Раздел первый

КОТЕЛЬНЫЕ УСТАНОВКИ

Глава 1. УСТРОЙСТВО КОТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

§ 1.1. Схемы котельных установок

В судовых уста­новках энергия может подводиться путем непосредственного сжигания топлива в топке котла и путем под­вода отработавших газов от ДВС или ГТУ. В последнем случае *котлы* называются *утилизационными.*

На судах с главными паровыми двигателями, являющимися основ­ными потребителями пара, обслужи­вающие их *котлы* называются *глав­ными.* Главные котлы обеспечивают паром одновременно и все другие вспомогательные потребители. На судах с главными дизельными или газотурбинными двигателями приме­няются вспомогательные котельные установки, в состав которых, как правило, входят вспомогательные и утилизационные котлы. *Вспомога­тельные,* как и главные *котлы,* ра­ботают на топливе, сжигаемом в топ­ке, и обеспечивают паром вспомо­гательные потребители. Такими пот­ребителями независимо от типа глав­ного двигателя могут быть: паровые вспомогательные механизмы и аппа­раты (турбогенераторы, турбонасо­сы, испарители); паровые палубные механизмы (шпили, брашпили, ле­бедки); паровые подогреватели во­ды, топлива, масла, воздуха, жид­кого груза, запаса топлива и воды в танках, воды в системе мойки тан­ков; система пропаривания танков, продувания кингстонных решеток и др.; оборудование, служащее для удовлетворения бытовых нужд в па­ре (системы отопления, бани, пра­чечные).

Котлы, вырабатывающие пар на основе теплоты, выделяющейся при сгорании топлива в топке, представ­ляют собой агрегат, в состав кото­рого входят: непосредственно котел с парообразующими элементами, топка, топочное устройство, котель­ная арматура и контрольно-измери­тельные приборы (КИП). Совместно с котельным агрегатом они образуют котельную установку.

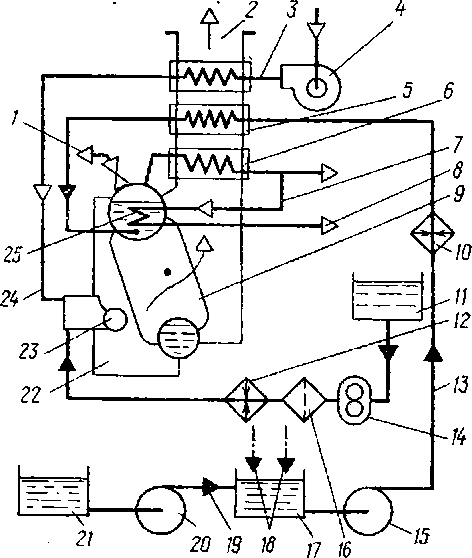
Главная котельная установка (рис. 1.1.). Из расходной цистерны 11 топливо топливным насосом 14 подается через фильтр 16, подогре­ватель 12 и топливную форсунку 23 в топку 22 котла 9. Необходимый для горения топлива воздух по воз­духопроводу 24 нагнетается котель­ным вентилятором 4 через воздухо­подогреватель 3, где он подогревает­ся горячими газами, уходящими из котла по дымоходу 2. Котел выра­батывает насыщенный пар, который через клапан, называемый стопор­ным, по паропроводу 1 подается к потребителям. Для повышения эко­номичности пароэнергетической ус­тановки главные и некоторые вспо­могательные паровые двигатели ра­ботают на перегретом паре. Для его получения в рассматриваемой схеме насыщенный пар из котла поступает в пароперегреватель 6, в котором уходящие из котла газы передают ему часть своей теплоты, и на выходе из пароперегревателя пар имеет бо­лее высокую температуру. Некото­рые паровые механизмы энергетичес­кой установки рассчитаны на работу на перегретом паре, но с темпера­турой меньшей, чем ее имеет пар, выходящий из пароперегревателя. Такой пар называется охлажденным. Для его получения в котлах служит пароохладитель 25. Определенное ко­личество перегретого пара после пароперегревателя по паропроводу 7 отбирается в пароохладитель, в котором пар отдает часть своей теп­лоты воде котла и уже с понижен­ной температурой поступает в ма­гистраль 8 охлажденного пара. От­работавший пар от большинства па­ровых потребителей в виде конден­сата по трубам 18 отводится в цис­терну 17, откуда питательным на­сосом 15 по питательному трубопро­воду 13 через паровой водоподогреватель 10 и газовый 5, называемый экономайзером, поступает обратно в котел. Вследствие утечек количество воды в системе уменьшается. Насос 20 добавляет воду в цистерну 17 из цистерны запаса воды 21 по трубо­проводу 19. Поддержание заданного режима работы котла, количества подаваемого топлива, воздуха и во­ды в современных установках обес­печивается системами автоматики. В случаях отклонения от заданного режима работы срабатывает автома­тическая система защиты и сигна­лизации.

Рис. 1.1. Схема главной котельной установки

Главная паротурбинная установ­ка. Суда, оборудованные главными паровыми котлами, в качестве глав­ного двигателя используют, как пра­вило, паровую турбину, при этом ча­ще двухкорпусную. Принцип работы такой установки (рис. 1.2) следую­щий: отработавший в турбине высо­кого давления (ТВД) 9 перегретый пар, выработанный в пароперегре­вателе 3 главного котла 4, перепус­кается по ресиверу *11* в турбину низ­кого давления (ТНД) и затем направляется в конденсатор 15, по кон­денсаторным трубам которого про­качивается охлаждающая забортная вода от циркуляционного насоса 16. Конденсация отработавшего пара происходит в результате соприкосно­вения с холодными конденсаторными трубами конденсатора.

У работающей установки топливо из расходной цистерны 5 насосами 6 подается через подогреватели 7 и фильтры 8 к форсункам в топку кот­ла 14. Необходимый для горения топлива воздух нагнетается котель­ным вентилятором через воздухо­подогреватель *1*, в котором подогре­вается горячими газами, уходящими из котла. В результате прокачивания конденсатора охлаждающей заборт­ной водой образуется конденсат, который откачивается конденсатным насосом 17 через свой конденсатор и эжектор 13 и деаэратор 19.

Эжекторы представляют собой пароструйные насосы, предназначен­ные для откачки воздуха и других газов из конденсаторов и создания в них разрежения. Благодаря раз­режению в конденсаторе создается возможность расширения пара в тур­бине до давления ниже атмосферного и поэтому повышается мощ­ность и экономичность турбины, т. е. повышается степень расширения па­ра в турбине. С помощью деаэратора удаляются остатки воздуха из пи­тательной воды, учитывая, что на­личие кислорода в питательной воде вызывает разъедание металлических поверхностей нагрева котла. Цистер­на деаэратора выполняет одновре­менно роль подогревателя воды и сборника конденсата, как теплый ящик во вспомогательных установ­ках. Предварительно подогретая в конденсаторе 18 вода насосом 20 вновь направляется в котел через экономайзер 2.

В корпусе ТНД смонтирована тур­бина заднего хода (ТЗХ), пар к ко­торой подводится по паропроводу 12. Передача крутящего момента от турбины на гребной винт осущест­вляется через зубчатый редуктор 10. Полезная работа, производимая глазной турбиной, обеспечивается срабатыванием располагаемого перепада энтальпий пара по корпусам турбины.

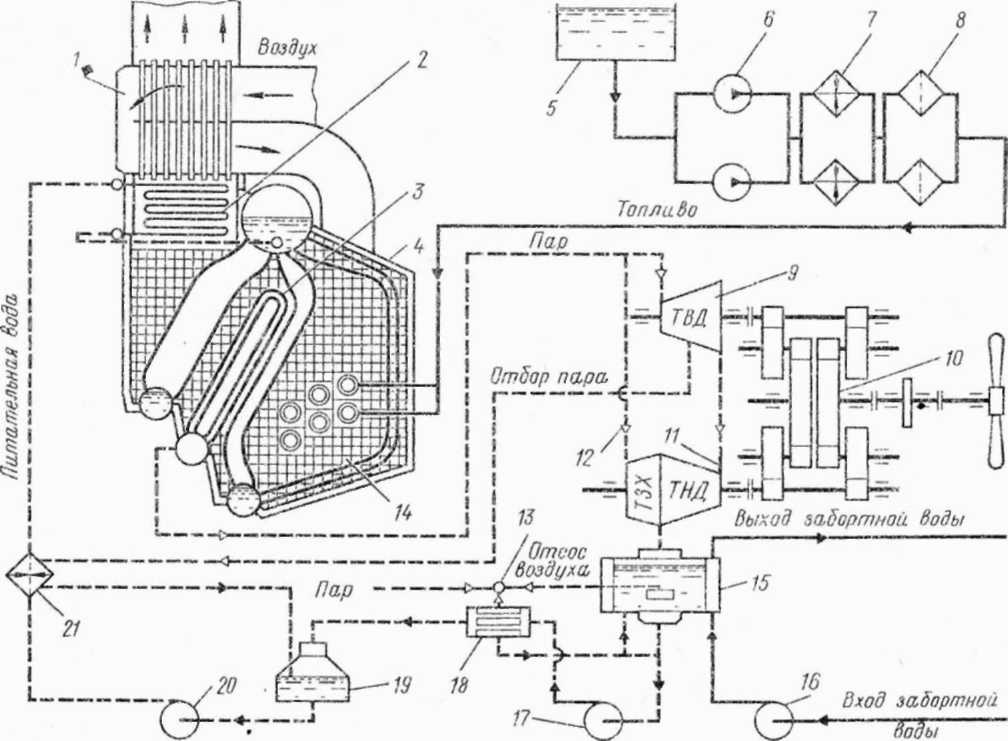


Рис. 1.2. Схема главной паротурбинной установки

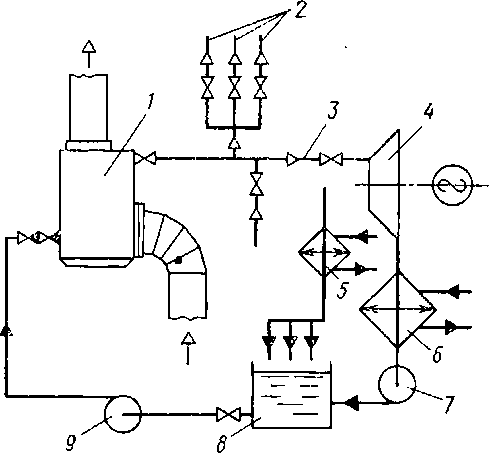
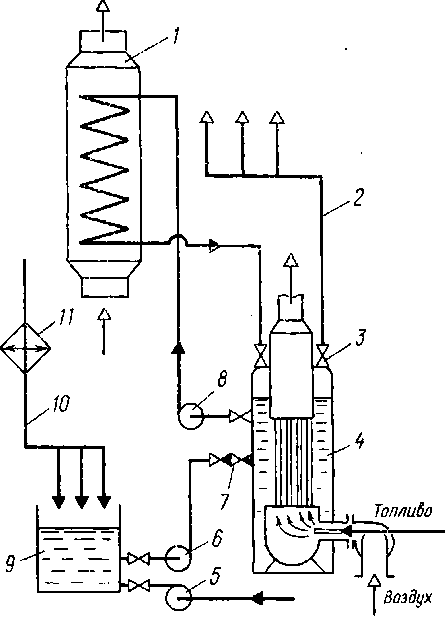
****Турбокотельная установка с ис­пользованием утилизационного хо­дового турбогенератора (рис. 1.3). При установке на судне достаточно мощного дизеля теплоты его газов становится достаточно для получе­ния мара от утилизационного котла для всех общетехнических потреб­ностей судна, включая и вспомога­тельный утилизационный ходовой турбогенератор 4. Утилизационный котел 1 получает от насоса 9 цир­куляционную и одновременно пита­тельную воду, которая нагревается от уходящих газов главного дизеля, направляет ее к потребителям по паропроводам 2 и 3. После соверше­ния неоднократных петель циркуля­ции в змеевиках утилизационного котла появляется сперва влажный, а затем сухой насыщенный пар. При большой площади змеевиков и дос­таточном подводе к ним теплоты в змеевиках может образовываться перегретый пар. В результате образо­вывающийся избыток пара обеспе­чивает потребности общесудовых и общетехнических нужд, а также вра­щает вспомогательную паровую тур­бину турбогенератора. Таким обра­зом, благодаря использованию бро­совой теплоты уходящих газов глав­ного дизеля можно на ходу судна получать не только пар, но и электро­энергию.

Рис. IS. Схема котельной установки с исполь­зованием утилизационного ходового турбоге­нератора

Установка такого типа называется установкой с глубокой утилизацией теплоты. Отработавший в турбине 4 пар направляется в конденсатор 6, в котором происходит конденсация пара благодаря прокачке через кон­денсаторные трубы охлаждающей забортной воды. Образующийся кон­денсат после турбины откачивается насосом 7 в теплый ящик 8 или сепаратор. Теплый ящик представ­ляет собой цистерну, предназначен­ную для сбора отработавших кон­денсатов. Одновременно эта цистер­на используется как водяной фильтр. Сепаратор представляет собой специ­альную установку, используемую для подогрева воды, отделения вла­ги от пароводяной смеси, выработан­ной котлом, для подсушки пара.

Собранный в теплом ящике кон­денсат забирается насосом 9 и вновь поступает в утилизационный котел *1* для дальнейшего парообразо­вания. В этой установке роль сепа­ратора пара выполняет теплый ящик, а для того, чтобы было меньше парения, предусмотрен охладитель 5, прокачиваемый забортной водой. Если предполагается применить ус­тановку более экономичную, то в ее состав включают также эжектор для создания в турбине вакуума с целью повысить степень расширения ее па­ра и снижения содержания кисло­рода. Эжектор на рис. 1.3. не пока­зан.

Котельная установка с комбини­рованным отоплением (рис. 1.4.). На судах зарубежной постройки, преи­мущественно финской, широко ис­пользуют котельные установки, состоящие из вспомогательного газо­трубного котла 4, работающего на топливе, и водотрубной части змеевикового типа, в которой совершает­ся многократная принудительная циркуляция воды, нагреваемой ухо­дящими газами от вспомогательного котла. Вспомогательный котел, работая на топливе, вырабатывает насыщен­ный пар, который через клапан 3 направляется на нужды различных паровых потребителей по паропро­воду 2.

Рис. 1.4. Схема котельной установки с комбинированным отоплением

Горячая вода и пароводяная смесь подаются циркуляционным насосом 8 в змеевики утилизационного кот­ла *1*, где вода совершает ряд пе­тель принудительной циркуляции и превращается во влажный насыщен­ный пар. Поступив затем в корпус вспомогательного котла 4, получен­ный пар, как и в обычном сепарато­ре, освобождается от лишней влаги и в виде подсушенного пара направ­ляется к потребителям. Отработав­шие конденсаты от потребителей стекают в теплый ящик 9 по трубам 10, при этом охладитель *11*, прока­чиваемый охлаждающей водой, слу­жит для снижения парения отрабо­тавших конденсатов.

Котельная установка с комбини­рованным отоплением более проста по конструкции, легче, дешевле, ком­пактнее и быстрее разводится. При­менение в составе установки газо­трубного (или такого же типа) котла увеличивает аккумулирующую способность установки с учетом всех ранее изложенных преимуществ. До­стоинством установки становится так­же возможность получения пара только от вспомогательного кот­ла, только от утилизационного кот­ла и от обоих работающих котлов. Недостаток — при выходе из строя любого элемента установки, напри­мер трубы, установка не может быть использована ни во вспомо­гательном, ни в утилизационном ва­риантах.

При снижении уровня воды в сис­теме она пополняется добавочной во­дой с помощью насоса 5. Питание вспомогательного котла 4 выпол­няется насосом 6 через питатель­ные клапаны 7. Рассматривая ком­поновочные схемы вспомогательных котельных установок на большинст­ве современных дизельных судов, можно отметить, что преимущественное распространение получили ко­тельные установки, в которых при­менены вспомогательные котлы (га­зотрубные, водотрубные, с комби­нированным отоплением, вертикаль­ные, горизонтальные и др.), исполь­зующие энергию сжигаемого топли­ва, и утилизационные, как правило, водотрубные котлы с принудитель­ной циркуляцией и парообразующей поверхностью, выполненные из труб в виде петель или змеевиков, по ко­торым от специальных циркуляцион­ных насосов прокачиваются, горячая вода и пароводяная смесь. Такие котлы имеют небольшую массу и раз­меры при большей площади поверх­ности нагрева, свободу компоновки, быстрый подъем пара, безопасность форсировки. По расположению вспо­могательные котлы устанавливают в машинно-котельном отделении, а утилизационные — в районе газохо­да главного двигателя. Поэтому ути­лизационные котлы используются одновременно как глушители шума выпуска. Вспомогательные паровые котлы устанавливают для самосто­ятельной автономной работы, не связанной с работой утилизационно­го котла, а последний включается для повышения экономичности энер­гоустановки и работает только сов­местно с главным двигателем, ис­пользуя теплоту, содержащуюся в его уходящих газах.

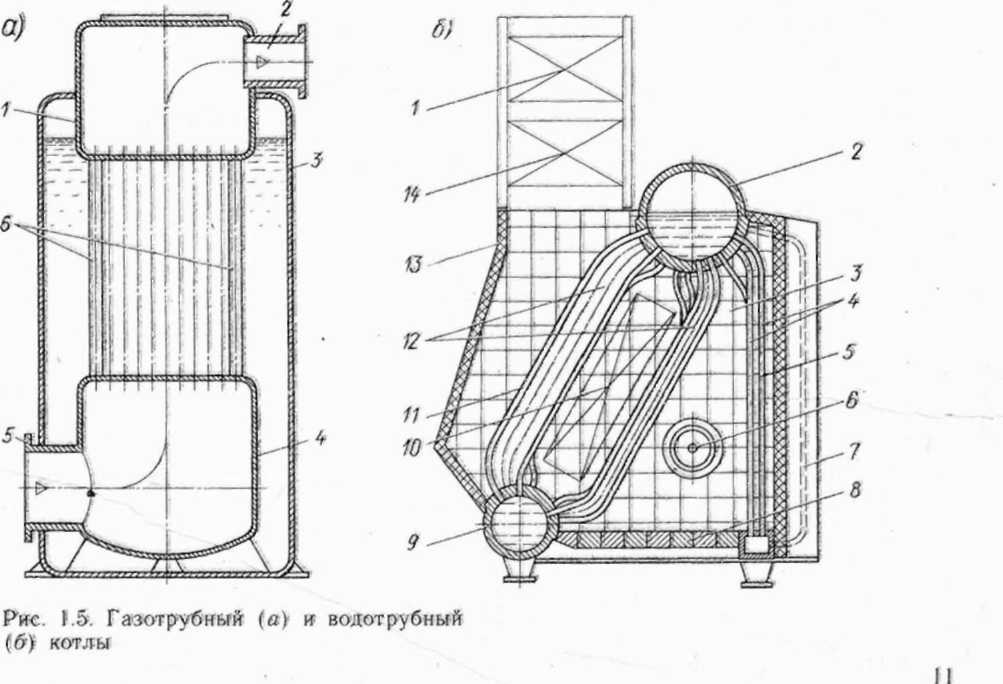
Утилизационный котел с принуди­тельной циркуляцией для освобож­дения от пароводяной смеси, обра­зующейся в процессе парообразова­ния, оборудуется специальным сепа­ратором пара. В котельных установ­ках часто для этой цели используют­ся корпус или коллекторы самого вспомогательного котла (обычно па­ровой коллектор водотрубного котла с естественной циркуляцией). При компоновке котельной установки та­кого типа следует отметить, что хо­тя она сложнее, тяжелее, дороже, расширение ее эксплуатационного маневра становится наиболее важ­ным фактором, так как такая уста­новка может работать в режимах котла, использующем теплоту горя­щего топлива и теплоту отработав­ших газов главного двигателя.

§ 1.2. Основные разновидности котлов

По типу омывания поверхности на­грева газами труб или иных элемен­тов судовые котлы подразделяются на две основные группы: *газотруб­ные и водотрубные*. В газотрубном котле горячие газы как основной теплоноситель движутся внутри труб, а вода окружает их снаружи. В водо­трубном котле — наоборот: вода и пароводяная смесь находятся внутри труб, а горячие газы омывают их снаружи. При наличии двух групп котлов всегда имеется промежуточ­ная группа, обладающая свойствами газотрубных, и водотрубных котлов (см. рис. 14).

На современных судах в качестве главных применяются только водо­трубные котлы. Вспомогательные котлы на теплоходах и газотурбо­ходах могут быть газотрубными и во­дотрубными (или газоводотрубны­ми). У газоводотрубных котлов име­ются элементы поверхности нагрева, скомпонованные по газотрубному и водотрубному принципам. Газотруб­ные и газоводотрубные котлы чаще встречаются на судах зарубежной постройки. В последние годы преиму­щественное распространение стали получать водотрубные котлы.

Вертикальный газотрубный котел (рис. 1.5, а), В цилиндрическом кор­пусе 3 котла размещены топочная 4 и дымовая 1 камеры, соединен­ные прямыми трубами 6. Топливо и воздух в топку подаются от топливно-форсуночного агрегата (на рис. 1.5, а не показан) через пат­рубок 5, а продукты сгорания отво­дятся через патрубок 2 в дымоход.

Водотрубный котел (рис. 1.5, б). Котел состоит из верхнего парового 2 и нижнего водяного 9 коллекто­ров, соединенных трубами 12. Пучок труб 4, расположенных на боковой стенке, называется *боковым* *экраном. Трубы* 5 второго ряда экрана, заго­роженные трубами первого ряда,, и трубы 7, расположенные вне топки или в специальных выгородках, на­зываются *опускными*. У некоторых котлов опускными называют также

трубы 11, наиболее отдаленные от топки. Все остальные трубы подъем­ные.

В зависимости от расположения различные поверхности нагрева кот­ла получают неодинаковое количест­во теплоты, что в значительной сте­пени обусловливает характер тепло­обмена. На рис. 1.5б схематично показаны также экономайзер *1*, воз­духоподогреватель 14, обшивка кот­ла 13, форсунка котла 6, кирпич­ная кладка 3, под 8 пароперегреватель 10.

Знакомясь с классификацией раз­личных типов рассмотренных кот­лов, можно отметить основные дос­тоинства и недостатки водотрубных и газотрубных котлов.

Водотрубные котлы имеют значи­тельно большую паропроизводительность при меньших массовых пока­зателях, чем газотрубные. Вспомо­гательные особенно газотрубные кот­лы обычно ограничены давлением до 1,8 МПа и температурой 300—320 °С.

В зависимости от конструкции котла и эксплуатационных условий минимальное время на подъем пара до рабочего давления составляет 1,5—3,0 ч для водотрубных котлов и 4—24 ч для газотрубных. Все это объясняется меньшим количеством воды в водотрубном котле, хорошей ее циркуляцией, эластичностью труб, соединяющих коллекторы котла.

Сравнивая дополнительно взаим­ные достоинства и недостатки га­зотрубных и водотрубных котлов, можно также отметить: в водотруб­ном котле воды меньше его часовой паропроизводительности, поэтому из­менение уровня воды от наивысшего до наинизшего допустимых может произойти очень быстро. Во избежа­ние аварийных ситуаций и четкого поддержания уровня приходится применять более сложные автома­тические системы регулирования и питания котла, связанные с автома­тическим регулированием горения топлива. Необходимо использовать и сложную систему автоматического регулирования давления пара. На газотрубные котлы относительно ма­ло влияет качество питательной во­ды. У более теплонапряженных во­дотрубных котлов при отложениях накипи на поверхности нагрева мо­жет создаться опасность перегрева металла труб и их разрыва. Газо­трубный котел имеет сравнительно небольшую паропроизводительность, но зато более высокую степень сухо­сти пара вследствие невысокой ин­тенсивности парообразования. Газо­трубный котел имеет меньшую чув­ствительность к колебаниям нагруз­ки, что объясняется его большой аккумулирующей способностью.

При всех достоинствах водотруб­ных утилизационных котлов с много­кратной принудительной циркуляци­ей они обладают меньшей надежно­стью из-за необходимости установки циркуляционных насосов, работаю­щих в сравнительно тяжелых усло­виях перекачки горячей воды и паро­водяной смеси.

Упрощенные схемы вспомогатель­ных котлов, наиболее распростра­ненных на морских судах, показа­ны на рис. 1.6.

Секционный горизонтальный хотел (рис. 1.6, а). У водотрубных кот­лов секционного типа классификаци­онным признаком, относящим их к го­ризонтальному или вертикальному типу, служит наклон труб. У гори­зонтальных котлов наклон труб ме­нее 30 °, а у вертикальных более 30° (обычно 45—90°). Котлы имеют горизонтальный паровой коллектор 3 и прямые парообразующие трубы 6, объединенные камерами 1 и 5 в сек­ции. Каждая секция соединяется с паровым коллектором короткими патрубками 4 и пароотводящей тру­бой 2.

****Секционные котлы были широко распространены в недавнем Рис. 1.6. Схемы основных конструктивных разновидностей водотрубных котлов с естественной циркуляцией

прош­лом как главные; в настоящее вре­мя они используются в качестве вспо­могательных на отдельных серийных дизельных танкерах.

Трехколлекторный двухпроточный котел (рис. 1.6 б). У этого котла 2 паровой коллектор / соединяется с

двумя водяными коллекторами 4 и 7 пучками труб. Газы, образующи­еся в топке 6 при работе форсунок 5, проходят между трубами. Внутри пучков парообразующих труб может располагаться пароперегреватель 3. Когда у каждого хода газа обогре­ваемые элементы разные, если паро­перегреватель установлен на одной стороне движения газа, то котел бу­дет ассиметричный, а когда по обе стороны хода газа стоят два одина­ковых элемента, то котел будет сим­метричным. В настоящее время трех-коллекторные котлы могут встретить­ся как главные и вспомогательные лишь на старых судах. Котлы такого типа часто называют котлами шатро­вого или треугольного типов. У кот­лов треугольного типа коллекторы и парообразующие трубы могут рас­полагаться вертикально и горизон­тально.

Трехколлекторный однопроточный котел (рис. 1.6, в). Котел конструк­тивно похож на серийные главные котлы отечественных: паротурбинных установок Ленинградского производ­ственного объединения «Кировский завод». Котел однопроточный, с естественной циркуляцией, имеет четыре коллектора — паровой /, два водяных 5, 6 и один паро­перегревателя 7. Газы, образующие­ся в топке 3 при работе форсунок 4, проходят между трубами 2. Паро­перегреватель 7 вырабатывает пар с температурой 470 °С при давлении в котле 4,4 МПа. Агрегат оборудован четырьмя паромеханическими фосунками 4, размещенными на перед­нем фронте котла. Это наиболее рас­пространенный главный паровой ко­тел серийных агрегатов для судов ти­пов «Ленинский комсомол», «Пекин», «София». Более подробная схема та­кого котла показана на рис. 10.3.

Двухколлекторный, однопроточ­ный по газу котел с естественной циркуляцией (рис.1.6, г). Наиболее распространенный на морских су­дах вспомогательный двухколлектор­ный, с односторонним ходом газа и естественной циркуляцией котел преимущественно отечественного производства. Котел состоит из двух коллекторов *1* и 3, соединенных изог­нутыми подъемными парообразую­щими трубами 4, экранными тру­бами 2, опускными трубами и тру­бами второго и третьего рядов экра­на.

Котел шахтного типа (рис. 1.6, д). Это сравнительно новый тип глав­ных котлов с развитой радиацион­ной поверхностью нагрева в топке. Отличительной особенностью котлов следует отметить потолочное распо­ложение форсунок 1 и установку двух пароперегревателей: основного 3 и промежуточного 2. Такие котлы уста­навливаются на крупнотоннажных судах с мощными пароэнергетическими установками.

Горизонтальный газотрубный ко­тел (рис. 1.7, а). Это газотрубный котел одной из старейших конструк­ций, именуемый ранее оборотным котлом шотландского типа, или обо­ротным котлом. Конструкция просуществовала на флоте более 80 лет благодаря надежности, неприхотли­вости к питательной воде, большой ак­кумулирующей способности, проч­ности и простоте. Котел горизон­тальный, цилиндрической формы, хо­рошо крепится на судовом фунда­менте. Котел имеет цилиндрический корпус 3, топку (жаровую трубу) 6, огневую камеру 5, горизонталь­ные прямые трубы 4, дымовую ко­робку | и выпускной дымоход I. Топка оборудована ротационной форсункой. Для внутреннего осмот­ра, вальцовки и очистки труб пре­дусмотрены лазы и горловины. Суще­ственными недостатками котла явля­ются невысокое давление пара, не­организованная циркуляция воды, жесткость конструкции, большая ме­таллоемкость и высокая трудоем­кость изготовлений и ремонта.

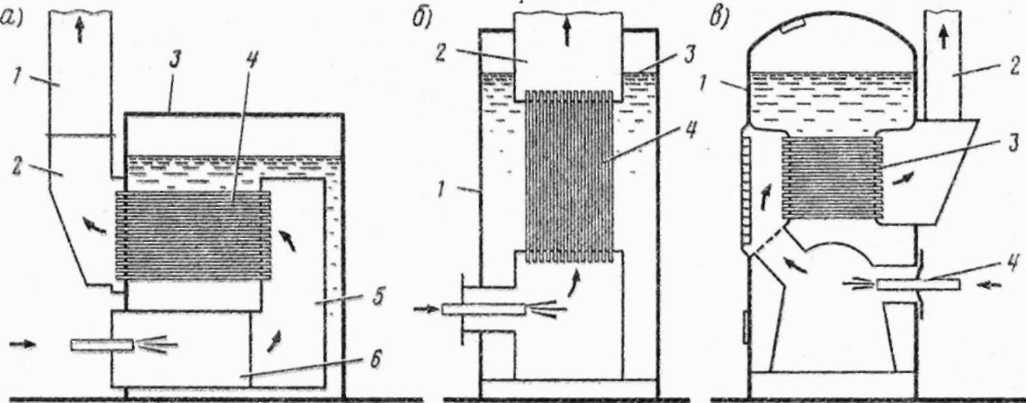


Рис. 1.7, Схемы газотрубных котлов

Вертикальный газотрубный котел с вертикальными трубами (рис. 17, б). Это котел обычного типа» ши­роко распространенный на судах зарубежной и отечественной построй­ки. Котел имеет цилиндрический кор­пус *1* и вертикальные прямые тру­бы 4, соединенные с дымовой ка­мерой 2. Паровое пространство рас­положено выше зеркала испарения 3. Котел имеет автоматизированный топливно-форсуночный агрегат с безвахтенным обслуживанием. С аналогичной конструкцией котла можно встретиться на танкерах ти­па «Сплит» (см. рис. 5.15).

Вертикальный газотрубный котел с горизонтальными трубами (рис. 17, в). Котел имеет цилиндриче­ский вертикальный корпус *1*, прямые горизонтальные трубы 3 камеры для прохода газа, выпускной дымо­ход 2. Котел работает от топливно-форсуночного агрегата 4 с безвах­тенным обслуживанием. Для пово­рота газа в камерах предусмотрены съемные щитки, одновременно упро­щающие и очистку котла.

Литература

Верете А. Г., Дельвинг А. К. Судовые паровые и газовые энергетичес­кие установки: Учеб.для мореход.училит.—2-е изд., перераб. и доп.— М.: Транспорт, 1990.- 240 с. Стр. 6 - 14