура, называется *скоростью циркуляции (м/с)*. У котлов скорость циркуляции неодинаковая и имеет более высокие значения у тех труб, которые воспринимают больше теплоты. В зависимости от расположения пучков труб котла по отношению к источнику теплоты (факелу) значения скорости циркуляции составляют 0,3 – 1,5 м/с.

Полезный напор циркуляции – это разность между движущим напором и сопротивлением ему в подъемных трубах.

Контур циркуляции представляет собой замкнутую систему непрерывного движения воды и пароводяной смеси по трубам, соединяющими пароводяной и водяной коллекторы котла. Котел может иметь один или несколько самостоятельных контуров циркуляции. Контур циркуляции бывают независимыми и смешанными. У независимого контура циркуляции опускные трубы обслуживают только свой контур, а у смешанного – опускные трубы питают водой подъемные трубы нескольких контуров.



Схемы циркуляционных контуров водотрубного котла с двумя независимыми (а) и с одним независимым (б) контурами

В котле с двумя независимыми контурами циркуляции (рис. а) в первом (экранном) контуре вода из пароводяного коллектора 1 по трубам 7 опускается в водяной экранный коллектор 5. Опускные трубы 7, расположенные за первым сплошным рядом труб бокового экрана, теплоты из топки практически не получают, поэтому их называют *опускными необогре-*

ваемыми трубами. Подъемными трубами этого контура являются трубы 6 первого ряда бокового экрана, воспринимающие лучистую энергию факела. Во втором контуре, образованном трубами конвективного пучка, соединяющими пароводяной коллектор 1 с водяным 4, трубы 2 получают из топки больше теплоты, чем трубы 3. Трубы 2 являются подъемными, а трубы 3 как более отдаленные от топки являются опускными. В отличие от опускных труб 7 трубы 3 называют *частично обогреваемыми*. У большинства котлов все конвективные пучки труб подъемные, а опускные необогреваемые трубы размещаются за первым рядом бокового экрана или в воздушных коробах фронта котла, т.е. вне топки.

Кратность циркуляции – отношение количества воды, проходящей через контур, к паропроизводительности этого контура за 1 час. Кратность циркуляции при нормальных нагрузках у судовых водотрубных котлов составляет примерно 20 – 60. Из этого следует, что количество воды проходящей по подъемным и опускным трубам котла за единицу времени, значительно превышает его паропроизводительность. Физический смысл кратности циркуляции заключается в том, что она показывает, сколько раз должна пройти определенная масса воды по контуру, чтобы полностью превратиться в пар.

Нарушения нормальной циркуляции у водотрубных котлов:

1. *Застой циркуляции* возникает из-за неравномерного обогрева некоторых подъемных труб (например, зашламленных). Замедление или прекращение движения воды возникает у менее нагретых труб, в результате чего в них образуется свободный уровень воды. В слабообогреваемые трубы из водяного барабана воды поступит меньше, и скорость ее может оказаться близкой или равной нулю. Образующийся в них пар будет всплывать в неподвижной воде. По участку труб, расположенному выше свободного уровня, будет медленно двигаться не пароводяная смесь, а пар. Условия нормального отвода теплоты от стенки обогреваемой трубы будут нарушены, и на данном участке трубы возникнет аварийное состояние, связанное с перегревом металла.

2. *Расслоение пароводяной смеси.* Это явление часто наблюдается в секционных котлах и в слабонаклоненных трубах. При малых скоростях движения пароводяной смеси возникает неравномерность распределения паровой и водяной фаз по сечению трубки: вверху трубки движется поток пара, внизу – поток воды. Это приводит к перегреву тех участков труб, которые омываются паром, вследствие чего в верхних частях труб возникают свищи (в основном в трубах конвективного пучка). Опыт эксплуатации показал, что расслоение усиливается с увеличением диаметра труб, повышением давления пара и снижением скорости движения.

3. *Опрокидывание циркуляции.* Явление застоя циркуляции в подъемных трубах, увеличение сопротивления в опускных трубах и парообразованию в них (например, из-за уменьшения проходного сечения вследствие накипеобразования) может привести к изменению направления движения потока. Пар, образующийся в опускных трубах, остановит нисходящий поток и даже может изменить направление его движения.

4. *Кавитация.* При входе воды в опускные трубы из пароводяного коллектора возникает сопротивление движению жидкости, которое вызывает падение статического давления во входном сечении опускных труб. Если это давление окажется меньше давления в паровом пространстве коллектора, то в опускных трубах возможно парообразование вследствие самоиспарения воды. Образующиеся паровые пузырьки и их конденсация вызывают в трубах гидравлические удары, которые могут стать причиной образования трещин в трубах.

Парообразование в опускных трубах вследствие падения давления в их входных сечениях называется *кавитацией*.

Для того чтобы избежать нарушения циркуляции в котле, необходимо:

1. Обеспечить равномерный прогрев всех труб.
2. Содержать в чистоте поверхности нагрева котла.
3. Устранять неплотности в обшивке и обмуровке котла.

4. Не допускать резких изменений давления пара в котле.
5. Поддерживать рабочий уровень в котле (особенно при качке).

Из всего вышесказанного, можно сделать заключение: вода воспринимает тепло от стенок труб, охлаждает их и сама нагревается. Чем интенсивней циркуляция, тем лучше охлаждение труб, тем *надежнее работа котла*. Смесь будет двигаться с тем большей скоростью, чем больше разность удельных весов в опускных и подъемных трубах.

Виды циркуляции воды в котлах:

1. *Естественная циркуляция:*
 - а) организованная (водотрубные котлы) – организована сечением трубы;
 - б) неорганизованная или хаотичная (огнетрубные котлы);
 - в) смешенная (комбинированные котлы).
2. *Принудительная циркуляция* (утилизационные котлы).

Устройство и принцип действия УК Основные разновидности УК

Второй закон термодинамики устанавливает условия, при которых возможно превращение теплоты в работу: *превращение теплоты в механическую работу возможно лишь при наличии нагревателя (источника высокой температуры) и охладителя (источника низкой температуры).*

Теплота, полученная от нагревателя, не может быть полностью превращена в работу в тепловом двигателе. Часть этой теплоты обязательно переходит в охладитель. Так, например, в ДВС превращение теплоты продуктов сгорания в работу сопровождается неизбежной потерей теплоты с отработавшими газами в атмосферу, а также потерями на трение.

Из этого следует, что второй закон термодинамики утверждает невозможность осуществления такого теплового двигателя, который превращал бы в работу всю подводимую к нему теплоту, т.е. – невозможно создать тепловой двигатель, который работал бы с КПД = 1.

КПД любого теплового двигателя возрастает с увеличением разности температур нагревателя и охладителя. Поэтому необходимо обеспечивать, как можно, высокую начальную температуру рабочего тела в двигателе и возможно низкую конечную его температуру при выходе из двигателя.

Для увеличения КПД, для более экономичной работы всей СЭУ, можно использовать вторичные энергоресурсы – тепло выпускных газов ДВС (в среднем 330 - 750° С).

Это тепло позволяет производить в утилизационных котлах пар, который может быть использован для подогрева топлива и масла, груза на танкерах, хозяйственно-бытовых нужд (в системах малой утилизации тепла). Также такой пар может использоваться в энергетических целях – для производства электроэнергии турбогенераторами (в системах глубокой утилизации). На теплоходах, в ходовом режиме главного двигателя, утилькотлы могут полностью заменить вспомогательные котлы.

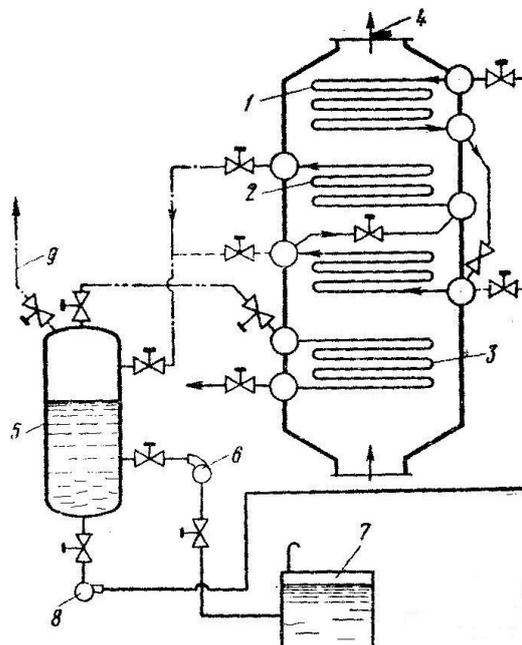
Утилизационные котлы, вырабатывающие пар за счет использования тепла уходящих газов отличаются от вспомогательных котлов, прежде всего отсутствием топки. Их поверхность нагрева воспринимает тепло от газов за счет конвекции.

Обычно температура уходящих газов на 60 - 80°С выше температуры кипения воды в котле при рабочем давлении. Повышение давления соответственно увеличивает температуру кипения воды, что уменьшает количество полученного котлом тепла, т.е. его паропроизводительность снижается при увеличении давления. Поэтому при эксплуатации утилькотлов рационально поддерживать минимально-необходимое давление пара для обеспечения работы потребителей.

Уходящие газы двигателей загрязнены маслянистой накипью, отложение которой на поверхности нагрева сильно снижает паропроизводительность, а также приводит к пожарам в утилькотлах. Конструкция утилькотлов должна обеспечивать легкость очистки поверхности нагрева от загрязнения.

Принципиальная схема парового утилькотла с принудительной циркуляцией:

Котел состоит экономайзерной секции 1, испарительной секции 2 и пароперегревательной секции 3. Отработавшие газы ДВС поступают в котел снизу и последовательно омывают пароперегревательную, испарительную и эконо-



номайзерную секции. После чего через верхний патрубок 4 выходят в дымовую трубу.

В состав установки входит сепаратор пара в виде горизонтального цилиндрического барабана 5. Питательная вода подается в сепаратор питательным насосом 6 из «теплого ящика» 7. Принудительная циркуляция обеспечивается циркуляционным насосом 8. Основная часть пара из сепаратора пара идет в пароперегревательную секцию 3 и далее в турбогенератор. Насыщенный пар по паропроводу 9 направляется к потребителям. Температура перегретого пара $\sim 270 \div 320^\circ \text{C}$.

Водотрубные УК змеевикового типа с принудительной циркуляцией позволяют изменять паропроизводительность от 100% до нулевой с помощью шиберной (консольной) заслонки.

Уменьшение температуры газов, при его движении от ГТН СДВС до утилькотла, составляет $5 \div 10^\circ \text{C}$.

Температура, уходящих газов за УК *не должна быть ниже точки росы H_2SO_4* поэтому минимальная температура газов должна быть примерно $160 \div 180^\circ \text{C}$.

В УК без экономайзера *температура насыщенного пара* $t_{\text{н}} \sim 145^\circ \text{C}$, давление пара $P_{\text{н}} \sim 3,5 \text{ кг/см}^2$.

В УК с экономайзером $t_{\text{эк}} \sim 180^\circ \text{C}$ (насыщенный пар), при $P_{\text{эк}} \sim 17 \text{ кг/см}^2$, а *температура перегретого пара* $\approx 270 \div 320^\circ \text{C}$.

Кратность циркуляции утилькотла:

$$k = G_{\text{ц}}/D,$$

где: $G_{\text{ц}}$ – количество воды, проходящей через циркуляционный контур *кг/час*;

D – паропроизводительность утилькотла *кг/час*.

Со снижением k увеличивается отложение шлама и накипи на поверхности нагрева котла, особенно при $k < 8 \div 10$.

Скорость циркуляции воды в УК:

$$3 \div 10 \text{ м/сек.}$$

Большая скорость движения воды обеспечивает более интенсивную теплопередачу от газов к воде и уменьшает отложение накипи на поверхности нагрева.

В зависимости от температуры отработавших газов УК могут производить от 0,3 до 0,4 кг пара на 1 л.с. мощности ГД.

Наиболее распространенными водотрубными утилькотлами с принудительной циркуляцией воды являются котлы фирмы «Ла-Монт». Преимуществами этих котлов (по сравнению с УК других конструкций) являются:

а) небольшая масса и размеры при большой площади поверхности нагрева;

б) свобода компоновки;

в) быстрый подъем пара;

г) безопасность форсировки;

д) возможность использования поверхностей нагрева в качестве глушителя выпуска главного двигателя (обеспечивают глушение шума выпуска на $15 \div 20 \text{ дБ}$).

У этих котлов поверхность нагрева образована спиральными змеевиками, концы которых приварены к входным и выходным коллекторам. Выхлопные газы от двигателя поступают в кожух котла, омывают змеевики и выходят в дымовую трубу. Вода из вспомогательного котла, или сепаратора пара циркуляционным насосом подается в змеевики УК. Пароводяная смесь из змеевиков УК возвращается во вспомогательный котел, или сепаратор пара, где происходит отделение пара от воды.

Арматура УК:

1. Клапана пароводянной смеси.
2. Клапана циркуляционной воды.
3. Предохранительный клапан.
4. Клапан осушения.
5. Воздушный клапан.

6. Клапана к манометрам.

Изоляция:

1. Совелитовые плиты, обшитые оцинкованным железом, и покрыты железным суриком.
2. Коллектора и фланцевые соединения изолированы асбестовыми матрацами толщиной 50 мм с набивкой из совелитового порошка.

Особые требования предъявляются к надежности циркуляционных насосов, перекачивающих воду с температурой $\sim 160^{\circ}\text{C}$, и ко всем трубопроводам.

Утилизационные котлы с принудительной циркуляцией имеют высокие значения удельного паросъема, паропроизводительности и экономичности, хорошие маневровые качества. Это объясняется высокими коэффициентами теплопередачи, высокой скоростью циркуляции воды и хорошим поперечным омыванием труб выпускными газами главного двигателя.

Глушительную и искрогасительную части УК размещают после испарительной поверхности в целях уменьшения сопротивления газового тракта.

Температура подводимых к котлу выпускных газов зависит от типа двигателя и режима его работы (ходовой режим). Количество подведенного газа $250 \div 350 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Паропроизводительность УК в среднем $1 \div 5 \text{ м}^3/\text{ч}$ для сухогрузов, $2 \div 6 \text{ м}^3/\text{ч}$ – для танкеров и $15 \div 27 \text{ м}^3/\text{ч}$ для крупнотоннажных танкеров. Давление пара $2 \div 8 \text{ кг}/\text{см}^2$ для сухогрузов и $10 \div 16 \text{ кг}/\text{см}^2$ для танкеров. Температура перегретого пара в системах глубокой утилизации теплоты $\sim 320^{\circ}\text{C}$.

Способы регулирования паропроизводительности УК:

1. Регулирование количества газа, подводимого к поверхности нагрева с помощью газоперепускной заслонки или на входе в УК, или на выходе из УК. Управлять газовыми шиберами можно вручную или автоматически по сигналу датчика давления пара в котле.
2. Деление поверхности нагрева котла на секции, включаемые или отключаемые с помощью клапанов, установленных на входе воды в котел. Клапаны, имеющие пневмопривод, управляются шаговым регулятором, связанным с датчиком давления пара в котле.
3. Сброс излишков пара в конденсатор (используется чаще всего, если позволяет конструкция котельной установки).
4. Саморегулирование, для чего котел проектируют на давление большее, чем то, при котором он должен работать. В процессе работы котла давление и температура пара изменяются в зависимости от нагрузки. При постоянной температуре газов перед котлом повышение давления пара приводит к уменьшению разности температур между газом и стенкой поверхности нагрева котла. Это вызывает уменьшение количества передаваемого тепла. Таким образом, система приходит в равновесное состояние.

Водный режим парового котла Водообработка

Эффективность работы СЭУ в большой степени зависит от качества воды, используемой в котлах. Все паросиловые установки морских судов работают по замкнутому циклу, т.е. отработавший пар конденсируется в конденсаторе. Конденсат возвращается обратно в котел. При такой схеме неизбежны утечки пара и конденсата. Кроме того, пар и вода безвозвратно расходуются на технологические и хозяйственно-бытовые нужды судна, продувку котлов и т.д.

На современном морском судне потери конденсата составляют 2 – 4 % паропроизводительности котлов. Для пополнения конденсата в систему котлов необходимо вводить добавочную воду, содержащую различные соли. Поступая вместе с водой внутрь котла, некоторые из солей под действием высокой температуры переходят в нерастворимое состояние. Соли, оседающие на внутренних стенках поверхности нагрева котла, снижают его паропроизводительность и вызывают перерасход топлива, т.к. накипь имеет очень малый коэффициент теплопроводности λ и может стать причиной аварии котла.

Если не принять мер, то в процессе эксплуатации концентрация солей внутри котла будет постепенно увеличиваться, и котел придется очень скоро выводить из эксплуатации. В настоящее время разработаны достаточно совершенные методы водного режима и водообработки, позволяющие увеличить срок между котлоочистками до 10 000 час.

В паросиловых установках различают воду следующих видов:

1. *Котловую*, находящуюся в парообразующих трубах, трубах экономайзера, коллекторах и других элементах циркуляционных контуров котла во время его работы.
2. *Питательную*, подаваемую в котел во время его работы из теплого ящика. В качестве питательной воды используют конденсат, получаемый в результате конденсации отработавшего пара.
3. *Продувочную*, удаляемую из котла при продуваниях.
4. *Добавочную*, подаваемую в теплый ящик из танка запаса котельной воды для пополнения потерь воды при продуваниях и других потерь. Добавочная вода представляет собой обычно дистиллят, получаемый в водоопреснительных установках из забортной воды. В отдельных случаях во вспомогательных котлах небольшой производительности допускается кратковременное использование пресной береговой воды.

Главное требование к воде – минимальное содержание растворенных в ней солей, кислот органических веществ, а также нерастворимых в воде примесей и масла.

Соли в воде способствуют образованию *накипи*, а газы вызывают *коррозию* поверхности нагрева котла.

Накипь – нерастворимые в воде соединения (гипс, гидрат окиси магния, хлористый кальций и др.). Наличие накипи ухудшает теплопроводность и вызывает перегрев стенок поверхности нагрева котла, усиливает коррозионные процессы под накипью.

Коррозия металла котла возникает под действием кислорода, кислот, пара и электромеханических процессов. Для уменьшения коррозии необходимо сократить содержание кислорода и углекислоты в питательной воде.

Сумма всех содержащихся в воде солей называется *общим солесодержанием* ($мг \cdot экв/л$), о котором можно судить по содержанию хлоридов. Вода в котле *вспенивается* при большой солёности, что приводит к ухудшению парообразования в котле.

Содержание хлоридов – это содержание в воде хлористых солей $NaCl$, $MgCl_2$, $CaCl_2$ и других, оценивается по содержанию в воде хлор-Иона Cl^- и выражается в $мг/л$. По содержанию хлоридов можно контролировать случаи *засоления* морской водой конденсата в кон-

денсаторах, теплых ящиках, цистернах запаса котельной воды. Применяют еще выражение солености в градусах Брандта (*°Бр*). 1°Бр приблизительно соответствует 6 мг/л Cl^-

Жесткость – качество воды, определяемое количеством растворимых в ней солей Са и Mg (*мг-экв/л*). Жесткость – важнейшая характеристика воды, т.к. соли жесткости являются основными накипеобразующими веществами. Различают *карбонатную (временную)* жесткость, характеризующую содержанием в воде бикарбонатов Са и Mg, и *некарбонатную (постоянную)* жесткость, определяемую содержанием всех других солей Са и Mg, кроме карбонатных (т.е. CaSO_4 , MgSO_4 , CaCl_2 и т.д.).

Общая жесткость равна сумме карбонатной и некарбонатной жесткости,
т.е. $J_o = J_k + J_n$.

Временная жесткость (карбонатная)

Бикарбонат кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$

Бикарбонат магния $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$

Постоянная жесткость (некарбонатная)

Сульфат кальция CaSO_4

Хлорид магния MgCl_2

Временная жесткость (щелочная жесткость) образуется из-за наличия в воде бикарбонатов кальция и магния, которые являются по своей природе щелочными металлами. Они считаются «временными» потому, что при нагревании они быстро разлагаются до образования двуокси углерода (которая удаляется из котла вместе с паром) и соответствующих бикарбонатов, которые дают осадок в виде шлама.

Постоянная жесткость (нещелочная жесткость) образуется главным образом благодаря сульфатам и хлоридам кальция и магния, которые по своей природе являются кислотами. Они хорошо растворимы в воде, «постоянны» и не разлагаются, а при определенных условиях (давление и температура) осаждаются на поверхности нагрева в виде накипи различной жесткости.

Щелочность воды обусловлена присутствием в ней веществ, которые при гидролизе образуют ионы OH^- . Причиной появления щелочности воды является введение в неё химических соединений для устранения жесткости и накипеобразования (бикарбоната натрия, тринатрийфосфата и др.).

Щелочность пресной воды обычно принимают численно равной её временной жесткости (*мг-экв/л*).

Фосфатное число – это избыток *тринатрийфосфата*, который содержится в котловой воде и определяется количеством фосфатного ангидрида PO_4 (*мг/л*).

Нитратное число – это содержание в воде NaNO_3 (*мг/л*). Вводится *нитрат натрия* NaNO_3 (селитра) для нейтрализации агрессивного действия свободной щелочи в котловой воде, что практически исключает межкристаллитную коррозию и щелочную хрупкость металла в ослабленных местах (в местах сварки, вальцовки).

Водородный показатель рН (показатель концентрации водородных ионов) характеризует степень щелочности или кислотности воды, и определяет её коррозионную активность. Чистая нейтральная вода при $t = 22^\circ$ имеет $\text{pH} = 7$. Если $\text{pH} > 7$, то вода имеет *щелочную реакцию*, если $\text{pH} < 7$, то *кислую*.

По показателю рН определяют щелочность питательной воды – на питательном трубопроводе ставят датчики рН-измерителя. Рекомендуемая величина водородного показателя рН для котловой воды вспомогательных котлов $9,5 \div 11,0$, а для конденсата $8,3 \div 9,0$.

Если величина водородного показателя котловой воды *меньше 7,0*, то необходимо увеличить дозировку химикатов в теплый ящик и произвести новый анализ воды. Если водородный показатель *больше 11,0*, то необходимо продувкой обновить воду пока рН не войдет в норму, чтобы избежать щелочной хрупкости и межкристаллитной коррозии металла.

Докотловая обработка питательной воды

Докотловая обработка воды на судах это:

- а) фильтрация конденсата;
- б) приготовление из заборной воды дистиллята в водоопреснительных установках;
- в) удаление различных газов и кислорода из питательной воды.

Очистка, отстой и фильтрация конденсата от механических примесей, каких-либо плавающих продуктов и нефтепродуктов (которые могут попасть в конденсат из-за неплотностей змеевиков обогрева топливных и масляных емкостей, топливоподогревателей, а также с конденсатом отработавшего пара паровых поршневых механизмов) происходит в *тёплом ящике*.

Тёплый ящик – это, как правило, негерметичная ёмкость (на вспомогательных котлах небольшой производительности), которая является сборником конденсата, где очистка питательной воды осуществляется одновременно и отстаиванием, и фильтрацией. В негерметичном тёплом ящике давление, равно атмосферному давлению (открытая система питания). Конструктивно, он представляет собой, прямоугольную сварную конструкцию, которая разделена на две части горизонтальной перегородкой. В верхней части находится 5 – 6 каскадных отсеков, в которых происходит отстаивание механических примесей и отделение нефтепродуктов от конденсата, а также происходит фильтрация, для чего устанавливаются фильтры, заполненные коксом. В верхней части каскадных отсеков укладывают манильскую или сезальскую пеньку, древесную стружку и тканевые материалы (махровое полотно, сукно), а также поролон. Эти материалы исполняют роль удерживателя и накопителя нефтепродуктов, которые по степени загрязнения необходимо заменять так же, как и кокс.

Теплый ящик исполняет роль грубого фильтра питательной воды (отделение механических примесей и грубодисперсных, капельных частиц нефтепродуктов), роль же тонкого фильтра (для удаления эмульсионной воды) выполняют отдельные фильтры, которые устанавливаются на напорной магистрали питательного насоса. В этих фильтрах эмульгированные нефтепродукты удаляются, последовательно проходя через активированный уголь и латунные сетки, обтянутые фланелью.

Для котлов с давлением до 2 МПа широко применяются магнитные и электромагнитные способы удаления солей жесткости из питательной воды. Сущность этих способов заключается в следующем. После воздействия на воду магнитного поля определенных значений напряженности и полярности, соли жесткости теряют способность к образованию накипи, и выпадают в осадок в виде шлама.

При магнитной обработке воды предотвращается не только накипеобразование, но и происходит разрушение старой накипи.

Существуют и более современные (и более дорогостоящие) методы докотловой обработки воды – ультразвуковые, основанные на воздействии ультразвука на соли и разрушении их, что приводит к нарушению процесса образования накипи.

Для удаления *воздуха (кислорода)* и различных *газов* используется термическая деаэрация питательной воды в деаэраторах (применяется, в основном в СКУ давлением свыше 2 МПа). Принцип деаэрации основан на снижении растворимости газов в воде при повышении температуры, с одновременным снижением давления.

Существуют и химические способы для более глубокого обескислороживания питательной воды, полного связывания кислорода. С этой целью в воду вводят химические реагенты – сульфит натрия (Na_2SO_3) или гидразин (N_2H_4). Гидразин – это бесцветная жидкость, полностью растворима в воде. Имеет запах аммиака, но менее едкий. Он вступает в реакцию с кислородом, действуя как поглотитель. В результате реакции получается азот и вода. Часть гидразина уносится с паром.

При термической деаэрации содержание кислорода в питательной воде уменьшается до 0,03 – 0,05 мг/л, а если воду обработать дополнительно химически, то до 0,01 мг/л.

Также наиболее простым способом (но не гарантирующим полное удаление) удаления газов и кислорода из воды является открытие воздушного клапана котла при разводе пара, и закрытие его при появлении устойчивой струи прозрачного пара.

Внутрикотловая обработка воды

Внутрикотловой обработкой обеспечивают оптимальный режим питания котла, что достигается введением внутрь котла присадок. При этом соли, вносимые с питательной водой, не откладываются в виде накипи на поверхности нагрева, а выпадают в виде шлама в осадок. Затем шлам удаляется из котла при продуваниях.

Хотя дистиллят и возвращающаяся в теплый ящик конденсатная вода, в основном чистая, небольшие количества потенциально вредных солей и минералов могут переноситься в котел. Кроме того, вода может так же содержать растворенные газы, т.е. CO₂ и кислород, вызывающие коррозию поверхности нагрева.

Использование пресной необработанной воды (например, береговой воды) для питания котла может стать чрезвычайно разрушительным для котла, если не принять срочных и эффективных мер. Растворенные соли, такие как хлориды, сульфаты и карбонаты выступают в качестве электролитов в необработанной воде. Это может привести к гальванической и другим видам коррозии.

Верхнюю продувку осуществляют для удаления вместе с водой плавающего шлама, нефтепродуктов и солей.

Нижнюю продувку – для удаления осевшего шлама и значительной части котловой воды, в результате чего общее содержание солей – и шламосодержание, а также другие показатели снижаются.

Продувка должна осуществляться регулярно (при удовлетворительных анализах один – два раза за вахту). Но надо учитывать, что *избыточная продувка ведет к перерасходу воды, тепла, химикатов и топлива.*

В настоящее время на судах, в основном, внутрикотловую обработку воды проводят с помощью препаратов фирмы “UNITOR” (Норвегия) Liquitreat и Combitreat.

Liquitreat – это комбинированный препарат в жидком виде для химической обработки котлов с давлением до 2 МПа. Он снижает жесткость, обеспечивает котловую воду необходимой щелочностью и удаляет растворенный кислород. Добавляется при необходимости по результатам анализов воды. После добавления химикатов необходимо через два часа провести повторный анализ. Примерная пропорция: 1 л препарата на 5 л воды.

Combitreat – препарат подобный Liquitreat, но в виде порошка и без кислородного поглотителя. Рекомендуемая доза растворяется в теплой воде 30 – 60 ° при постоянном перемешивании. Добавляется в воду, а не наоборот. Примерная пропорция: 1 кг. на 9 л воды.

Существует еще множество препаратов по водообработке котлов таких фирм как: «Дрю Амеройд» (Drew Ameroid) США, фирма «Перолин» (Perolin) США, фирма «Роухем» (Rochem) Англия, фирма «Веком» (Vecom) США, фирма «Гамлен» (Gamlen) Англия и др.

Более подробную информацию можно узнать в пособии «*Справочник по химическим средствам, применяемым на судах морского флота в процессе их эксплуатации*».

Ввод в котловую воду химикатов (реагентов) осуществляется через бачки-дозаторы или в теплый ящик.

Ежедневный анализ качества питательной воды и котловой воды поможет вовремя принять меры к недопущению негативных последствий, связанных с отклонениями от нормативного качества воды. Во время работы котла отбирают пробы воды для определения её состава, для чего на судах имеются химические экспресс – лаборатории типа «*Spektrapak 310*».

Пробы котловой воды берут непосредственно из котлов через пробные краны (или клапана), питательной воды – сразу после питательного насоса (в крайнем случае, из теплового ящика), конденсата – из конденсатного трубопровода (перед теплым ящиком), дистиллята – из танка запаса котельной воды. Объем пробы анализа – не менее 0,5 л. Объем, и периодичность контроля устанавливает лаборатория судоходной компании, либо фирма, обслужи-

вающая судно, либо ССХ пароходства. Результаты анализов отражаются в машинном журнале.

Воду перед анализом необходимо охладить и профильтровать.

*Методика проведения анализов с помощью экспресс – лаборатории
«Спектрапак 310»*

Анализ на Ф-щелочность:

1. Проба – 200 мл воды
2. Добавить одну таблетку Ф-щелочности и встряхнуть до растворения. если присутствует щелочность, то вода станет синей.
3. Добавлять таблетки пока вода не станет постоянно желтой.
4. Расчет: Ф-щелочность = (количество использованных таблеток умножить на 20 и отнять 10).

Анализ на хлориды:

1. Проба – 50 мл воды
2. Добавить одну таблетку на хлориды и встряхнуть до растворения. если присутствуют хлориды, то вода станет желтой
3. Добавлять таблетки пока вода не станет постоянно оранжево-коричневой
4. Расчет: Хлориды = (количество использованных таблеток умножить на 20 и отнять 20).

Анализ на рН:

1. Проба – 50 мл
2. Мерной ложечкой (0,6 г) добавить одну меру реагента рН, размешать
3. На 10 мин опустить лакмусовую полоску в пробу
4. Сравнить цвет с цветовой шкалой на коробочке

Измерители проводимости

На некоторых судах устанавливают современные мгновенные измерители солености воды, которые дают возможность судить о солености воды без проведения каких либо анализов, хотя их точность довольно спорная.

Концентрация солей в котловой воде может определяться измерителем проводимости, который показывает на дисплее способность котловой воды проводить электроток. Шкала на определителе обычно выдает результаты в единицах электрической проводимости. Это или *сименс* или *микромом* на сантиметр при 25 °С. Некоторые измерители имеют шкалу, которая дает показания прямо в частях на миллион (ppm) общего количества растворенных частиц (TDS). Поэтому эти приборы называют как измерители проводимости, так и измерителями TDS.

Тест на проводимость является наиболее быстрым и эффективным способом измерения общего соледержания в воде и определения наличия в воде растворенных в ней твердых веществ.

При попадании в котел в небольшом количестве нефтепродуктов следует добавлять *котельный коагулянт (Boiler Coagulant)*. Boiler Coagulant – это полимерное соединение, которое используется в качестве кондиционера отстоя. Дозируется в количестве 250 см³ в день в теплый ящик. После его ввода в котел через 1 час рекомендуется продуть котел, чтобы удалить осевшие нефтепродукты.

При попадании в котел большого количества нефтепродуктов следует ввести в котел рекомендованное инструкцией количество Boiler Coagulant и тщательно продуть котел.

Попадание нефтепродуктов в конденсат (через неплотности змеевиков подогрева топлива в танках основного запаса, отстойных и расходных цистерн, сальниковых уплотнений различных паро- и турбоприводов и др.) контролируется в *смотровой (контрольной) цистерне*.

Режимы внутрикотловой обработки воды

Фосфатно-щелочной режим

Применяется для котлов с давлением пара не выше 2 МПа. Вводят в котловую воду одновременно в виде смеси: *едкий натрий* (каустик) NaOH , *кальцинированную соду* Na_2CO_3 и *тринатрийфосфат* Na_3PO_4 . Эту смесь называют противонакипином. Щелочи, содержащиеся в противонакипине, вступая в химическую реакцию с растворенными в воде солями жесткости, переходят из раствора в осадок. В результате увеличения щелочности воды она может стать коррозионно-активной средой. Это явление называется *щелочной хрупкостью* металла. Для его предотвращения применяют фосфатно-нитратный режим.

Фосфатно-нитратный режим

Этот режим водообработки рекомендуется для любых котлов с давлением пара до 6 МПа. При этом режиме вместе с фосфатом натрия вводят дополнительную присадку – *нитрат натрия* (селитру) NaNO_3 в количестве 35 ÷ 40 % концентрации щелочи. Вводят непосредственно в котел раздельно (или в паровой коллектор или в сепаратор пара при работе УК) с помощью дозирочного бачка. При введении NaNO_3 образуется *защитная пленка* на внутренних стенках поверхности нагрева котла.

Фосфатный режим

Применяют для ГК с давлением пара выше 6 МПа. Вводят только *тринатрийфосфат*. Образуется много шлама, поэтому необходимо производить частые продувки котла, а это в свою очередь вызывает большой расход воды на продувки.

При выводе котлов из эксплуатации в зависимости от длительности бездействия котла, а также времени приведения в готовность к действию *хранение котлов* осуществляется двумя способами:

1. «Мокрое» хранение – до 30 суток («Unitor» - до 10 суток).
2. «Сухое» хранение – до 6 месяцев и до 2-х лет.

Нормы качества котельной воды
при подготовке с помощью препаратов
Liquitreat/Combitreat
фирмы «UNITOR», Норвегия

Вода	Показатель качества	Единицы измерения	Котлы с давлением до 2 МПа	
			огнетрубные	водотрубные и комбинированные
Питательная	<i>pH</i>	<i>ppm</i>	8,3 – 9,0	8,3 – 9,0
Конденсат	<i>pH</i>	<i>ppm</i>	8,3 – 9,0	8,3 – 9,0
Котловая	<i>Ф - щелочность</i>	<i>ppm, CaCO₃</i>	100 – 300	100 – 300
	<i>хлориды, Cl⁻</i>	<i>ppm</i>	200	200
	<i>pH</i>	<i>ppm</i>	9,5 – 11,0	9,5 – 11,0

Нормы качества питательных и котловых вод
судовых паровых котлов
ПТЭ СПК (КНД 31.2.002.06-96)

Вода	Показатель качества	Единицы измерения	Котлы с давлением до 2 МПа	
			огнетрубные	водотрубные и комбинированные
Питательная	<i>общая жесткость</i>	<i>мг-экв/л</i>	Не более 0,5	Не более 0,3
	<i>содержание масла и нефтепродуктов</i>	<i>мг/л</i>	Не более 3,0	Не более 3,0
	<i>содержание кислорода</i>	<i>мг/л</i>	Не более 0,1	Не более 0,1
Конденсат	<i>хлориды, Cl⁻</i>	<i>мг/л</i>	Не более 50	Не более 10
Дистиллят	<i>общая жесткость</i>	<i>мг-экв/л</i>	-	Не более 0,05
Котловая	<i>хлориды, Cl⁻</i>	<i>мг/л</i>	Не более 8000	Не более 1200
	<i>щелочное число, NaOH</i>	<i>мг/л</i>	150 - 200	150 - 200
	<i>фосфатное число, PO</i>	<i>мг/л</i>	10 – 30 (для котлов, переведенных на фосфатно-нитратный режим)	10 – 30 (для котлов, переведенных на фосфатно-нитратный режим)
	<i>нитратное число, NaNO</i>	<i>мг/л</i>	75 – 100 (для котлов, переведенных на фосфатно-нитратный режим)	75 – 100 (для котлов, переведенных на фосфатно-нитратный режим)
	<i>жесткость остаточная</i>	<i>мг-экв/л</i>	Не более 0,4	Не более 0,2

Состав котельной установки

Условия эксплуатации морского судна предъявляют особые требования к его котельной установке, работающей, как и судно в целом, в сложных условиях эксплуатации и должна обеспечить:

1. Надежность и безопасность работы СЭУ при любых условиях, вплоть до штормовых (при крене судна до 45° и дифференте до $15 \div 20^\circ$).
2. Простоту обслуживания и ремонта.
3. Максимальную паропроизводительность при минимальной массе и габаритах.
4. Высокую экономичность работы.

Котельная установка теплохода состоит из:

1. Котлов (вспомогательного и УК, либо вспомогательно-утилизационного).
2. Вспомогательных элементов.
3. Обслуживающих систем.

Вспомогательные элементы и системы обеспечивают:

1. Подготовку и подачу топлива и воздуха в топку кола.
2. Удаление из неё продуктов сгорания.
3. Подготовку питательной воды и подачу её в котел.
4. Контроль и регулирование работы котла (САР).

На стоянке и в маневренном режиме судна:

Питательная вода подается питательным насосом 18 из теплого ящика 19 по трубопроводу 1 через питательный клапан 2 во вспомогательный котел

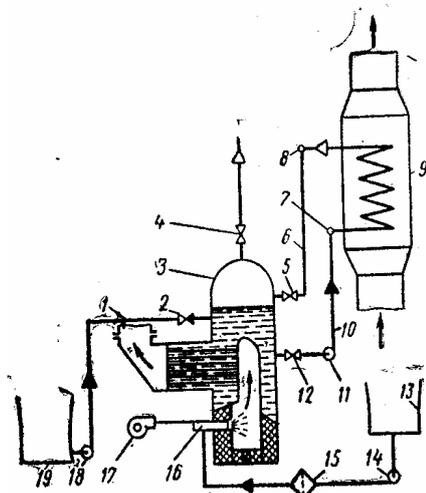


Рис. 3. Котельная установка теплохода 3.

Топливо из цистерны 13 забирается топливным форсуночным насосом 14 и через топливные фильтры 15 (возможно через топливоподогреватель) подается под давлением $0,5 \div 40 \text{ кг/см}^2$ к форсунке 16.

Воздух для сжигания топлива к ВНУ (воздухо-направляющему устройству) подается котельным вентилятором 17.

В ходовом режиме судна:

Циркуляционный насос 11 забирает воду из котла 3 через клапан 12 и подает её по трубопроводу 10 в распределительный водяной коллектор 7 и змеевики УК 9. Газы подходят к УК от ГД с температурой $290 \div 700^\circ \text{C}$.

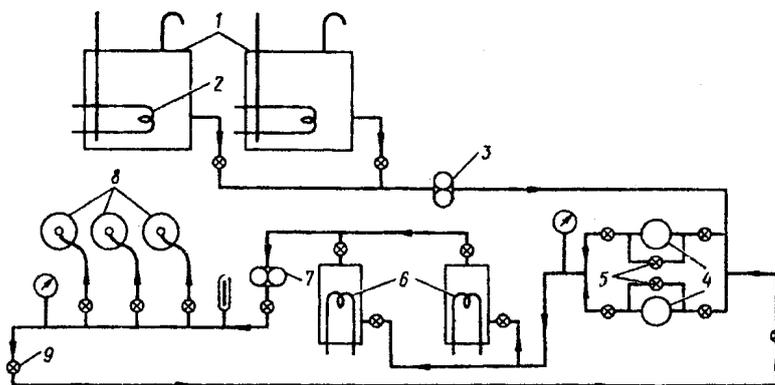
Пароводяная смесь отводится из пароводяного коллектора 8 по трубопроводу 6 в котел 3 (в системах без сепаратора пара).

На стоянке УК разобщается от ВК клапанами 5 и 12.

Пар направляется к потребителям через стопорный клапан 4.

ВК во время работы УК выполняет роль сепаратора пара.

Топливная система вспомогательного котла



Топливная система.

По сравнению с углем, жидкое топливо удобнее для использования на судах. Хранение его значительно проще и, кроме того, оно имеет большую, чем уголь, удельную теплоту сгорания.

Топливная система должна обеспечивать подогрев топлива, отстой, очистку и бесперебойную подачу топлива к форсункам.

В систему входят:

1. Расходные цистерны котельного топлива (12 – 24 час работы котла). Как вариант – одна цистерна дизельного топлива для растопки (подогрев тогда в этой цистерне не нужен), затем с появлением пара можно перейти на мазут.
2. Змеевики подогрева.
3. Приемный фильтр.
4. Топливные насосы.
5. Редукционные клапаны регулирования давления топлива.
6. Подогреватели топлива.
7. Фильтр тонкой очистки.
8. Форсунки.
9. Клапан рециркуляции.

Отстой из расходных цистерн должен спускаться через регулярные промежутки времени. Цистерны оборудуют указателями уровня, а также паровыми змеевиками подогрева для улучшения и ускорения процесса отделения воды от топлива. Конденсат из змеевиков обычно проходит через контрольные (смотровые) цистерны. Чистота конденсата свидетельствует об исправности змеевиков. Расход из цистерн происходит попеременно (из одной берут топливо, а другую пополняют).

С помощью нагруженного пружиной редукционного клапана, установленного между всасыванием и нагнетанием насоса, можно регулировать давление нагнетания.

Необходимо оборудовать трубопроводы от танков основного запаса мазута (междудонных, диптанков) к расходным цистернам паропроводами-спутниками, т.к. мазуты имеют высокую вязкость и необходимо обеспечить их текучесть (перекачку). Для получения более точной вязкости, обеспечивающей экономичную работу топливоперекачивающих насосов, необходимо пользоваться *номограммами вязкости* фирм – производителей топлива.

Для нормальной перекачки топлива его температура должна быть не менее чем на $10 \div 15^\circ\text{C}$ выше температуры застывания.

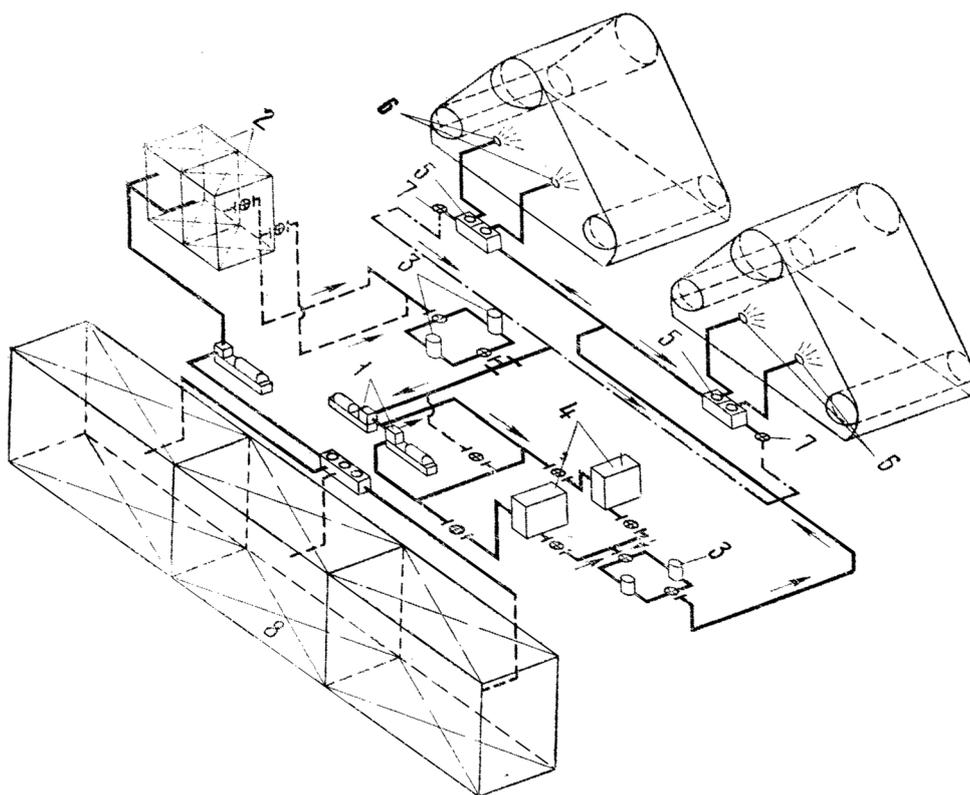
Топливо в топливоподогревателях, обычно, подогревают до $90 \div 130^\circ\text{C}$, чтобы обеспечить вязкость при которой топливо будет качественно распыливаться в данных форсунках котла (*конкретная вязкость топлива определяется по номограммам вязкости в зависимости от конкретного топлива*). Плюс, необходимо учитывать то, что топливо будет, допол-

нительно подогревается, в распылителе форсунки, который находится практически в топке котла. Важно, чтобы топливо не было нагрето, более чем требуется для обеспечения необходимой вязкости. В случае чрезмерного повышения температуры топлива имеется опасность крекинга, а также асфальтеновых и углеродистых отложений. Если качественного распыления топлива нельзя достичь при максимальной температуре его за подогревателем (около 130°C), то следует попытаться увеличить давление топлива.

Если разность давлений до фильтра и после него приближается к 0,1 МПа, то необходимо переключить на работу второй фильтр, а грязный промыть.

Также необходимо иметь в виду то, что на большинстве современных судов, где небольшие потребности пара, и котельная установка не развитая, топливо для вспомогательных котлов забирается из общей топливной системы ГД и ДГ. Следовательно, отпадает необходимость иметь автономную топливную систему для вспомогательного котла. Это экономически оправданно, но сокращает маневренность и живучесть СЭУ, возможность проводить качественные *планово-предупредительные осмотры и ремонты топливной системы* (ППО и ППР).

Для общего понятия и развития курсантов, как будущих инженеров-судомехаников можно рассмотреть топливную систему главного котла:



Топливная система ГК

- | | |
|---|---|
| 1. Топливо-форсуночные насосы. | 4. Топливоподогреватели. |
| 2. Расходные цистерны. | 5. Форсуночные блоки. |
| 3. Фильтры грубой очистки и тонкой очистки. | 6. Форсунки. |
| | 7. Клапаны рециркуляции (сброс топлива в случае |

уменьшения нагрузки - *работает САР*).

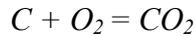
8. Бункер.

9. Топливоперекачивающий насос

§ 10

Процесс горения топлива

Процесс горения весьма сложен. Упрощено – это реакция соединения углерода с кислородом:



На самом деле, подробные исследования химиков, физиков и теплотехников позволили уточнить полную картину этого процесса, т.е. $C + O_2 = CO_2$ - является только записью начала и конца реакции.

Наиболее дешевым и распространенным окислителем является кислород воздуха. Поэтому все расчеты процессов горения основываются на реакциях соединения компонентов, входящих в элементарный состав топлива, с кислородом.

Топливо состоит из углерода С (83...87% массы), водорода Н (12...14% массы), серы S (до 5% массы) и кислорода О (0,1...1,0% массы). Для тепловых расчетов парового котла обычно принимают топливо с содержанием (в долях): С = 0,870; Н = 0,126; S = 0; О = 0,004.

Горением называется процесс химического соединения элементарных горючих веществ топлива с окислителем (кислородом воздуха), сопровождающийся интенсивным тепловыделением.

Сгорание называется полным, если в результате горения элементарных горючих веществ топлива (углеводорода, водорода, серы) получены негорючие продукты сгорания (CO_2, H_2O, SO_2).

Сгорание называется неполным, если в результате горения образуются продукты неполного сгорания топлива: окись углерода CO , водород H_2 и метан CH_4 .

Практически невозможно добиться полного сгорания топлива в топке котла. Реакция окисления горючих составляющих топлива частично идет не до конца, и в продуктах горения, выходящих из топки в газоходы котла, находятся еще газы, способные к дальнейшему горению, например, окись углерода CO , водород H_2 , метан CH_4 и другие углеводороды. Возможность их догорания при сравнительно низких температурах в газоходах котла и малом содержании кислорода в дымовых газах исключена.

Наличие в газах, покидающих газоходы котла, продуктов неполного сгорания свидетельствует о потерях тепла, которые приводят к перерасходу топлива. Если для более полного сгорания топлива подавать в топку больше воздуха, то в результате охлаждения топки горение ухудшится, и потери тепла с уходящими газами резко возрастут из-за увеличения объема газов, приходящихся на 1 кг. топлива.

Учитывая несовершенство процесса горения в топке котла по сравнению с СДВС и то, что топка полностью не герметична в действительности воздуха для горения подается больше, чем *теоретически* необходимо для горения. К тому же, в топке котла часть кислорода воздуха не успевает вступить в реакции с топливом, подаваемым топливно-форсуночным насосом.

Следовательно, управляя горением, необходимо добиваться сгорания топлива в топке, возможно более близкого к полному сгоранию при минимальном коэффициенте избытка воздуха.

Отношение количества воздуха, действительно поданного в топку котла V_d к теоретически необходимому воздуху для полного сгорания топлива V_o , называется *коэффициентом избытка воздуха α* .

$$\alpha = \frac{V_o}{V_o'}$$

В зависимости от сорта топлива:

для ГК $\alpha = 1,03 \div 1,1$

для ВК $\alpha = 1,2 \div 1,3$.

Как недостаточное, так и излишнее количества воздуха, поданного в топку, снижает экономичность работы котла, поэтому необходимо, чтобы топливо сжигалось с оптимальным значением « α ».

Чем меньше коэффициент избытка воздуха, тем совершеннее процесс сгорания топлива.

Чем больше коэффициент избытка воздуха, тем больше потери тепла с уходящими из котла продуктами неполного сгорания топлива.

Количество воздуха, необходимого для сгорания топлива, меняется в зависимости от его состава. Теоретически для сжигания 1 кг жидкого топлива требуется 13,5 ÷ 14,5 кг воздуха. Обычно жидкое топливо сжигается с избытком воздуха, составляющим 4 – 10% теоретически необходимого.

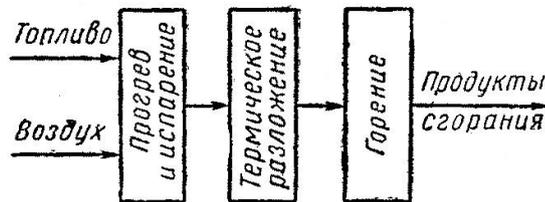
Бездымный выхлоп при высоком содержании CO_2 , низким содержанием O_2 и без CO является *идеальным*.

Анализ газов производят периодически химическими газоанализаторами либо непрерывно автоматическими газоанализаторами различных типов. Проба отбирается из уходящих газов за последней поверхностью нагрева котла.

В случае отсутствия газоанализаторов хорошей практикой является уменьшение избытка воздуха от состояния бездымного выхлопа до появления *светло-коричневого дыма*. Этого можно добиться только при чистых форсунках и требуемой температуре топлива.

На пути выхлопных газов желательно устанавливать воздухоподогреватели, т.к., помимо утилизации теплоты их, достигается улучшение процесса горения благодаря предварительному подогреву воздуха.

Организация факельного процесса сжигания топлива Топочные устройства котлов



Поточная схема выгорания жидкого топлива

Горение топлива в топке можно упрощенно представить себе состоящим из трех стадий, называемых *фазами горения*. Фазы горения могут протекать одновременно, но в разных местах топки – *зонах горения*.

Первая стадия – подготовительная. В это время подогревается топливо, образуется и воспламеняется горючая смесь паров топлива с воздухом.

Вторая стадия – это активное термическое разложение и начальное горение с продолжением смесеобразования и интенсивным выделением тепла.

Третья стадия – интенсивное горение, заканчиваемое выжигом горючего составляющего топлива с образованием продуктов сгорания (золы и газов).

Для начала реакции окисления любое топливо должно подвергаться предварительной газификации, во время которой его горючие составляющие под действием высокой температуры проходят стадию испарения и термического разложения, превращаясь в горючие газы. Эти газы затем смешиваются с топливом, образуя горючую смесь.

Процесс предварительной газификации и горения топлива ускоряется не только с повышением температуры, но и с увеличением активной поверхности горения, что достигается распыливанием топлива в форсунках. Большое значение имеет и скорость воздуха, обдувающего частицы топлива, т.е. скорость поступления кислорода к активной поверхности горения топлива и удаление с нее газообразных продуктов сгорания.

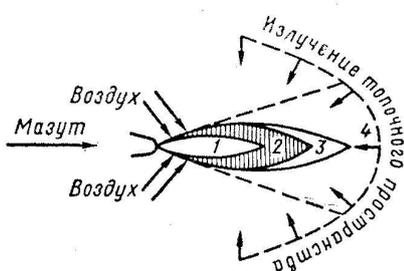


Схема мазутного факела.

- 1 – зона испарения;
- 2 – зона разложения;
- 3 – зона горения;
- 4 – продукты сгорания.

От правильной организации факельного процесса зависит экономичность работы котла.

Сжигание топлива состоит из:

1. Его пульверизации.
2. Прогрева.
3. Испарения.
4. Термического разложения.

5. Смешивания с воздухом.
6. Воспламенения.

7. Горения.

Горение начинается, когда самая легковоспламеняющаяся фракция достигнет температуры воспламенения.

Интенсивное испарение мазутов начинается при $t = 200 \div 300^\circ\text{C}$, но тяжелые углеводороды замедляют процесс горения, поэтому испарение и разложение начинается при $t > 600^\circ\text{C}$ и зависит от их состава.

Для нагрева до температуры воспламенения топливу необходимо сообщить тепло, которое расходуется на испарение влаги, нагрев топлива, предварительную его газификацию и нарушение химических связей между отдельными составляющими.

Стабильное горение начинается при соблюдении 3 - х основных условий:

1. Непрерывная подача в топку топлива и воздуха.
2. Непрерывный отвод продуктов сгорания.
3. Поддержание необходимой для горения температуры топлива (вязкость).

Качество распыливания зависит от давления и вязкости подаваемого к форсунке топлива: *чем меньше вязкость и выше давление, тем лучше распыливание топлива.*

Зона горения представляет собой конусообразный полый факел (конус). Внутри этого факела обратный поток газов движется к топочному устройству вследствие вращательного движения потока воздуха от ВНУ, и внутри факела создается зона пониженного давления.

Необходимо заметить, что в начальной зоне факела (корне) происходит прогрев и испарение мазута.

Подготовка мазута перед сжиганием заключается в отделении воды, удалении механических примесей и подогреве до необходимой температуры.

Для улучшения сгорания топлива в мазутных топках у устья топочного устройства выкладывают кольцо (фурму) из огнеупорного кирпича. Это кольцо воспринимает лучистую энергию факела и отдает ее корню факела, способствуя подогреву топлива.

Для подачи топливовоздушной смеси в топку котла служит топочное устройство, состоящее из форсунки, диффузора и ВНУ.

Основными характеристиками топочного устройства служат:

1. Качество распыливания и смесеобразования.
2. Угол конусности распыливания (в практике $60 \div 90^\circ\text{C}$).

Для улучшения смесеобразования и увеличения количества воздуха, подаваемого в активную зону, в топках устанавливают специальные *воздухонаправляющие устройства (ВНУ)*, создающие вихревой поток. Внутри ВНУ имеют направляющие лопатки.

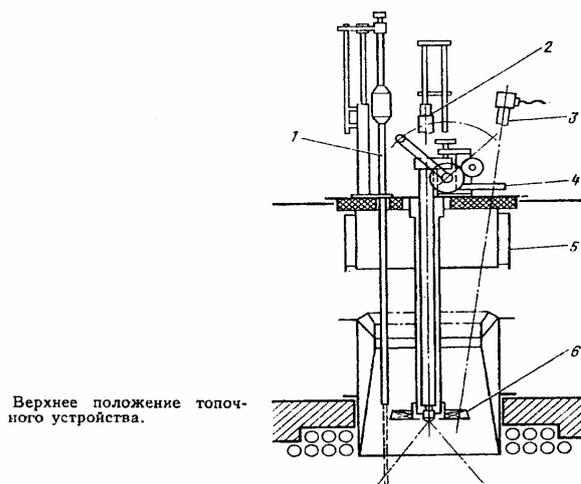
Назначение диффузора. Диффузор служит для лучшего смешивания топлива с воздухом, защиты корня факела от холодного воздуха (*относительно холодного, подаваемого в топку для горения*). А также для подсоса обратных потоков газов из топки к головке форсунки (корню факела).

В диффузоре имеются щели, через которые небольшое количество воздуха поступает к корню факела, обеспечивая охлаждение самого диффузора и начальное смесеобразование топлива с воздухом.

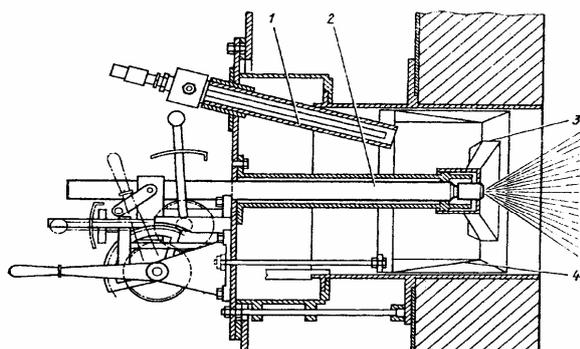
Основным источником тепла для корня факела является *мощное излучение горящего факела, а также огнеупорной фурмы, воспринимающей лучистую энергию факела и отдающей её корню.*

Чем меньше коэффициент избытка воздуха, тем совершеннее процесс сгорания топлива.

Чем больше коэффициент избытка воздуха, тем больше потери тепла с уходящими из котла продуктами неполного сгорания топлива.



- 1 – выдвижное запальное устройство;
- 2 – сервомотор главной воздушной заслонки;
- 3 – фотоэлемент;
- 4 – место подвода топлива и пара;
- 5 – главная воздушная заслонка;
- 6 – стабилизатор пламени.



- 1 – запальное устройство;
- 2 – форсунка;
- 3 – диффузор;
- 4 – воздухонаправляющие лопатки.

Как правило, форсунка устанавливается внутри ВНУ, которое монтируют на фронтальной топочной раме котла. Взаимное положение форсунки и диффузора устанавливают при испытаниях котла и фиксируют, ставят специальные метки. В процессе эксплуатации котла это положение форсунки менять не рекомендуется, чтобы не ухудшить процесс сгорания топлива.

Воздухонаправляющее устройство (ВНУ) служит для подачи необходимого количества воздуха в топку котла. От работы ВНУ зависит качество распыла, его смесеобразование, процесс горения, экономичность работы котла.

Направляющие лопатки ВНУ при наладке работы котла можно поворачивать, изменяя сечение для прохода воздуха и тем самым регулируя его скорость и даже температуру.

Регистр (заслонки) ВНУ обычно имеет два положения «открыто» и «закрыто» и закрывается плотно автоматически (или вручную) при выводе форсунки из действия. При вентиляции топки перед розжигом форсунки регистр должен быть полностью открыт.

Включение форсунки контролируется с помощью фотоэлемента, который при отсутствии факела прерывает цепь электропитания топливно-форсуночного насоса. Также автоматически подается команда на перекрытие подачи топлива на форсунку.

Фотоэлемент непрерывно задействован в работу с момента розжига форсунки и до вывода котла из действия.

Конструкции форсунок различных типов паровых котлов

Подготовка мазута перед его сжиганием заключается в отделении воды, механических примесей и подогреве.

Процесс сжигания жидкого топлива состоит его пульверизации, прогрева и испарения, термического разложения, смешивания полученных продуктов с воздухом, воспламенения и горения.

Для непрерывного горения топлива необходимо три основных условия:

1. Бесперебойная подача в топку топлива и воздуха.
2. Непрерывный отвод продуктов сгорания.
3. Поддержание необходимой для горения температуры.

Как было сказано выше, при факельном процессе топливо сжигается во взвешенном состоянии непосредственно в топочном объеме (топке). При этом сжигаемое топливо движется в топочном объеме вместе с потоками воздуха и газов. Время пребывания топлива в топке ограничивается несколькими секундами, а чаще даже десятками долями секунды. Для того чтобы при таких условиях добиться экономичного горения, необходима высокая скорость сгорания топлива. Прежде всего, надо увеличить активную реагирующую поверхность топлива, т.е. предварительно мелко распылить его. Жидкое топливо распыливают при помощи форсунок.

Метод сжигания жидкого топлива распыливанием впервые был предложен и разработан русскими теплотехниками. А.И. Шпаковский в 1865 г. изобрел первую форсунку. Другой русский инженер и изобретатель В.Г. Шухов в конце 19-го века сконструировал простую и надежную *паровую* форсунку, прототип которой можно встретить и сейчас.

Качество распыливания топлива зависит от давления и вязкости топлива, подаваемого к форсунке: чем меньше вязкость и выше давление, тем лучше распыливание топлива.

Требования к форсункам СПК:

1. Простота устройства, удобства замены и очистки.
2. Надежная, долговременная работа.
3. Качественное распыливание топлива.
4. Возможность автоматического регулирования.
5. Низкая стоимость в изготовлении.

Обычно на мировом флоте применяют форсунки 4 видов:

1. Механические центробежные форсунки (нерегулируемые и с регулируемым сливом)
2. Паромеханические
3. Ротационные
4. Автоматизированные топочные агрегаты

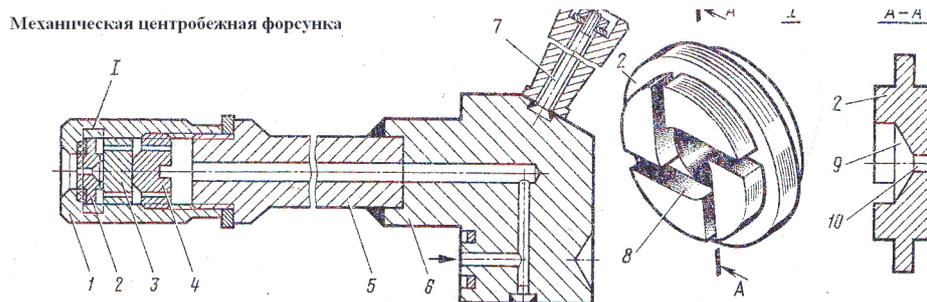
Механические центробежные форсунки

В них распыливание топлива происходит благодаря высокому давлению топлива, которое создается топливно-форсуночным насосом.

Механические центробежные форсунки делятся на *нерегулируемые* и с *регулируемым сливом*.

Это деление форсунок на нерегулируемые и регулируемые (с обратным сливом) условное – т.к. можно изменять подачу у обеих форсунок. К нерегулируемым относятся форсунки с малой глубиной регулирования (топливным клапаном на входе) и такие, у которых изменение подачи связано с их выключением, выемкой из топочного устройства и заменой распыливающей шайбы.

Нерегулируемые форсунки



- 1 – головка;
- 2 – распыливающая шайба;
- 3 – распределитель (сопло);
- 4 – стопорная втулка;
- 5 – ствол;
- 6 – корпус;
- 7 – ручка;
- 8 – тангенциальные каналы;
- 9 – вихревая камера;
- 10 – центральное отверстие.

Распыливающие шайбы изготавливают из высоколигированных хромоникелевых или хромовольфрамовых сталей. Количество тангенциальных каналов от 2 до 7.

Форма факела форсунки зависит от отношения

$$\Phi_k / \Phi_0$$

где, Φ_k – суммарная площадь всех тангенциальных каналов;

Φ_0 – площадь сечения центрального отверстия.

Чем меньше отношение Φ_k / Φ_0 , тем угол конуса распыливания будет больше, а длина факела меньше.

Угол конусности распыливаемого топлива обычно составляет 60 - 90°.

Регулирование таких форсунок – изменение давления топлива или сменой распыливающих шайб.

Механические центробежные форсунки обеспечивают *хорошее распыливание* при подогреве мазута примерно до $90 \div 110^\circ\text{C}$ (конкретную температуру узнают из номограмм вязкости применительно к данному топливу) и давлении топлива $1,6 \div 2 \text{ МПа}$. При давлениях топлива *ниже 0,8 МПа* качество распыла резко ухудшается.

Поверхности соприкосновения распыливающей шайбы 2 и сопла 3 тщательно притирают и при сборке головки прижимают одну к другой стопорной втулкой 4.

Топливо от топливно-форсуночного насоса по отверстиям в корпусе и каналу ствола через сверления в стопорной втулке и сопле поступает к распыливающей шайбе. По тангенциальным каналам топливо устремляется к центру – в вихревую камеру, где интенсивно раскручивается. Затем входит в топку через центральное отверстие в виде вращающегося конуса мелко распыленных частиц.

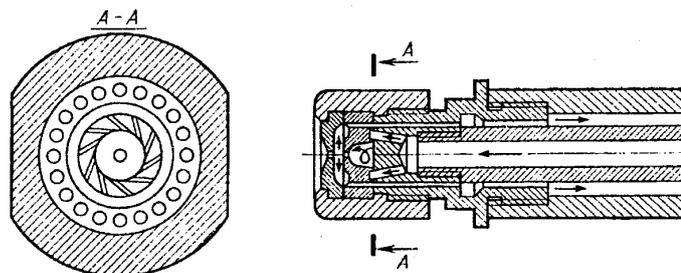
С регулируемым сливом

Качественное регулирование обеспечивают форсунки с регулируемым сливом.

Расход топлива у этих форсунок может изменяться от 100% до 20% при неизменном давлении на входе в форсунку. Слив происходит из вихревой камеры распыливающей шайбы, или из соплового распределителя. Подача форсунки регулируется изменением открытия клапана, расположенного за сливным штуцером. При полностью закрытом клапане форсунка работает как нерегулируемая с «тах.» подачей. Увеличение количества сливаемого топлива позволяет уменьшить количество топлива, подаваемого в топку, без значительного ухудшения качества распыливания.

В форсунке использован такой же распылитель, как и в механических центробежных нерегулируемых форсунках.

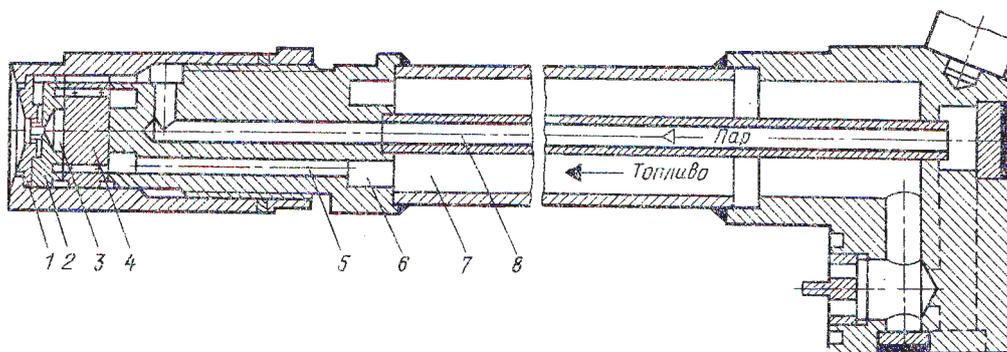
Но, эти форсунки более сложны в своей конструкции, а также в эксплуатации, и из-за большого количества, отводимого из них горячего топлива в специальную цистерну – пожароопасные. Поэтому возникает необходимость в установке топливоохладителя на сливе топлива перед сливной цистерной, что в свою очередь усложняет систему и увеличивает ее стоимость.



Форсунка с обратным сливом топлива

Паромеханические форсунки

Паромеханическая форсунка



1 – паровая распыливающая шайба;
2 – топливная распыливающая шайба;
3 – вихревая камера;
4 – распределитель (сопло);

5 – сверление;
6 – головка;
7 – топливный кольцевой канал;
8 – центральная паровая труба.

Топливо от топливно-форсуночного насоса по кольцевому каналу ствола 7 поступает в головку форсунки 6 и затем по сверлениям 5 в сопло 4. Затем топливо по тангенциальным каналам в распыливающей шайбе 2 поступает в вихревую камеру 3 и, раскрутившись в ней, направляется в топку. При снижении нагрузки на котел, когда подача топлива на форсунку уменьшается (следовательно, и ухудшается качество распыливания топлива), по центральной трубе 8 автоматически подается пар, который попадает на тангенциальные каналы паровой распыливающей шайбы 1. Выходящее из шайбы 2 механически распыленное топливо дополнительно подхватывается закрученным быстро движущимся потоком пара в шайбе 1 и паро-топливная закрученная смесь поступает в топку котла.

Основным достоинством этих форсунок является значительно большая глубина регулирования подачи при сравнительно невысоких давлениях, создаваемых топливно-форсуночными насосами (0,6 ÷ 3 МПа) при хорошем качестве распыливаемого топлива.

При нагрузках, близким к полным нагрузкам паромеханическая форсунка работает, как чисто механическая центробежная форсунка.

На сниженных нагрузках автоматически включается подача пара с давлением примерно 0,15 – 0,2 МПа. Расход пара – примерно 0,05 – 0,15 кг/кг топлива, что для котлов существенного значения не имеет.

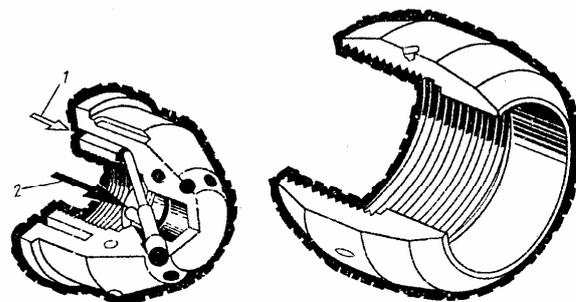
При периодических продувках распылителей паром уменьшается их засорение и коксуемость (а также благоприятно сказывается на уменьшении нагарообразования на трубах по газовой стороне).

Недостаток – безвозвратный расход пара и пресной воды и более сложная конструкция, чем у механических центробежных форсунок.

Рассмотрим несколько видов более сложных конструкций паромеханических форсунок, встречающихся в мировом флоте, к примеру, английских. Друг от друга они, в основном, отличаются лишь разнообразием распылителей и ВНУ.

Форсунка с закрученной струёй:

Форсунки с закрученной струей в комплекте с воздухомнаправляющими устройствами в виде труб Винтури (происходит завихрение потока воздуха благодаря видоизмененным лопаткам) производит фирма «SEA Combashi Lmd». Топливо и пар после смешения выходят из распылителя в виде наклоненных струй. Особенностью конструкции является то, что образуется устойчивый конус распыленного топлива, обеспечивающий стабильные характеристики факела в широком диапазоне изменения нагрузок. Характеристики смесительной камеры выбраны по условиям минимального расхода пара.



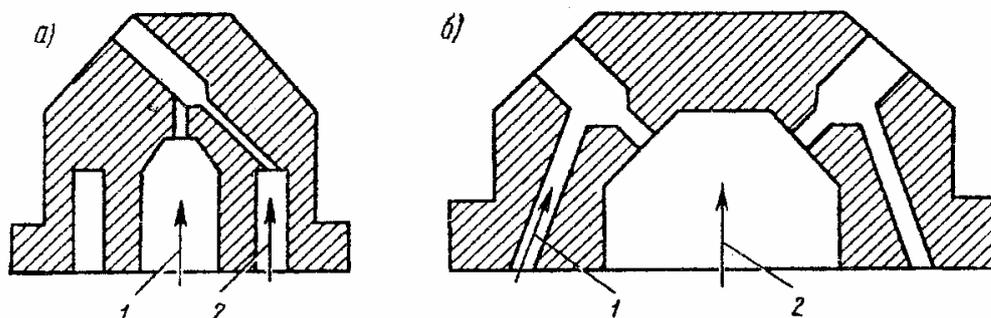
Распылитель форсунки с закрученной струей:
1 — подвод пара или воздуха; 2 — подвод топлива

Распылитель крепят к корпусу, который допускает различное тепловое расширения труб подвода топлива и пара. Он же может быть демонтирован во время работы котла. Предусмотрена и механическая блокировка, отключающая подвод топлива и пара перед демонтажем корпуса форсунки, а также система защиты закрывает заслонку, которая препятствует поступлению горячего газа в МКО при снятой форсунке.

Диапазон регулирования форсунки составляет 20:1. При полной нагрузке котла (максимальной подаче топлива) расход пара составит 0,02 кг на 1 кг сожженного топлива.

Форсунки типа «У» (рис. б), и с - закрученной струёй (рис. а) фирмы «BAVKOK @ VILYKOK»

Как и в форсунках с закрученной струёй, у форсунок фирмы «Бабкок и Вилькок», в



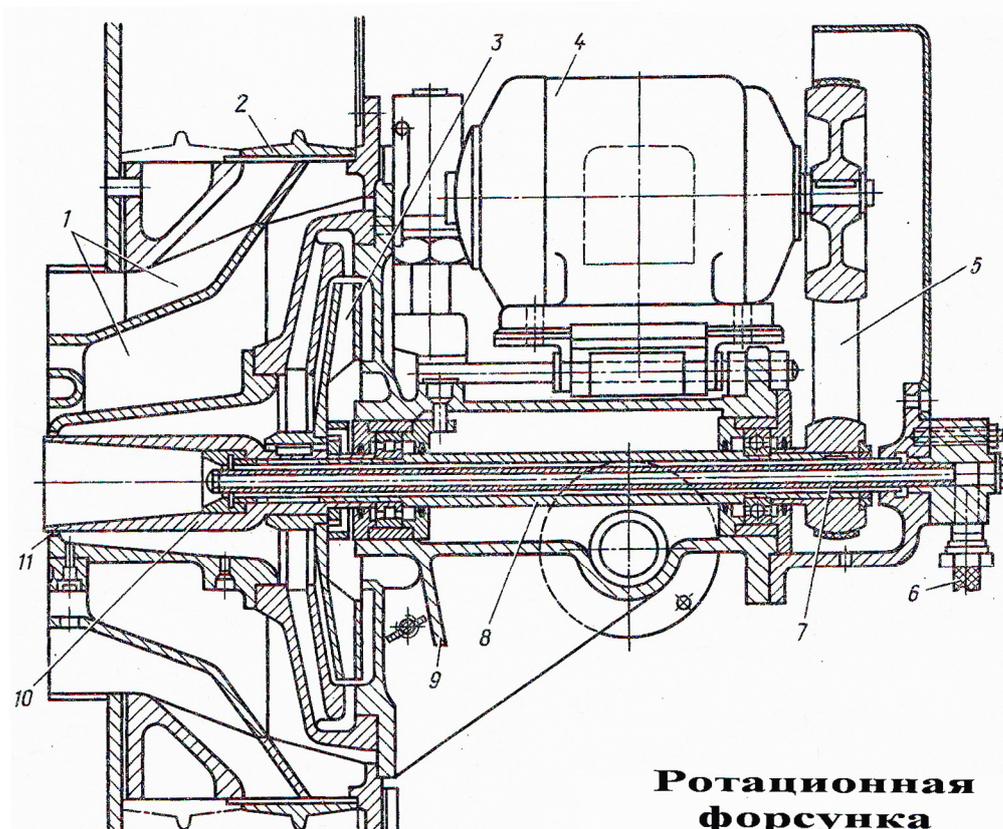
Распылители форсунок с закрученной струей и типа У
1 — подвод топлива; 2 — подвод пара

распылителе предусматривается Y – образное соединение каналов подвода топлива и пара. Все отличие заключается лишь в том, что у форсунок типа Y *пар* подводится *непосредственно* (по трубке) к головке распылителя к центральному сверлению, а *топливо* – по кольцевому каналу головки распылителя.

Распыливание топлива осуществляется при использовании энергии совместного удара струи топлива и пара, движущихся с большой скоростью.

Для повышения качества распыливания топлива в форсунках используют пар низкого давления. Форсунки типа „Y” фирмы «Бабкок и Вилькок» выпускают в комплекте с ВНУ (воздухонаправляющими устройствами).

Ротационные форсунки



Ротационная форсунка

1- подача воздуха от котельного вентилятора;
2 – регулирующие шибера подачи воздуха;
3 – колесо вентилятора форсунки;
4 – электродвигатель;
5 – ременная передача;

6 – штуцер подачи топлива;
7 – неподвижная труба;
8 – вращающийся полый вал;
9 – патрубок забора воздуха из МКО;
10 – вращающийся стакан;
11 – кольцевой зазор.

Стакан 10 вместе с полым валом 8 приводится во вращение от электродвигателя 4 через ременную передачу 5. Топливо через штуцер 6 подается в неподвижную трубу 7, расположенную внутри полого вала 8, и из нее попадает на внутреннюю поверхность стакана.

Под действием центробежных сил топливо прижимается к внутренним стенкам стакана. Благодаря их небольшой конусности пленка топлива движется к выходной кромке стакана. Вместе с полым валом вращается насаженное на него колесо вентилятора 3, который через патрубок 9 забирает воздух и нагнетает его в кольцевой зазор 11 под давлением примерно $0,5 \text{ кг/см}^2$.

Основной воздух (около 90 %) для горения топлива поступает в топку из межобшивочных каналов каркаса котла от котельного вентилятора. Каналы 1 оборудованы регулирующими шиберами 2.

Достоинства:

1. Надежность в эксплуатации.
2. Большая глубина регулирования.
3. Отсутствие засоряющихся каналов и отверстий.
4. Надежное регулирование, хороший распыл топлива при его малых давлениях (0,05 ÷ 0,15 МПа).

Недостатки:

1. Сложность конструкции.
2. Шум при работе.
3. Необходимость поддержания с помощью дымососов разрежения в топке, если на котле установлено несколько форсунок.

Последние обусловлено тем, что при очистке или ремонте одной из форсунок, при работающих остальных, при извлечении её из топки, образуется достаточно большая амбразура. Эту амбразуру нужно закрывать съёмным стальным щитом. При работе дымососа им создается разрежение в топке, и щит прижимается к амбразуре. При этом исключается выброс пламени от работающих форсунок.

Распыливание топлива в ротационных форсунках происходит под действием центробежной силы, создаваемой распылителем, вращающимся с большой частотой вращения (~ 5000 об/мин). А регулирование – путем изменения открытия клапана, подводящего топлива к форсунке.

Автоматизированные топочные агрегаты

1 – исполнительный механизм (ИМ);

2 – воздушная заслонка;

3 – электродвигатель;

4 – вентилятор;

5 – фотоэлемент;

6 – трансформатор зажигания;

7 – топливная труба;

8 – электроды;

9 – рабочее сопло;

10 – дополнительное сопло;

11, 12 – электромагнитные клапана;

13 – топливоподогреватель;

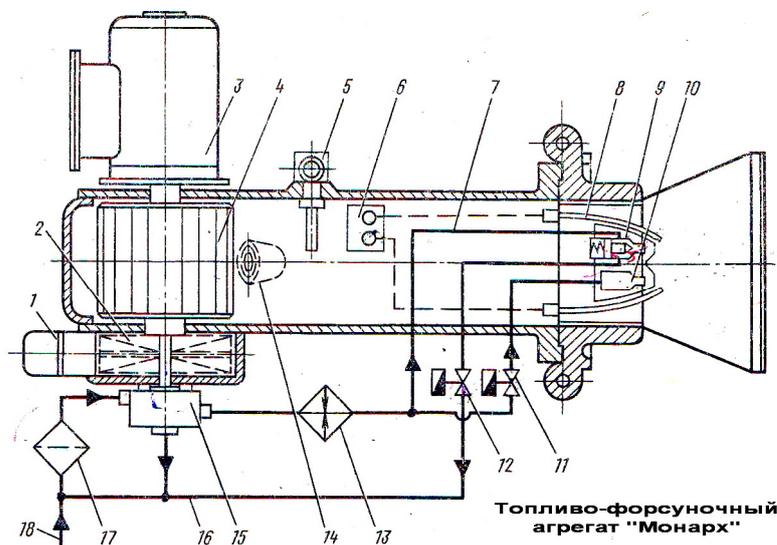
14 – смотровой глазок;

15 – топливный насос;

16 – топливная труба обратного слива;

17 – топливный фильтр;

18 – всасывающий топливный трубопровод.



На рисунке показано топочное устройство типа «Монарх» фирмы «Вайсхаупт». Подобные горелки, зарекомендовавшие себя как очень удачное конструктивное решение, используются на судах на протяжении более четырех десятилетий. Производительность горелок «Монарх» составляет 5 – 925 кг/ч. Такой широкий диапазон позволяет использовать их в котлах всевозможных мощностей и назначений.

Управление топочным устройством осуществляется автоматически, обеспечивая последовательное выполнение операций в зависимости от сигналов реле давления пара, установленных на котле. Например, если давление в котле понизится до заранее установленного значения, включится электродвигатель 3. И вместе с ним начнут работать закрепленные на его валу вентилятор 4 и топливный насос 15. Одновременно включится в работу электрический топливоподогреватель 13. После обязательной вентиляции топки в течение 3 мин. (при первичном розжиге форсунки) при которой воздушная заслонка 2 будет полностью открыта, включится в работу система управления розжига форсунки. Первые 20 – 30 секунд (в зависимости от настройки системы и используемого топлива) проводится штатное вентилирование топки. Топливный насос через свой золотник будет забирать топливо из расходной цистерны по трубопроводу 18 через фильтр 17. Топливо будет частично прокачиваться на слив (малый круг рециркуляции) и частично через трубу 7, полость сопла 9, открытый электромагнитный клапан 12, трубу 16 во всасывающую магистраль (большой круг рециркуляции). По достижении требуемой температуры топлива и окончании вентиляции топки включится трансформатор зажигания 6, закроется клапан 12 и прикроется воздушная заслонка 2. Поскольку слив топлива через сопло 9 прекратится, топливо под воздействием своего давления отожмет поршень запорного клапана сопла 9, направится к распределителю (по конструкции идентичен распыливающему устройству механической центробежной форсунки) и воспламенится от дуги электродов 8. Исполнительный механизм 1 откроет воздушную заслонку 2 пропорционально количеству топлива, подаваемого к соплу 9. Фотоэлемент 5, приняв свет от факела, отключит трансформатор зажигания 6. Если зажигания топлива не произойдет (из-за попадания воды, низкого давления топлива и т.п.), то по сигналу от фотоэлемента электромагнитный клапан 12 откроется и топливо уйдет на большой круг рециркуляции. Затем весь цикл розжига с предварительной вентиляцией повторится вновь. Если не произойдет повторного розжига, то система остановится (откроется клапан 12, отключится питание на трансформатор зажигания 6 и отключится электродвигатель 3) и включится звуковая и световая сигнализация.

Если произойдет провал по давлению пара (резко увеличится расход пара из котла на потребители), давление в котле упадет ниже настроечного значения, то дополнительно включится в работу сопло 10, для чего откроется электромагнитный клапан 11, и топливо будет одновременно подаваться на оба сопла. Исполнительный механизм 1 повернет заслонку 2 для увеличения подачи воздуха. Воспламенение топлива из сопла 10 произойдет от факела уже работающего сопла 9.

При подъеме давления пара в котле до заданного значения (обычно ниже рабочего давления пара в котле на $0,1 - 0,3 \text{ кг/см}^2$) сопло 10 прекращает работать (клапан 11 закроется), заслонка 2 вернется в исходное положение (как при работе на одном сопле). При достижении рабочего давления в котле топливно-форсуночный агрегат отключится. Затем, если давление в котле понизится до заранее установленного значения, весь цикл работы форсунки повторяется. И так продолжается все время работы котла.

Для визуального контроля за процессом горения (контроля за пламенем факела) предусмотрен смотровой глазок 14.

Тягодутьевые устройства СПК

Устойчивое горение топлива невозможно без непрерывного подвода воздуха к очагу горения (факелу) и непрерывного отвода газообразных продуктов горения. По газоходам продукты сгорания отводятся из топки, а по воздухопроводам – подается воздух.

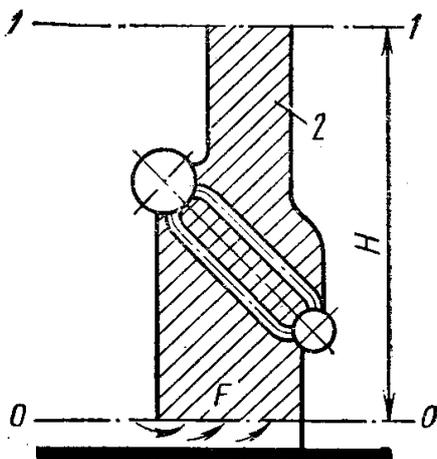
Перемещение любого объема газа или воздуха невозможно без действия или воздействия, каких либо сил извне. Вследствие различной плотности горячих и более холодных газов и воздуха возникает *естественная тяга*. При помощи различных тягодутьевых устройств возможно принудительное перемещение потока – вентиляторов, эжекторов, дымососов и т.д.

При своем передвижении по газозухопроводам воздух, или газ встречает на своем движении различные сопротивления: внезапные изменения сечения газохода, повороты, трения. Для их преодоления необходимо затратить какую-то энергию. В котельном агрегате необходимо добиться такого, чтобы перемещение потоков воздуха и газов по нему, требовало как можно меньшего расхода этой энергии. И в то же время необходимо добиться максимальной теплопередачи от газов к поверхности нагрева.

Для преодоления сопротивления в воздушно-газовом тракте должна быть обеспечена, какая либо из *движущих сил* – это или:

1. Самотяга (естественная тяга).
2. Искусственное дутьё (вентилятор).
3. Искусственная тяга (дымосос, пароструйный эжектор).

Самотяга возникает из-за разностей плотностей атмосферного воздуха и дымовых газов. Она зависит от высоты дымовой трубы (расстояние от самой нижней форсунки до среза трубы).



Силу тяги (или разрежение) в котельной практике измеряют тягомерами (или дифференциальными манометрами). Это U – образная трубка, заполненная подкрашенной водой (для лучшей видимости), закрепленная на планке со шкалой. Один конец трубки подсоединен к газоходу, другой сообщен с атмосферой машинного отделения. Если оба колена тягомера подсоединить к каким-либо двум точкам газохода, то разность уровней будет определять сопротивление этого участка между двумя точками подключения.

Силой тяги (разрежением) S называют разность между барометрическим давлением B и статическим давлением ρ в газоходе, т.е.

$S = B - \rho$ (мм. вод. ст.) или (мм. рт. ст.), откуда статическое (абсолютное) давление в газоходе:

$$\rho = B - S$$

(Справка: $\text{кгс/см}^2 = 736 \text{ мм. рт. ст.} = 10\,000 \text{ мм. вод. ст.} = 0,981 \text{ бар.}$)

Если, например, показание тягомера, подключенного к газоходу, составят $S = 10 \text{ мм. рт. ст.}$, а барометрическое давление $B = 750 \text{ мм. рт. ст.}$, то абсолютное давление газов в этой точке газохода:
 $\rho = 750 - 10 = 740 \text{ мм. рт. ст.}$

Иногда используют не регистрирующие или регистрирующие мембранные тягомеры, работающие на принципе перемещения мембраны и связанной с ней стрелки под действием измеряемой силы. Регистрирующие тягомеры производят одновременно запись показаний на ленту.

Для определения величины самотяги (естественной тяги) котла допустим, что горячие газы внутри газохода котла (см. рис.) 2 имеют одинаковую во всех точках температуру и занимают пространство, ограниченное сечениями $0 - 0$ и $1 - 1$, т.е. от пода топки до среза дымовой трубы. Давление горячих газов в сечении $0 - 0$ на некоторую площадку F будет $H\gamma_g$ (кгс/м³), где: H – высота газохода (м), а γ_g – плотность газов (кг/м³).

С другой стороны, на эту же площадку F будет действовать давление холодного воздуха, равное $H\gamma_{x.v.}$ (где $H\gamma_{x.v.}$ – плотность холодного воздуха, кгс/м³). Т.к. $\gamma_{x.v.} > \gamma_g$, то воздух будет вытеснять горячие газы из газохода с силой T_c кгс/м² (или, мм. вод. ст.).

Следовательно:

$$T_c = H\gamma_{x.v.} - H\gamma_g$$

или:

$$T_c = H(\gamma_{x.v.} - \gamma_g)$$

Величину T_c называют силой естественной тяги, или самотягой.

Из сказанного выше ясно, что сила естественной тяги будет тем больше, чем выше дымовая труба, ниже температура наружного воздуха и выше температура газов. Но иногда, (что чаще всего) конструктивными условиями постройки судна высота трубы ограничивается. Поэтому самотяга не может преодолеть все сопротивления газохода (о чем говорилось ранее), поэтому приходится устанавливать различные тягодутьевые устройства.

Дутьё. Осуществляется котельным вентилятором. Привод – электродвигатели, редко паровые турбины. Электродвигатели с 2 – 3 скоростями, количество воздуха регулируется дроссельными заслонками на всасывании.

Вытяжная тяга (искусственная). Дымососы, в основном устанавливают на пассажирских судах (для отвода дымовых газов от трубы как можно дальше от палубы). А также, если на котле установлены ротационные форсунки – для создания разрежения в топке котла при демонтаже форсунки при работающем котле. Дымососы – электро-вытяжные вентиляторы или пароструйные эжекторы (подводимый пар с большой скоростью увлекает за собой дымовые газы, создавая в топке и в газоходе разрежение). **Недостаток пароструйных эжекторов** – безвозвратные потери пара, и, как следствие – потери котловой воды.

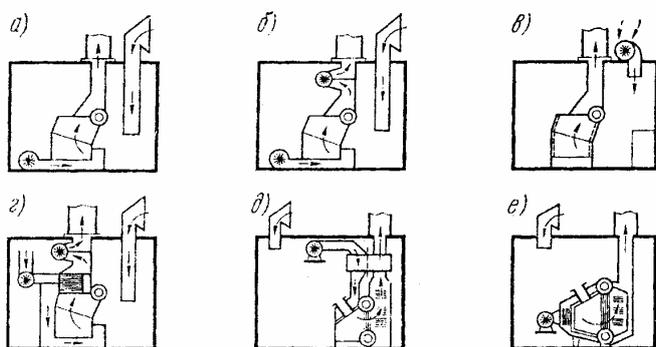
К электровентиляторам необходимо обращать особое внимание, т.к. они работают в сложных условиях горячих газов и продуктах неполного сгорания топлива.

Смешанная тяга. Одновременное дутьё (для подачи воздуха в топку на горение) и дымосос – для удаления газов из топки.

Фланцы газоходов и воздухопроводов должны обеспечивать достаточную герметичность и предотвращать утечки воздуха или газов. Стенки газоходов и воздухопроводов горячего воздуха изолируют специальными блоками из совелитта либо нювелитта, и покрывают их тонколистовой сталью.

При монтаже газоходов и воздухопроводов необходимо предусматривать возможность их свободного теплового расширения.

В УК сопротивление газохода преодолевается под воздействием избыточного давления, отработавших в ГД газов (выхлоп ГД).



Рассмотрим некоторые системы подвода воздуха в топку водотрубных котлов:

Системы подвода воздуха в топку водотрубных котлов

а) котельный вентилятор подает воздух непосредственно к форсункам котла. Это наиболее простой способ, требует минимальных капитальных затрат.

Недостатки:

1. Так как кожух котла оказывается незащищенным, возможны протечки газа в МО.
2. Кожух котла подвержен короблению в большей степени, чем в случае способа *з)*, т.к. отсутствует охлаждение его воздухом, проходящим через межобшивочное пространство.

б) предыдущая система дополнена дымососом, установленным в дымоходе котла.

Недостатки: трудность обеспечения надежной работы дымососа и его привода.

в) «закрытое» МО, вход в которое осуществляется через специальный тамбур. В настоящее время редко встречается на судах торгового флота, т.к. давление в МО должно быть не выше 5 КПа (выше вредно для здоровья человека), встречается на только кораблях ВМС.

г) воздух к форсункам подается дутьевым вентилятором через 2-х слойную обшивку котла, котел может быть дополнительно оборудован дымососом.

д) и е) практически не используют, или используют на мощных ГК, когда предъявляются повышенные требования к к.п.д. котла.

Арматура и КИП СПК Назначение и конструкция

По требованию Регистра вся арматура котла должна:

1. Устанавливаться на приварных патрубках, штуцерах или приварышах с фланцами.
2. Установка штуцеров допускается при диаметре прохода не более 15 мм.
3. При фланцевом соединении на шпильках длина полной резьбы шпилек, входящих в тело приварыша, должна быть не меньше наружного диаметра резьбы шпильки.
4. Вся арматура котла (по пару) должна изготавливаться из стали.

На котлах с рабочими параметрами пара: давление не более 10 кг/см² и температура не более 200 °С, разрешается устанавливать арматуру, изготовленную из высокопрочного чугуна, но при условии что диаметр прохода не превышает 200 мм., кроме арматуры парового пространства.

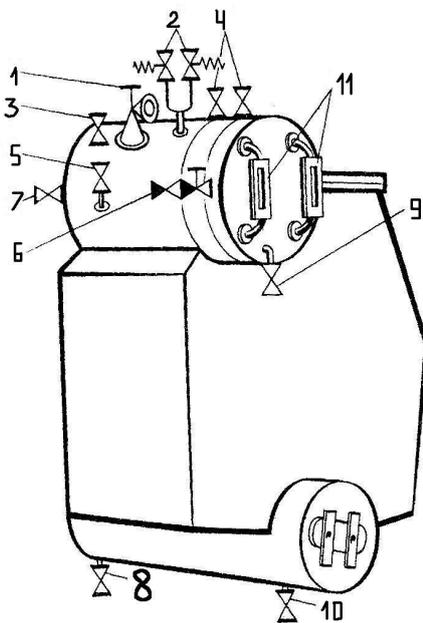


Схема расположения арматуры на паровом котле

К арматуре парового пространства котла относятся:

1. Стопорный клапан.
2. Предохранительный клапан.
3. Воздушный клапан. Служит для:
 - а) выпуска воздуха из парового коллектора при заполнении его водой;
 - б) при вводе котла в действие – должен быть открыт, закрывают, когда из него начнет выходить пар;
 - в) при постановке котла на «мокрое» хранение – закрывают, когда из него начинает выходить вода;
 - г) при осушении котла для осмотра или ремонта – для сообщения котла с атмосферой.
4. Клапана к манометрам (по требованию Правил Регистра котел должен иметь не менее 2-х манометров).
5. Клапана для КИП и САР.

К арматуре водяного пространства котла относятся:

6. Питательные клапаны (по правилам Регистра котлы должны иметь не менее 2-х независимых питательных систем).
7. Клапан верхнего продувания (для удаления с зеркала испарения плавающих примесей и шлама).
8. Клапан нижнего продувания (для удаления из котла осевшего шлама).
9. Клапан для отбора проб.
10. Клапан осушения (устанавливается в самой нижней точке водяного коллектора).
11. Клапана к водоуказательным приборам (стекла Клингера).

Арматура систем питания и продувания котлов может быть стальной, бронзовой или латунной. Если для обработки питательной воды вводятся щелочи не непосредственно в котел, а в теплый ящик, то клапаны и краны арматуры, соприкасающиеся со щелочной водой, рекомендуется изготавливать из оловянистой бронзы, не содержащей цинка, который быстро разъедается щелочными растворами.

При подготовке котла к действию все паровые клапаны на котле и паропроводах *необходимо слегка стронуть на открытие* во избежание их зажима при прогревании и оставить их закрытыми – не обжимая.

Стопорный клапан

Служит для сообщения котла с паропроводом, через который пар отбирается к потребителям. На пароперегревателе котла обязательно должен устанавливаться свой стопорный клапан.

Стопорные клапана должны иметь дистанционное управление в виде валикового (карданного) привода (помимо местного), вынесенного из машинного отделения. Обычно в районе верхней палубы, главное условие – *на главную или выше главной палубы*.

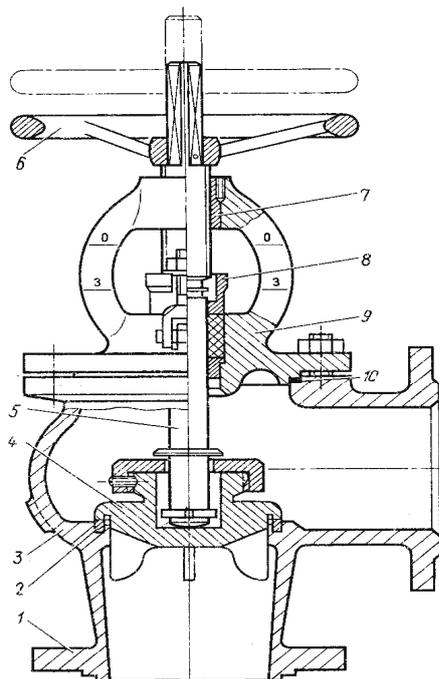
По принципу действия могут быть запорными (тарелка и шток жёстко соединены между собой) и невозвратно-запорными (тарелка и шток не жёстко соединены между собой). Большинство клапанов – невозвратно-запорные, у них подъем тарелки происходит под воздействием на неё давления пара в котле. По конструкции могут быть проходными и угловыми.

На барабане огнетрубного котла шотландского типа, обычно устанавливают стопорный клапан углового типа со стальным литым корпусом и запрессованным бронзовым гнездом. Бронзовая тарелка клапана снабжена хвостовиком. Шток клапана, имеющий винтовой привод, соединяется с тарелкой с помощью гайки и сухарей.

Открывать стопорный клапан необходимо медленно, не менее 15 минут.

Клапан может открываться под давлением пара снизу на тарелку в том случае, если шток клапана поднят. Закрывается клапан при опускании штока. Удлиненный квадрат штока сделан для присоединения дистанционного привода.

Гнездо клапана может быть изготовлено, как и тарелка клапана из нержавеющей стали и запрессовано в корпус (для водотрубных котлов).



- 1 – фланец крепления к приварышу на пароводяном коллекторе котла;
- 2 – гнездо клапана;
- 3 – литой стальной корпус;
- 4 – свободно закрепленная тарелка клапана;
- 5 – шток клапана;
- 6 – маховик;
- 7 – кронштейн с резьбовой втулкой;
- 8 – сальник с нажимной втулкой;
- 9 – крышка (верхняя часть) клапана;
- 10 – паронитовая прокладка.

Угловой невозвратно-запорный стопорный клапан

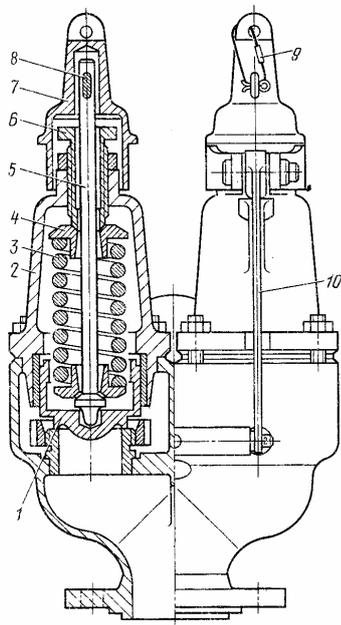
Предохранительные клапана

Служат для обеспечения безопасной работы котла. Они автоматически сбрасывают избыток пара (в вестовую трубу) при увеличении его давления выше рабочего.

Котлы с поверхностью нагрева более 12 м² должны иметь два предохранительных клапана. Для котлов с паропроизводительностью (расчетной) менее 1 т/ч пара и для УК достаточно иметь один предохранительный клапан.

Предохранительные клапана должны иметь тросиковый привод для их дистанционного подрыва из МО (непосредственно у котла) и с верхней палубы (главной или выше главной палубы). Если котел оборудован пароперегревателем, то на нем должен быть дополнительно установлен один предохранительный клапан. Этот клапан должен быть отрегулирован таким образом, чтобы он *открывался раньше*, чем предохранительный клапан, установленный на паровом коллекторе котла. В противном случае при подрыве клапана, установленного на котле, через пароперегреватель не будет проходить пар, что может вызвать перегрев и повреждение змеевика пароперегревателя.

По конструкции бывают прямодействующие и непрямого действия.



Сдвоенный прямодействующий предохранительный клапан

Прямого действия:

- 1- тарелка собственно клапана;
- 2 – крышка (верхняя часть клапана);
- 3 – пружина;
- 4 – верхняя тарелка пружины;
- 5 – шток;
- 6 – прижимная регулировочная втулка;
- 7 – съемный колпак;
- 8 – чека штока;
- 9 – пломба Регистра;
- 10 – рычаг для подрыва клапана вручную (связан с колпаком).

При превышении заданного давления пара в котле тарелка клапана, преодолевая натяжение пружины, под действием давления пара поднимается, и избыток пара выпускается через паротводящий трубопровод (востовую трубу) в атмосферу. После снижения давления пара в котле до заданного, под действием пружины клапан закрывается.

При превышении заданного давления пара в котле тарелка клапана, преодолевая натяжение пружины, под действием давления пара поднимается, и избыток пара выпускается через паротводящий трубопровод (востовую трубу) в атмосферу. После снижения давления пара в котле до заданного, под действием пружины клапан закрывается.

Для подрыва клапана вручную имеется привод с рычагом 10, который связан со съемным колпаком. При повороте рычага колпак поднимется и, воздействуя через чеку на шток, поднимает тарелку собственно клапана.

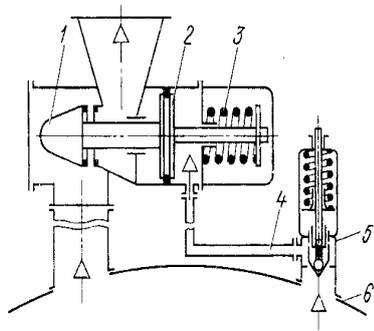
Непрямого действия:

Применяется у котлов с высокой паропроизводительностью и высоким рабочим давлением, т.к. тарелка клапана должна быть большего диаметра и иметь более жесткую пружину, которая малочувствительна к регулировке.

Состоит как бы из двух клапанов – импульсного и собственно предохранительного.

Импульсный клапан изготовлен на небольшие диаметры прохода, поэтому в нем установлена пружина небольшого диаметра и сравнительно нежесткая, поддающаяся регулировке.

По конструкции мало, чем отличается от прямодействующего предохранительного клапана. Отличие лишь в том, что при подрыве клапана пар отводится не в атмосферу, а поступает в поршневую полость предохранительного клапана. Давление от импульсного клапана 5 передается по импульсному трубопроводу в полость над поршнем ИМ (исполнительного механизма). Поскольку диаметр поршня ИМ больше диаметра тарелки 1 предохранительного клапана, поршень преодолевает сопротивление пружины 3 и клапан откроется. Когда давление в котле снизится до установочного давления, импульсный клапан 5 закроется, давление в полости ИМ упадет, и клапан 1 под действием пружины 3 закроется.



1 — тарелка предохранительного клапана; 2 — поршень серводвигателя; 3 — пружина; 4 — импульсный трубопровод; 5 — импульсный клапан; 6 — паровой коллектор

По требованию Регистра предохранительные клапана котлов регулируют так, чтобы максимальное давление при их автоматическом подрыве не превышало рабочее давление в котле более чем на 10 %.

В соответствии с ПТЭ СПК второй клапан котла (который не пломбируется) рекомендуется регулировать так, чтобы их максимальное давление при их автоматическом подрыве не превышало рабочее давление на:

- 1,05 для котлов с рабочим давлением до 1 МПа;

- 1,03 для котлов с рабочим давлением более 1 МПа.

По Регистру Ллойда для огнетрубных котлов клапаны должны подрываться при превышении рабочего давления в котле не более 3%.

По окончании испытания (повышении давления в котле выше рабочего) один из клапанов, пломбирует инспектор Регистра (во избежание поджатия клапанов членами

машинной команды для повышения давления в котле).

Для уменьшения потерь дистиллята при регулировании предварительное регулирование можно производить в токарной мастерской при помощи сжатого воздуха.

С целью обеспечения безопасной работы котла в эксплуатационных условиях при первом подъеме пара после такой регулировки проверяют давление, при котором начинается шипение клапанов.

Подрывать предохранительные клапана вручную с местного поста у котла рекомендуется раз в сутки для предотвращения залипания тарелки в седле.

Один раз в месяц необходимо подрывать их в присутствии ст. механика с составлением соответствующего акта и с записью в вахтенном машинном журнале с указанием давления открытия-закрытия.

Предохранительные клапаны должны быстро открываться, во время действия оставаться открытыми и плотно, без стука, садится на гнезда после снижения давления в котле до рабочего. Для этого нужно заботиться о сохранении первоначальных размеров клапана при его ремонте. Если гнездо клапана будет значительно расточено, то давление пара на него должно будет возрасти для его подрыва. Это потребует более сильного зажатия пружины, что не всегда выполнимо.

Пропуски предохранительного клапана могут возникнуть при разъедании или забоинах на рабочих поверхностях, перекосе от неравномерного зажатия фланцевых болтов. Иногда пропуски возникают при коррозии или трещинах в стенках корпуса клапана.

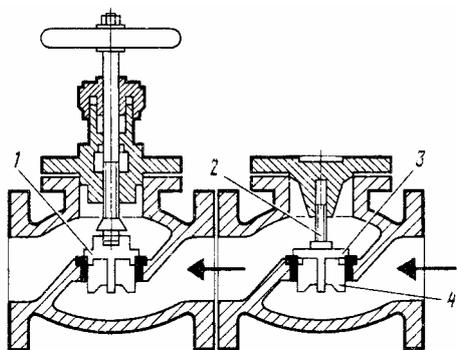
Желательно устанавливать в нижней части корпуса предохранительного клапана дренажные трубы для свободного стекания сконденсировавшегося пара в корпусе клапана после его открытия – закрытия (трубы не должны иметь клапанов). При засорении труб возможны перегрузка клапана, повреждения в результате гидравлических ударов, коррозия и заедание клапана.

При неплотной посадки тарелки в гнездо клапана надо притереть или проточить клапан, сохраняя по возможности неизменным диаметр гнезда.

Предохранительные клапана притирают машинным маслом с толченым стеклом или очень мелкой притирочной пастой.

Питательные клапана

Питательные клапана предназначены для питания котла водой. В качестве питательных насосов на судах применяют насосы поршневые и центробежные с электроприводом и паропроводом. На каждом котле должны быть установлены два питательных клапана в двух независимых системах.



Разобщительный и невозвратный питательные клапаны

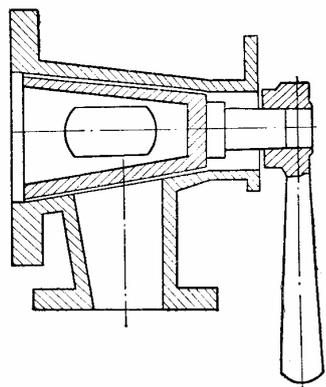
Питательный клапан состоит из двух клапанов (допускается размещение в одном корпусе): разобщительного 1 (устанавливается непосредственно на котле) и невозвратного 3 (устанавливается перед разобщительным). Разобщительный клапан по конструкции может быть запорным и невозвратно-запорным. Назначение невозвратного клапана – не дать воде возвратиться обратно из котла при остановке питательного насоса. Его особенность – отсутствие штока. Направляющий палец 2 и ребра 4 служат для направления движения клапана. Питательный насос должен создавать давление больше чем давление в котле. Вода подходит снизу под клапан и открывает его. С прекращением подачи воды клапан самостоятельно закрывается под действием давления воды в котле.

УК может иметь только один питательный невозвратно-запорный клапан.

Краны верхнего и нижнего продувания

Во время работы котла в водяном пространстве его барабана (барабанов) постепенно накапливается масло и шлам, а соленость воды в котле повышается.

Чтобы предотвратить загрязнение поверхности нагрева, необходима регулярная продувка, т.е. удаление из котла за борт судна части воды вместе с растворенными в ней солями и отложениями.



Кран верхнего продувания

Масляные образования, плотность которых меньше, чем плотность котловой воды, скапливаются у зеркала испарения; их удаляют верхним продуванием. Более тяжелые образования (шлам), оседающие в нижней части бочки огнетрубного котла или в водяном коллекторе (коллекторах) водотрубного котла, удаляют нижним продуванием.

Краны верхнего продувания выполняют обычными запорными или дроссельно-запорными, т.к. ими пользуются во время работы котла и они должны обеспечить снижение давления продуваемой воды до атмосферного давления. Тарелка дроссельно-запорного клапана имеет конусную форму. Дросселирование происходит в зазоре между гнездом и конусной частью тарелки.

Часто вместо клапанов устанавливают *пробковые краны*, т.к. попадание кусочков твердой накипи под клапан не позволит ему полностью закрыться и пар с водой может быть выдуты из котла (особо это касается нижнего продувания).

От крана верхнего продувания внутри котла идет труба верхнего продувания, которая представляет собой обычную цилиндрическую трубу с обращенными вверх отверстиями. Трубу устанавливают на НУВ (наинизший уровень воды) или немного ниже его.

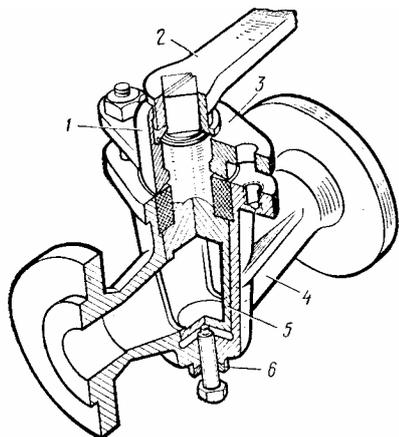
Если труба верхнего продувания установлена между НУВ и РУВ (рабочий уровень воды), то перед продувкой котла надо убедиться в том, что уровень воды не менее чем на 50 ÷ 100 мм выше приемных отверстий трубы, иначе вместо воды из котла будет удаляться пар. Положение верхней кромки трубы верхнего продувания рекомендуется отметить указателем на водомерном стекле.

Трубы нижнего продувания, размещенные в нижней барабанов огнетрубных котлов или в водяных коллекторах водотрубных котлов, представляют собой также обычные цилиндрические трубы с заглушенным концом и с отверстиями по их нижней образующей поверхности.

Суммарное сечение этих отверстий не должно превышать сечение трубы нижнего продувания. В противном случае при продуваниях котла возникают опасные для прочности фланцев и труб гидравлические толчки и вибрации.

Для возможности нормального продувания котла при полном рабочем давлении пара должна быть установлена дроссельная труба, у которой суммарная площадь всех отверстий (диаметром $5 \div 8$ мм) для приема шлама не превышает половины поперечного сечения трубы нижнего продувания. Протяженность дроссельной трубы должна быть не менее $2/3$ длины коллектора или барабана.

В качестве кранов нижнего продувания применяют пробковые или дисковые краны.



Кран нижнего продувания

1 – заплечник, не позволяющий снять рычаг в открытом положении крана;

2 – рычаг;

3 – уплотнительный сальник с крышкой;

4 – корпус;

5 – пробка;

6 – фиксирующий винт с гайкой.

Съемную рукоятку у крана нижнего продувания можно снять только при полностью закрытом кране т.к. заплечник 1 не позволяет её снять в открытом положении, чтобы не забыть об открытом кране и не упустить воду из котла. Рукоятку изготавливают удлиненной и располагают её так, чтобы она в открытом положении крана привлекала к себе внимание (например, в проходе).

Водоуказательные приборы

Каждый СПК можно надежно эксплуатировать только при определенном уровне находящейся в нем воды.

Различают наинизший (НУВ) и наивысший (ВУВ) допускаемые уровни воды. Рабочий уровень воды располагается примерно посередине между ними.

НУВ определяется из необходимости охлаждения водой наиболее высоко расположенных частей поверхности нагрева котла, т.е. предотвращения перегрева металла. ВУВ ограничивается необходимым объемом парового пространства, достаточным для отделения влаги от пара.

Каждый котел снабжен указателем НУВ, а иногда РУВ и ВУВ. Указатель изготавливают в виде шурупа (так называемого «огневого шурупа») или пластинки с риской и прочно прикрепляют к наружной поверхности барабана котла (не закрывается изоляцией).

В водотрубных котлах НУВ устанавливают на 150 мм выше верхних кромок наиболее высоко расположенных опускных труб.

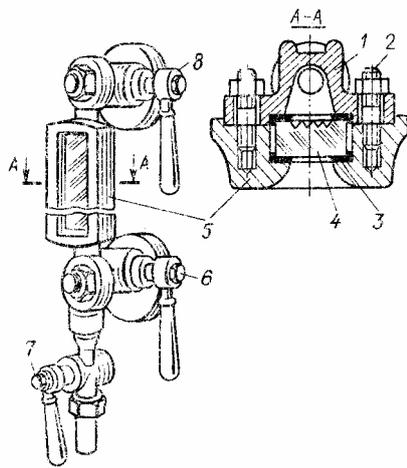
Также уровень воды в котле контролируют с помощью пробных кранов (для водотрубных котлов необязательно). *Огнетрубный котел должен иметь не менее двух пробных кранов.* Ось нижнего крана располагается на НУВ, ось верхнего на ВУВ. При установке третьего крана - между ВУВ и НУВ.

Каждый котел должен иметь не менее двух водоуказательных приборов.

Нижний край прорези для стекла водоуказательного прибора должен быть расположен выше НУВ не менее чем на 50 мм и не менее 150 мм над высшей точкой поверхности нагрева. Это расстояние должно сохраняться при крене до 5° на любой борт.

При расположении коллекторов поперек судна в каждом конце коллектора должен быть установлен самостоятельный водоуказательный прибор.

Водоуказательный прибор действует по принципу сообщающихся сосудов – его верхняя часть соединена с паровым пространством котла, а нижняя с водяным пространством котла.



Водоуказатель с кранами

Водоуказательный прибор с плоским стеклом (стекло Клингера) состоит из:

- 1 - гнездо рамки;
- 2 - шпильки;
- 3 - прокладки;
- 4 - плоское стекло;
- 5 - оправа (передняя часть прибора);
- 6 - запорный кран продувания водой;
- 7 - запорный сливной (под плиты КО) кран продувания;
- 8 - запорный кран продувания паром;

Водоуказательные приборы устанавливаются со стороны переднего фронта котла при хорошем освещении.

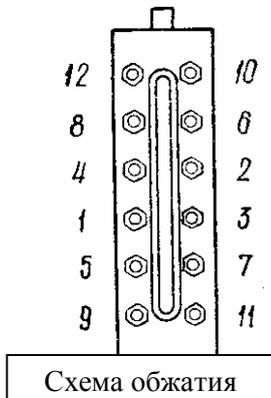
Внутренняя поверхность стекла 4 имеет параллельные призматические канавки (риски), что способствует четкой видимости уровня воды благодаря разному коэффициенту преломления луча. При этом вода кажется темной, а пар – серебристым. При работе котла уровень воды в стекле должен колебаться («дышать»).

Неподвижный уровень свидетельствует о засорении каналов водоуказателя, либо канавок (рисок) стекла. В этом случае стекло продувают, открывая сначала нижний спускной 7 кран прибора, а затем поочередно краны, сообщающие водоуказатель с паровым и водяным пространствами.

Трубы для продувки отводят под плиты котельного отделения (КО).

При установке кранов после ремонта необходимо следить за тем, чтобы в нормальном положении (паровой и водяной краны открыты, а продувочный – закрыт) они были направлены вертикально вниз. В этом случае исключается самопроизвольное открытие клапанов из-за вибрации котла и вибрации решеток и платформ МО.

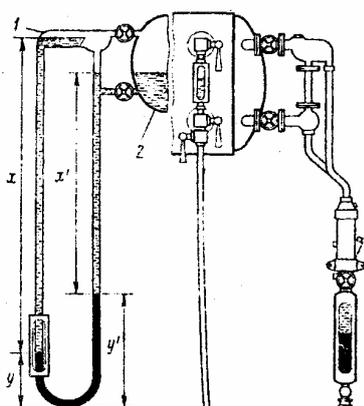
Для равномерного обжатия прокладок водомерного стекла после ремонта рекомендуется обжимать гайки в последовательности, показанной на рисунке.



Продувку водоуказательного прибора следует проводить следующим образом:

- а) открыть нижний клапан продувания водомерной колонки;
- б) закрыть паровой клапан водомерной колонки;
- в) открыть паровой клапан и затем закрыть водяной клапан;
- г) открыть водяной клапан, а затем закрыть клапан продувания водомерной колонки, после чего уровень воды в водоуказательном приборе должен установиться в нормальное положение (несколько выше, чем до продувания).

Перед продуванием следует отключить ДУУ, если это предусмотрено инструкцией по эксплуатации.



Дистанционный водоуказатель Игема

Дистанционные (сниженные) указатели уровня (ДУУ) применяют для того, чтобы можно было вести наблюдение за уровнем воды не только с местного пульта управления котла, но и из ЦПУ. Они являются дополнительными к штатным водоуказателям.

Устройство представляет собой U – образную трубу, нижняя часть которой заполнена специальной индикаторной жидкостью (тяжелее воды) красного цвета, которая не смешивается с водой. Труба, связанная с паровым пространством котла

заполнена конденсатом и имеет неизолированный конденсационный сосуд, который постоянно заполнен конденсатом.

Излишки воды из-за конденсации пара или изменения уровня воды в котле стекают через перегородку в другую трубу. Это труба соединена с водяным пространством котла, поэтому уровень воды в ней точно соответствует уровню воды в котле.

Условие равновесия системы может быть при соблюдении условия, что:

$$xd + yD = x'd + y'D$$

где: x и y – высота столбов котловой воды в коленах U – образной трубы;
 d и D – плотность соответственно воды и индикаторной жидкости, $кг/м^3$.

Из условия равновесия следует, что уровень воды в сниженном водоуказателе будет изменяться в зависимости от уровня воды в колене U – образной трубы, соединенной с водяным пространством котла.

При повышении уровня воды в котле увеличится высота столба воды в трубе, из-за чего повышается давление на поверхность индикаторной жидкости, поэтому уровень в водоуказателе (расположенном в ЦПУ) поднимется, и, наоборот, снизится при уменьшении уровня воды в котле.

Большим достоинством дистанционного указателя является то, что благодаря применению окрашенной жидкости можно немедленно определить уровень воды (или его отсутствие), что не всегда можно сделать при использовании только воды.

Футеровка котла

Обмуровка – это изоляция топки, выполненная в виде кладки из огнеупорного кирпича. Внутренняя часть обмуровки топки, обращенная к факелу, называется *футеровкой*.

Обмуровка топки котла необходима для изоляции горячих газов от наружной среды и обеспечения плотности, исключающей подсосы воздуха или выбивание газов.

Материалы, применяемые для обмуровки (изоляции), должны обладать низкой теплопроводностью, минимальной гигроскопичностью, малым объемным весом, достаточной механической прочностью и главное – *температуростойкостью* (способность материала выдерживать без существенного нарушения внутренней структуры резкие повторные колебания температур).

В соответствии с правилами Регистра температура наружной поверхности изоляции котла не должна превышать 50°С, а поверхности изоляции трубопроводов – 60°С.

Топочный объем включает в себя поверхности нагрева, стенки топки и *под* (нижняя часть топки).

Материалы, обладающие высокой температуростойкостью, т.е. выдерживать высокие температуры (у ГК ~ 1650° С) и оставаться в твердом состоянии - называются *огнеупорными*. В водотрубных котлах огнеупорные материалы и изоляцию применяют для:

1. Защиты кожуха котла от перегрева и деформации.
2. Уменьшения тепловых потерь и обеспечения приемлемой для обслуживающего персонала температуры наружных поверхностей котла.
3. Защиты от перегрева частей коллекторов котла.

Для обмуровки применяют прямоугольные или фасонные (для выкладки фурм, фурмовочных колец под форсунки и ВНУ) шамотные кирпичи, блоки и жароупорный бетон. По температуре плавления шамотный кирпич делится на три класса:

класс А – огнеупорность выше 2000° С, *класс Б* – до 2000° С, *класс В* – до 1770° С.

Все стенки газоходов котла изолируют и покрывают кожухом, который обеспечивает необходимую герметичность газоходов. Обмуровку, изоляцию газоходов и кожух крепят на каркасе, соединенном с фундаментом котла и его барабанами.

Если на торцевых стенках топки нет радиационных поверхностей нагрева, то она называется *неэкранированной*. Если все стенки топки образованы из труб поверхностей нагрева, то топка называется *полностью экранированной*.

В настоящее время неэкранированные топки имеются у котлов старой конструкции, а также у вспомогательных котлов, где применение экранов нежелательно из-за усложнения конструкции котла.

В неэкранированных топках одной из основных задач обслуживающего персонала является ремонт футеровки. При неправильной технологии кладки, применении низкосортных огнеупоров и т.п. футеровка может разрушиться уже через 10 – 15 суток работы котла. При соблюдении всех норм и правил кладки топки, соблюдении регулярного профилактического ремонта кладки срок службы футеровки составляет 1,5 – 2 года.

Топочный экран резко снижает температуру топочных стен, расположенных за ним. Если для неэкранированных стен температура поверхности футеровки мало чем отличается от средней температуры газов в топке, то установка экранов с большим шагом труб снижает температуру поверхности футеровки примерно на 400° - 500°С.

При сплошном экране температура стен за экраном не превышает температуры поверхности труб, т.е. вместо дорогих огнеупорных материалов можно применять обычные изоляционные.

Огнеупорный материал обмуровки топки должен иметь достаточную теплопроводность. Чем больше коэффициент теплопроводности материала, тем равномернее распределя-

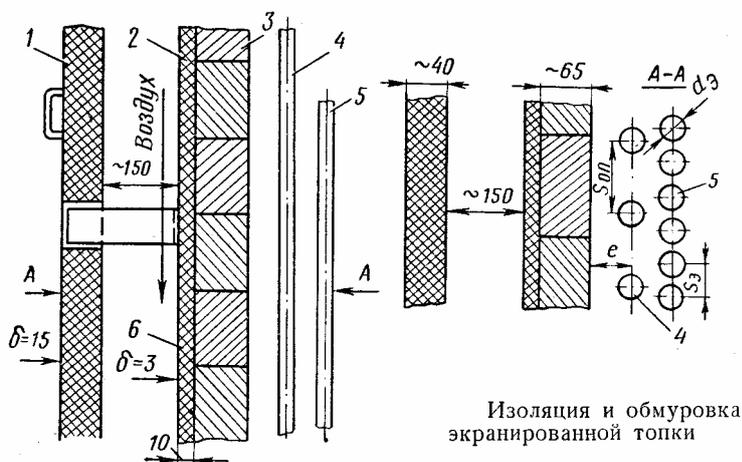
ется температура, и уменьшаются температурные напряжения. Основным материалом для изготовления шамотного (глиноземистого) кирпича является *глина, содержащая алюминий (окись алюминия), кремний, (окись кремня) и кварц*. Причем огнеупорные свойства кирпича в основном определяются содержанием алюминия.

Для предохранения футеровки от проникновения газов и разъедания шлаками её покрывают *огнеупорной обмазкой*. Обмазка состоит из шамотного порошка (80 %), пластичной глины (около 10 %), хромовой руды (около 5 %) и жидкого стекла с водой - для связывания массы. Под воздействием высоких температур обмазка образует глазурь, которая значительно увеличивает срок службы футеровки. Обмазки обычно восстанавливают через 3 – 6 месяцев работы котла. Перед обмазкой футеровку смачивают жидким стеклом, разведенным пополам с теплой водой. Существует и готовые к употреблению обмазки фирм «Бриксил», «ДРБ» и др., поставляемые в виде жидких паст.

Обмазки всех типов применяют также для мелкого ремонта футеровки, заделки трещин, сбитых углов и т.д.

Разжигать топку можно сразу же после нанесения обмазки.

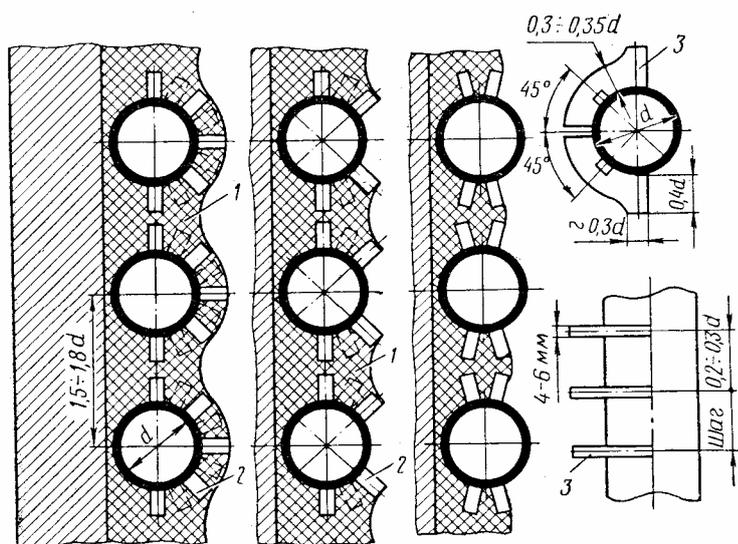
Схема изоляции и обмуровки экранированной топки



Изоляция и обмуровка экранированной топки

Топочный экран образован сплошным рядом труб 5, с шагом $S_3 = 1,02 \div 1,05 d_3$. Трубы 4 - опускные.

Стальной кожух 6 обычно толщиной 3 – 4 мм служит одновременно каркасом топки и омывается воздухом. Наружная изоляция воздушных каналов состоит из щитов 1 толщиной 40 – 60 мм (асбест, шлаковата, совелит и др.).

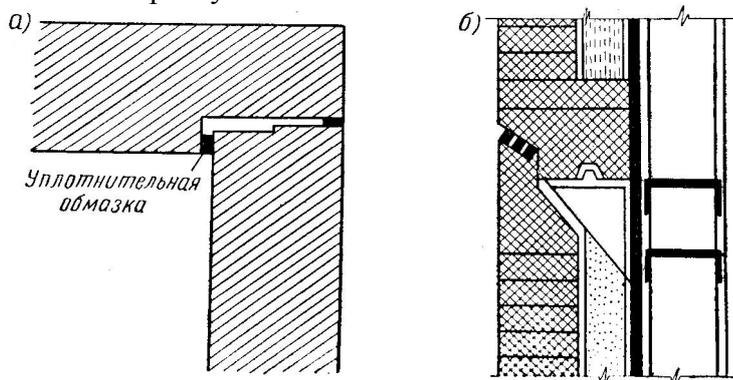


Обмуровка топочных экранов

Размеры огнеупорного кирпича: $230 \times 112 \times 65$ мм (малый кирпич) и $250 \times 123 \times 65$ (большой). В местах наиболее высоких температур кирпич кладут плашмя, поэтому толщина слоя получается равной 230 мм или 250 мм. Если же топка экранирована, то кирпич укладывают на ребро и толщина слоя составляет 65 мм. Кроме того, имеются стандартные клиновидные кирпичи (для топочных сводов и амбразур).

Для снижения температурных напряжений в кладке в углах топки предусматривают соответствующий *температурный зазор* из расчета 5 – 8 мм на 1 погонный метр длины кладки. Зазор уплотняют асбестовым шнуром и смесью мертеля с 25 – 30 % асбестовой ваты и графита.

При высоте стен более 1,5 – 2 метра нижние кирпичи кладки рекомендуется разгружать промежуточной опорой, воспринимающей давление верхней части кладки и прикрепленной к каркасу котла.



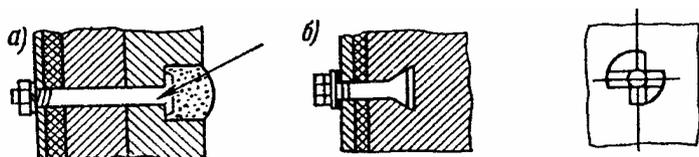
Температурный зазор для угла футеровки; температурный зазор и разгрузочная опора вертикальной стенки футеровки

вого напряжения топочного объема.

Под топку (нижняя часть топки) обычно состоит из двух слоев кирпичей толщиной 50 мм, слоя изоляции толщиной 100 мм, асбестокартон толщиной 25 мм.

В последнее время часто из кирпичей делают только под топки. Остальные части футеровки собирают из литых готовых блоков (бетона с шамотом или термостойкими наполнителями). Блоки и кирпичи при необходимости режут корундовым диском и подгоняют на корундовом круге.

Крепление кирпичей и блоков



Болтовое крепление кирпичей:

Как правило, кирпичи крепят при помощи болтов (либо болты пронизывают кирпич насквозь, либо болты закрепляются в специальных вырезах или углублениях кирпича). Шамотные кирпичи, бетонные блоки

крепят к стальным щитам, образующим наружную стенку изоляции топки (кожуху котла).

В обшивке котла выполняются карманные лючки для доступа к гайкам и контргайкам болтов. Как правило, крепят не все кирпичи (или блоки), а только часть их. Остальная часть кладки поддерживается за счет связующего раствора (мертеля).

На некоторых котлах (например, КВГ) крепят болтом каждый огнеупорный блок футеровки, что обеспечивает ее надежность в условиях вибрации стенок топки, качки судна и т.д., но усложняет конструкцию футеровки.

Изоляция. Внешние же части обмуровки, наоборот, должны иметь как можно меньший коэффициент теплопроводности для улучшения её теплоизолирующих свойств, высокую прочность. Также они должны обладать небольшой плотностью (малый вес) и не должны быть гигроскопичными и пожароопасными при любых температурах нагрева. Этим условиям удовлетворяет *диатомитовый кирпич*, имеющий коэффициент теплопроводности 0,20 – 0,26 ккал/м час при 500 - 600°.

В современных котлах для изоляции применяют смеси из огнеупорной глины, асбеста, магнезии и вармекулита.

Основные материалы для изоляции: асбестовые, ньювелиевые и совелитовые плиты (смеси из магнезии и асбеста в разных пропорциях), а также шнуры из этих материалов (для изоляции трубопроводов, арматуры).

Части коллекторов, омываемые воздухом, изолируются матрацами из асбестовой (или заменителей асбеста) ткани с наполнителем из ньювеля или совелита. Матрацы скрепляются латунной проволокой, натянутой на крючки, и бандажами из оцинкованной стальной проволоки (либо винтовыми хомутами). Матрацы покрываются металлическим кожухом. Толщина теплоизоляционных матрацев 30 – 50 мм. При необходимости матрацы можно сложить из двух слоев.

Поверхность, подлежащая изоляции, должна быть тщательно очищена от ржавчины и грязи, а также окрашена.

Для удобства *освидетельствования сварных швов огнетрубных котлов* их покрывают легко удаляемыми изоляционными матрацами. Матрацы делают из асбестовой ткани толщиной 2 – 3 мм и заполняют их асбестовым, совелитовым или ньювелиевым порошком. Толщина матраца 25 – 50 мм. Матрацами покрывают также бочки огнетрубных котлов. Для предохранения от разрушения изоляцию покрывают сверху листами оцинкованного железа толщиной 1 – 2 мм, соединяемыми между собой крючками и стянутыми бандажами из полосовой стали с винтовыми соединениями. Иногда асбестовая ткань армируется проволочной сеткой с ячейками 10 – 25 мм.

У всех котлов для доступа в топку или газоходы котла предусматриваются люки, плотно закрываемые крышками. Обмуровка и изоляция этих крышек такие же, как и окружающих стен топки или газохода.

Уход за футеровкой топки очень важен, т.к. ее состояние во многом определяет возможность форсировки и срок службы котла между ремонтами. Ремонт футеровки составляет значительную часть расходов по ремонту водотрубных котлов.

Во время работы котла футеровка (обмуровка) котла подвергается действию высоких переменных температур, что вызывает ее тепловую деформацию и может привести выводу котла из действия.

Повреждения футеровки:

1. Просачивающийся в топку холодный воздух или перегрев футеровки при избыточном давлении в топке могут привести к *деформации* обмуровки и повреждению кирпичей и швов.
2. *Форсировка котла*, а также быстрое *остывание топки* вызывают неравномерность ее расширения по толщине. Как следствие – повреждение футеровки.
3. *Выкрошивание* – разрушение поверхности слоя, вследствие контакта с пламенем факела. Также во время мытья поверхности нагрева футеровка пропитывается водой и если разводка котла производится быстро, то возможно выкрошивание и отслаивание футеровки.
4. *Шлакование (эрозия)* – размягчение кирпичей до жидкого состояния из-за присутствия соединений натрия на поверхности кирпичей, имеющих высокую температуру. Источником соединений натрия является либо зола, образовавшаяся в результате сгорания топлива, либо морская вода, содержащаяся в топливе. Присутствие натрия снижает температуру плавления кирпичей и полурасплавленный огнеупорный кирпич сползает по неохлажденным стенкам. Затем, вследствие поступления относительно холодного воздуха для сжигания топлива, над форсуночной фурмой образуются бровеобразные наплывы. Под воздействием температурных перепадов в конечном итоге футеровка разрушается и сваливается на под топки. Эрозия – наиболее часто встречающееся повреждение футеровки (до 60 % случаев).
5. *Повреждение крепления*. Из-за сдерживающего действия крепежных болтов в кирпичях часто появляются трещины, в которые попадает зола, шлак, го-

рячие газы и разрушают футеровку. Также при чрезмерном затягивании болтов при температурном расширении кирпичи крошатся и разрушаются.

6. *Попадание воды* на раскаленную кладку при течи труб также приводит к возникновению трещин футеровки котла.

§ 16

Пуск котла Обслуживание во время работы Основные виды и причины неисправностей и повреждения котлов

Перед пуском котла после ремонта или освидетельствования необходимо проверить:

1. Чистоту труб (внутри и снаружи), не осталось ли в трубах ветошь или устройства для очистки труб.
2. Чистоту отверстий, ведущих к водоуказателям и другим приборам (вынуть ветошь и чопики).
3. Футеровку, особенно защищающую коллекторы котла.
4. Плотность прилегания и уплотненность лазов, лючков.

Перед заполнением водой:

Открыть:

1. Воздушные клапана котла, пароперегревателя и экономайзера.
2. Клапана продувания коллекторов пароперегревателя.
3. Паровые и водяные клапана водоуказательных приборов.
4. Клапан подключения системы сигнализации по уровню воды.
5. Питательные клапана.

Закрывать:

1. Все клапана продувания (водоуказателей, САР, верхнего и нижнего продувания).
2. Клапана осушения котла.
3. Стопорный клапан.

После этого можно заполнять котел до уровня, чуть превышающего уровень при котором срабатывает защита по уровню (как правило - между средним и нижним).

Перед розжигом форсунок убедиться в том, что все системы управления и защиты находятся в рабочем состоянии.

Тщательно провентилировать топку.

При подъеме пара в котле необходимо последовательно проводить следующие операции:

1. При появлении пара в котле:
 - ◆ закрыть воздушный клапан;
 - ◆ проверить работу манометров;
 - ◆ продуть водоуказательные стекла.
2. Все время подъема пара проверять действие манометров, следить за уровнем воды.
3. По достижении половины рабочего давления пара подорвать ручную предохранительные клапана (если клапана не действуют – остановить котел, стравить давление до атмосферного и устранить неисправность).
4. Опробовать в действии питательные насосы.
5. По достижении рабочего давления включить в работу САР (по давлению и уровню).

Обслуживание во время работы

Во время работы котла необходимо:

1. Вести наблюдение за работой по показаниям КИП.
2. Периодически контролировать:

- ◆ уровень воды, давление и температуру пара;
 - ◆ температуру питательной воды;
 - ◆ температуру топлива перед форсункой;
 - ◆ температуру воздуха;
 - ◆ расход воды и топлива (повышенный расход воды – *утечки, разрыв труб*; повышенный расход топлива – *мало воздуха и т.п.*)
3. Необходимо проводить правильный водный режим (регулярно брать воду на анализы).
 4. Своевременно проводить верхнее и нижнее продувание, сажеобдувку.
 5. Проверять надежность работы САР.
 6. Визуально контролировать цвет дыма из трубы (должен быть светло-серый или светло-коричневый).
 7. Визуально контролировать качество горения по факелу:
 - ◆ угол конусности - $60\div 90^\circ$ (факел должен заполнять как можно больший объем топки, но не касаться футеровки и труб);
 - ◆ по цвету должен быть соломенно-желтым (на легком топливе) или ярко-оранжевым (на тяжелом).
 8. Если пламя факела рваное с искрами:
 - ◆ перегрев топлива;
 - ◆ большое количество механических примесей в топливе.
 9. Если дым из трубы черный:
 - ◆ плохое распыливание топлива;
 - ◆ неправильное положение заслонок ВНУ;
 - ◆ низкое давление воздуха (из-за неплотности в воздушном тракте);
 - ◆ неисправность котельного вентилятора.
 10. Если дым белый:
 - ◆ избыток воздуха;
 - ◆ вода в топливе;
 - ◆ разрыв трубок в топке.

Основные виды и причины неисправностей и повреждения котлов

1. Повреждение водогрейных трубок (деформация, провисание, трещины, разрывы).

Причина:

- ◆ перегрев металла из-за упуска воды;
- ◆ нарушение циркуляции;
- ◆ отложение накипи;
- ◆ занос масла и мазута;
- ◆ горение кокса на поверхности трубок;
- ◆ «лизание» трубок факелом;
- ◆ форсировка котла

Признаки:

- ◆ появление окалины;
- ◆ появление ярких пятен на поверхности трубок

2. Неплотности вальцовочных соединений.

Причина:

- ◆ «простуда» котла из-за резкого охлаждения воздухом;
- ◆ дефекты вальцования

Признаки:

- ◆ появление течи

3. Давление в котле падает.

Причина:

- ◆ лопнула водогрейная трубка;
- ◆ свищи в трубках

Признаки:

- ◆ уходит уровень воды из водоуказателя;
- ◆ хлопки в топке;
- ◆ белый дым из трубы

4. Давление в котле растет.

Причина:

- ◆ закрыт или засорен импульсный клапан к регулятору давления пара, что влечет за собой быстрое включение всех форсунок (или увеличение производительности форсунки) без изменения нагрузки котла

5. Уровень воды в стекле водоуказателя сильно колеблется.

Причина:

- ◆ солесодержание или щелочность котловой воды повышена в несколько раз

6. Уровень воды в водоуказательных приборах отсутствует.

Причина:

- ◆ упуск воды;
- ◆ перепитка котла

Признаки:

- ◆ при продувании водоуказателей уровень не появляется (при упуске воды из котла);
- ◆ при продувании водоуказателей уровень появляется, но быстро уходит вверх за пределы стекла (при перепитке котла)

**Методические указания для выполнения
лабораторно-практических работ**

Водный режим СПК

Водообработка

Эффективность работы ЭУ в большой степени зависит от качества воды, используемой в котлах. Все паросиловые установки морских судов работают по замкнутому циклу, т.е. отработавший пар конденсируется в конденсаторе. Конденсат возвращается обратно в котел. При такой схеме неизбежны утечки пара и конденсата. Кроме того, пар и вода безвозвратно расходуются на хозяйственно-бытовые нужды, продувку котлов и т.д.

На современном морском судне потери конденсата составляют 2 – 4 % паропроизводительности котлов. Для пополнения конденсата в систему котлов необходимо вводить добавочную воду, содержащую различные соли. Поступая вместе с водой внутрь котла, некоторые из солей под действием высокой температуры переходят в нерастворимое состояние. Соли, оседающие на внутренних стенках поверхности нагрева котла, снижают его паропроизводительность и вызывают перерасход топлива, т.к. накипь имеет очень малый коэффициент теплопроводности k и может стать причиной аварии котла.

Если не принять мер, то в процессе эксплуатации концентрация солей внутри котла будет постепенно увеличиваться, и котел придется очень скоро выводить из эксплуатации. В настоящее время разработаны достаточно совершенные методы водного режима и водообработки, позволяющие увеличить срок между котлоочистками до 10 000 час.

В паросиловых установках различают воду следующих видов:

5. **Котловую**, находящуюся в паробразующих трубах, трубах экономайзера, коллекторах и других элементах циркуляционных контуров котла во время его работы.
6. **Питательную**, подаваемую в котел во время его работы из теплого ящика. В качестве питательной воды используют конденсат, получаемый в результате конденсации отработавшего пара.
7. **Продувочную**, удаляемую из котла при продуваниях.
8. **Добавочную**, подаваемую в теплый ящик из танка запаса котельной воды для пополнения потерь воды при продуваниях и других потерь. Добавочная вода представляет собой обычно дистиллят, получаемый в испарительных установках из забортной воды. В отдельных случаях во вспомогательных котлах небольшой производительности допускается кратковременное использование пресной береговой воды.

Главное требование к воде – минимальное содержание растворенных в ней солей, кислот органических веществ, а также нерастворимых в воде примесей и масла.

Соли в воде способствуют образованию накипи, а газы вызывают коррозию поверхности нагрева котла.

Накипь – нерастворимые в воде соединения (гипс, гидрат окиси магния, хлористый кальций и др.). Наличие накипи ухудшает теплопроводность и вызывает перегрев стенок поверхности нагрева котла, усиливает коррозионные процессы под накипью.

Коррозия металла котла возникает под действием кислорода, кислот, пара и электромеханических процессов. Для уменьшения коррозии необходимо сократить содержание кислорода и углекислоты в питательной воде.

Сумма всех содержащихся в воде солей называется **общим солесодержанием** ($мг \cdot экв/л$), о котором можно судить по содержанию хлоридов. Вода в котле вспенивается при большой солёности, что приводит к ухудшению парообразования в котле.

Содержание хлоридов – это содержание в воде хлористых солей $NaCl$, $MgCl_2$, $CaCl_2$ и других, оценивается по содержанию в воде хлор-Иона Cl^- и выражается в $мг/л$ или в ppm . По содержанию хлоридов можно контролировать случаи засоления морской водой конденсата в конденсаторах, теплых ящиках, цистернах запаса котельной воды. Применяют еще выражение солёности в градусах Брандта ($^{\circ}Br$). $1^{\circ}Br$ приблизительно соответствует $6 мг/л Cl^-$.

Жесткость – качество воды, определяемое количеством растворимых в ней солей Ca и Mg ($мг \cdot экв/л$). Жесткость – важнейшая характеристика воды, т.к. соли жесткости явля-

ются основными накипеобразующими веществами. Различают *карбонатную (временную)* жесткость, характеризующую содержанием в воде бикарбонатов Ca и Mg, и *некарбонатную (постоянную)* жесткость, определяемую содержанием всех других солей Ca и Mg, кроме карбонатных (т.е. CaSO₄, MgSO₄, CaCl₂ и т.д.).

Общая жесткость равна сумме карбонатной и некарбонатной жесткости,
т.е. $J_o = J_k + J_n$.

Временная жесткость (карбонатная)	Постоянная жесткость (некарбонатная)
Бикарбонат кальция Ca(HCO ₃) ₂ Бикарбонат магния Mg(HCO ₃) ₂	Сульфат кальция CaSO ₄ Хлорид магния MgCl ₂

Временная жесткость (щелочная жесткость) образуется из-за наличия в воде бикарбонатов кальция и магния, которые являются по своей природе щелочными металлами. Они считаются «временными» потому, что при нагревании они быстро разлагаются до образования двуокси углерода (которая удаляется из котла вместе с паром) и соответствующих бикарбонатов, которые дают осадок в виде шлама.

Постоянная жесткость (нещелочная жесткость) образуется главным образом благодаря сульфатам и хлоридам кальция и магния, которые по своей природе являются кислотами. Они хорошо растворимы в воде, «постоянны» и не разлагаются, а при определенных условиях (давление и температура) осаждаются на поверхности нагрева в виде накипи различной жесткости.

Щелочность воды обусловлена присутствием в ней веществ, которые при гидролизе образуют ионы OH⁻. Причиной появления щелочности воды является введение в неё химических соединений для устранения жесткости и накипеобразования (бикарбоната натрия, тринатрийфосфата и др.).

Нитратное число – это содержание в воде NaNO₃ (мг/л). Вводится *нитрат натрия* NaNO₃ (селитра) для нейтрализации агрессивного действия свободной щелочи в котловой воде, что практически исключает межкристаллитную коррозию и щелочную хрупкость металла в ослабленных местах (в местах сварки, вальцовки).

Водородный показатель pH (показатель концентрации водородных ионов) характеризует степень щелочности или кислотности воды, и определяет её коррозионную активность.

Чистая нейтральная вода при t = 22° имеет pH = 7. Если pH > 7, то вода имеет щелочную реакцию, если pH < 7, то кислую.

По показателю pH определяют щелочность питательной воды – на питательном трубопроводе ставят датчики pH-измерителя. Рекомендуемая величина водородного показателя pH для котловой воды вспомогательных котлов 9,5 ÷ 11,0, а для конденсата 8,3 ÷ 9,0.

Если величина водородного показателя котловой воды меньше 7,0, то необходимо увеличить дозировку химикатов в теплый ящик и произвести новый анализ воды. Если водородный показатель больше 11,0, то необходимо продувкой обновить воду пока pH не войдет в норму, чтобы избежать щелочной хрупкости и межкристаллитной коррозии металла.

Докотловая обработка питательной воды

Докотловая обработка воды на судах – это фильтрация конденсата, приготовление из забортной воды дистиллята в водоопреснительных установках и удаление различных газов и кислорода из питательной воды.

Очистка, отстой и фильтрация конденсата от механических примесей, каких-либо плавающих продуктов и нефтепродуктов (которые могут попасть в конденсат из-за неплотностей змеевиков обогрева топливных и масляных емкостей, топливоподогревателей, а так-

же с конденсатом отработавшего пара паровых поршневых механизмов) происходит в **тёплом ящике**.

Тёплый ящик – это как правило негерметичная ёмкость (на вспомогательных котлах небольшой производительности), которая является сборником конденсата, где очистка питательной воды осуществляется одновременно и отстаиванием, и фильтрацией. В негерметичном тёплом ящике давление, равное атмосферному давлению. Конструктивно он представляет из себя прямоугольную сварную конструкцию, которая разделена на две части горизонтальной перегородкой. В верхней части находится 5 – 6 каскадных отсеков, в которых происходит отстаивание механических примесей и отделение нефтепродуктов от конденсата, а также происходит фильтрация, для чего устанавливаются фильтры, заполненные коксом. В верхней части каскадных отсеков укладывают манильскую или сезальскую пенку, древесную стружку и тканевые материалы (махровое полотно, сукно), а также поролон. Эти материалы исполняют роль удерживателя и накопителя нефтепродуктов, которые по степени загрязнения необходимо заменять так же, как и кокс.

Теплый ящик исполняет роль грубого фильтра питательной воды (отделение механических примесей и грубодисперсных, капельных частиц нефтепродуктов), роль же тонкого фильтра (для удаления эмульсионной воды) выполняют отдельные фильтры, которые устанавливаются на напорной магистрали питательного насоса. В этих фильтрах эмульгированные нефтепродукты удаляются, последовательно проходя через активированный уголь и латунные сетки, обтянутые фланелью.

Для котлов с давлением до 2 МПа широко применяются магнитные и электромагнитные способы удаления солей жесткости из питательной воды. Сущность этих способов заключается в следующем: после воздействия на воду магнитного поля определенных значений напряженности и полярности, соли жесткости теряют способность к образованию накипи, и выпадают в осадок в виде шлама.

При магнитной обработке воды предотвращается не только накипеобразование, но и происходит разрушение старой накипи.

Существуют и более современные (и более дорогостоящие) методы докотловой обработки воды – ультразвуковые, основанные на воздействии ультразвука на соли и разрушении их, что приводит к нарушению процесса образования накипи.

Для удаление *воздуха (кислорода)* и различных *газов* используется термическая деаэрация питательной воды в деаэраторах (применяется, в основном к СКУ давлением свыше 2 МПа). Принцип деаэрации основан на снижении растворимости газов в воде при повышении температуры, с одновременным снижением давления.

Существуют и химические способы для более глубокого обескислороживания питательной воды, полного связывания кислорода. С этой целью в воду вводят химические реагенты – сульфит натрия (Na_2SO_3) или гидрозин (Na_2H_4). Гидрозин – это бесцветная жидкость, полностью растворима в воде. Имеет запах аммиака, но менее едкий. Он вступает в реакцию с кислородом, действуя как поглотитель. В результате реакции получаются азот и вода. Часть гидрозина уносится с паром.

При термической деаэрации содержание кислорода в питательной воде уменьшается до 0,03 – 0,05 мг/л, а если воду обработать дополнительно химически, то до 0,01 мг/л.

Также наиболее простым способом (но не гарантирующим полное удаление) удаления газов и кислорода из воды является открытие воздушного клапана котла при разводке пара, и закрытие его при появлении устойчивой струи прозрачного пара.

Внутрикотловая обработка воды.

Внутрикотловой обработкой обеспечивают оптимальный режим питания котла, что достигается введением внутрь котла присадок. При этом соли, вносимые с питательной водой, не откладываются в виде накипи на поверхности нагрева, а выпадают в виде шлама в осадок. Затем шлам удаляется из котла при продуваниях.

Хотя дистиллят и возвращающаяся в теплый ящик конденсатная вода, в основном чистая, небольшие количества потенциально вредных солей и минералов могут переноситься

в котел. Кроме того, вода может так же содержать растворенные газы, т.е. CO₂ и кислород, вызывающие коррозию поверхности нагрева.

Использование пресной необработанной воды (например, береговой воды) для питания котла может стать чрезвычайно разрушительным для котла если не принять срочных и эффективных мер. Растворенные соли, такие как хлориды, сульфаты и карбонаты выступают в качестве электролитов в необработанной воде. Это может привести к гальванической и другим видам коррозии.

Верхнюю продувку осуществляют для удаления вместе с водой плавающего шлама, нефтепродуктов и солей.

Нижнюю продувку – для удаления осевшего шлама и значительной части котловой воды, в результате чего общее соле – и шламосодержание, а также другие показатели снижаются.

Продувка должна осуществляется регулярно (при удовлетворительных анализах один – два раза за вахту). Но надо учитывать, что *избыточная продувка ведет к перерасходу воды, тепла, химикатов и топлива.*

В настоящее время на судах, в основном, внутрикотловую обработку проводят с помощью препаратов фирмы “UNITOR” (Норвегия) Liquitreat и Combitreat.

Liquitreat – это комбинированный препарат в жидком виде для химической обработки котлов с давлением до 2 МПа. Он снижает жесткость, обеспечивает котловую воду необходимой щелочностью и удаляет растворенный кислород. Добавляется при необходимости по результатам анализов воды. После добавления химикатов необходимо через два часа провести повторный анализ. Примерная пропорция: 1 л препарата на 5 л воды.

Combitreat – препарат подобный Liquitreat, но в виде порошка и без кислородного поглотителя. Рекомендуемая доза растворяется в теплой воде 30 – 60 ° при постоянном перемешивании. Добавляется в воду, а не наоборот. Примерная пропорция: 1 кг. на 9 л воды.

Существует еще множество препаратов по водообработке котлов таких фирм как: «Дрю Амеройд» (Drew Ameroid) США, Фирма «Перолин» (Perolin) США, Фирма «Роухем» (Rochem) Англия, Фирма «Веком» (Vecom) США, Фирма «Гамлен» (Gamlen) Англия и др.

Более подробную информацию можно узнать в пособии «Справочник по химическим средствам, применяемым на судах морского флота в процессе их эксплуатации».

Ввод в котловую воду химикатов (реагентов) осуществляется через бачки-дозаторы или в теплый ящик.

Ежедневный анализ качества питательной воды и котловой воды поможет вовремя принять меры к недопущению негативных последствий, связанных с отклонениями от нормативного качества воды. Во время работы котла отбирают пробы воды для определения её состава, для чего на судах имеются химические экспресс – лаборатории типа *«Spektrapak 310».*

Пробы котловой воды берут непосредственно из котлов через пробные краны (или клапана), питательной воды – сразу после питательного насоса (в крайнем случае, из теплового ящика), конденсата – из конденсатного трубопровода (перед теплым ящиком), дистиллята – из танка запаса котельной воды. Объем пробы анализа – не менее 0,5 л. Объем, и периодичность контроля устанавливает лаборатория судоходной компании, либо фирма, обслуживающая судно, либо ССХ пароходства. Результаты анализов отражаются в машинном журнале.

Воду перед анализом необходимо охладить и профильтровать.

Анализ на Ф-щелочность:

5. Проба – 200 мл воды
6. Добавить одну таблетку Ф-щелочности и встряхнуть до растворения. если присутствует щелочность, то вода станет **синей**.
7. Добавлять таблетки пока вода не станет постоянно **желтой**
8. Расчет: Ф-щелочность = (количество использованных таблеток X 20) – 10

Анализ на хлориды:

5. Проба – 50 мл воды
6. Добавить одну таблетку на хлориды и встряхнуть до растворения. если присутствуют хлориды, то вода станет **желтой**
7. Добавлять таблетки пока вода не станет постоянно **оранжево-коричневой**
8. Расчет: Хлориды = (количество использованных таблеток X 20) – 20

Анализ на рР:

5. Проба – 50 мл
6. Мерной ложечкой (0,6 г) добавить одну меру реагента рР, размешать
7. На 10 мин опустить лакмусовую полоску в пробу
8. Сравнить цвет с цветовой шкалой на коробочке

Концентрация солей в котловой воде может определяться измерителем проводимости, который показывает на дисплее способность котловой воды проводить электроток. Шкала на определителе обычно выдает результаты в единицах электрической проводимости. Это или *сименс* или *микроом* на сантиметр при 25 °С. Некоторые измерители имеют шкалу, которая дает показания прямо в частях на миллион (ppm) общего количества растворенных частиц (TDS). Поэтому эти приборы называют как измерители проводимости, так и измерителями TDS.

Тест на проводимость является наиболее быстрым и эффективным способом измерения общего содержания в воде и определения наличия в воде растворенных в ней твердых веществ.

При попадании в котел в небольшом количестве нефтепродуктов следует добавлять **котельный коагулянт (Boiler Coagulant)**. Boiler Coagulant – это полимерное соединение, которое используется в качестве кондиционера отстоя. Дозируется в количестве 250 см³ в день в теплый ящик. После его ввода в котел через 1 час рекомендуется продуть котел, чтобы удалить осевшие нефтепродукты.

При попадании в котел большого количества нефтепродуктов следует ввести в котел рекомендованное инструкцией количество Boiler Coagulant, тщательно продуть котел.

Попадание нефтепродуктов в конденсат (через неплотности змеевиков подогрева топлива в танках основного запаса, отстойных и расходных цистерн, сальниковых уплотнений различных паро- и турбоприводов и др.) **контролируется в смотровой цистерне.**

При выводе котлов из эксплуатации в зависимости от длительности бездействия котла, а также времени приведения в готовность к действию **хранение котлов** осуществляется двумя способами:

3. «Мокрое» хранение – до 30 суток по ПТЭ (фирма «Unitor» рекомендует - до 10 суток).
4. «Сухое» хранение – до 6 месяцев и до 2-х лет.

Spectrapak 310

КОМБИНИРОВАННАЯ КОМПЛЕКСНАЯ ПРОГРАММА ПО ОБРАБОТКЕ КОТЕЛЬНОЙ ВОДЫ ФИРМЫ UNITOR

И

НАБОР ДЛЯ АНАЛИЗА ВОДЫ В КОТЛАХ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Комплект фирмы UNITOR для определения Ф-щелочности, хлоридов и pH "Spectrapak 310"

I. ПРОГРАММА ПО ОБРАБОТКЕ КОТЕЛЬНОЙ ВОДЫ

При подготовке котельной воды с помощью препаратов LIQUITREAT / COMBITREAT рекомендуются следующие пределы параметров качества воды:

-  Ф-щелочность - рекомендуемые пределы: 100-300 ppm CaCO₃
-  Хлориды - 200 ppm max. Хлор.
-  pH в конденсате - 8.3-9.0
-  Температура в теплом ящике - 70-90 ° C.

Уровень дозировки LIQUITREAT / COMBITREAT фирмы UNITOR основан на оценке Ф-щелочности котельной воды. В то же время уровень pH в конденсате и хлоридов должны контролироваться и поддерживаться, как рекомендовано. Знание всех соответствующих параметров дает возможность лучше интерпретировать и корректировать применяемую обработку.

Для увеличения значения pH используйте CONDENSATE CONTROL в сочетании с вашими реактивами по обработке котельной воды. Рекомендуется дозировать CONDENSATE CONTROL на постоянной основе, чтобы все время поддерживать pH в конденсате в пределах рекомендованного ряда значений 8.3-9.0.

Контроль щелочности

Щелочность - более точный показатель состояния котельной воды, чем pH. Фенолфталеин (Ф-щелочность) показывает, соответствует ли щелочность в котельной воде норме или нет.

Контроль хлоридов

Анализ хлоридов будет показывать любое присутствие растворенных в котельной воде солей. Увеличение, постепенное или внезапное, уровня хлоридов указывает на попадание в систему морской воды; уровень хлоридов часто используют как ориентир для контроля частоты продувок.

Контроль pH котельной воды

Рекомендованные пределы - 9.5-12.0. Дополнительное испытание на определение pH в котельной воде может быть выполнено для того, чтобы дать более полное представление о качестве котельной воды.

Контроль pH в конденсате

Для контроля коррозии в котле, конденсате и питательной системе котла, pH конденсата должен выдерживаться в пределах 8.3-9.0. Этот контроль очень важен при проведении полной программы Управления Подготовкой Котельной Воды.

Результаты испытаний - комбинированная обработка

Регистрация: всегда используйте формуляр фирмы UNITOR, в который необходимо заносить все данные и держать в нем все результаты.

Формуляр - журнал комбинированной обработки котельной воды. Логотип 310.

Частота отбора проб - анализ производится минимум раз в три дня, результаты должны заноситься в журнал.

Отчетность: законченный формуляр за каждый месяц должен быть оформлен и разослан, как указано в нижней его части, делать это нужно в конце каждого месяца,

Голубую копию необходимо отсылать в Норвегию, в Центр быстрого реагирования компании UNITOR (адрес на обратной стороне формуляра).

Бежевую копию - судовладельцу,

Сиреневая копия - остается на борту.

Оценка: формуляры будут просмотрены Центром компании UNITOR, чтобы оценить строгость соблюдения рекомендованных спецификаций, данных этим центром.

В отчет включается состояние всех судовых систем; соответствующие рекомендации по любым проблемам будут даны судовым операторам.

II. ХИМИЧЕСКИЕ АНАЛИЗЫ ВОДЫ В КОТЛАХ НИЗКОГО ДАВЛЕНИЯ

Анализ на Ф-щелочность:

1. Возьмите пробу - 200 мл котельной воды в закупоривающуюся бутылку, входящую в комплект.
2. Опустите одну таблетку P-Alkalinity и взболтайте до полного растворения. Если Ф-щелочь присутствует, то проба воды станет синей.
3. Добавляйте таблетки до тех пор, пока синий цвет не изменится на постоянный желтый.

Расчет:

$P\text{-Alkalinity } ppm (CaCO_3) = (\text{количество таблеток} \times 20) - 10$

Например:

если использованы 8 таблеток, $P\text{-Alkalinity} = (8 \times 20) - 10 = 150 \text{ ppm}$

4. Запишите полученный результат в форму журнала из набора напротив даты проведения испытания.

Испытания на хлориды:

1. Для котлов с давлением до 30 бар (kg/cm^2) отберите пробу котельной воды 50 мл в закупориваемую бутылку (входит в комплект).
2. Добавьте одну таблетку хлорида и взболтайте до растворения. Проба воды пожелтеет, если хлориды присутствуют.
3. Добавляйте таблетки до тех пор, пока желтый цвет не изменится на оранжево-коричневый.

Расчет:

$\text{Хлориды } (ppm) = (\text{количество использованных таблеток} \times 20) - 20$

Например: если использованы 4 таблетки, хлориды = $(4 \times 20) - 20 = 60 \text{ ppm}$

4. Запишите полученный результат в форму журнала из набора напротив даты проведения испытания.

Если предполагается высокий уровень хлоридов, уменьшите количество пробы котельной воды до 25 мл. Тогда количество таблеток умножьте на 40.

Если ожидаем более низкий уровень содержания хлоридов, увеличьте отбираемую пробу воды до 100 мл. При этом количество таблеток необходимо умножить на 10.

Испытание на pH:

7.5 - 14.0 - для котельной воды

6.5 - 10.0 - для конденсата

- 1. Отберите 50 мл воды для испытания в пластиковый контейнер (входит в комплект).*
- 2. Возьмите входящую в комплект 0.6-граммовую лопаточку, отмерьте одну лопаточку pH реагента на отобранную пробу воды, дайте раствориться (если нужно, то размешайте).*
- 3. Отберите нужную полоску для испытаний pH и погрузите ее приблизительно на 10 секунд в отобранную пробу.*
- 4. Выньте полоску из пробы воды и сравните ее полученный цвет со шкалой цветов, расположенной на контейнере с pH-полосками.*
- 5. Запишите полученный результат pH в формуляр напротив даты, когда испытание было проведено.*

Изучение конструкций форсунок разных типов

Процесс сжигания жидкого топлива состоит его пульверизации, прогрева и испарения, термического разложения, смешивания полученных продуктов с воздухом, воспламенения и горения.

Интенсивное испарение мазутов начинается при $t = 200 \div 300^\circ\text{C}$.

Для непрерывного горения топлива необходимо три основных условия:

4. Бесперебойная подача в топку топлива и воздуха.
5. Непрерывный отвод продуктов сгорания.
6. Поддержание необходимой для горения температуры.

Как было сказано выше, при факельном процессе топливо сжигается во взвешенном состоянии непосредственно в топочном объеме (топке). При этом сжигаемое топливо движется в топочном объеме вместе с потоками воздуха и газов. Время пребывания топлива в топке ограничивается несколькими секундами, а чаще даже десятными долями секунды. Для того чтобы при таких условиях добиться экономичного горения, необходима высокая скорость сгорания топлива. Прежде всего, надо увеличить активную реагирующую поверхность топлива, т.е. предварительно мелко распылить его. Жидкое топливо распыливают при помощи форсунок.

Метод сжигания жидкого топлива распыливанием впервые был предложен и разработан русскими теплотехниками. А.И. Шпаковский в 1865 г. изобрел первую форсунку. Другой русский инженер и изобретатель В.Г. Шухов в конце 19-го века сконструировал простую и надежную паровую форсунку, прототип которой можно встретить и сейчас.

Качество распыливания топлива зависит от давления и вязкости топлива, подаваемого к форсунке: чем меньше вязкость и выше давление, тем лучше распыливание топлива.

Требования к форсункам СПК:

6. Простота устройства, удобства замены и очистки.
7. Надежная, долговременная работа.
8. Качественное распыливание топлива.
9. Возможность автоматического регулирования.
10. Низкая стоимость в изготовлении.

На мировом флоте применяют форсунки 7 видов:

5. Нерегулируемые механические.
6. С обратным сливом.
7. С переменным сечением тангенциальных каналов.
8. Ротационные.
9. Паромеханические.
10. Ультразвуковые.
11. Автоматизированные топочные агрегаты.

Механические центробежные форсунки.

В них распыливание топлива происходит благодаря достаточному высокому давлению топлива, которое создается топливно-форсуночным насосом.

Механические центробежные форсунки делятся на *нерегулируемые* и с *регулируемым сливом*.

Распыливающие шайбы изготавливают из высоколигируемых хромоникелевых или хромовольфрамовых сталей. Количество тангенциальных каналов от 2 до 7.

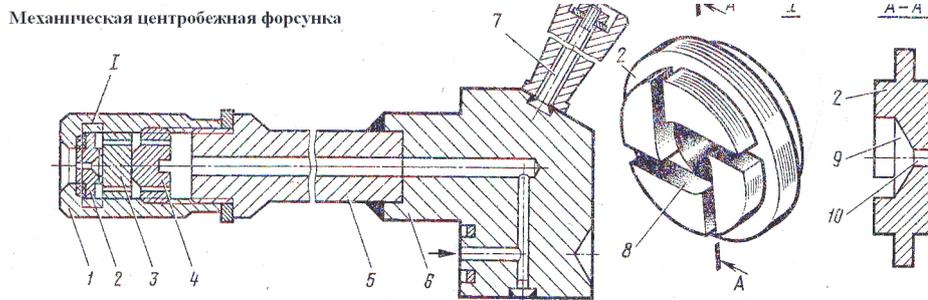
Форма факела форсунки зависит от отношения

$$\Phi_k / \Phi_0$$

где, Φ_k – суммарная площадь всех тангенциальных каналов;

Φ_0 – площадь сечения центрального отверстия.

Чем меньше отношение Φ_k / Φ_0 , тем угол конуса распыливания будет больше, а длина факела меньше.

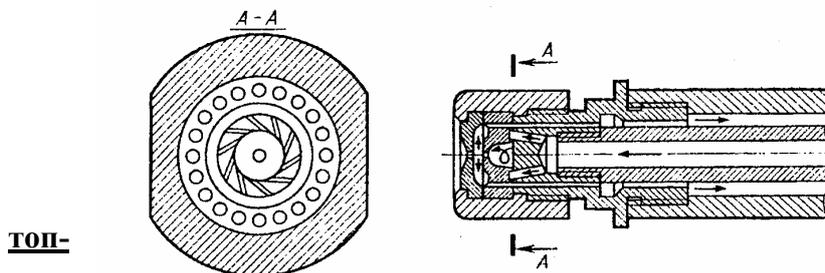


Угол конусности распыливаемого топлива на практике составляет 60 - 90°.

Регулирование таких форсунок – изменение давления топлива перед форсункой или сменой распыливающих шайб.

Механические центробежные форсунки обеспечивают *хорошее распыливание* при подогреве мазута до $90 \div 140^\circ\text{C}$ и давлении топлива $1,6 \div 2 \text{ МПа}$. Конкретная температура подогрева топлива определяется для конкретной марки топлива и зависит от типа форсунки. Определяется по номограммам вязкости. При давлениях топлива ниже 0,8 МПа качество

распыла резко ухудшается.



ТОП-

Форсунка с обратным сливом топлива

Качественное регулирование обеспечивают и **форсунки с регулируемым сливом**

лива.

Расход топлива у этих форсунок может

изменяться от 100% до 20% при неизменном давлении на входе в форсунку. Слив происходит из вихревой камеры распыливающей шайбы, или из соплового распределителя. Подача форсунки регулируется изменением открытия клапана, расположенного за сливным штуцером. При полностью закрытом клапане форсунка работает как нерегулируемая с «тах.» подачей. Увеличение количества сливаемого топлива позволяет уменьшить количество топлива, подаваемого в топку, без значительного ухудшения качества распыливания.

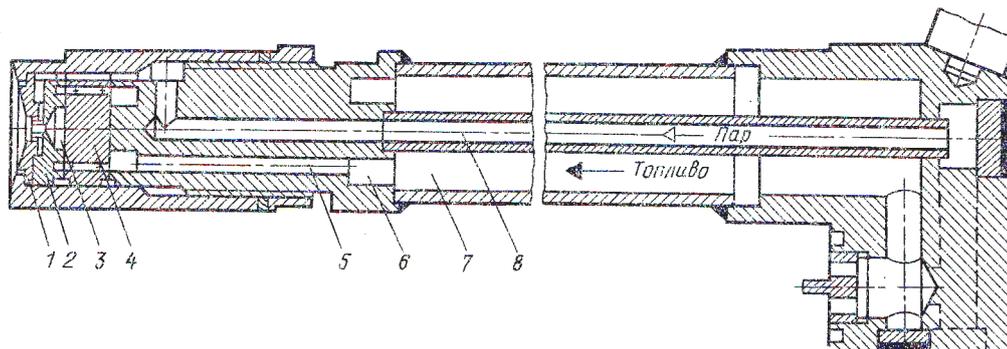
В форсунке использован такой же распылитель, как и в механической центробежной нерегулируемой форсунке.

Но, эти форсунки более сложны в своей конструкции, а также в эксплуатации, и из-за большого количества отводимого из них горячего топлива в специальную цистерну – пожароопасны. Поэтому требуется охлаждать отводимое топливо перед поступлением его в топливную цистерну.

Паромеханические форсунки.

Основным достоинством этих форсунок является значительно большая глубина регулирования подачи при сравнительно невысоких давлениях, создаваемых топливно-форсуночными насосами (0,6 ÷ 3 МПа) при хорошем качестве распыливаемого топлива.

Паромеханическая форсунка



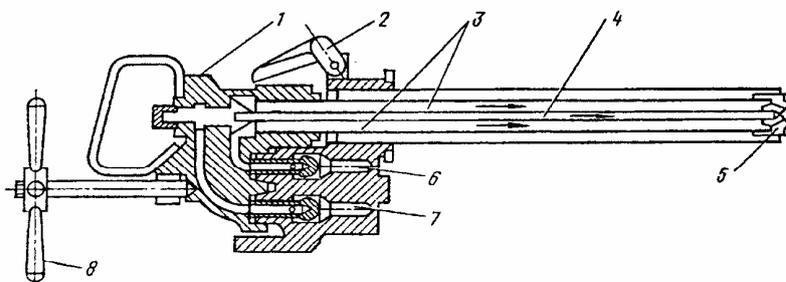
При нагрузках, близких к полным нагрузкам, паромеханическая форсунка работает, как чисто механическая центробежная форсунка.

При периодических продувках распылителей паром уменьшается их засорение и коксуемость (а также благоприятно сказывается на уменьшении нагарообразования на трубах по газовой стороне).

Недостаток – безвозвратный расход пара и, следовательно, дистиллята, более сложная конструкция, чем у механических центробежных форсунок.

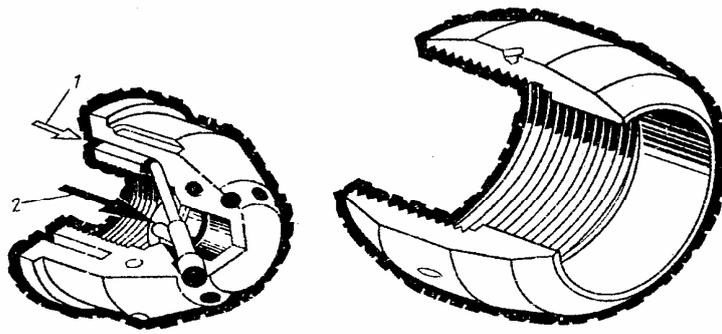
Рассмотрим несколько видов более сложных конструкций паромеханических форсунок, встречающихся в мировом флоте, к примеру, английских. Друг от друга они, в основном, отличаются лишь разнообразием распылителей и ВНУ.

Форсунка с закрученной струёй:



Форсунка типа У.

- 1 – корпус;
- 2 – крышка, закрывающаяся при выемке форсунки;
- 3,4 – трубопроводы топлива и пара;
- 5 – распыливающая головка;
- 6, 7 – места подвода топлива и пара;
- 8 – винтовой прижим для крепления форсунки.



Распылитель форсунки с закрученной струей:
1 — подвод пара или воздуха; 2 — подвод топлива

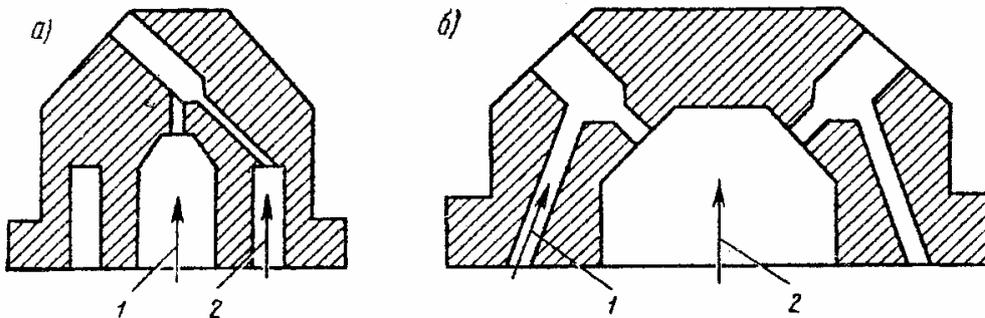
Форсунки с закрученной струей в комплекте с воздухонаправляющими устройствами в виде труб Винтури (происходит завихрение потока воздуха благодаря видоизменённым лопаткам) производит фирма «СЕА Com-bashi Lmd.». Топливо и пар после смешения выходят из распылителя в виде наклоненных струй. Особенностью конструкции является то, что обра-

зуются устойчивый конус распыленного топлива, обеспечивающий стабильные характеристики факела в широком диапазоне изменения нагрузок. Характеристики смесительной камеры выбраны по условиям минимального расхода пара.

Распылитель крепят к корпусу, который допускает различное тепловое расширения труб подвода топлива и пара. Он же может быть демонтирован во время работы котла. Предусмотрена и механическая блокировка, отключающая подвод топлива и пара перед демонтажем корпуса форсунки, а также система защиты закрывает заслонку, которая препятствует поступлению горячего газа в МКО при снятой форсунке.

Диапазон регулирования форсунки составляет 20 : 1. При полной нагрузке котла (максимальной подаче топлива) расход пара составит 0,02 кг на 1 кг сожженного топлива.

**Форсунки типа «У» (рис. б), и с - закрученной струёй (рис. а)
фирмы «БАВКОК @ ВИЛКОК»**



Распылители форсунок с закрученной струей и типа У
1 — подвод топлива; 2 — подвод пара

Как и в форсунках с закрученной струёй, у форсунок фирмы «Бабкок и Вилькок», в распылителе предусматривается Y – образное соединение каналов подвода топлива и пара. Все отличие заключается лишь в том, что у форсунок типа У **пар** подводится **непосредственно** (по трубке) к головке распылителя к центральному сверлению, а **топливо** – по кольцевому каналу головки распылителя.

Для повышения качества распыливания топлива в форсунках использую пар низкого давления. Форсунки типа „У” фирмы «Бабкок и Вилькок» выпускают в комплекте с ВНУ (воздухонаправляющими устройствами).

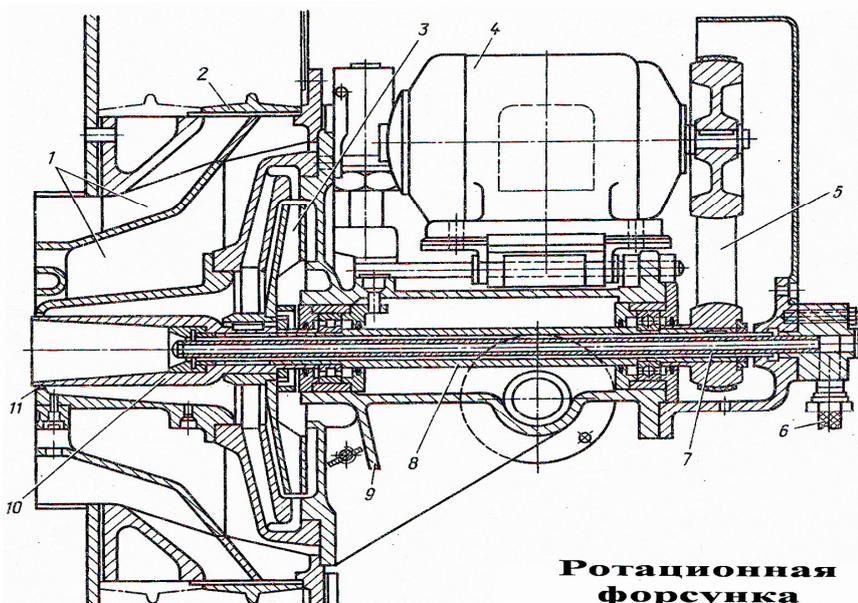
Ротационные форсунки.

Достоинства:

5. Надежность в эксплуатации.
6. Большая глубина регулирования.
7. Отсутствие засоряющихся каналов и отверстий.
8. Надежное регулирование, хороший распыл топлива при его малых давлениях ($0,05 \div 0,15$ МПа).

Недостатки:

4. Сложность конструкции.
5. Шум при работе.
6. Необходимость поддержания с помощью дымососов разрежения в топке, если котле установлено несколько форсунок.



Ротационная форсунка

Последние обусловлено тем, что при очистке, ремонте одной из форсунок, при работающих остальных, при извлечении её из топки, образуется достаточно большая амбразура, которую нужно закрывать съёмным стальным щитом. При работе дымососа им создается разрежение в топке и щит прижимается к амбразуре. При этом исключается выброс пламени от работающих форсунок.

Распыливание топлива в ротационных форсунках происходит под действием центробежной силы, создаваемой распылителем, вращающимся с большой частотой вращения (~ 5000 об/мин), а регулирование – путем изменения открытия клапана, подводящего топлива к форсунке.

Воздухонаправляющее устройство (ВНУ) служит для подачи необходимого количества воздуха в топку котла. От работы ВНУ зависит качество распыла, его смесеобразование, процесс горения, экономичность работы котла.

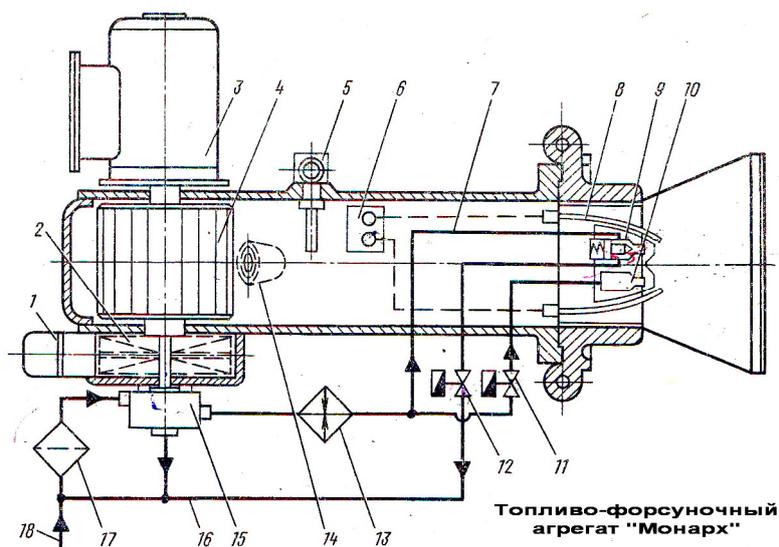
Взаимное расположение форсунки и диффузора устанавливают при испытаниях котла и **фиксируют!** (Это касается всех типов форсунок!!!). В процессе эксплуатации котла для нормального горения, чтобы не ухудшить процесс горения, это положение форсунки менять не рекомендуется (вы – не опытные старшие механики, и многое из Вас не знают азов теплотехники!).

Направляющие лопатки при наладке работы котла можно поворачивать, изменяя сечение для прохода воздуха и тем самым, регулируя его скорость и даже температуру.

При нормальной (номинальной) работе топки котла лопатки ВНУ должны быть полностью открыты, и поворачивать их нельзя!

Регистр (заслонки) ВНУ обычно имеет два положения – «Открыто» и «Закрыто». Он закрывается автоматически (или вручную) при остановке форсунки.

Топливо-форсуночный агрегат типа «Монарх».



Полностью автоматизированный агрегат очень хорошо зарекомендовал себя в работе на судах мирового флота.

Управление агрегатом осуществляется от электросистемы программного механизма, обеспечивающего последовательное выполнение операций в зависимости от сигналов реле давлений, установленных на котле. Например, если давление в котле понизится до заранее установленного значения, включится электродвигатель 3 и вместе с ним начнут работать закрепленные на его валу вентилятор 4 и топливный насос 15. Одновременно включается электрический топливоподогреватель 13. Вначале проводится вентилирование топки и топливный насос начинает забирать топливо из расходной цистерны по трубопроводу 18 через фильтр 17 и прокачивать его частично на слив (малый круг рециркуляции) и частично через трубу 7, полость сопла 9, открытый электромагнитный клапан 12 и трубу 16 во всасывающую магистраль (большой круг рециркуляции).

По достижении необходимой вязкости топлива и окончании вентилирования топки включится трансформатор зажигания 6 и закроется клапан 12. Поскольку слив топлива через сопло 9 прекратится, топливо под воздействием своего давления отожмет поршень запорного клапана сопла 9, направится к распылителю и воспламенится от дуги электродов 8. Фотоэлемент 5, восприняв свет от факела, отключит трансформатор. Если зажигания факела не произойдет, например из-за попадания воды в топливо или по другим причинам, то по сигналу от фотоэлемента прекратится подача топлива, а программный механизм повторит цикл включения с предварительным вентилированием топки. При повторном срыве зажигания система остановится и включит сигнализацию.

Если расход пара из котла большой и давление пара в котле ниже настроечного значения, заданного программным механизмом, дополнительно включается сопло 10, для чего открывается электромагнитный клапан 11, а исполнительный механизм (ИМ) 1 повернет заслонку 2 для увеличения подачи воздуха. Воспламенения топлива из сопла 10 происходит от работающего сопла 9. При давлении в котле на 0,01 МПа ниже рабочего сопло 10 отключается, заслонка возвращается в исходное положение, а при достижении рабочего давления до рабочего агрегат выключается.

Для визуального контроля за горением факела на корпусе имеется смотровой глазок 14.

Кроме агрегата типа «Монарх», широко используются схожие с ним по конструкции, компоновке и принципу действия топливо-форсуночные агрегаты «Ойлон», «Унитерм», «Викинг», «Саке», «Пионер» и др.

Арматура и КИП СПК

Назначение и конструкция

По требованию Регистра вся арматура котла должна:

5. Устанавливаться на приварных патрубках, штуцерах или приварышах с фланцами.
6. Установка штуцеров допускается при диаметре прохода не более 15 мм.
7. При фланцевом соединении на шпильках длина полной резьбы шпилек, входящих в тело приварыша, должна быть не меньше наружного диаметра резьбы шпильки.
8. Вся арматура котла (по пару) должна изготавливаться из стали.

На котлах с рабочими параметрами пара: давление не более 10 кг/см² и температура не более 200 °С, разрешается устанавливать арматуру, изготовленную из высокопрочного чугуна, но при условии что диаметр прохода не превышает 200 мм.

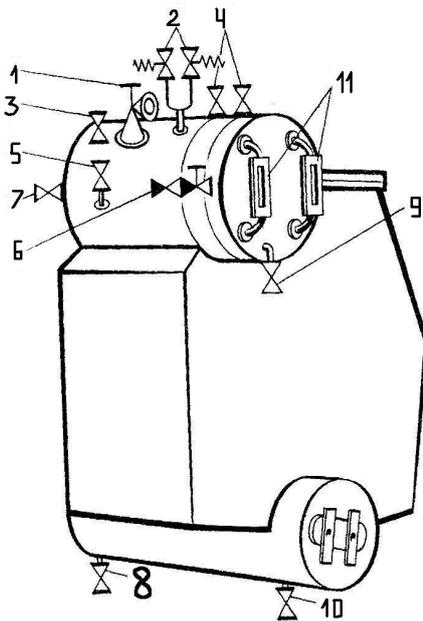


Схема расположения арматуры на паровом котле

К арматуре парового пространства котла относятся:

1. Стопорный клапан.
2. Предохранительный клапан.
3. Воздушный клапан (служит для выпуска воздуха из парового коллектора при заполнении его водой – закрывают, когда из него начнет выходить пар, или вода – при постановке котла на «мокрое» хранение).
4. Клапана к манометрам (по правилам Регистра котел должен иметь не менее 2-х манометров).
5. Клапана для КИП и САР.

К арматуре водяного пространства котла относятся:

6. Питательные клапаны (по правилам Регистра котлы должны иметь не менее 2-х независимых питательных систем).
7. Клапан верхнего продувания (для удаления с зеркала испарения плавающих примесей и шлама). Установлен на пароводяном коллекторе.
8. Клапан нижнего продувания (для удаления из котла осевшего шлама). Установлен на водяном коллекторе.
9. Клапан для отбора проб.
10. Клапан осушения (устанавливается в самой нижней точке водяного коллектора).
11. Клапана к водоуказательным приборам (стекла Клингера).

*Арматура систем питания и продувания котлов может быть стальной, бронзовой или латунной. Если для обработки питательной воды вводятся щелочи не непосредственно в котел, а в теплый ящик, то клапаны и краны арматуры, соприкасающиеся со щелочной водой, рекомендуется изготавливать из **оловянистой бронзы**, не содержащей цинка, который быстро разъедается щелочными растворами.*

При подготовке котла к действию все паровые клапаны на котле и паропроводах необходимо слегка стронуть на открытие во избежание их зажима при прогревании и оставить их закрытыми (**ПТЭ СПК**).

1. Стопорный клапан. Служит для сообщения котла с паропроводом, через который пар отбирается к потребителям. На пароперегревателе котла обязательно должен устанавливаться свой стопорный клапан.

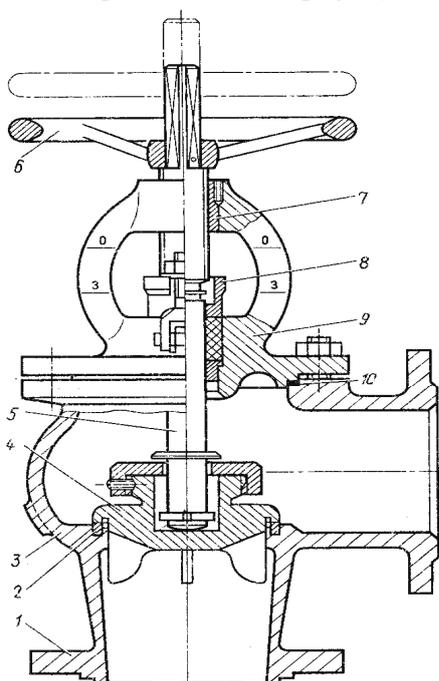
Стопорные клапана должны иметь дистанционное управление в виде валикового /карданного/ привода (помимо местного), вынесенного из машинного отделения. Управление дистанционными клапанами находится на главной палубе или выше главной палубы.

По принципу действия могут быть запорными (тарелка и шток жестко соединены между собой) и невозвратно-запорными (тарелка и шток соединены между собой не жестко). Большинство клапанов – невозвратно-запорные, у них подъем тарелки происходит под воздействием на неё давления пара в котле. По конструкции могут быть проходными и угловыми.

На барабане огнетрубного котла шотландского типа обычно устанавливают стопорный клапан углового типа со стальным литым корпусом и запрессованным бронзовым гнездом. Бронзовая тарелка клапана снабжена хвостовиком. Шток клапана, имеющий винтовой привод, соединяется с тарелкой с помощью гайки и сухарей.

Клапан может открываться под давлением пара снизу на тарелку в том случае, если шток клапана поднят. Закрывается клапан при опускании штока. Удлиненный квадрат штока сделан для присоединения дистанционного привода.

Гнездо клапана может быть изготовлено, как и тарелка клапана, из нержавеющей стали и запрессовано в корпус (для водотрубных котлов).



Угловой невозвратно-запорный стопорный клапан

- 1 – фланец крепления к приварышу на пароводяном коллекторе котла;
- 2 – гнездо клапана;
- 3 – литой стальной корпус;
- 4 – свободно закрепленная тарелка клапана;
- 5 – шток клапана;
- 6 – маховик;
- 7 – кронштейн с резьбовой втулкой;
- 8 – сальник с нажимной втулкой;
- 9 – крышка (верхняя часть) клапана;
- 10 – паронитовая прокладка.

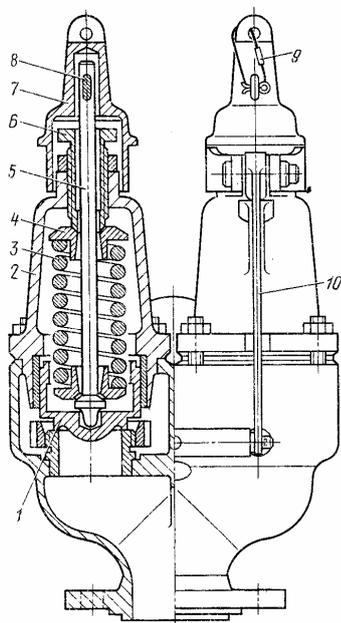
2. Предохранительные клапана. Служат для обеспечения безопасной работы котла. Они автоматически сбрасывают избыток пара в атмосферу (через вестовую трубу) при увеличении его давления выше рабочего.

Котлы с поверхностью нагрева более 12 м² должны иметь два предохранительных клапана. Для котлов с паропроизводительностью (расчетной) менее 1 т/ч пара и для УК достаточно иметь один предохранительный клапан (не двоянный). Предохранительные клапана должны иметь тросиковый привод для их дистанционного подрыва из КО (непосредственно у котла) и с верхней палубы. Если котел оборудован пароперегревателем, то на нем должен быть дополнительно установлен один предохранительный клапан. Этот клапан должен быть отрегулирован таким образом, чтобы он открывался раньше, чем предохранительный клапан, установленный на паровом коллекторе котла. В противном случае при подрыве клапана, установленного на котле, через пароперегреватель не будет проходить пар, что может вызвать перегрев и повреждение пароперегревателя.

По конструкции бывают прямодействующие и непрямого действия.

Прямого действия:

- 1- тарелка собственно клапана;
- 2 – крышка (верхняя часть клапана);
- 3 – пружина;



Сдвоенный прямодействующий предохранительный клапан

- 4 – верхняя тарелка пружины;
- 5 – шток;
- 6 – прижимная регулировочная втулка;
- 7 – съемный колпак;
- 8 – чека штока;
- 9 – пломба Регистра;
- 10 – рычаг для подрыва клапана вручную (связан с колпаком).

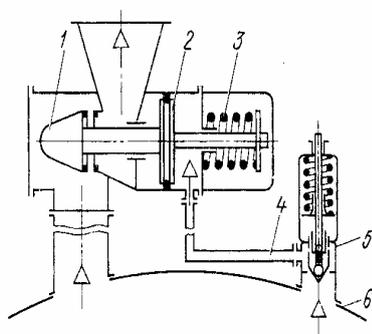
При превышении заданного давления пара в котле тарелка клапана, преодолевая натяжение пружины, под действием давления пара поднимается, и избыток пара выпускается через паропроводящий трубопровод (востовую трубу) в атмосферу. После снижения давления пара в котле до заданного, под действием пружины клапан закрывается.

Для подрыва клапана вручную имеется привод с рычагом 10, который связан со съемным колпаком. При повороте рычага колпак поднимется и, воздействуя через чеку на шток, поднимает тарелку собственно клапана.

Непрямого действия. Применяется у котлов с высокой паропроизводительностью и высоким рабочим давлением, т.к. тарелка клапана должна быть большего диаметра и иметь более жесткую пружину, которая малочувствительна к регулировке. Состоит как бы из двух клапанов – импульсного и собственно предохранительного.

Импульсный клапан изготовлен на небольшие диаметры прохода, поэтому в нем установлена пружина небольшого диаметра и сравнительно нежесткая, поддающаяся регулировке.

По конструкции мало, чем отличается от прямодействующего предохранительного клапана. Отличие лишь в том, что при подрыве клапана пар отводится не в атмосферу, а поступает в поршневую полость предохранительного клапана. Давление от импульсного клапана 5 передается по импульсному трубопроводу в полость над поршнем ИМ (исполнительного механизма). Поскольку диаметр поршня ИМ больше диаметра тарелки 1 предохранительного клапана, поршень преодолевает сопротивление пружины 3 и клапан открывается. Когда давление в котле снизится до установочного давления, импульсный клапан 5 закроется, давление в полости ИМ упадет, и клапан 1 под действием пружины 3 закроется.



1 — тарелка предохранительного клапана; 2 — поршень серводвигателя; 3 — пружина; 4 — импульсный трубопровод; 5 — импульсный клапан; 6 — паровой коллектор

Один клапан (регистрационный) по требованию Регистра регулируют так, чтобы максимальное давление при их автоматическом подрыве было **не более 10 % от рабочего**.

Второй клапан регулируется на давление подрыва меньше, чем первый (по ПТЭ СПК):

давление подрыва **не должно превышать рабочее более чем на:**

- 1,05 для котлов с рабочим давлением до 1 МПа;
- 1,03 для котлов с рабочим давлением более 1 МПа.

(По Регистру Ллойда для огнетрубных котлов клапаны должны подрываться при превышении рабочего давления не более 3%).

По окончании испытания (при повышении давления в котле выше рабочего) один из клапанов, установленных на паровом коллекторе, пломбирует инспектор Регистра (во избежание поджатия клапанов членами машинной команды для повышения давления в котле).

Для уменьшения потерь дистиллята при регулировании предварительное регулирование можно производить в токарной мастерской при помощи сжатого воздуха.

Величина площади сечения предохранительных клапанов зависит от часовой паропроизводительности котла.

Подрывать предохранительные клапана вручную с местного поста у котла рекомендуется раз в сутки для предотвращения залипания тарелки в седле. Один раз в месяц необхо-

димо подрывать их в присутствии ст. механика с составлением соответствующего акта и с записью в вахтенном машинном журнале.

Предохранительные клапаны должны быстро открываться, во время действия оставаться открытыми и плотно, без стука, садится на гнезда после снижения давления в котле до рабочего. Для этого нужно заботиться о сохранении первоначальных размеров клапана при его ремонте. Если гнездо клапана будет значительно расточено, то давление пара на него должно будет возрасти для его подрыва. Это потребует более сильного зажатия пружины, что не всегда выполнимо.

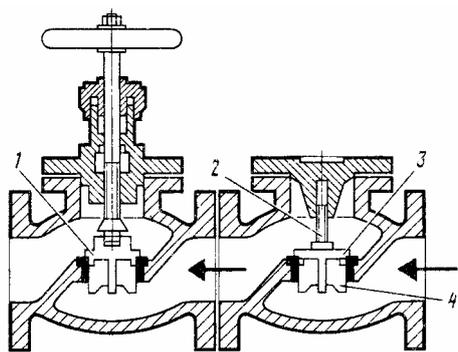
Пропуски предохранительного клапана могут возникнуть при разъедании или забоинах на рабочих поверхностях, перекосе от неравномерного зажатия фланцевых болтов. Иногда пропуски возникают при коррозии или трещинах в стенках корпуса клапана.

Желательно устанавливать в нижней части корпуса предохранительного клапана дренажные трубы для свободного стекания сконденсировавшегося пара в корпусе клапана после его открытия – закрытия (трубы не должны иметь клапанов). При засорении труб возможны перегрузка клапана, повреждения в результате гидравлических ударов, коррозия и заедание клапана.

При неплотной посадки тарелки в гнездо клапана надо притереть или проточить клапан, сохраняя по возможности неизменным диаметр гнезда.

Предохранительные клапана притирают машинным маслом с толченым стеклом или очень мелкой притирочной пастой.

3. Питательные клапана предназначены для питания котла водой. В качестве питательных насосов на судах применяют насосы поршневые и центробежные с электроприводом и паропроводом. На каждом котле должны быть установлены два питательных клапана в двух независимых системах.



Разобщительный и невозвратный питательные клапаны

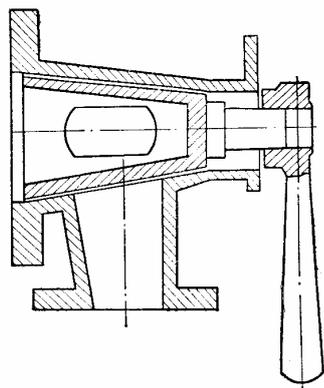
Питательный клапан состоит из двух клапанов (допускается размещение в одном корпусе): разобщительного 1 (устанавливается непосредственно на котле) и невозвратного 3 (устанавливается перед разобщительным). Разобщительный по конструкции может быть запорным и невозвратно-запорным. Назначение невозвратного клапана – не дать воде возвратиться обратно из котла при остановке питательного насоса. Его особенность – отсутствие штока. Направляющий палец 2 и ребра 4 служат для направления движения клапана. Питательный насос создает давление больше чем давление в котле. Вода подходит снизу под клапан и открывает его. С

прекращением подачи воды клапан самостоятельно закрывается под действием давления воды в котле.

УК может иметь только один питательный невозвратно-запорный клапан.

4. Краны верхнего и нижнего продувания. Во время работы котла в водяном пространстве его барабана (барабанов) постепенно накапливается масло и шлам, а солёность воды в котле повышается.

Чтобы предотвратить загрязнение поверхности нагрева, необходима регулярная продувка, т.е. удаление из котла за борт части воды вместе с растворёнными в ней солями и отложениями.



Кран верхнего продувания

Масляные образования, плотность которых меньше, чем плотность котловой воды, скапливаются у зеркала испарения; их удаляют верхним продуванием. Более тяжелые образования (шлам), оседающие в нижней части бочки огнетрубного котла или в водяном коллекторе (коллекторах) водотрубного котла, удаляют нижним продуванием.

Краны верхнего продувания выполняют обычными запорными или дроссельно-запорными, т.к. ими пользуются во

время работы котла и они должны обеспечить снижение давления продуваемой воды до атмосферного. Тарелка дроссельно-запорного клапана имеет конусную форму. Дросселирование происходит в зазоре между гнездом и конусной частью тарелки.

Часто вместо клапанов устанавливают *пробковые краны*, т.к. попадание кусочков твердой накипи под клапан не позволит ему полностью закрыться и пар с водой может быть выдуты из котла (особо это касается нижнего продувания).

От крана верхнего продувания внутри котла идет труба верхнего продувания, которая представляет из себя обычную цилиндрическую трубу с обращенными вверх отверстиями. Трубу устанавливают на НУВ (наинизший уровень воды) или немного ниже его.

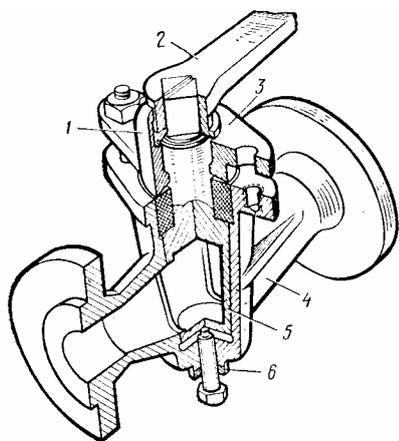
Если труба верхнего продувания установлена между НУВ и РУВ (рабочий уровень воды), то перед продувкой котла надо убедиться в том, что уровень воды не менее чем на $50 \div 100$ мм выше приемных отверстий трубы, иначе вместо воды из котла будет удаляться пар. Положение верхней кромки трубы верхнего продувания рекомендуется отметить указателем на водомерном стекле.

Трубы нижнего продувания, размещенные в нижней барабанов огнетрубных котлов или в водяных коллекторах водотрубных котлов, представляют собой также обычные цилиндрические трубы с заглушенным концом и с отверстиями по их нижней образующей поверхности.

Суммарное сечение этих отверстий не должно превышать сечение трубы нижнего продувания. В противном случае при продуваниях котла возникают опасные для прочности фланцев и труб гидравлические толчки и вибрации.

Протяженность дроссельной трубы должна быть не менее $2/3$ длины коллектора или барабана.

В качестве *кранов нижнего продувания* применяют пробковые или дисковые краны.



Кран нижнего продувания

1 – запlechник, не позволяющий снять рычаг в открытом положении крана;

2 – рычаг;

3 – уплотнительный сальник с крышкой;

4 – корпус;

5 – пробка;

6 – фиксирующий винт с гайкой.

Съемную рукоятку у крана нижнего продувания можно снять только при полностью закрытом кране т.к. запlechник 1 не позволяет её снять в открытом положении, чтобы не забыть об открытом кране и не упустить воду из котла. Рукоятку изготавливают удлиненной и располагают её так, чтобы она в открытом положении крана привлекала к себе внимание (например, в проходе) и окрашивают в яркую, привлекающую внимание, краску.

5. Водоуказательные приборы. Каждый СПК можно надежно эксплуатировать только при определенном уровне находящейся в нем воды.

Различают наинизший (НУВ) и наивысший (ВУВ) допускаемые уровни воды. Рабочий уровень воды располагается примерно посередине между ними.

НУВ определяется из необходимости охлаждения водой наиболее высоко расположенных частей поверхности нагрева котла, т.е. предотвращения перегрева металла. ВУВ ограничивается необходимым объемом парового пространства, достаточным для отделения влаги от пара.

Каждый котел снабжен указателем НУВ, а иногда РУВ и ВУВ. Указатель изготавливают в виде шурупа (так называемого «огневого шурупа») или пластинки с риской и прочно прикрепляют к наружной поверхности барабана котла (не закрывать изоляцией!).

В водотрубных котлах НУВ устанавливают на 150 мм выше верхних кромок наиболее высоко расположенных опускных труб.

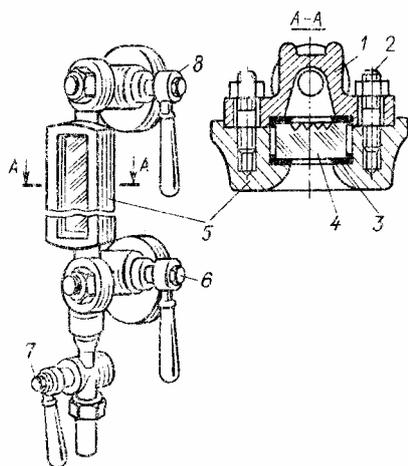
Также уровень воды в котле контролируют с помощью пробных кранов (для водотрубных котлов необязательно). *Огнетрубный котел должен иметь не менее двух пробных кранов!* Ось нижнего крана располагается на НУВ, ось верхнего на ВУВ. При установке третьего крана - между ВУВ и НУВ.

Каждый котел должен иметь не менее двух водоуказательных приборов!

Нижний край прорези для стекла водоуказательного прибора должен быть расположен выше НУВ не менее чем на 50 мм и не менее 150 мм над высшей точкой поверхности нагрева. Это расстояние должно сохраняться при крене до 5° на любой борт.

При расположении коллекторов поперек судна в каждом конце коллектора должен быть установлен самостоятельный водоуказательный прибор.

Водоуказатель действует по принципу сообщающихся сосудов - его верхняя часть соединена с паровым, а нижняя с водяным пространствами котла.



Водоуказатель с кранами

Водоуказатель с плоским стеклом (стекло Клингера) устанавливается на вспомогательных котлах и состоит из:

- 9 - гнездо рамки;
- 10 - шпильки;
- 11 - прокладки;
- 12 - плоское стекло;
- 13 - оправа (передняя часть прибора);
- 14 - запорный кран продувания водой;
- 15 - запорный сливной (под плиты КО) кран продувания;
- 16 - запорный кран продувания паром;

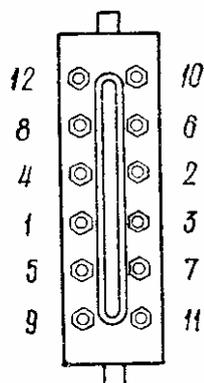
Водоуказатели устанавливаются со стороны переднего фронта котла при хорошем освещении.

Внутренняя поверхность стекла 4 имеет параллельные призматические канавки (риски), что способствует четкой видимости уровня воды благодаря разному коэффициенту преломления луча. При этом вода кажется темной, а пар – серебристым. При работе котла уровень воды в стекле должен колебаться («дышать»).

Неподвижный уровень свидетельствует о засорении каналов водоуказателя, либо канавок (рисок) стекла. В этом случае стекло продувают.

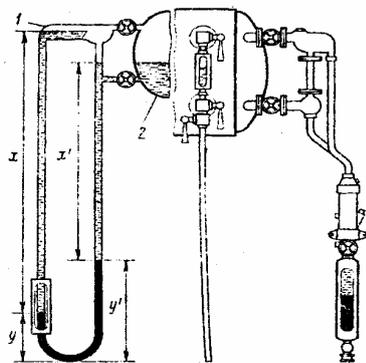
Поочередное закрытие двухходовых кранов позволяет определить, какой из них засорился. Сначала открывают нижний продувочный 7 кран при закрытых 6 и 8 и проверяют исправность кранов, затем открывают паровой, после этого водяной. В заключении закрывают сливной 7.

Трубы для продувки отводят под плиты котельного отделения (КО). При установке кранов после ремонта необходимо следить за тем, чтобы в нормальном положении (паровой и водяной краны открыты, а продувочный – закрыт) они были направлены вертикально вниз. В этом случае исключается самопроизвольное открытие клапанов из-за вибрации.



Для равномерного обжата прокладок водомерного стекла после ремонта рекомендуется обжимать гайки в последовательности показанной на рисунке.

Иногда встречаются водоуказательные приборы для двухстороннего наблюдения. Свет от лампы просвечивает прибор насквозь, показывая уровень воды в котле. По конструкции напоминают стекла Клингера, где вторую рамку 1 с вторым плоским стеклом 4, оправой 5 и прокладкой 3 скрепляют с первой конструкцией.



Дистанционный водоуказатель Игема

Дистанционные (сниженные) указатели уровня применяются для того, чтобы можно было вести наблюдение за уровнем воды не только с местного пульта управления котла, но и из ЦПУ. Они являются дополнительными к штатным водоуказателям.

Устройство представляет собой U – образную трубу, нижняя часть которой заполнена специальной индикаторной жидкостью (тяжелее воды) красного цвета, которая не смешивается с водой (четырёххлористый углерод). Труба, связанная с паровым пространством котла заполнена конденсатом и имеет неизолированный конденсационный сосуд, который постоянно заполнен конденсатом.

Излишки воды из-за конденсации пара или изменения уровня воды в котле стекает через перегородку в другую трубу, которая соединена с водяным пространством котла, поэтому уровень воды в ней точно соответствует уровню воды в котле. Условие равновесия системы может быть при соблюдении:

$$xd + yD = x'd + y'D$$

Где: x и y – высота столбов котловой воды в коленях U – образной трубы;
 d и D – плотность соответственно воды и индикаторной жидкости, $кг/м^3$.

Из условия равновесия следует, что уровень в сниженном водоуказателе будет изменяться в зависимости от уровня воды в колене U – образной трубы, соединенной с водяным пространством котла.

При повышении уровня воды в котле увеличится высота столба воды в трубе, из-за чего повышается давление на поверхность индикаторной жидкости, поэтому уровень в водоуказателе (расположенном в ЦПУ) поднимется, и, наоборот, при уменьшении уровня воды в котле.

Большим достоинством дистанционного указателя является то, что благодаря применению окрашенной жидкости можно немедленно определить уровень воды (или его отсутствие), что не всегда можно сделать при использовании только воды.

Продувку водоуказательного прибора следует проводить следующим образом:

- открыть нижний клапан (дренажный) продувания водомерной колонки;
- закрыть паровой клапан водомерной колонки;
- открыть паровой клапан и затем закрыть водяной клапан;
- открыть водяной клапан, а затем закрыть клапан продувания (дренажный) водомерной колонки, после чего уровень воды в водоуказательном приборе должен установиться в нормальное положение (несколько выше, чем до продувания).

Перед продуванием следует отключить ДУУ, если это предусмотрено инструкцией по эксплуатации.

Обозначения и сокращения

- БЗКТ** – *быстрозапорный клапан, установленный на топливной магистрали*
- ВМХ** – *вахтенный механик на морских судах*
- ВП** – *вахтенный помощник капитана*
- ВУП** – *водоуказательный прибор*
- ДАУ** – *система дистанционного автоматического управления*
- ДУУ** – *дистанционный указатель уровня*
- КИП** – *контрольно-указательные приборы*
- МХЗ** – *механик на морских судах, в заведении которого находится котельная установка*
- МКО** – *машинно-котельное отделение*
- ПГТО** – *план-график технического обслуживания или другая действующая техническая документация, определяющая номенклатуру, состав, периодичность и трудоёмкость работ по Техническому обслуживанию*
- НД** – *нормативный документ*
- СТМ** – *старший (главный) механик на морских судах*
- САУ** – *система автоматического управления*
- САР** – *система автоматического регулирования*
- ТИ** – *техническое использование*
- ТО** – *техническое обслуживание*
- ТЭ** – *техническая эксплуатация*
- ЦПУ** – *центральный пост управления энергетической установкой судна.*

Общие положения

Правил технической эксплуатации судовых паровых котлов

1. ТО котлов необходимо выполнять в соответствии с ПГТО, определяющим номенклатуру, состав, периодичность и трудоёмкость работ. При отсутствии ПГТО следует руководствоваться инструкцией по ТЭ завода-изготовителя котла или указаниями судовладельца.
2. Судовладелец может на основании опыта эксплуатации котлов на серии судов или испытания (исследований) вносить изменения в инструкцию по эксплуатации котла, а также дополнять её. Все изменения и дополнения должны быть оформлены распоряжением соответствующей службы судовладельца и внесены (вклеены) во все экземпляры инструкции.
3. При работе главного или вспомогательного котла на ручном или полуавтоматическом управлении несение постоянной вахты у котла является обязательным.
4. Каждый паровой манометр должен быть опломбирован, все манометры должны иметь отметку о сроках проверки.
5. На всех котельных манометрах, установленных на котле и в ЦПУ, должна быть нанесена четкая красная черта, соответствующая предельно допускаемому давлению в котле.
6. Каждый судовой котел должен быть укомплектован следующей документацией:
 - а) регистрационная или шнуровая книга (выдается на каждый паровой котел давлением более 0,07 МПа);
 - б) формуляр (паспорт) котла;
 - в) описания и инструкции по эксплуатации котла, топочного устройства, сажеобдувочного устройства, средств автоматизации и других устройств котла;
 - г) инструкция по ведению водного режима котельной установки (составляется судовладельцем при отсутствии её в инструкции по эксплуатации или при назначении другого способа водного режима);
 - д) журнал водоконтроля;
 - е) комплект отчетных рабочих чертежей котла, топочного устройства, автоматики и других устройств котла;
 - ж) технические условия на ремонт котла (если они разработаны);
 - з) ПГТО котла в составе ПГТО по заведованию.

Контроль за наличием и хранением на судне указанной документации возлагается на СТМ.

7. МХЗ обязан заносить в формуляр котла сведения об отказах, техническом состоянии составных частей котла, химических чистках, глушении труб и змеевиков, наличии накипи и т.д. Количество и расположение заглушенных труб и змеевиков рекомендуется отмечать на отдельной схеме.

СТМ должен регулярно контролировать ведение формуляра котла.

8. Если котел вводится в действие впервые после сухого хранения, консервации, то до подготовки котла к действию должны быть произведены работы по расконсервации и приведению котла в рабочее состояние:

- а) вскрыты крышки, горловины, лючки, топка и произведена тщательная вентиляция, как со стороны газов, так и со стороны воды. Все внутренние поверхности коллекторов и трубы должны быть тщательно осмотрены для контроля их технического состояния;
- б) все узлы, подвергнутые консервации, должны быть разобраны и очищены от консерванта;
- в) из корпуса котла и коллекторов удалены поддоны с влагопоглотителем;
- г) проверена исправность и готовность к действию всех средств автоматики и КИП; наличие на КИП пломб и отметок о сроках проверки;
- д) проверенно состояние электропроводки, правильность присоединения средств автоматического регулирования и контроля;
- е) смазаны все трущиеся поверхности деталей средств автоматизации, проверенна легкость перемещения деталей регуляторов, реле, сервомоторов и т.п.;
- ж) расконсервированы и расхожены предохранительные клапаны и другая котельная арматура; проверенно действие приводов аварийного открытия предохранительных клапанов и закрытия БЗКТ;
- з) расконсервированы и подготовлены к работе системы и механизмы, обслуживающие котельную установку;
- и) с дымовой трубы сняты крышки и чехлы;
- к) проверена и при необходимости восстановлена нормальная освещенность котельного отделения.

Подготовка котла к действию

1. Для подготовки котла к действию после непродолжительного вывода из действия, во время которого **не производились разборка и ремонт** составных частей котельной установки необходимо:

- а) произвести наружный осмотр котла, убедиться в отсутствии видимых дефектов и посторонних предметов;
- б) произвести наружный осмотр ВУП и убедиться в отсутствии их повреждений: проверить свободный ход клапанов и их приводов;
- в) убедиться в отсутствии повреждений манометров, термометров и остальных КИП, а также наличии на них пломб и сроках проверки;
- г) проверить легкость перемещения диффузоров, шиберов и заслонок;
- д) опробовать исправность действия сажеобдувочных устройств (без подвода рабочей среды);
- е) проверить освещение (нормальное и аварийное) котельного отделения, всех КИП, и, прежде всего, всех ВУП;
- ж) открыть топку и проверить отсутствие подтеканий топлива в топке;

- з) включить вентиляцию котельного помещения;
 - и) убедиться, что в котельном отделении отсутствуют посторонние предметы и легковоспламеняющиеся материалы, а под котлами – вода и нефтепродукты;
 - к) проверить возможность использования и готовность к действию противопожарных средств.
2. Если котел подвергался мойке с газовой стороны необходимо убедиться в полной просушке обмуровки топки и коллекторов. Розжиг котла с пропитанной влагой обмуровкой запрещается!
 3. Подготовить к действию котельные вентиляторы, проверить действие заслонок газоходов и воздухопроводов, оставив их открытыми; воздушные заслонки перед форсунками на топочном фронте закрыть.

Заполнение котла водой

1. При подготовке питательной системы необходимо:
 - а) осмотреть трубопроводы питания котла, убедиться в исправности арматуры поочередным закрытием и открытием клапанов, установить клапаны в положение, необходимое для опробования питательных средств;
 - б) подготовить к работе и проверить в действии поочередно все питательные насосы;
 - в) проверить количество и качество питательной воды в теплом ящике;
 - г) все паровые клапаны на котле и паропроводах слегка стронуть на открытие во избежание их зажима при прогревании и оставить их закрытыми;
 - д) открыть воздушные клапаны котла, пароперегревателя и экономайзера;
 - е) открыть клапаны продувания коллекторов пароперегревателя;
 - ж) открыть паровые и водяные клапаны к ВУП и манометрам; клапаны продувания приборов должны быть закрыты;
 - з) открыть питательные клапаны на котел и экономайзер и разобшительные клапаны между котлом и пароперегревателем;
 - и) проверить закрытие клапанов верхнего и нижнего продувания котла, а также пробных кранов;
 - к) привести в рабочее положение другие клапаны, указанные в инструкции по эксплуатации котла;

Заполнение котла водой должно производиться с разрешения СТМ.

Котел должен заполняться дистиллятом (в исключительных случаях – пресной водой) или конденсатом, по возможности, теплым, характеристики которых отвечают установленному для котла водному режиму, с одновременным вводом химических реагентов в соответствии с инструкцией по эксплуатации котла. Разность температур воды и стенок котла не должна превышать 20-30°С.

2. Уровень воды в котле перед разводкой, если отсутствуют специальные указания в инструкции по эксплуатации, должен устанавливаться:

- а) для водотрубных котлов – несколько ниже рабочего (несколько выше уровня, при котором срабатывает защита по низкому уровню);
- б) для огнетрубных котлов – на отметке наивысшего допустимого уровня по ВУП;
- в) для всех других котлов – на отметке «рабочий уровень».

Рекомендованный уровень устанавливается с учетом дифференциала судна.

3. После заполнения котла водой необходимо:

- а) проверить исправность всех ВУП, открывая и закрывая краны продувания;
- б) проверить соответствие показаний всех ВУП, установленных на котле, и ДУУ в ЦПУ;
- в) подключить и опробовать систему защиты и сигнализации по уровню воды в котле;
- г) проверить удерживается ли уровень воды в котле; при его снижении после остановки питательного насоса необходимо выяснить и устранить причину утечки воды.

4. Допускается при заполнении котла водой пропуски горловин и арматуры устранять обжатием крышек и сальников без осушения котла.

Розжиг форсунок

1. Перед розжигом котла необходимо убедиться в том, что:

- а) все системы, обслуживающие котел, подготовлены к вводу котла в действие;
- б) системы управления и защиты находятся в рабочем состоянии;
- в) воздушные регистры (заслонки) на всех форсунках, кроме той, которая зажигается, закрыты;
- г) клапаны пароперегревателя открыты.

2. Котельное отделение перед розжигом котла должно быть провентилировано.

3. Перед розжигом форсунки необходимо убедиться, что в топке отсутствует топливо и вода, для чего открыть спускные краны (пробки) и спустить скопившуюся жидкость.

4. Непосредственно перед зажиганием форсунки топка должна быть в обязательном порядке провентилирована в течение не менее 5 минут, при полностью открытых заслонках ВНУ топочного фронта и включенных котельных вентиляторах.

Если при открытии спускных клапанов в топке было обнаружено топливо, то время вентиляции должно быть увеличено до 10 минут.

5. Зажигание первой форсунки производится электровоспламенителем или факелом, последующие форсунки могут зажигаться от первой.

Категорически запрещается зажигать форсунку от раскаленной кирпичной кладки котла, а также при остановленном вентиляторе.

6. При зажигании форсунок с паровым распылом вначале подают пар, а затем приоткрывают топливо.

В момент зажигания первой форсунки давление воздуха рекомендуется уменьшить кратковременным прикрытием воздушного шибера.

7. В котлах с ротационными форсунками запускают электродвигатель форсунки, а затем вводят в топку факел и медленно включают подачу топлива.
8. Если зажигание форсунки не произошло, необходимо немедленно закрыть БЗКТ, обеспечить циркуляцию топлива, доведя температуру до требуемой, провентилировать топку в течение не менее 5 минут, после чего снова зажечь форсунку от факела.
9. После нажатия на кнопку пуска полностью автоматизированного котла должна быть проконтролирована последовательность и продолжительность операций по вентиляции топки и зажиганию форсунки, а также качество горения в топке.

Вывод котла из действия

1. Перед полным выводом котла из действия необходимо:
 - а) произвести обдувку всех поверхностей нагрева, если позволяет обстановка (под руководством МХЗ, согласовать с ВП);
 - б) произвести поочередно верхнее и нижнее продувание с последующей подпиткой котла, затем продуть пароперегреватель;
 - в) если котел не будет осушен, то довести фосфатное и нитратное числа до верхнего предела норм, указанных в инструкции по эксплуатации;
 - г) перевести котел на ручное управление, вывести из действия САР, системы сигнализации и защиты;
 - д) перевести форсунки на легкое топливо (при наличии соответствующей системы).
2. Для вывода котла из действия необходимо:
 - а) прекратить горение;
 - б) остановить топливный насос, вентилятор, закрыть все воздушные заслонки;
 - в) остановить питательный насос, закрыть клапана на питательном трубопроводе;
 - г) закрыть клапана отбора перегретого, насыщенного и охлажденного пара;
 - д) прекратить подачу пара на форсунки и топливоподогреватель;
 - е) открыть продувание пароперегревателя.
3. Котельный вентилятор должен отключаться через некоторое время после прекращения горения для обеспечения вентиляции топки.
4. Форсунки с паровым распылом после прекращения подачи топлива должны продуваться паром в течение 5 минут.

5. Охлаждение котла рекомендуется производить по возможности медленно. Продолжительность и порядок охлаждения следует выдерживать в соответствии с указаниями по эксплуатации.

После того, как давление в котле снизится до атмосферного, необходимо открыть воздушный клапан и сообщить паровое пространство с атмосферой.

6. Запрещается искусственное охлаждение котла путем подачи в котел холодного воздуха, питания холодной водой, спуска воды с температурой выше 50° С и т.п.
7. Запрещается открывать лаз в топку до полного остывания котла.
8. Удаление воды из котла разрешается производить только после того, как ее температура снизится до 50° С. При каждом спуске воды, следует проверять срабатывание защиты и сигнализации по нижнему уровню воды в котле.

Меры предосторожности при упуске воды из котла

1. Признаки упуска воды из котла:
 - а) отсутствие уровня воды в ВУП, не появляющегося после продувания;
 - б) свист сухого пара при открывании нижних пробных кранов (в огнетрубных котлах);
 - в) если упуск воды был замечен несвоевременно, то могут раскалиться до красна или до бела от перегрева видимые части поверхности нагрева котла, появиться провисание групп или отдельных труб поверхности нагрева.
2. При упуске воды из котла необходимо немедленно:
 - а) прекратить горение, воздействием на БЗКТ;
 - б) прекратить питание котла водой;
 - в) остановить топливный насос и прекратить подачу воздуха;
 - г) закрыть главный стопорный клапан;
 - д) открыть вручную предохранительные клапаны, клапаны продувания пароперегревателя и спустить пар;
 - е) сообщить об упуске воды ВП и СТМ;
 - ж) закрыть заслонки ВНУ и принять другие меры к недопущению местного и общего резкого охлаждения котла.
3. Питание котла категорически запрещается, если уровень воды в нем упал ниже нижнего пробного крана (в огнетрубном котле) и ниже нижней кромки ВУП (в водотрубном котле).
4. Охлаждение котла после его вывода из действия должно производиться возможно медленнее; до снижения температуры в топке ниже 70° С не допускается открывать топку, открывать заслонки, спускать воду и т.п.
5. После вывода котла из действия в результате упуска воды необходимо тщательно осмотреть котел и при отсутствии видимых повреждений (проседания топок, выпучин, трещин, деформации труб, пропусков пара и воды) провести гидравлическое испытание котла на рабочее давление. Если течи и деформа-

ции элементов не обнаружены, СТМ предоставляется право допустить котел к дальнейшей эксплуатации, о чем должен быть акт для передачи в техническую службу судовладельца, а также произведены соответствующие записи в машинном журнале и формуляре котла. По приходу в порт СТМ должен предъявить котел для освидетельствования Регистру.

Меры предосторожности при обслуживании котлов

1. Для обеспечения безопасной эксплуатации котла на нем должны быть установлены и быть в исправном состоянии все предусмотренные проектантом котла КИП, арматура, средства систем управления, контроля, сигнализации и защиты.
2. Все КИП, установленные на котле и обслуживающих его системах, должны своевременно проверяться; манометры должны иметь отметку о сроке проверки и пломбу.
3. Котельные паровые манометры должны иметь четкую красную черту, соответствующую предельно-допускаемому давлению пара.
4. На каждом ВУП должны быть установлены четкие указатели с надписями: «Нижний уровень», «Рабочий уровень», «Верхний уровень».
5. Клапаны верхнего и нижнего продувания должны иметь таблички с надписью о назначении клапана и указатели «открыто», «закрыто».
6. Котельное отделение, особенно в районе расположения ВУП и КИП, должно иметь хорошее освещение.
7. На переднем фронте котла у топочного устройства должна быть установлена табличка с краткой надписью о необходимости вентиляции топки перед розжигом форсунки.
8. Запрещается вводить в действие котел:
 - а) имеющий неисправные или не отрегулированный хотя бы один предохранительный клапан, неисправный водоуказательный прибор или манометр;
 - б) при отсутствии двух исправных, независимых от главного двигателя, питательных средств;
 - в) с неисправными системами и клапанами продувания, питания, сажеобдува, подачи топлива и воздуха, обеспечивающими безопасную эксплуатацию котельной установки;
 - г) с неисправностями аварийных дистанционных приводов предохранительных, стопорных и БЗКТ;
 - д) с трещинами или свищами в ответственных частях котла (в коллекторах, швах, трубных досках, жаровых трубах, огневых коробках и т.п.);
 - е) с неисправностями средств регулирования, сигнализации и защиты автоматизированных котлов при отсутствии постоянной вахты у котла;
 - ж) с числом заглушенных труб и их провисанием, превышающим нормы инструкции по эксплуатации, нормы Регистра или другого классификационного общества, с обрывами связей;
 - з) с течью соединений в трубных решетках;

- и) с разрушением обмуровки защищаемых частей пароводяных и водяных коллекторов, камер и стенок топки котла;
 - к) с выпучинами на плоских стенках огневых частей со стрелкой прогиба более толщины листа; с местными выпучинами жаровых труб более 3 % и общим сужением их более 5 %;
 - л) с местными или общими износами частей котла, превышающими нормы, допускаемые Регистром;
 - м) с неисправными фильтрами питательной воды, дозировочными устройствами для ввода химических реагентов в котел и маслоотделителями.
9. Ввод в действие котла действие, с указанными в п. 8 неисправностями, может быть произведен только в исключительных обстоятельствах, по письменному распоряжению капитана.
10. Запрещается при нахождении котла под паром производить на нем ремонтные работы, связанные с ударами, сверлением и сваркой. Подтяжка фланцевых соединений арматуры и трубопроводов допускается только после снижения давления пара ниже 0,5 МПа.
11. Во время действия котла в котельном помещении должны поддерживаться чистота и нормальное освещение, а противопожарные средства находиться в готовности к немедленному действию. Пожарные шланги должны быть всегда подключены к распределительным колонкам, а пожарные стволы соединены со шлангами.

Экстренный вывод котла из действия

1. Котел должен быть немедленно выведен из действия в следующих случаях:
- а) если давление пара в котле повысилось до отметки предельно-допустимого и продолжает расти, несмотря на подрыв предохранительных клапанов вручную (в любом случае котел должен быть остановлен при превышении в нем давления выше 10 % от рабочего);
 - б) при упуске воды ниже нижней видимой кромки ВУП;
 - в) если уровень в котле быстро снижается, несмотря на усиленное питание водой;
 - г) если уровень воды поднялся выше верхней видимой кромки водоуказательного стекла и продувкой не удастся быстро снизить его;
 - д) при прекращении действия всех питательных средств;
 - е) при выходе из строя всех ВУП, установленных на котле;
 - ж) при отказе топливных насосов;
 - з) при выходе из строя вентилятора котла;
 - и) при обнаружении в основных элементах котла трещины, выпучины, разрыва связи и других дефектов, угрожающих безопасности котла;
 - к) при разрыве водогрейной или дымогарной трубы;
 - л) при взрыве газов в топке или газоходе;
 - м) при обесточивании, если не удастся сразу ввести в действие АДГ.

2. Для экстренного вывода котла из действия необходимо:
 - а) закрыть БЗКТ;
 - б) остановить топливный насос;
 - в) закрыть главный стопорный клапан;
 - г) прекратить питание котла водой;
 - д) остановить вентилятор, закрыть воздушные заслонки;
 - е) прекратить подачу пара на форсунки и топливоподогреватель.
3. Об экстренном выводе главного котла из действия должны быть немедленно поставлены в известность ВП и СТМ.
4. Котел должен быть выведен из действия:
 - а) при обрушивании хотя бы части обмуровки топки;
 - б) при возникновении пожара в котле, газоходе или МКО, угрожающем обслуживающему персоналу или котлу;
 - в) при выходе из строя более 50 % предохранительных клапанов;
 - г) при угрозе затопления котельного помещения;
 - д) при вырыве прокладки во фланцевом соединении, появлении свища в трубопроводе;
 - е) при появлении течи в вальцовочных или сварных соединениях труб;
 - ж) в случае сильного местного разогрева каркаса или обшивки котла;
 - з) при невозможности плотно закрыть арматуру трубопровода продувания котла;
 - и) в других случаях, предусмотренных инструкцией по эксплуатации котла.

Последующий ввод котла в действие допускается только после выяснения и устранения причины, вызвавшей экстренный вывод котла из действия.

5. Экстренно выведенный из действия котел после остывания должен быть тщательно осмотрен, выяснены причина и характер повреждения, возможность устранения дефектов с дальнейшей эксплуатацией котла с ограничениями или без них.

Обстоятельства, приведшие к выводу котла из действия, результаты осмотра, возможность и условия дальнейшей эксплуатации котла должны быть отражены в акте, утвержденном капитаном.

6. О каждом экстренном выводе котла из действия должна быть сделана запись в машинном журнале с указанием причины вывода.
7. Если давление в котле прекращено вследствие срабатывания системы защиты, ВМХ по прибытии к котлу должен вывести его из действия, а затем выяснить причину аварийной остановки котла. Пуск котла до выяснения причины срабатывания защиты не допускается.

8. При эксплуатации огнетрубных котлов особенно опасен перегрев жаровых труб и огневых камер с быстрым образованием выпучин и разрывом металла в районе этих выпучин. Основной причиной перегрева, как правило, является упуск воды из котла при работающей форсунке. **Признаками перегрева** являются покраснение отдельных частей котла, выпучины, отдушины, провисания отдельных труб или деформация стенок, течи в соединениях труб, связей в швах, разрывы отдельных частей.

В случае обнаружения признаков перегрева котел должен быть экстренно выведен из действия; подпитывать котел в этих условиях категорически запрещается, т.к. это может вызвать взрыв котла.

9. Перегрев труб водотрубного котла происходит в случае упуска воды из котла при работающей форсунке, нарушении циркуляции или вследствие отложений в трубах значительного слоя накипи. **Признаками перегрева** является провисание или деформация труб, обнаруживаемая через смотровые отверстия топки. Котел должен быть экстренно выведен из действия. Подпитка котла в этих условиях категорически запрещается, т.к. может вызвать разрыв труб.
10. **Признаками разрыва трубки** в котле являются резкий хлопок и шум в топке, сопровождаемый быстрым снижением уровня воды и падением давления.
11. **Признаками появления свища** в трубах или корпусе котла являются: шум в топке или газоходе, снижение давления пара, появление пара в дымовых газах, увеличение суточного расхода добавочной воды. Работа котла с таким видом повреждения в сложных условиях плавания может быть временно продолжена, однако при этом возможно повреждение соседних труб истекающей из отверстия струей воды или пара. Необходимо усилить питание, при необходимости перейти на ручное питание, включить резервный питательный насос, снизить нагрузку котла. Если принятыми мерами удержать уровень воды в котле не удастся, незамедлительно вывести котел из действия.
12. При любом повреждении котла СТМ должен быть немедленно вызван в котельное отделение и с момента прибытия берет на себя руководство по предотвращению развития аварии.
13. Если до прибытия СТМ пребывание людей в котельном отделении по характеру повреждения становится невозможным, угрожающим их жизни, вахтенный механик обязан немедленно вывести людей из помещения, доложив об этом ВП.
14. При угрозе затопления котельного отделения котельного отделения необходимо пустить в действие имеющиеся водоотливные средства и выяснить причину поступления воды. Если, несмотря на принятые меры, вода продолжает прибывать, доложить об этом СТМ и на ходовой мостик. При угрозе подхода воды непосредственно к нагретым ответственным частям котла (барбанам, коллекторам, бочке), с разрешения капитана необходимо экстренно вывести котлы из действия и принудительно открыть предохранительные клапаны.

Предохранительные клапаны

1. Один из предохранительных клапанов котла должен быть настроен на срабатывание:
 - а) для котлов с рабочим давлением до 1 МПа на давление 1,05 от рабочего;

- б) для котлов с рабочим давлением более 1 МПа на давление 1,03 от рабочего.

Второй клапан должен быть настроен на срабатывание при давлении на 0,01 – 0,02 МПа ниже первого. Клапан, который настроен на большее давление, должен быть опломбирован инспектором Регистра, второй клапан не пломбируется.

2. Предохранительные клапаны пароперегревателя должны быть настроены на срабатывание с некоторым опережением котельных клапанов.
3. Предохранительные клапаны после подрыва должны прекращать выход пара при падении давления не ниже 0,85 рабочего давления.
4. В случае, если при проверке первым срабатывает опломбированный клапан, необходимо под непосредственным руководством СТМ произвести подрегулировку неопломбированного клапана; если это не удастся – вывести котел из действия и устранить неисправность.
5. Запрещается изменять настройку предохранительных клапанов в сторону увеличения давления подрыва клапана.
6. Регулировку предохранительных клапанов рекомендуется производить по двум параллельно подключенным манометрам, один из которых должен быть контрольным. Если второго манометра нет, то котельный манометр должен быть обязательно предварительно проверен по контрольному.
7. Не реже одного раза в месяц необходимо в присутствии СТМ производить проверку исправности действия предохранительных клапанов подрывом их дистанционно вручную или повышением давления пара в котле (но не более чем до величины, предусмотренной Правилами Регистра). *О произведенной проверке, давлении открытия и закрытия необходимо составить акт проверки и сделать запись в машинном журнале.*
8. Если давление в котле повысилось выше предельно-допустимого, а предохранительные клапаны не сработали, необходимо немедленно подорвать клапаны вручную и после снижения давления повторно проверить их действие при повышении давления; если клапаны вновь не сработали, котел необходимо вывести из действия и произвести ревизию и настройку клапанов. В любом случае запрещается поднимать давление в котле более, чем на 10 % от рабочего.
9. Если производилась перенастройка или разборка предохранительного клапана с пломбой Регистра, об этом должны быть поставлены в известность инспекция Регистра и судовладелец. В первом же порту котел должен быть представлен к освидетельствованию инспектору классификационного общества.

Предотвращение и тушение пожара в котле и в котельном помещении

1. Пожары в котлах, пароперегревателях, экономайзерах и воздухоподогревателях возникают в результате сильного заноса поверхностей нагрева сажей, частицами несгоревшего топлива и нарушения периодичности сажеобдува и чистки котла.

2. Признаками начавшегося возгорания сажи являются повышение температуры газов после котла, сильный нагрев обшивки газохода, появление искр или пламени из дымовой трубы.
3. Взрывы в топках котлов происходят вследствие скопления в них паров не-сгоревшего топлива и нарушения требований об обязательной вентиляции топки перед розжигом форсунки.
4. В случаях возгорания сажи в газоходах котла необходимо немедленно:
 - а) сообщить ВП и СТМ о пожаре;
 - б) выключить форсунки и котельные вентиляторы, плотно закрыть все воздушные заслонки и шиберы;
 - в) усилить по возможности подачу воды в экономайзер;
 - г) включить в действие паровые сажесдуватели;
 - д) при наличии соответствующих устройств – пустить в газоходы углекислый газ, пар или другие огнегасители.
5. Котельное помещение (или участок МО в районе установки котлов) должно быть оборудовано исправными и подготовленными к действию противопожарными средствами, предусмотренными проектом судна и действующими противопожарными правилами.
6. В тех случаях, когда пожар возник под котлами, для тушения необходимо использовать передвижные воздушно-пенные генераторы или ввести в действие местное стационарное паротушение. Остатки топлива под настилом следует тушить паром, пеной, песком или порошковыми огнетушителями.
7. При начавшемся пожаре не следует спешить с прекращением действия котла, не попытавшись ликвидировать пожар местными средствами. Если пожар возник в результате разрыва топливной трубы, необходимо прекратить доступ топлива в поврежденный трубопровод.
8. Если стала очевидной необходимость вывода личного состава из котельного отделения для использования объемного способа тушения, необходимо:
 - а) котлы экстренно вывести из действия с помощью местных или дистанционных приводов, для чего немедленно остановить топливные насосы, БЗКТ на подаче топлива к форсункам и у топливных цистерн, выключить подогрев топлива, прекратить питание котлов, остановить вентиляторы и закрыть все воздушные заслонки и отверстия;
 - б) удалить людей из горящего помещения, используя выходы, находящиеся на наиболее низком уровне (например, через туннель валопровода);
 - в) после ухода людей из котельного отделения немедленно загерметизировать его;
 - г) пустить пар, углекислый газ или другое огнегасящее средство в котельное отделение.
9. При необходимости затопления котельного отделения, являющегося крайней мерой тушения пожара, необходимо полностью спустить пар из котлов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Верете А.Г., Дельвинг А.К. «Судовые паровые и газовые энергетические установки», М. «Транспорт», 1990 г.
2. Милтон Д.Х., Лич Р.М. «Судовые паровые котлы», М. «Транспорт», 1985 г.
3. Лысенко В.К., Лубочкин Б.И. «Судовые паровые котлы», М. «Транспорт», 1988 г.
4. Беляев И.Г. «Эксплуатация утилизационных установок», М. «Транспорт», 1987 г.
5. Ларионов И.Д., Беляев И.Г., «Вспомогательные турбинные и котельные установки морских судов», М. «Транспорт», 1988 г.
6. Лубочкин Б.И. «Учебное пособие для механика морских паровых судов», М. «Транспорт», 1979 г.
7. Грицай Л.Л. «Справочник судового механика», М. «Транспорт», 1993 г.
8. Правила технической эксплуатации судовых паровых котлов
9. Международная Конвенция по подготовке и дипломированию моряков и несению вахты 1978 года с поправками ПДМНВ 78/95/10
10. Международная Конвенция по охране человеческой жизни на море СОЛАС-74
11. Международная Конвенция по предупреждению загрязнения с судов 1973 г. с протоколом 1978 г. МАРПОЛ 73/78
12. Международный Кодекс по управлению безопасной эксплуатацией судов и предупреждению загрязнения моря МКУБ-93

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Предисловие	1
§ 1 Историческая справка о развитии судовых паровых котлов	3
§ 2 Котельная установка судна, принцип работы Назначение, классификация паровых котлов Основные показатели работы котельной установки теплохода	6
§ 3 Устройство и принцип действия вспомогательных котлов Основные разновидности вспомогательных котлов	9
§ 4 Теплообмен в паровых котлах	15
§ 5 Циркуляция воды в котлах	17
§ 6 Устройство и принцип действия утилизационных котлов Основные разновидности судовых утилизационных котлов	20
§ 7 Водный режим парового котла Водообработка	23
§ 8 Состав котельной установки	30
§ 9 Топливная система вспомогательного котла	31
§ 10 Процесс горения топлива	34
§ 11 Организация факельного процесса сжигания топлива Топочные устройства котлов	36
§ 12 Конструкции форсунок различных типов паровых котлов	39
§ 13 Тягодутьевые устройства судовых паровых котлов	46
§ 14 Арматура и контрольно-измерительные приборы судовых паровых котлов Назначение и конструкция	49
§ 15 Футеровка котла	57
§ 16 Пуск котла Обслуживание во время работы Основные виды и причины неисправностей и повреждения котлов	62
Методические указания для выполнения лабораторно-практических работ:	65
Водный режим СПК Водообработка	66
Изучение конструкций форсунок разных типов	74
Арматура и КИП СПК Назначение и конструкция	80
Технические обозначения и сокращения	87
Общие положения Правил технической эксплуатации судовых паровых котлов	88
Список литературы	100