

М. И. ЦИПОРУХА

РАССКАЗЫ О КОРАБЕЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ



М. И. Ципоруха

РАССКАЗЫ О КОРАБЕЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

МОСКВА

ИЗДАТЕЛЬСТВО ДОСААФ СССР

1985

ББК 39.455
Ц67

Рецензенты: Демьянов В. П., Кашеев А. М.

Ципоруха М. И.

Ц67 Рассказы о корабельной энергетике.— М.:
ДОСААФ, 1985.— 168 с., ил.

30 к.

В книге популярно рассказано о развитии корабельной энергетики от ее зарождения до наших дней. Подробно рассмотрены устройство и принципы работы паровых и газовых турбин, дизелей и атомных энергетических установок. Приведены примеры мужества флотских механиков в годы Великой Отечественной войны и в послевоенное время.

Для широкого круга читателей.

Ц 1304040500—045 23—85
072(02)—85

ББК 39.455
355.75

© Издательство ДОСААФ СССР, 1985

ВВЕДЕНИЕ

Советские моряки... Их любят, ими гордится народ Страны Советов. Навсегда в нашей памяти останутся подвиги советских подводников в годы Великой Отечественной войны, дерзко торпедировавших фашистские корабли прямо во вражеских портах, лихие атаки торпедных катеров, мощные залпы линкоров, крейсеров и эсминцев, самоотверженность и героизм морских пехотинцев и летчиков. Советские люди знают, что молодое поколение моряков свято хранит и преумножает славные боевые традиции Военно-Морского Флота.

Многие юноши мечтают о морской службе, о романтике дальних походов. Как они представляют себе эту службу? Один видит себя у штурвала корабля, другой — у пульта управления ракетной стрельбой, третий хочет быть акустиком, докладывающим командиру о появлении вражеской подводной лодки, а многие — наводчиками орудий, опытными торпедистами, классными радистами или сигнальщиками.

Да, действительно, рулевой, ракетчик, акустик, артиллерист, торпедист, радист, сигнальщик — все это важно и необходимо.

Но есть на корабле и специалисты, которые по боевой тревоге не занимают места у пультов управления корабельным оружием, но без их точных, быстрых, а порою и самоотверженных действий использовать это оружие невозможно. Это многочисленный отряд флотских специалистов электромеханических боевых частей: турбинисты, котельные машинисты, мотористы, электрики, трюмные машинисты, управляющие механизмами, системами и устройствами энергетических установок. И основной частью этих установок являются мощные главные двигатели, способные сообщить кораблю массой в десятки тысяч тонн скорость курьерского поезда.

А без электричества современный корабль мертв. Подача снарядов и ракет для стрельбы и пуска, поворот

артиллерийских башен и торпедных аппаратов, вращение антенных устройств радиолокаторов производятся с помощью электродвигателей. Для работы приборов управления оружием, радиоаппаратуры, штурманских приборов, множества телефонов, ламп, ревунов и звонков также необходима электроэнергия. Без нее корабельное оружие действовать просто не сможет.

Корабли снабжены также мощными пожарными насосами, водоотливными средствами, системами для уменьшения крена и дифферента. И все это для своей работы требует значительного количества энергии.

Традиционно почетна и уважаема на кораблях специальность флотского механика. И в предлагаемой книге сделана попытка ознакомить читателей с устройством ряда механизмов, систем и приборов, которыми эти механики управляют.

Приступая к работе над рукописью, автор должен был решить, каким образом сделать рассказ о корабельной энергетике более занимательным. В словаре русского языка слово «занимательный» толкуется как «способный занять внимание, воображение, интересный». Рассказывая по возможности занимательно о сложных механизмах и устройствах, входящих в состав корабельных энергетических установок, следует одновременно подчеркнуть, что нельзя отождествлять занимательное с развлекательным или забавным, хотя в «Рассказах о корабельной энергетике» возможно описание и забавных случаев. Ясно одно: чтение даже занимательной книги требует от читателя определенного внимания и усидчивости, желания вникнуть в принцип действия того или иного механизма.

Приглашаем тебя, юный читатель, в путешествие по неведомой пока стране корабельной энергетики. Эти страницы познакомят тебя с главными двигателями и другими корабельными механизмами, с топкой корабельного котла, где бушует жаркое пламя и температура достигает тысячи градусов, с ядерным реактором, где распадаются миллиарды ядер атомов, выделяя при этом громадное количество энергии... Может быть, молодой читатель после прочтения этой книги захочет в дальнейшем подготовить себя в школе ДОСААФ к будущей службе в качестве флотского механика.

Итак, в путь!

ГЛАВА 1.

ПАРОВАЯ ТУРБИНА НА КОРАБЛЕ

Чтобы корабль имел в бою полный ход, надо не забывать смазывать все части машины, надо зорко следить за питанием котлов водой, надо подбрасывать уголь и регулировать тягу в зависимости от хода, надо своевременно подвозить уголь... Легко сказать — дать ход машине, но не так легко это делать в боевых условиях.

Вице-адмирал С. О. Макаров

1. ОТ ИГРУШКИ ГЕРОНА ДО КОРАБЕЛЬНОЙ ТУРБИНЫ

Когда появились отечественные пароходы. Более девяти столетий назад началась героическая эпопея покорения человеком водной стихии. Древнеримский поэт Гораций так прославил отвагу первых мореплавателей:

«Силу дуба, тройную медь
Тот у сердца имел, первым кто выпустил
В море грозное утлый струг».

Очевидно, первым искусственным средством передвижения людей по воде послужил плот, составленный из нескольких бревен, скрепленных между собой ветками или стеблями растений. Затем появились лодки-однодеревки, изготовленные из цельного ствола дерева при помощи острых каменных инструментов и огня. Ученые считают, что суда типа катамаранов из двух однодеревок появились у народов, населяющих берега и острова Тихого и Индийского океанов, в очень отдаленные времена. Так же давно человек установил парус на этих катамаранах.

Там, где не было больших деревьев, для изготовления лодок использовались другие материалы. Одним из древнейших плавучих средств, сработанных человеческими руками, явились древнеегипетские лодки из папируса на реке Нил. Уже первые такие лодки были с парусом. Первоначально египтяне умели ходить только при попутном ветре. Прямоугольный парус с двумя реями крепился на двуногой мачте, размещенной поперек судна. Вверху ноги мачты связывались, и она имела вид треугольника. Верхний рей мог поворачиваться на 90° в обе стороны и перемещаться по мачте вверх и вниз. Позже, в начале

II тысячелетия до н. э., на смену двуногой мачте пришла обычная одинарная, что облегчало управление парусом и маневрирование судна. Установка такой мачты стала возможной лишь после усиления корпуса судна поперечными и продольными балками.

Считают, что весла, позволившие применить принцип рычага для продвижения корабля по воде, были изобретены позже, чем парус. Первыми приспособлениями по использованию мускульной силы человека для движения судна были, по-видимому, толкательные шесты. Весла нильских барок, а позднее торговых судов и военных кораблей обслуживались рабами-военнопленными, «живыми мертвыми», как их называли в Древнем Египте. Ведь рабов-гребцов приковывали к сиденьям-банкам, и только смерть освобождала их от цепей и тяжелой работы. Максимальный темп гребли составлял 26 тактов в минуту, что позволяло судну развить скорость около 6,5 узла (12 км/ч).

Так с древних времен человек научился применять для движения судов первые двигатели: свою мускульную силу и силу ветра. Эти двигатели передавали энергию первым судовым движителям — парусам и веслам. Воспринимая энергию, движители создавали силу упора и обеспечивали движение судна. Использование великих изобретений — весла и паруса — во многом определило пути развития цивилизации, привело человечество к великим географическим открытиям, заселению вновь открытых материков и островов.

В начале XIX века произошло знаменательное событие: на судне установили принципиально новый двигатель — тепловой. Теперь, сжигая топливо (дрова, уголь, а затем нефть), удавалось превращать его внутреннюю энергию в полезную работу по передвижению корабля. Первым судовым тепловым двигателем была паровая машина, в которой пар, полученный в котле, производил полезную работу, воздействуя на движущийся в цилиндре поршень. Затем поршень через передаточный механизм вращал новые движители — гребное колесо или гребной винт. Вращаясь, движители отбрасывали назад воду и за счет этого создавали силу упора, передаваемую корпусу судна для его движения в водной среде.

26 мая 1815 г. в министерство внутренних дел поступило прошение петербургского заводчика Берда о выдаче ему привилегии на постройку и обслуживание паровых

судов в Российской империи. К прошению были приложены описание и чертежи первого парового судна, к постройке которого он к тому времени приступил. В августе того же года, менее чем через полгода после его закладки, первый русский пароход совершал, как сообщалось в журналах того времени, «беспрестанные разъезды и опыты на Неве».

Этот первенец представлял собой судно длиной 18,3 м, шириной 4,6 м с осадкой 0,61 м. На судне были установлены котел и паровая поршневая машина мощностью 16 л. с., вращавшая два гребных колеса диаметром 2,4 м с шестью лопастями каждое.

В ноябрьском номере журнала «Сын отечества» за 1815 г. сообщалось об этом пароходе: «...в кормовой части поставлены скамьи с парусинным навесом для посетителей, а впереди по обеим сторонам видны дощатые футляры, в которых движется по гребному колесу. Движение их приметно только по сильному волнению и пенистому следу, который за ним остается. Впрочем, судно идет весьма ровно. Посредине судна возвышается железная труба диаметром около фута (0,305 м) и высотой футов в 25 (7,6 м). При попутном ветре труба сия служит вместо мачты для поднятия паруса. Дыму, выходящему трубой, не видно» (рис. 1).

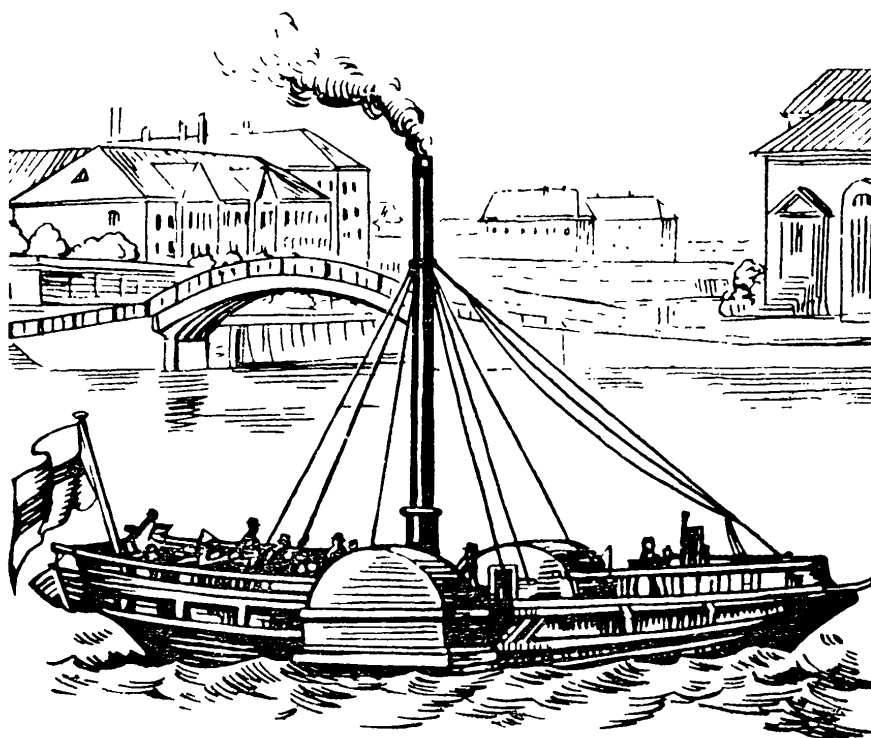


Рис. 1. Один из первых русских пароходов, совершающих рейс Петербург — Кронштадт.

20 августа пароход был впервые использован практически: он отбуксировал к пристани у Исаакиевского моста парусный бот, застрявший из-за безветрия на невском фарватере.

Ранним утром 3 ноября 1815 г. пароход отошел от причала завода Берда в первый официальный рейс Петербург — Кронштадт. Пройдя первые 7,5 км за 35 мин, он показал невиданную по тем временам скорость, чему способствовало и сильное течение. Весь путь от Петербурга до Купеческой гавани Кронштадта пароход прошел за три с половиной часа со средней скоростью 9 км/ч.

В Кронштадте новинка оказалась в центре внимания моряков и жителей города. В Купеческой гавани собралось множество любопытных. Их поражала легкость, с которой пароход, не используя паруса и весел, совершал маневры между судами и берегом и несколько раз обошел вокруг дежурного брандвахтенного фрегата, стоявшего на якоре между гаванью и фортом Кроншлот. Спустя 3 ч пароход отправился в обратный путь. Несмотря на встречный ветер, крутую волну и сумерки через 5 ч 22 мин он благополучно прибыл в Петербург.

Слово «пароход» придумал военный моряк Петр Иванович Рикорд, один из образованнейших русских морских офицеров того времени. В чине капитан-лейтенанта он участвовал в одном из первых русских кругосветных плаваний на шлюпе «Диана» под командой известного мореплавателя Василия Михайловича Головнина, с которым его до конца жизни связывала искренняя, сердечная дружба.

С 1811 г. Рикорд участвует в описании Курильских островов. После вероломного пленения В. М. Головнина японцами Рикорд принял на себя командование шлюпом. Он продолжал исследовать Курилы в течение двух лет, предпринимая настойчивые попытки освободить Головнина. В 1813 г. Петр Иванович привел шлюп в японский порт Хакодате и добился освобождения из плена своего командира. Только в 1814 г. Рикорд вместе с командой шлюпа «Диана» через Сибирь вернулся в Петербург.

Он был на борту первого русского парохода во время исторического рейса 3 ноября 1815 г. и вскоре опубликовал в журнале «Сын отечества» статью «Первая поездка на пароходе из Санкт-Петербурга в Кронштадт и обратно», в которой неоднократно использовал новое слово

«пароход», ставшее впоследствии таким привычным в русском языке.

Недолго длилась служба Рикорда на Балтийском флоте. Уже в 1817 г. он уезжает на Камчатку, где в течение пяти лет исполняет обязанности начальника Камчатской области. И здесь Петр Иванович продолжает исследовательскую работу по изучению этой отдаленной области русского государства. Как выдающийся ученый-географ и путешественник Рикорд в 1818 г. избирается членом-корреспондентом Петербургской академии наук.

Моряк Рикорд стоял у истоков русского парового судоходства, а впоследствии, будучи начальником Кронштадтского порта, командующим эскадрой и, дослужившись до адмирала-председателя Морского ученого комитета, он много сделал для создания русского парового военного флота.

В навигацию 1816 г. первый русский пароход совершал регулярные пассажирские рейсы между Петербургом и Кронштадтом, а на следующий год в строй вошел второй пароход. Оба они использовались и для буксировки тяжело нагруженных барж. Первый буксирно-грузовой пароход Балтийского флота, получивший название «Скорый», был построен на Ижорском заводе и вошел в строй в октябре 1818 г. Вскоре задымили пароходные трубы на Черном море, в Архангельске, на русских реках.

С 20-х годов прошлого века судовой тепловой двигатель — паровая поршневая машина все больше вытесняет на кораблях и судах заслуженный парус. Военные и торговые флоты из парусных превращаются в паровые.

Что лучше: огонь в трубе или вокруг трубы? Путешествие по стране «корабельная энергетика» начнем с парового котла, в топке которого сжигается топливо. За счет выделяющегося тепла вода в котле нагревается и превращается в пар, поступающий в двигатель — поршневую машину или турбину.

Первые корабельные котлы были огнетрубными (огонь в трубе). В таких котлах горячие газы из топки проходили внутри труб (их называли дымогарными) и камер, омываемых водой. Затем они попадали в огневую камеру, где догорали, а потом двигались в обратном направлении через многочисленные дымогарные трубы.

Именно эти трубы, размещенные в заполненном водой корпусе котла, составляли самую существенную часть поверхности нагрева. Тепло от горячих газов передава-

лось металлу труб, а затем и воде. Образовавшиеся в ее толще пузырьки пара поступали в верхнюю часть корпуса, а оттуда пар направлялся в двигатель. Газы же из дымовых труб уходили в дымоход и дымовую трубу.

Сейчас эти котлы — уже прошлое флота. В них нельзя было добиться рабочего давления более 18...20 кгс/см², что в 3...4 раза меньше, чем давление в современных корабельных паровых котлах. Даже небольшое увеличение давления сверх 20 кгс/см² приводило к резкому усложнению и утяжелению конструкции корпуса и требовало применения особо прочных легированных сталей.

Существенный недостаток огнетрубных котлов — их сравнительно большая масса, львиную долю которой составляет значительный объем нагреваемой воды в корпусе котла. Чтобы такую массу нагреть и поддерживать в нагретом состоянии, требуется больше тепловой энергии. Долго длится и подъем давления пара в котле до рабочего. Именно поэтому огнетрубным котлам свойственна большая инерционность — медленное изменение количества производимого пара. Для кораблей это крайне отрицательное качество. Ведь в боевых условиях корабль часто меняет скорость хода и маневрирует, поэтому для двигателя требуется то меньше, то больше пара.

Из-за сравнительно большой массы воды, находящейся внутри корпуса огнетрубного котла, его взрыв в случае боевых повреждений или по какой-то другой причине сопровождается значительными разрушениями. Это станет понятным, если учесть, что воздействие тонны воды, кипящей при давлении всего 13 кгс/см², равносильно подрыву 136 кг пороха.

Все эти недостатки заставили конструкторов упорно искать новые принципы устройства паровых котлов. И поиск привел к созданию корабельных водотрубных котлов. У них, в противоположность огнетрубным, в водогрейных трубах и коллекторах находится вода, а горячие газы омывают эти трубы. В русском флоте такие котлы с горизонтальными водогрейными трубами были впервые установлены в 1886 г. на фрегате «Минин». Но наиболее удачными по своей конструкции и надежности в работе были котлы эсминцев типа «Новик» постройки 1910—1917 гг.

Такой водотрубный котел треугольного типа с симметричным расположением водогрейных труб изображен на рис. 2. В его верхней части размещается паровой коллектор, а в нижней — два водяных коллектора. Они состав-

ляли как бы вершины треугольника (отсюда и название котла) и соединялись между собой 36 рядами водогрейных труб и двумя большими, так называемыми трубами обратной воды, установленными с переднего фронта котла. Там же на переднем фронте размещались 12 форсунок для подачи в топку распыленного мазута.

Водяные коллекторы, водогрейные трубы и паровой коллектор (последний более чем наполовину) заполнялись водой. Вот в этом относительно малом объеме воды при нагревании образовывались пузырьки водяного пара, которые поднимались вверх по трубам и собирались в верхней части коллектора. Оттуда пар под давлением 17 кгс/см^2 поступал в турбины.

Такой котел устойчиво работает только при непрерывном движении воды по водогрейным трубам. Если же это движение прекратится хотя бы на несколько секунд, то произойдет авария. Из-за сильного нагрева вода в трубах выкипит, отбор тепла от металла резко сократится и трубки расплавятся. В этих котлах роль насоса, поддерживающего непрерывное движение воды по водогрейным трубам, выполняет сила тяжести. И вот каким образом.

Трубы, расположенные ближе к топке, получают больше тепла, чем задние. Следовательно, вода в них нагревается быстрее, а затем интенсивно образуются паровые пузырьки. Такие трубы называют подъемными, так как более легкая, чем вода, пароводяная смесь поднимается по ним в паровой коллектор.

Для восполнения убыли воды при отборе пара в ту часть коллектора, где находятся наиболее удаленные от топки трубы, подается питательная вода. Ее температура ниже, а плотность выше, чем у пароводяной смеси, поэтому она опускается в водяные коллекторы по задним водогрейным трубам и необогреваемым трубам обратной воды.

Так поддерживается непрерывное движение воды в котле по замкнутому контуру — ее естественная циркуля-

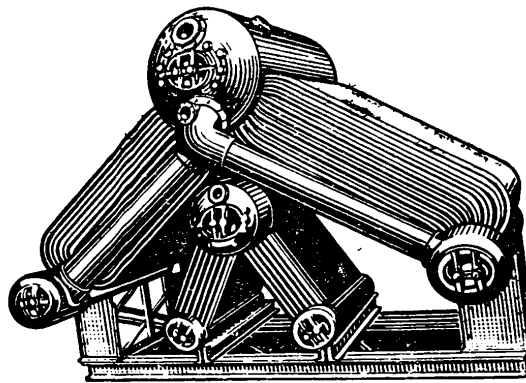


Рис. 2. Котел эскадренного миноносца «Новик» со снятым кожухом. Внутри для сравнения установлен котел итальянского миноносца, строившегося одновременно с «Новиком»

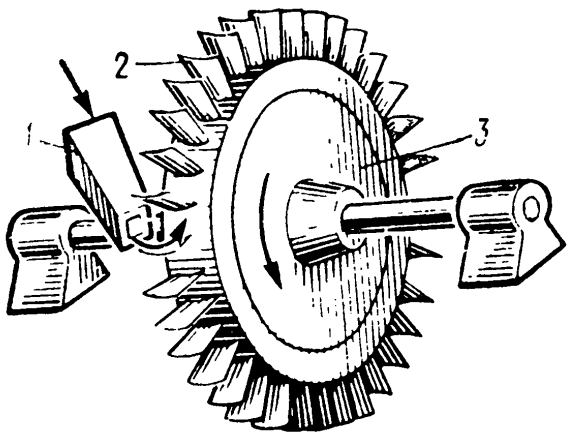


Рис. 3. Схема одноступенчатой активной паровой турбины:

1 — сопло; 2 — рабочие лопатки; 3 — ротор

ция. Можно сказать, что водогрейный котел, в основном, состоит из одного или нескольких контуров циркуляции, а каждый контур — это система из подъемных и опускных труб, сообщающихся между собой посредством коллекторов.

В зависимости от конструкции котла за один ход циркуляции испаряется от 30 до 200 г из каж-

дого килограмма воды, поступившего в опускные трубы. Следовательно, для полного испарения каждый килограмм воды должен сделать от 5 до 35 ходов по контуру. Чем выше скорость циркуляции, тем устойчивее и экономичнее работает котел и тем больше пара вырабатывается с каждого квадратного метра поверхности нагрева. Это связано, в первую очередь, с ускорением передачи тепла через стенки труб от горячих газов к воде. Но добиться повышения скорости циркуляции не просто. О том, как это делается, поговорим позже.

«Горячая карусель» или как пар вращает турбину. Паровая турбина — самый распространенный сейчас корабельный двигатель. Как и поршневая машина, она преобразует энергию пара, поступающего из парового котла, в механическую работу по вращению гребного винта.

Проследим путь движения пара в простейшей турбине, изображенной на рис. 3. Пар от котла поступает в сопло, двигаясь в нем, он расширяется и приобретает большую скорость. Иначе говоря, в сопле внутренняя энергия давления пара преобразуется в энергию движения паровой струи, которая, вытекая из сопла, поступает на рабочие лопатки и приводит во вращение весь ротор турбины.

Существуют два типа паровых турбин: реактивные и активные. Из седой старины дошли до наших дней труды древнегреческого ученого Герона Александрийского, жившего в крупном центре античной науки городе Александрии в I веке до н. э. — I веке н. э. Посмотрите на рис. 4, взятый из второго тома его капитального труда под названием «Пневматика», — это реактивный двигатель турбинного типа — знаменитый шар Герона. Сосуд в виде

тела фантастического животного является паровым котлом. Пар по пустотелым стойкам и осям поступает внутрь шара. Оттуда он выходит по коленчатым трубкам, загнутые концы которых выполняют роль сопел. Реактивная сила заставляет шар вращаться в сторону, противоположную направлению выхода пара. Легко заметить, что в шаре Герона расширение пара и связанное с ним преобразование внутренней энергии давления в энергию движущейся паровой струи, а также преобразование последней в механическую работу происходят во вращающихся коленчатых трубках одновременно.

В 1883 г. такой двигатель был впервые практически использован в области, очень далекой от морского дела. Шведский инженер Густав де Лаваль сконструировал реактивную турбину, быстро вращавшую внутренние части центробежного сепаратора для получения сливочного масла из молока. В реактивной турбине де Лавалья, так же как и в шаре Герона, лопаток нет, но мы по праву считаем это устройство двигателем турбинного типа. Ведь коленчатые трубки-сопла вращаются за счет возникновения реактивной тяги при истечении из них пара и сообщают вращательное движение внутренним частям молочного сепаратора. Эти трубки выполняют одновременно роль сопел и рабочих лопаток турбины.

Наш мир един, едины и управляющие им физические законы. Поэтому, зачастую, прослеживаются удивительные черты сходства в, казалось бы, различных физических процессах. Что общего, например, между корабельной турбиной и ракетой, устремившей полет в космические дали? Оказывается, много общего в главном — в

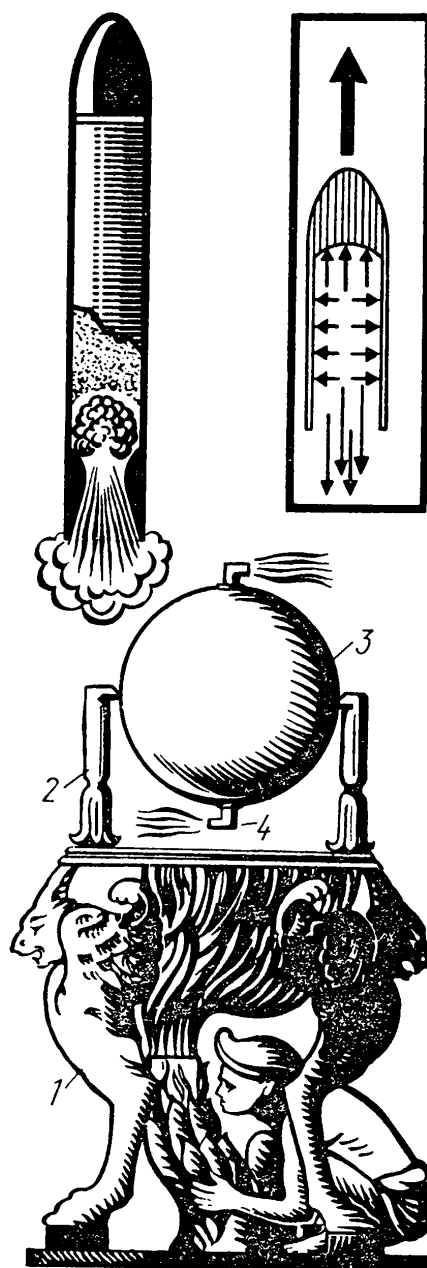


Рис. 4. Шар Герона и космическая ракета:

1 — сосуд — паровой котел;
2 — пустотелая стойка; 3 —
полый шар; 4 — коленчатые
трубки

способе преобразования химической энергии горения топлива в механическую работу. И в реактивной корабельной турбине, и в ракете работают реактивные силы.

Откуда же берутся эти силы? Посмотрите опять на рис. 4. Рядом с шаром Герона изображена в разрезе ракета. Если ее выходное сопло закрыть и газ, заключенный внутри, нагреть, то давление его начнет увеличиваться, равномерно воздействуя на стенки. Ракета будет неподвижна. Если же крышку, закрывающую сопло, снять, то давление на стенку, где размещено отверстие, окажется меньшим, чем на противоположную головную часть ракеты.

Из-за разности давлений на переднюю и заднюю стенки появится некоторая движущая сила P , под действием которой ракета начнет передвигаться в направлении, обратном истечению струи газа. Эту силу называют реактивной силой, силой тяги или просто тягой. Величина реактивной силы P определяется количеством вытекающего газа и скоростью его истечения. Для того чтобы она не уменьшалась, струю газа, вытекающую из сопла ракеты, необходимо поддерживать постоянной.

Реактивные силы действуют во всех случаях, когда скорость истечения пара, жидкости или газа из любого тела больше, чем скорость их поступления в него. В космической ракете топливо, сгорая, образует газы, которые вытекают из камеры с громадной скоростью, создавая большую реактивную тягу. Эта тяга прикладывается непосредственно к корпусу ракеты и позволяет запускать в космос спутники, доставлять спускаемые аппараты на Венеру, выводить на околоземную орбиту целые космические лаборатории.

Тот же эффект получается, если пар будет расширяться в каналах криволинейной формы, образуемых рабочими лопатками, закрепленными на роторе турбины. При расширении пара его скорость увеличится и он будет покидать лопатку с большей скоростью, чем та, с которой поступил на нее.

Активная турбина известна с 1629 г., когда итальянский архитектор Джiovани Бранка создал проект колеса, которое должно было вращаться при ударе струи пара по прямым лопаткам (рис. 5). Такое паровое колесо работало подобно древнейшему механическому двигателю — водяному колесу, известному еще в Древнем Риме.

Уже в XIX веке ученым и инженерам стало ясно, что

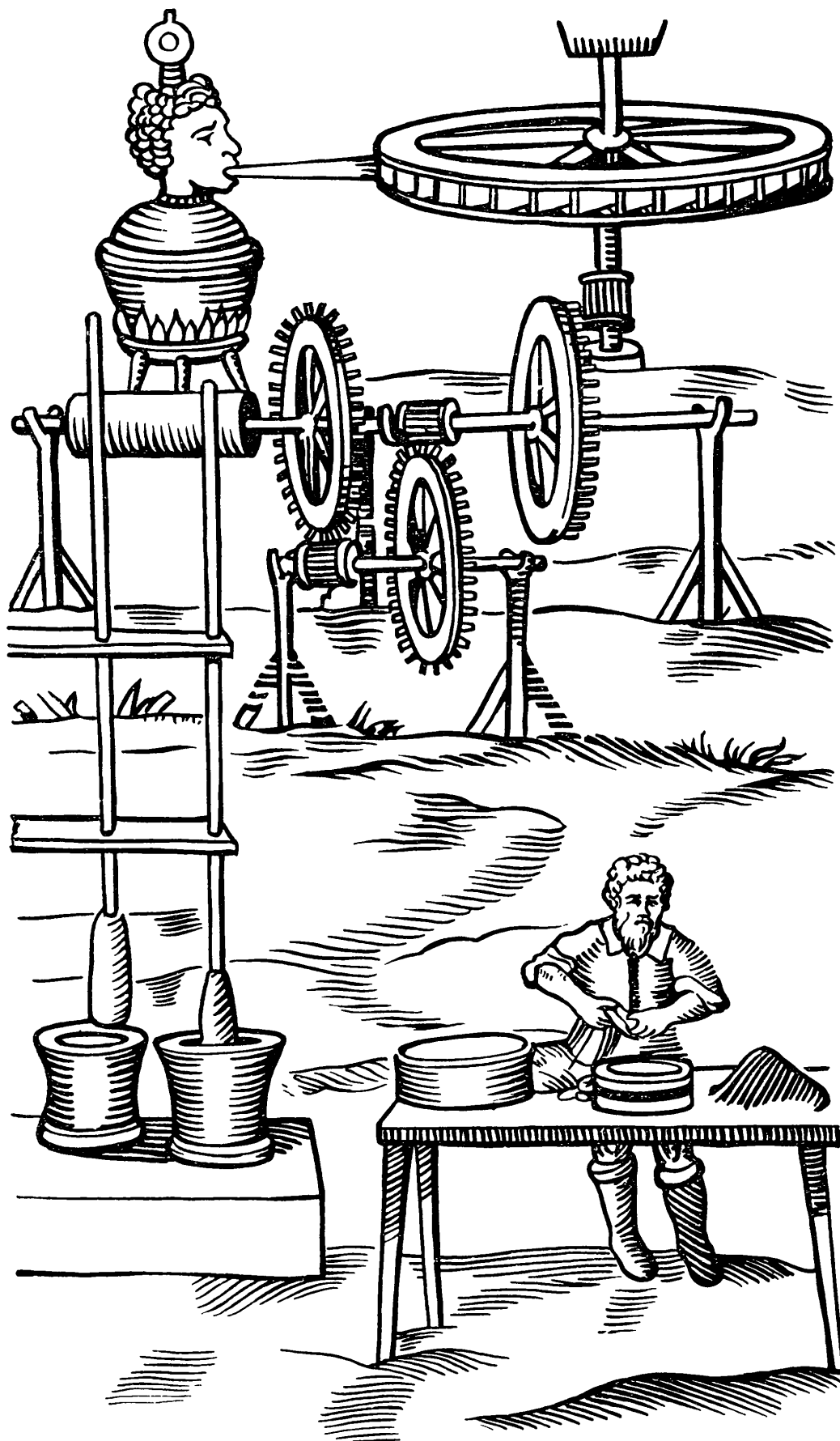


Рис. 5. Активная турбина Джiovани Бранка .

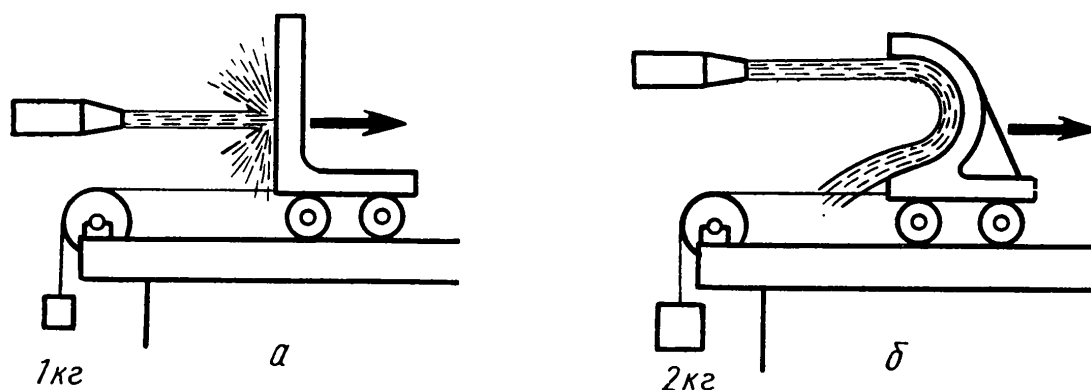


Рис. 6. Действие струи пара на плоскую (а) и вогнутую (б) поверхность

рабочая поверхность лопатки турбинного колеса не должна быть плоской. При ударе струи пара о плоскую поверхность часть энергии безвозвратно теряется из-за разлета частиц во все стороны. Если же поверхность лопаток изогнута, то струя плавно входит на лопатку и изменяет направление движения на обратное. Тут никаких разбрызгиваний и завихрений не будет, а значит не будет и связанных с этим потерь энергии. Убедимся в этом на опыте.

Направим последовательно одну и ту же струю пара на тележку с установленной на ней прямой лопаткой, а затем на другую — с лопаткой, имеющей вогнутую поверхность (рис. 6). Первая тележка, перемещаясь под действием струи, поднимает массу 1 кг, а вторая — 2 кг. Таким образом, во втором случае выполняемая работа удваивается.

Рассмотрим подробнее, за счет чего вращается активная паровая турбина с изогнутыми рабочими лопатками. Струя пара после расширения в сопле попадает в канал между изогнутыми рабочими лопатками, площадь проходного сечения которого постоянна. Понятно, что расширения пара в канале не происходит, а значит, и скорость струи за счет этого увеличиваться не будет. Но при течении струи на вогнутой поверхности создается область повышенного давления, а на выпуклой — пониженного. Вследствие этого возникает сила, действующая на лопатку по направлению от ее вогнутой стороны к выпуклой. Лопатки начинают двигаться, приводя во вращение ротор турбины.

Первую активную одноступенчатую турбину для вращения генератора электрического тока построил тот же де Лаваль в 1889 г. Конструируя турбину, изобретатель стремился к максимальному увеличению ее коэффициен-

та полезного действия (КПД). Это и понятно: ведь КПД определяет, какая часть тепловой энергии пара, поступающего в турбину, превращается в механическую энергию вращения ротора.

Было установлено, что КПД активной одноступенчатой турбины будет наибольшим, если окружная скорость лопаток равна, примерно, половине скорости пара, выходящего из сопла. Так как последняя обычно не намного превышает 1000 м/с, то наивыгоднейшая окружная скорость лопаток равна: $u = 400 \dots 500$ м/с. Для обеспечения прочности диаметр ротора одноступенчатой активной турбины делают не более 0,5 м. Поэтому наивыгоднейшая частота вращения такой турбины весьма велика и равна 15... 20 тыс. об/мин ($n = 60 u / \pi D$).

Но ведь приводимые турбиной в действие механизмы наилучшим образом работают при значительно меньшей частоте вращения. Чтобы устранить это несоответствие, конструкторы первых паровых турбин для снижения рабочей частоты вращения и сохранения достаточно высокого КПД использовали ступени давления и ступени скорости.

Идея применения ступеней давления заключается в том, что расширение пара производится не в одном сопле, а последовательно в нескольких. Это приводит к уменьшению скорости пара при выходе из каждого сопла, а значит и к уменьшению наивыгоднейшей окружной скорости лопаток, то есть наивыгоднейшей частоты вращения ротора.

Практически в одном общем корпусе располагают как бы несколько одноступенчатых активных турбин, и тепловая энергия пара используется для получения механической работы на нескольких рядах рабочих лопаток. В такой турбине, называемой активной со ступенями давления, при расширении пара в первом сопле в энергию струи пара преобразуется только часть его внутренней энергии. После этого пар попадает во второе сопло, где опять-таки в энергию струи пара переходит только часть его внутренней энергии и т. д.

В случае использования ступеней скорости все расширение пара происходит в одном ряду сопел, но энергия струи пара используется на двух или большем числе рядов рабочих лопаток. После работы на первом ряду пар с уменьшенной скоростью поступает на направляющие лопатки, закрепленные в корпусе турбины, где изменяется

только направление движения струи. Далее струя попадает на второй ряд рабочих лопаток, где отдает оставшуюся часть энергии. Две ступени скорости позволяют примерно вдвое уменьшить частоту вращения ротора.

Впервые применить паровую турбину для вращения гребных винтов предложил в 1892 г. талантливый изобретатель П. Д. Кузьминский. Тогда же он начал постройку опытной турбинной установки для быстроходного катера, а в 1897 г. ему удалось завершить ее создание. Однако инициатива изобретателя не была поддержана царским правительством, не верившим в способность отечественных инженеров претворить в жизнь смелые технические идеи.

Только через два года после первых работ П. Д. Кузьминского в 1894 г. опыты по использованию паровой турбины для вращения гребных винтов судна были начаты английским инженером Чарльзом Парсонсом. За 10 лет до этого он построил турбину, в которой роль сопел выполняли как неподвижные (направляющие), так и подвижные рабочие лопатки. В этой турбине использовались и активный и реактивный принципы вращения, так как часть внутренней энергии пара преобразовывалась в энергию паровой струи на направляющих лопатках, выполнявших роль сопел, а часть — на рабочих. Но исторически сложилось так, что эти активно-реактивные турбины называли просто реактивными.

Именно такие турбины Парсонс установил на небольшом опытном судне «Турбиния» водоизмещением всего 44 т. Энергетическая установка судна мощностью 2000 л. с. состояла из трех турбин с частотой вращения 2200 об/мин. В этой установке пар работал последовательно в трех корпусах: сначала в турбине высокого давления, затем по паропроводу поступал в турбину среднего давления, а оттуда — в турбину низкого давления. В 1896 г. «Турбиния» на испытаниях развила очень высокую для тех времен скорость — 32 узла (59,3 км/ч). Последующие сравнительные испытания показали, что корабельные турбинные установки потребляли меньше топлива, имели меньшие размеры и массу, чем равные по мощности установки с паровыми поршневыми машинами.

В русском флоте первым турбинным кораблем было посыльное судно «Ласточка», построенное в 1904 г. При сравнительно небольшом водоизмещении (140 т) на судне установили две активные турбины общей мощностью

2000 л. с., что позволило судну развивать скорость около 26 узлов.

Впервые в России паровую турбину изготовили на Петербургском металлическом заводе (ныне Ленинградский металлический завод имени XXII съезда КПСС). Сначала на нем делали турбины для небольших генераторов электрического тока, а затем корабельные турбины для знаменитых русских эскадренных миноносцев типа «Новик».

Как пар движет корабль. Мы познакомились с принципами получения пара в паровом котле и его работы в паровой турбине. Но как работает корабельная котлотурбинная установка в целом? Ведь в ее состав входят обычно несколько главных котлов и турбинных агрегатов, расположенных в котельных и машинных отделениях корабля. Пройдем по пути пара в такой установке от начала до конца.

Из паровых котлов (рис. 7) пар поступает в главную турбину высокого давления, а оттуда в главную турбину низкого давления. В некоторых установках (как на «Турбинии» Парсонса) между ними установлена и главная турбина среднего давления. Отработавший пар от турбины, а также от различных вспомогательных турбинных механизмов поступает в главный конденсатор, через трубки которого прокачивается холодная забортная вода. Здесь он охлаждается и превращается в конденсат, который откачивается насосом в деаэратор. В этом аппарате конденсат смешивается с отработавшим паром и подогревается до температуры около 100 °С.

Такое нагревание необходимо для избавления конденсата от растворенного в нем воздуха. В противном случае кислород воздуха, попав вместе с конденсатом в паровой котел, будет причиной быстрого ржавления внутренних поверхностей водогрейных труб и коллекторов.

Из деаэратора питательный насос подает конденсат в котел через теплообменник-экономайзер, где вода подогревается за счет теплоты отходящих из котлов газов. Этот дополнительный подогрев сокращает расход топлива на испарение воды в самом котле, что повышает КПД всей установки, то есть увеличивает ту часть тепловой энергии, которая превращается в полезную работу по движению корабля.

В процессе всасывания горячего конденсата питательным насосом может возникнуть еще одно неприятное яв-

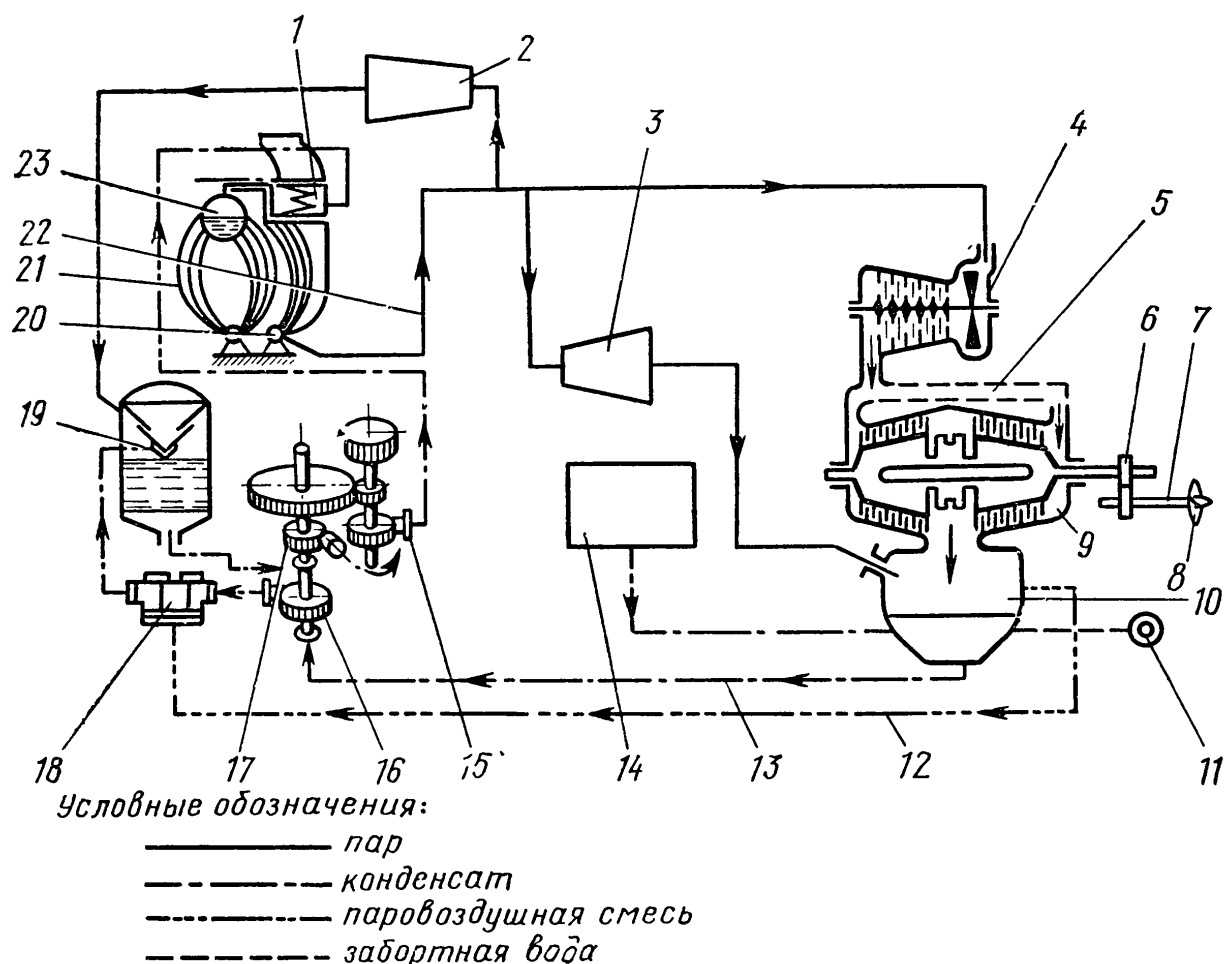


Рис. 7. Схема корабельной котлотурбинной энергетической установки:

1 — экономайзер; 2 — вспомогательный механизм с паротурбинным приводом; 3 — турбогенератор; 4 — главная турбина высокого давления; 5 — паропровод большого диаметра — ресивер; 6 — редуктор; 7 — гребной вал; 8 — винт; 9 — главная турбина низкого давления; 10 — главный конденсатор; 11 — турбоциркуляционный насос для прокачки главного конденсатора забортной водой; 12, 13, 22 — трубопроводы; 14 — запасная цистерна питательной воды; 15 — питательный насос; 16 — конденсатный насос; 17 — бустерный насос; 18 — эжектор для отсасывания паровоздушной смеси из главного конденсатора; 19 — деаэратор; 20 — пароперегреватель; 21 — паровой котел; 23 — паровой коллектор

ление. При понижении давления горячий конденсат может закипеть, что не исключает образования паровой пробки. Но тогда питательный насос будет работать как бы вхолостую, не нагнетая воды в котел. Конечно, это недопустимо. Для создания питательному насосу необходимого подпора на корабле устанавливают бустерный насос (от английского слова «бустер» — усилитель).

После попадания конденсата опять в паровой котел круг его движения замкнется. Таков круговорот движения пара и воды в корабельной котлотурбинной энергетической установке. А затем происходит то, о чем мы уже говорили: в паровых турбинах энергия пара превращается в механическую работу, от них вращение передается валам и гребным винтам, вращаясь, винты создают упор,

который через главный упорный подшипник каждого турбинного агрегата передается на корпусные конструкции. Корабль движется вперед.

2. СОВРЕМЕННЫЙ ПАРОВОЙ КОТЕЛ

Радиация или конвекция? Чем же современный паровой котел отличается от своих предшественников, рассмотренных на предыдущих страницах? Начнем с того, что сейчас в судовых паровых котлах рабочее давление пара превышает 80 кгс/см^2 , а его температура 500°C . Теперь для лучшего использования тепла горячих газов и повышения КПД в корабельных турбинах работает только перегретый пар. А для этого пар из коллектора для дополнительного подогрева направляют в пароперегреватель.

На рис. 8 изображен один из современных корабельных паровых котлов. Его конструкторы проявили незаурядную изобретательность, чтобы удлинить путь пара, обеспечив его максимально возможный перегрев, и одновременно не увеличить значительно массу самого пароперегревателя. Ведь каждый, проектирующий корабельные механизмы, обязан постоянно помнить о необходимости сокращения их массы и размеров.

Пар из коллектора котла попадает сначала в верхний коллектор пароперегревателя, а затем по трубам, омываемым горячими газами, переходит в нижний. Для еще большего удлинения пути пара в коллекторах пароперегревателя установлены поперечные перегородки, благодаря чему пар делает несколько ходов вверх и вниз, непрерывно воспринимая при движении тепло от горячих газов.

Этот котел в отличие от котла эсминца «Новик» не симметричен, что характерно для современных котлов, и горячие газы проходят в дымоход только с одной стороны парового коллектора. Дело в том, что при сгорании топлива тепло может передаваться водогрейным трубам двумя путями: либо с помощью лучистой энергии пламени, либо путем конвекции, то есть при непосредственном соприкосновении с горячими газами. Водогрейные трубы, воспринимающие лучистую энергию горящего топлива, составляют радиационную поверхность нагрева (от слова «радиация» — излучение). В этих трубах циркуляция воды, ее нагрев и образование пара идут в 6...8 раз быстрее,

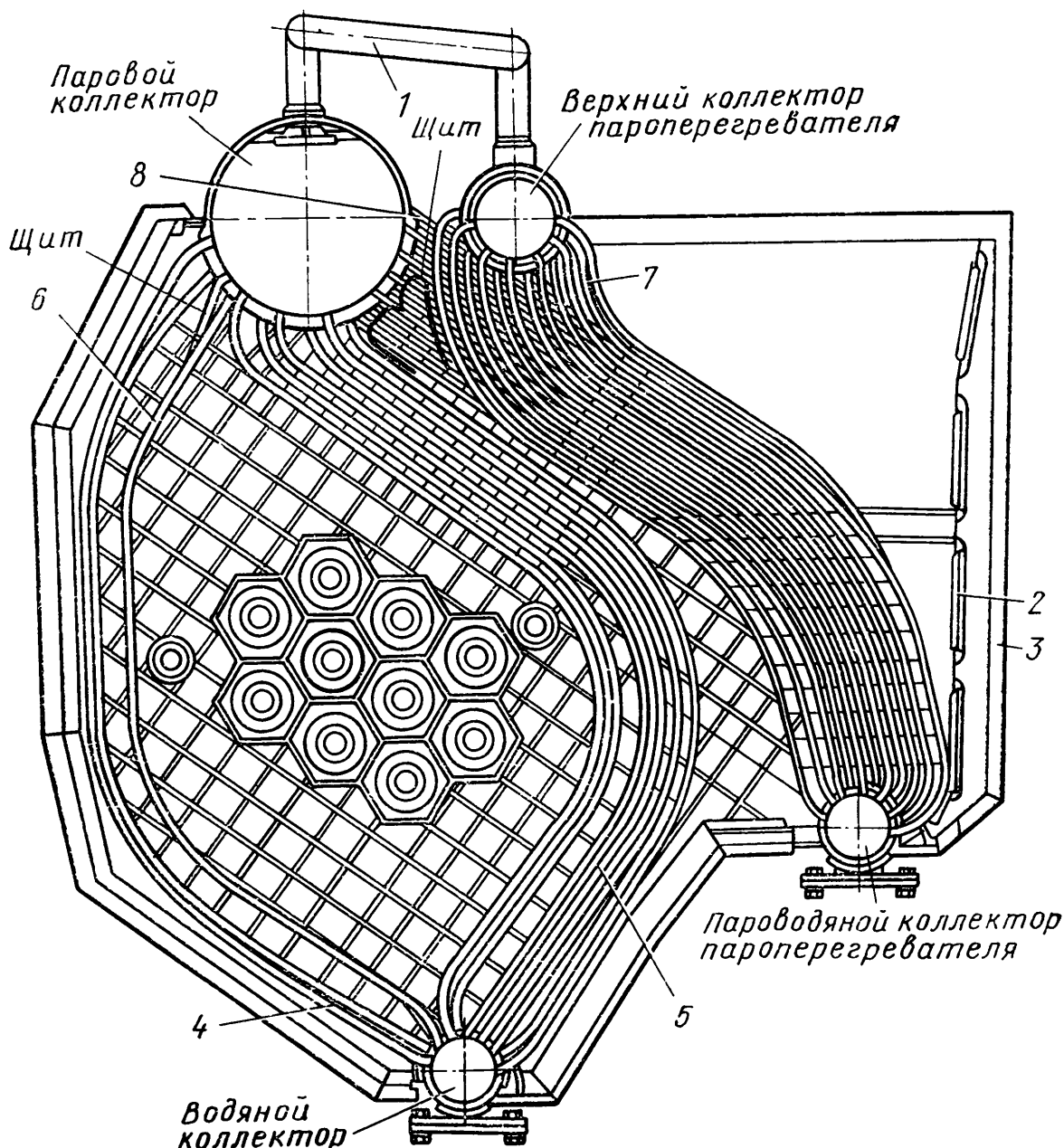


Рис. 8. Схема корабельного водотрубного парового котла:

1 — пароперепускная труба; 2 — внутренний кожух; 3 — наружный кожух; 4 — опускные трубы; 5 — конвективный пучок труб; 6 — подъемные трубы экрана; 7 — трубы пароперегревателя; 8 — периферийный пучок труб

чем в трубах, где основное количество теплоты передается конвекцией. Для максимального увеличения радиационной поверхности нагрева в котле установлен сплошной экранный пучок труб, образующий как бы боковую стенку топки, которая полностью воспринимает лучистую энергию горящего топлива.

Возникает законный вопрос: почему бы всю нагревательную поверхность котла не сделать радиационной? Ведь можно же представить себе такой котел, у которого не одна стенка топки, а все четыре были бы закрыты экранными трубами. Но дело в том, что в таком котле тепло

горячих газов использовалось бы крайне недостаточно. Покинув топку, они с высокой температурой почти бесполезно уносились бы в дымовую трубу. А в существующих котлах значительная часть этого тепла воспринимается водогрейными трубами путем конвекции. Значит, следует умело использовать преимущества каждого способа передачи тепла.

В котле (рис. 8) все водогрейные трубы разделены на трубы экранного (левый) и конвективного (правый) пучков. Конечно, трубы конвективного пучка также нагреваются за счет лучистой энергии горящих факелов мазута, но воспринимают эту энергию в основном только первые три ряда. Большее же количество теплоты они получают путем конвекции при омывании водогрейных труб горячими газами. Именно для наиболее полного поглощения лучистой энергии первые три ряда труб конвективного пучка размещены в шахматном порядке, а остальные ряды — в коридорном.

Рассмотрим контуры циркуляции в этом котле. В экранных и водогрейных трубах, расположенных ближе к топке, происходит нагрев воды и парообразование. Это подъемные трубы. По опускаемым водогрейным трубам, размещенным за первым сплошным рядом экрана, вода перемещается из парового коллектора в водяной. Таков первый контур циркуляции. Другой контур включает в себя необогреваемые опускаемые трубы, расположенные вне топки с заднего фронта котла. По ним вода из парового коллектора опускается в водяную камеру пароводяного коллектора, а пароводяная смесь по заднему конвективному пучку поднимается в паровой коллектор, замыкая этот второй контур циркуляции.

Теплообменники — водяные экономайзеры — размещены в кожухе котла за пароперегревателем и задним конвективным пучком. Горячие газы, отдав тепло водогрейным трубам и трубам пароперегревателя, имеют еще значительную температуру. Обтекая трубы экономайзера, по которым прокачивается под давлением питательная вода, они отдают им еще часть тепла и только после этого выбрасываются в атмосферу через дымовые трубы.

Для нормальной работы котла необходимо, чтобы в нем постоянно поддерживался необходимый уровень воды. Какой именно? Ясно, что он должен быть выше места входа самой верхней водогрейной трубы в паровой коллектор. Если уровень воды по какой-либо причине станет

ниже (такое недопустимое понижение уровня на кораблях называют «упуском воды»), может произойти тяжелая авария. Даже секундное отсутствие воды в водогрейных трубах приведет к резкому возрастанию температуры и их расплавлению.

Для контроля уровня воды на паровом коллекторе установлены водоуказательные приборы. Важность и необходимость этих приборов подчеркивается незыблемым правилом: каждый корабельный котел должен иметь не менее двух параллельно действующих водоуказателей. Кроме того, все котлы снабжаются запасными приборами, готовыми к немедленной установке взамен неисправных. Строгий закон котельной вахты гласит: действие котла с одним исправным водоуказательным прибором свыше 20 мин не допускается. А при выходе из строя обоих приборов действие котла немедленно прекращается.

В основе работы водоуказателей лежит принцип сообщающихся сосудов, и изготавливаются они со стеклами или с прозрачными слюдяными пластинами. Последние используются на котлах с давлением пара свыше 60 кгс/см². Дело в том, что стекло при высоких давлениях и температуре котловой воды разъедается, теряет прозрачность и прочность.

Так как водоуказательные приборы размещают в верхней части котла на паровом коллекторе, а вахтенные котельные машинисты находятся обычно на нижних площадках, то для облегчения наблюдения за уровнем воды слюдяные пластины подсвечиваются лампами, установленными в осветительных люстрах. Более того, одна из ламп должна обязательно питаться от линии аварийного освещения. Это сделано для того, чтобы наблюдение за уровнем воды в паровом коллекторе не прекращалось и с выходом из строя основного освещения.

Если ни одна из ламп не горит, вахтенному остается одно: быстро подняться на верхнюю площадку с аварийным аккумуляторным фонарем в руках и наблюдать за уровнем воды прямо у прибора. Только тогда можно вовремя заметить понижение уровня воды и предотвратить тяжелую аварию котла.

Чем мельче, тем лучше. Паровой котел по существу является преобразователем химической энергии топлива в энергию пара. Но совсем не просто сжечь топливо эффективно и с наименьшими потерями. Сейчас на кораблях основным котельным топливом является мазут, оста-

ющийся после перегонки сырой нефти и отделения от нее легких фракций — бензина и керосина. Во время горения составляющие мазут элементы — углерод, водород, сера — соединяются с кислородом воздуха, что сопровождается значительным выделением тепла и лучистой энергии.

Теоретически для сгорания 1 кг мазута необходимо почти 11 м³ (14 кг) воздуха. Но и такого количества хватает только тогда, когда мазут распылен на мельчайшие частицы и так перемешан с воздухом, что весь кислород вступает в реакцию с горючими элементами топлива.

К сожалению, подобного идеального распыления и перемешивания в топках корабельных котлов достичь не удается. Поэтому для обеспечения полного сгорания топлива воздуха в топку подводится несколько больше, чем необходимо теоретически. История развития корабельных котлов — это фактически летопись усилий по совершенствованию топочных устройств с тем, чтобы создать наилучшие условия сгорания топлива при наименьшем избытке воздуха сверх теоретически необходимого количества.

Лишний воздух в топке так же вреден, как и его нехватка. Избыток воздуха приводит к снижению температуры горячих топочных газов и соответственно к уменьшению количества теплоты, передаваемой газами водогрейным трубам.

Исследованиями ученых установлено, что полное сгорание мазута в топочном факеле требует его распыления на частицы диаметром 40...120 мкм. Только тогда создаются наилучшие условия обволакивания поверхности каждой частицы-капли воздухом. Вторым обязательным условием полного сгорания является тщательное перемешивание таких частиц воздушными струями. Именно такое распыление и перемешивание необходимо для сжигания значительной массы мазута в относительно небольших объемах топок современных корабельных котлов.

Еще в 1865 г. русский изобретатель А. И. Шпаковский предложил новый способ сжигания жидкого топлива в распыленном виде. Он сконструировал первую в мире форсунку для распыления топлива (скипидара) сжатым воздухом. А через несколько лет он же для распыления нефти и мазута впервые применил пар. В течение навигации 1870 г. такая паровая форсунка успешно работала на пароходе «Иран», плававшем на Каспии. Впоследствии

подобные форсунки широко применялись на волжских и каспийских пароходах.

Уже в 1886 г. опытные котлы с мазутными топками и паровым распылением были установлены на русских миноносцах «Лук» и «Сова». Паровое распыление создавало хорошие условия для горения нефти в котле, но было связано с увеличением расхода топлива и, главное, с потерями пресной воды. Ведь пар после работы в форсунках безвозвратно уносился с газами в дымовую трубу, а запасы пресной воды на корабле ограничены.

Дальнейшие исследования русских инженеров привели к созданию центробежных механических форсунок, в которых распыление нефти и закручивание топливных струй осуществляется за счет подачи топлива под давлением через отверстия и радиальные каналы малого диаметра без использования пара или сжатого воздуха. В 1894—1895 гг. инженер Шенснович на электростанции в Новороссийске впервые установил на котле механическую форсунку. Он ввел в ее конструкцию подвижные винтовые стержни, передвигая которые можно было регулировать количество сжигаемого топлива. На котлах этой электростанции впервые были установлены и отлажены устройства для подогрева и очистки нефти перед поступлением в форсунки, а также воздухонаправляющие устройства для подвода воздуха к нефтяному факелу.

Новыми форсунками не замедлили воспользоваться русские военные моряки. В 1897 г., ранее чем в других странах, механические форсунки были установлены на кораблях Черноморского флота: броненосце «Ростислав», крейсерах «Казарский» и «Гриден», на многих миноносцах.

В современных корабельных котлах также используются различные механические форсунки с производительностью от десятков (небольшие вспомогательные котлы) до тысячи и более килограммов в час (главные котлы). В форсунки подается только горячий мазут с температурой почти 100°C и давлением до 30 кгс/см^2 .

Существуют регулируемые и нерегулируемые форсунки. В первых можно во время работы изменять количество распыляемого мазута. Наиболее простой способ регулирования — изменение подачи с помощью клапана на трубопроводе, подводящем мазут к форсунке. Но прикрываемый клапан уменьшает давление мазута и, естественно, ухудшает его распыление. Долгие поиски ре-

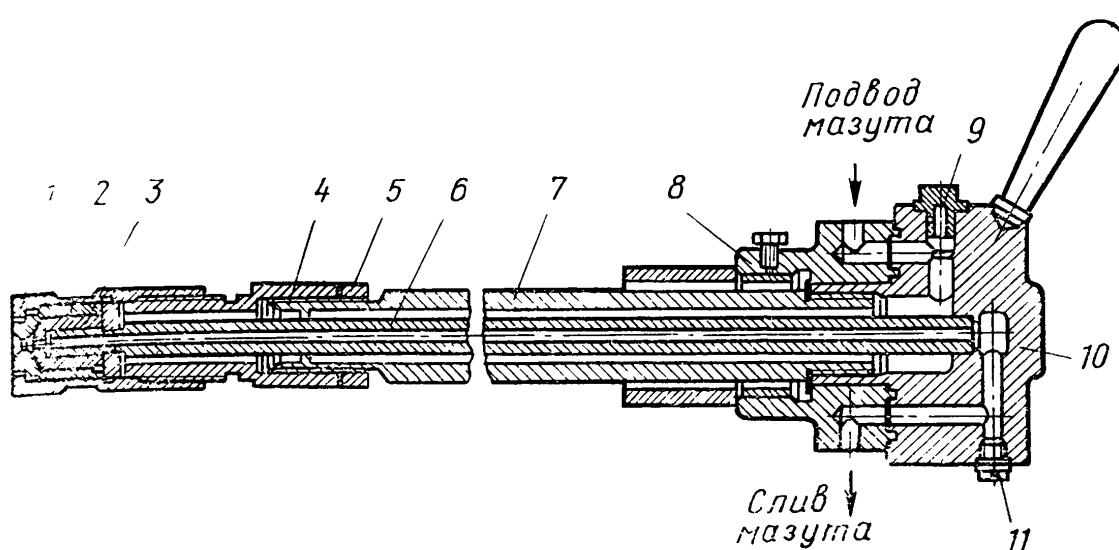


рис. 9. Регулируемая механическая форсунка:

1 — колпак; 2 — головка; 3 — распылитель; 4 — штуцер; 5 — контргайка;
6 — внутренняя труба; 7 — наружная труба; 8 — втулка; 9, 11 — пробка,
10 — корпус

шения этой проблемы привели к созданию довольно неожиданной конструкции.

В регулируемой форсунке (рис. 9) горячий мазут подается в полость между наружной и внутренней трубами и по радиальным каналам распылителя проходит в камеру завихрения, а затем через отверстия малого диаметра — в топку котла. Излишки мазута через отверстия во внутренней трубе форсунки попадают в сливной трубопровод. Вот за счет этого слива и происходит регулирование количества распыляемого мазута. При снижении давления на сливе слив увеличивается и расход мазута через распылитель уменьшается, и наоборот. В такой форсунке на всех режимах работы котла давление мазута в распылителе не изменяется.

Для прочистки и продувания механических форсунок современных котлов успешно используется пар. Паровая струя захватывает частицы мазута с механическими примесями, частицы кокса и очищает каналы форсунок.

В последнее время разрабатываются и все чаще применяются комбинированные паромеханические форсунки. При малом отборе пара из котла топливо к ним подается под малым давлением и распыление производится с помощью пара. Если же отбор пара увеличивается, то давление топлива перед форсунками повышается и распыление происходит уже за счет этого давления.

Цель улучшения конструкции форсунок одна: обеспечить более тонкое и качественное распыление топлива и

за счет этого повысить тепловое напряжение топочного объема, то есть увеличить количество теплоты, выделяющейся при сгорании топлива за единицу времени в каждой единице объема топки. В свою очередь повышение теплового напряжения — это прямой путь к увеличению количества производимого за единицу времени пара при ограниченных размерах и массе котла. Это особенно важно для боевых кораблей, где на строгом учете каждый килограмм массы устанавливаемых механизмов.

Ураган в котельной топке. А теперь расскажем подробнее о нагнетании воздуха в топку котлов. В связи с этим напомним, что служба молодых котельных машинистов на крейсерах постройки первого послевоенного десятилетия начиналась с обучения правилам входа и выхода из действующего котельного отделения. Так как мощные вентиляторы создавали в котельном отделении повышенное давление (до 350 мм водяного столба), то входные шахты были оборудованы двумя воздухопроницаемыми закрытиями — дверью и люком, а также световой сигнализацией. Покидая действующее котельное отделение, матрос плотно заdraивал входную дверь из отделения в шахту и только потом открывал верхний люк из шахты. Световая сигнализация предупреждала о том, что нижняя дверь в шахту заdraена. Лишь в этом случае можно было отdraивать верхний входной люк.

Веселые истории об улетевших рабочих беретах и бескозырках, подхваченных потоком воздуха из котельного отделения при незаdraенной по рассеянности новичков двери, оживляли вечерний отдых на баке. Дверь в шахту при нарушении правил выхода могла и сильно ударить зазевавшегося моряка. Но для бывалых матросов ровный гул котельных турбовентиляторов навсегда связан не столько с веселыми баковыми историями, сколько с дальними океанскими походами, со штормовой волной и бессонными вахтами.

На этих крейсерах, так же как и на эсминцах постройки первых послевоенных лет, воздух из котельного отделения поступал в топку через воздухонаправляющие устройства на переднем фронте котла.

В дальнейшем были созданы корабельные котлы с нагнетанием воздуха от турбовентиляторов непосредственно в топку. Делалось это с помощью металлического короба, по которому воздух от турбовентиляторов поступал в пространство между внутренними и наружными кожухами.

хами котлов. Естественно, что для такой непосредственной подачи воздуха потребовалось усложнить и утяжелить конструкцию котельного каркаса.

Но на это пришлось пойти. Ведь чем больше давление воздуха, нагнетаемого в топку, тем быстрее и полнее сгорает топливо. А увеличение давления воздуха, нагнетаемого турбовентиляторами прямо в котельное отделение, имело предел, определяемый вредным воздействием повышенного давления на моряков.

Нагнетание воздуха по металлическому воздухопроводу непосредственно в топку позволило значительно повысить его давление, и в то же время стало легче нести вахту, так как давление в котельном отделении снизилось до атмосферного.

Более того, несколько сократились и потери давления воздуха. Это и понятно: нагнетание воздуха в котельное отделение, а оттуда в топку связано с большими потерями за счет завихрения потока между механизмами и на входе в воздухонаправляющие устройства, чего нет при подаче воздуха прямо к цели. Но как всегда в кораблестроении, и тут пришлось пойти на компромисс: выиграть в одном (улучшение условий сгорания топлива, удобство обслуживания, некоторое сокращение потерь давления), но проиграть в другом (увеличение массы котла).

Идя дальше по пути увеличения давления воздуха, нагнетаемого в котельную топку, конструкторы стали широко применять «наддув», то есть нагнетание воздуха под давлением до 2...3 кгс/см². В таких высоконапорных котлах горячие топочные газы после прохождения через конвективные водогрейные пучки труб, пароперегреватель и экономайзер поступают в газовую турбину, которая вращает компрессор, сжимающий воздух. Если для вращения компрессора горячих газов не хватает, в качестве привода включается паровая турбина. Воздух, сжимаемый в компрессоре, нагревается до 100 °С и более. Нагнетание в топку горячего воздуха под значительным давлением резко увеличивает тепловое напряжение, а значит, и «отдачу» топочного объема. Увеличивается также скорость газов при прохождении трубных пучков, следовательно, улучшается передача тепла от газа к воде и пару.

На многих картинах, где изображены корабли в походе, из их дымовых труб выбрасываются густые клубы дыма. Видимо, некоторые художники считают, что черный

дымный султан как бы символизирует грозную силу оружия боевого корабля, мощность его главных двигателей. Безусловно, это не так.

Опытные вахтенные котельные машинисты внимательно следят за нормальной подачей воздуха в топку котлов. Тогда пламя в них имеет золотистый цвет, а дыма практически нет. Если же воздуха нагнетается недостаточно, то пламя в топке становится красноватым, в нем видны местами черные просветы, а из дымовой трубы начинает выходить серый и даже черный дым. Сильное дымление может быть вызвано и плохим распылением мазута. А это — не лучшая характеристика котельным специалистам: значит перед выходом в море не были должным образом проверены и подготовлены к работе форсунки.

Нормальное нагнетание воздуха в топку важно и по соображениям скрытности боевых действий. Корабль, из трубы которого вырываются густые клубы дыма, а ночью выбрасывается столб искр, демаскирует себя и будет быстрее обнаружен врагом.

А вот при избытке воздуха пламя в топке становится ослепительно белым, из дымовой трубы начинает выходить белый дым. Хорошо ли это? Совсем нет. Знающие котельные специалисты распознают этот ненормальный режим по перегрузке котельных турбовентиляторов. Словом, нужен немалый опыт и сноровка, чтобы ураган в котельной топке выполнял свое предназначение наилучшим образом, неустанно подводя кислород к форсуночным факелам.

Котлом управляют автоматы. Боевая обстановка постоянно вынуждает менять потребление пара корабельными турбинами. С увеличением скорости хода пара требуется больше, резко меняется потребность в паре при внезапной остановке корабля и быстрых маневрах. Ручное управление включением и выключением форсунок, частотой вращения турбовентиляторов требует от вахтенных котельных машинистов быстроты, высокой натренированности, а подчас и акробатической ловкости.

Непрерывный рост рабочего давления и увеличение массы производимого в котлах пара влекут за собой повышение скоростей протекания рабочих процессов, что на определенном этапе делает фактически невозможным ручное управление питанием котла водой и горением мазута в топке. Естественно, что конструкторы стремятся до предела сократить состав вахты, обслуживающей котлы и

турбины, передавая управление механизмами, устройствами и системами в машинно-котельных отделениях автоматам, регулирующим все рабочие процессы.

Сущность автоматического управления работой котла заключается в том, что при любых изменениях расхода пара регуляторы поддерживают постоянное рабочее давление и нормальный средний уровень воды в паровом коллекторе. Для этого при любом изменении нагрузки одни регуляторы своевременно включают и выключают форсунки, изменяя подачу мазута в топку, а другие — увеличивают или уменьшают подачу воздуха в топку для поддержания нормального, бездымного горения и изменяют подачу в котел питательной воды.

Как же регуляторы воспринимают изменение расхода пара из котла или понижение уровня воды в паровом коллекторе? Их своеобразными «глазами и ушами» являются измерительные органы. Так, изменения давления воспринимаются мембранами, сильфонами или согнутыми трубками: мембрана прогибается, сильфон-гармошка сжимается или растягивается, трубка эллиптического сечения распрямляется или еще больше сгибается. Сигналы от всех этих перемещений передаются затем в регулятор.

А как регулятор улавливает колебания уровня воды? Простейший способ — это использование поплавка. Его применил еще в 1766 г. для автоматического регулирования подачи воды в котел создатель первого парового двигателя непрерывного действия уральский умелец Иван Иванович Ползунов. Когда вода в котле поднималась выше нужного уровня, поплавок поднимался вместе с ней и через несложное устройство прекращал поступление воды.

Существует и более точный способ. В регулятор устанавливается мембрана, на которую действует разность давлений столбов жидкости. У столба жидкости над мембраной уровень не изменен, а у столба, который воздействует на жидкость, находящуюся под мембраной, уровень изменяется. Это изменение и воспринимается мембраной. Например, при понижении уровня мембрана прогнется вниз, что и служит сигналом для начала работы устройства, изменяющего подачу воды в котел.

Изменение частоты вращения двигателя воспринимается центробежным маятником. При увеличении частоты его грузы под действием центробежной силы расходятся и их движение передается регулятору. Второй способ

предусматривает установку на валу, частота вращения которого регулируется, небольшого насоса с крылаткой. Если эта частота увеличивается, то растет давление жидкости, нагнетаемой насосом.

Понятно, что импульсы, воспринятые чувствительными органами в результате отклонения регулируемых величин, слишком слабы, чтобы непосредственно открыть или закрыть клапан, включить или выключить форсунку. Необходим второй элемент регулятора — усилительный орган. В котельной автоматике наиболее часто для этой цели используется гидравлический поршневой сервомотор.

По команде измерительного органа в цилиндр такого сервомотора подается под давлением рабочая вода, передвигающая поршень со штоком, через который воздействие передается непосредственно на регулирующий орган (топливную форсунку, клапан на трубопроводе подачи воды в котел и на магистрали, подающей пар на турбину). А перемещение регулирующего органа, как уже говорилось, вызывает изменение режима работы котла.

Есть в регуляторе и еще одно важнейшее звено, о значении которого следует сказать особо. Речь идет об обратной связи. Понятие «обратная связь» имеет два значения: первое — это принцип связи в технике и живой природе, а второе — звено связи в составе автоматических регуляторов. Конечно, эти значения тесно связаны между собой. Познакомимся подробнее как с общим принципом, так и с конкретным техническим устройством.

В теории автоматического регулирования существуют условные понятия «вход» и «выход» машины. В паровой поршневой машине, например, «вход» — это подача пара, а «выход» — движение поршня. Если они между собой так или иначе связаны, то говорят, что осуществлена обратная связь.

В паровой машине эта связь положительна, так как движение поршня («выход») через эксцентрик коленчатого вала и тягу вызывает перемещение золотника, через который пар подается в цилиндр («вход»). В результате поршень продолжает двигаться. И чем быстрее будет двигаться поршень, тем быстрее будет перемещаться золотник, последовательно открывая доступ пара в полости над и под поршнем.

В автоматических регуляторах также используется обратная связь, но обычно другого типа — отрицательная. Например, в центробежном регуляторе частоты вра-

щения при увеличении оборотов грузы расходятся и их движение через рычажную передачу передается регулирующему органу — задвижке на паровой магистрали. Она перемещается и прикрывает подачу пара. Если частота вращения машины уменьшится, грузы регулятора сойдутся, что опять изменит положение паровой задвижки и т. д.

Ясно видно, что в этом регуляторе также осуществлена связь «выхода» со «входом», но связь эта иного характера, так как на увеличение частоты вращения машины регулятор отвечает уменьшением подачи пара.

В автоматических регуляторах отрицательная обратная связь придает всему процессу регулирования устойчивость, в то время как положительная обратная связь, напротив, обычно приводит к ускорению развития этого процесса и к возникновению колебательных процессов. Интересно отметить, что принцип отрицательной обратной связи — общий принцип, обеспечивающий стремление к равновесию в любых живых и технических системах.

Теперь поговорим о звене обратной связи. В конструкциях автоматических регуляторов оно осуществляет связь в направлении от «выхода» к «входу» и непосредственно связывает регулирующий орган с усилительным или чувствительным. Звено обратной связи как бы сдерживает движение регулирующего органа или своевременно его останавливает, чтобы регулируемая величина не превысила установленного значения.

Часто автоматические регуляторы конструируют так, чтобы они одновременно воспринимали импульсы от двух чувствительных органов. Зачем? Рассмотрим это на примере двухимпульсного регулятора питания котлов водой, который на кораблях называют просто автомат питания. Этот регулятор изменяет открытие питательного клапана на паровом коллекторе: чем больше открыт клапан, тем больше питательной воды поступает в котел.

Ранее, на кораблях довоенной постройки, импульсом для автоматов питания являлось только изменение уровня воды в котле. Казалось бы, что это и есть единственно правильное решение. Раз автомат регулирует уровень воды, то и импульсом для включения его в работу должно быть изменение этого уровня.

Но практика разочаровала конструкторов: такие автоматы не смогли устойчиво регулировать поступление воды в котел на переменных режимах. И вот почему. При

увеличении отбора пара из котла, то есть при увеличении нагрузки, давление пара в первый момент несколько снижается. За счет этого понижается температура кипения воды и начинается бурное парообразование во всей ее массе. Объем пароводяной смеси увеличивается, происходит «набухание воды».

Одноимпульсный автомат питания в этом случае будет стремиться просто понизить уровень воды за счет уменьшения ее подачи в паровой коллектор. А ведь с увеличением отбора пара подачу воды нужно не уменьшать, а увеличивать.

Вот почему современные двухимпульсные автоматы питания воспринимают изменения и уровня воды в паровом коллекторе и расхода пара из котла, что позволяет им устойчиво поддерживать этот уровень на переменных режимах работы котлов.

Теперь можно рассмотреть принцип работы всей системы автоматического управления и регулирования корабельными котлами и турбинами. Командир корабля с ходового мостика передает по машинному телеграфу в пост управления энергетической установкой команду об увеличении скорости хода. Вахтенный специалист начинает открывать клапаны подачи пара на турбины. Расход пара увеличивается, турбины набирают обороты. Вследствие этого давление пара в главном паропроводе от котлов к турбинам падает, что немедленно регистрируют чувствительные элементы регуляторов системы автоматического управления питанием и горением. Сервомоторы автоматически включают в работу добавочные форсунки, увеличивая подачу мазута в топки. Соответственно автоматически увеличивается подача пара на турбину турбовентилятора и в топку нагнетается больше воздуха. Вода в водогрейных трубах котла нагревается быстрее, парообразование усиливается, а, следовательно, давление пара в главном паропроводе восстанавливается уже при большей скорости хода корабля. В это же время двухимпульсный автомат питания воздействует на питательный клапан, увеличивая подачу воды в котел.

Безусловно, автоматизированное управление корабельными котлами и турбинами будет все время совершенствоваться. Автоматы в машинных и котельных отделениях корабля — это настоящее, но в еще большей степени будущее нашего флота.

«Горячее сердце» и «кровеносные сосуды» корабля.

Сердце человека гонит кровь по кровеносным сосудам ко всем органам тела, определяя этим их деятельность и подвижность. Так и корабельное «горячее сердце» — паровой котел производит пар, который по «кровеносным сосудам» — паропроводам поступает к главным турбинам и вспомогательным механизмам. Но этим сходство не ограничивается. Кровь, насыщенная кислородом, течет к различным органам человеческого тела по артериям. Отдав кислород, необходимый для энергообеспечения живых клеток, она возвращается обратно по венам. Пар от котлов поступает к главным турбинам и вспомогательным механизмам по главному и вспомогательному паропроводам свежего пара. Отработав в механизмах, пар уходит в конденсаторы по паропроводу отработавшего пара.

Корабельные «кровеносные сосуды» представляют собой сложное переплетение труб, покрытых надежной тепловой изоляцией. До 90-х годов прошлого века все корабельные паропроводы изготавливали из красной меди. Впервые в русском флоте стальной паропровод был установлен в 1890 г. на броненосце «Наварин».

В конструкции «Наварина», который на Франко-русском заводе (теперь Адмиралтейский завод) строил талантливый кораблестроитель Петр Акиндинович Титов, было немало оригинальных технических решений. Академик А. Н. Крылов, будучи молодым офицером-кораблестроителем, стажировался в это время на верфи. Он писал о посещении стапеля, где строился «Наварин», известным французским кораблестроителем де Бюсси. Покидая верфь, француз взял Титова за руку и, не выпуская ее, сказал при всех директору завода: «Переведите вашему инженеру мои слова: я 48 лет строил суда французского флота, я бывал на верфях всего мира, но нигде я столь многому не научился, как на этой постройке» *.

А ведь Титов не имел инженерного образования, он был замечательным практиком, обладавшим великолепной технической интуицией и богатым опытом строительства кораблей. А. Н. Крылов вспоминал, как он проверял расчетом размеры различных деталей корабельного оборудования на эскизах, вычерченных Титовым на глаз. Было просто поразительно, что размеры деталей по расчетам Крылова всегда совпадали с размерами, определенными Титовым из опыта, по интуиции.

* Крылов А. Н. Мои воспоминания.— Л., 1979.

Сейчас трубы паропровода свежего пара изготавливают из легированной качественной стали. Только паропровод отработавшего пара, да и то при температуре не более 250 °С, может быть красномедным.

Конструкторам приходится немало поломать голову, чтобы при проектировании паропроводов выбрать для них подходящий диаметр. Чем меньше диаметр труб, тем паропровод легче, меньше тепловые потери через его стенки и проще предотвратить неприятные последствия теплового удлинения труб. Но зато по мере уменьшения диаметра труб растут скорости течения пара и, как следствие, растет сопротивление его движению. За счет этого увеличивается падение давления в паропроводе и к соплам турбин пар подходит с меньшим давлением. Сокращается тепловой перепад в турбине, то есть уменьшается разность уровней тепловой энергии пара до и после работы в турбине. А из теории паровых турбин известно, что чем меньше эта разница, тем ниже КПД турбинного двигателя. Только в результате многих экспериментов и проверок конструкторы определяют наиболее выгодные скорости пара в паропроводе, а затем более уверенно рассчитывают необходимый диаметр труб.

Особо следует остановиться на влиянии удлинений труб от нагрева их паром. Попробуйте не учесть эти тепловые удлинения, и в трубах возникнут колоссальные усилия. Если жестко закрепить концы прямого участка трубы с внутренним диаметром 275 мм и толщиной стенки 12,5 мм, а затем нагреть его на 200 °С, то в нем возникнет сжимающая сила величиной 540 тс. Под воздействием этой силы паропровод получит продольный изгиб, а в результате — нарушение герметичности соединений и пропуск пара во фланцах. При более высоком нагреве изгиб увеличится и может последовать серьезная авария.

Как же избежать появления таких разрушительных сжимающих сил? Для этого конструкторы включают в состав паропроводов лирообразные или волнистые компенсаторы. Когда установка компенсаторов не предусматривается, то их роль передают изгибам паропровода, которые приходится делать при прокладке труб от котлов к турбинам.

Есть и еще одно отличное средство для уменьшения напряжений от теплового удлинения — это монтажное растяжение паропровода в его соединениях. Производится оно следующим образом. Трубы при монтаже устанавли-

вают с определенным зазором между фланцами соседних участков, а во время стягивания фланцевых соединений болтами эти зазоры выбираются. Понятно, что трубы получают значительное растяжение.

Теперь при нагреве труб сначала уменьшаются до нуля напряжения от предварительного растяжения и только затем начинают расти напряжения сжатия от теплового удлинения. Так растяжение используется для борьбы с последствиями сжатия.

Паропроводы — важная составная часть энергетической установки. Поэтому конструкторы тщательно продумывают как обеспечить их живучесть, как защитить от боевых повреждений. На кораблях довоенной постройки главный паропровод прокладывали в виде кольца. В этом случае при повреждении труб одного борта пар мог поступать к турбинам по трубам противоположного борта.

Но такое решение имело существенный недостаток — большую массу труб. От кольцевой схемы пришлось отказаться и принять схему в виде одной нити, а паропровод разделить на отдельные участки так называемыми пересечными клапанами. Это позволяет отключать поврежденный участок паропровода так же, как «отключают» поврежденную кровяную артерию, пережимая ее жгутом и прекращая опасное кровотечение. Короче говоря, делается все, чтобы в бою паровой котел ни на секунду не прекращал работы, непрерывно снабжая все турбинные механизмы энергией по корабельным паропроводам.

3. КОЕ-ЧТО О РАБОТЕ ТУРБИНЫ

Зачем турбине редуктор. Первые корабельные турбинные установки были прямодействующими (турбина непосредственно вращала гребной вал с винтом), что создавало существенные неудобства. Ведь паровая турбина работает с высоким КПД только при большой частоте вращения. В то же время наивыгоднейший режим работы гребного винта требует значительно меньшей частоты.

Для повышения КПД прямодействующей турбины конструкторы стремились увеличить рабочее давление и температуру поступающего в нее пара. За счет этого росла скорость пара при входе на лопатки. Но уже говорилось о том, что существует наивыгоднейшее соотношение скорости пара и окружной скорости лопаток. При росте первой необходимо повышать и вторую, то есть увеличивать

диаметр ротора турбины. Можно пойти по другому пути — увеличить число ступеней давления. Но и в том, и в другом случае одновременно росли масса и размеры турбинной установки, что крайне нежелательно.

Становилось ясно, что выход может быть только в применении той или иной передачи, которая позволит установить для турбины и гребного винта разные и наиболее выгодные частоты вращения. Первой по времени была использована механическая передача, состоявшая из шестерни и зубчатого колеса. В 1910 г. это сделал Чарльз Парсонс на одновинтовом пароходе «Веспасиан».

Быстроходная паровая турбина мощностью 750 л. с., работая при 1400 об/мин, приводила во вращение шестерню, сцепленную с зубчатым колесом, насаженным на передний конец гребного вала с винтом. При частоте вращения гребного винта 70 об/мин (такая же частота вращения была у паровой машины, первоначально установленной на этом пароходе и затем замененной на турбину) передаточное число составило 20. Результаты испытаний турбинной установки с зубчатой передачей оказались вполне удовлетворительными и с тех пор такие передачи широко используются на кораблях и судах.

Электрическая передача от турбины к гребному электродвигателю была впервые применена в США на транспорте «Юпитер» постройки 1914 г. Паровая турбина работала при 2000 об/мин и приводила в действие генератор переменного тока мощностью 5000 кВт, от которого получали питание электродвигатели, вращавшие гребные валы с частотой 115 об/мин. Затем такая электропередача была использована на американских линкорах «Нью-Мексико», «Тенесси».

В 1913 г. немецкий инженер Фиттингер сконструировал и установил на пароходе гидравлическую передачу. Лопастной насос, установленный на валу паровой турбины, подавал под давлением воду на лопатки гидравлической турбины, вращающей гребной вал с винтом.

Из этих трех типов передач в настоящее время на кораблях наиболее распространена зубчатая. Электрическая передача используется в основном на ледоколах, буксирах, спасателях и других подобных судах, где по роду деятельности необходима частая перемена скорости хода и точная регулировка частоты вращения гребного винта, что особо удобно выполнять при использовании гребных электродвигателей. Электропередача установлена также

на отдельных зарубежных атомных подводных лодках, так как обеспечивает бóльшую бесшумность работы, чем зубчатая передача. А малое собственное акустическое поле особенно важно для скрытности действий этих подводных кораблей.

В зубчатых передачах корабельных турбин высота зубцов по сравнению с диаметром самих шестерен и колес делается малой, что позволяет увеличить число зубцов до 400. Работа таких передач более плавна и бесшумна. Так как зубчатые передачи передают на гребные валы большие мощности (тысячи киловатт), то длина зубцов из соображений прочности принята довольно значительной — до 1,5 м.

Сейчас на кораблях используют только косозубые передачи, в которых зубья расположены под углом к оси вращения колес. Они более прочны и работают плавнее, чем прямозубые. Это объясняется тем, что в зацеплении одновременно находятся несколько зубцов, нагрузка на которые постепенно увеличивается от нуля при входе в зацепление до наибольшей в среднем положении и затем опять постепенно снижается до нуля. Правда, у косозубых колес во время работы возникают осевые усилия, стремящиеся сдвинуть шестерню относительно колеса, причем чем больше передаваемая зацеплением мощность, тем больше и эти усилия.

Но конструкторы и здесь нашли оригинальный выход. Зубчатое колесо разделили по длине зацепления пополам и нарезали косые зубья на каждой половине с наклоном в противоположные стороны. Теперь осевые усилия от каждой половины зацепления гасили друг друга. Такое зацепление называется шевронным и сохраняет все преимущества косозубого зацепления, не имея в то же время его недостатков.

Для смазки передач через форсунки, установленные в корпусе редуктора, вдоль зубцов зацепления подается под давлением масло.

На кораблях постройки первых послевоенных лет зубчатые передачи были одноступенчатыми, а передаточное число в них не превышало 10. Сейчас на кораблях используются зубчатые передачи с передаточным числом 20 и более. Если их сделать одноступенчатыми, то диаметр колеса достигнет четырех метров, да и масса такой передачи будет чрезмерно большой. Поэтому стали устанавливать двухступенчатые редукторы (рис. 10), что позволило

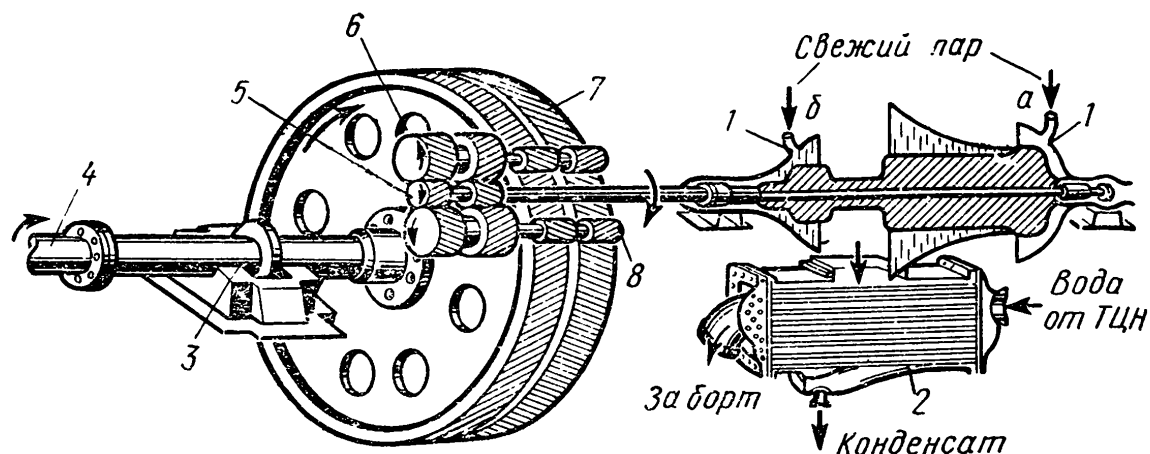


Рис. 10. Схема двухступенчатого зубчатого редуктора паровой турбины:

1 — сопла турбины переднего хода (а) и заднего хода (б); 2 — главный конденсатор; 3 — главный упорный подшипник; 4 — гребной вал; 5 — шестерня 1-й ступени передачи; 6 — колеса 1-й ступени передачи; 7 — колесо 2-й ступени передачи; 8 — шестерня 2-й ступени передачи

уменьшить размеры большого колеса примерно вдвое.

Кроме того, двухступенчатый редуктор позволяет передавать мощность от турбины, разделив передаваемые усилия в редукторе на две части. Из рис. 10 видно, что усилие от турбины передается на два колеса первой ступени передачи, а затем на две шестерни второй ступени. Поток мощности как бы раздваивается и на каждую шестерню приходится вдвое меньшая нагрузка, что позволяет уменьшить их размеры.

Как забить масляный клин. Роторы турбин, шестерни и колеса редукторных передач вращаются во вкладышах подшипников. Как добиться надежной работы подшипников при частоте вращения роторов 3000...5000 об/мин и более? Как предотвратить чрезмерный нагрев в них трущихся деталей? Как сократить при этом потери мощности на преодоление трения? Такие вопросы возникали перед создателями первых турбинных установок. Правильное решение пришло не сразу. Его поиск был связан со многими опытами и ошибками. В итоге конструкторы остановились на подшипниках, смазка которых осуществлялась по принципу масляного клина.

Что это за клин и как он возникает? Вкладыши подшипников растачивают до диаметра несколько большего, чем диаметр вала турбины, поэтому, когда вал лежит без движения, между ним и верхней частью подшипника образуется небольшой зазор. Например, при диаметре вала 150 мм он равен всего 0,15...0,20 мм (рис. 11, а).

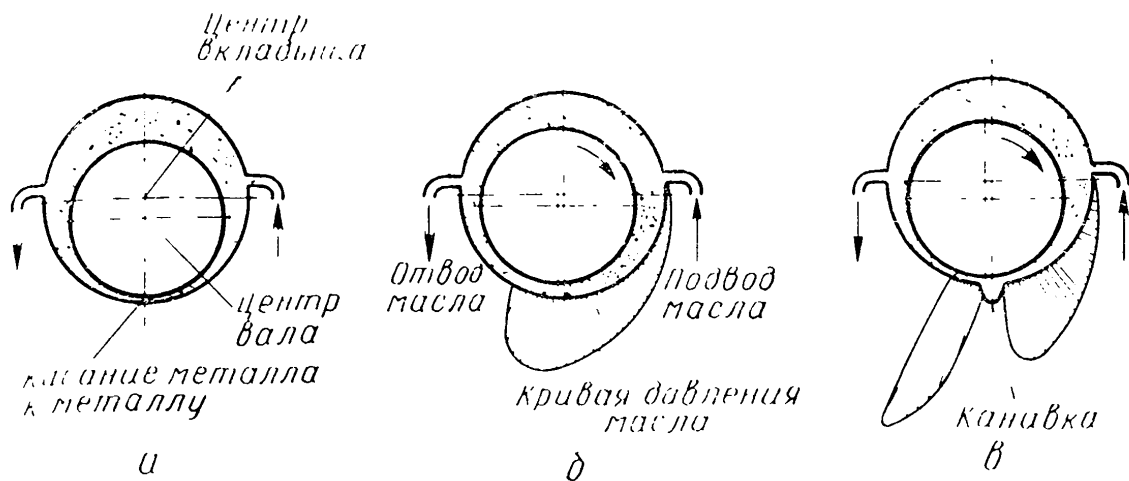


рис. 11. Смазка опорного подшипника (зазор между шейкой вала и подшипником для наглядности значительно увеличен):

а — в начале вращения; б — в процессе вращения; в — при дефекте вкладыша

В подшипник для смазки постоянно подается турбинное масло. В состоянии покоя вал выжимает масло, что обуславливает полусухое трение в момент страгивания его с места. При вращении вала масло, прилипшее к его шейке, увлекается в суживающийся клиновидный зазор между валом и вкладышем. Из-за этого давление масла в зазоре постепенно возрастает, создается масляный клин (рис. 11, б). Затем вал под действием давления в масляном клине смещается в сторону и несколько приподнимается вверх, а между шейкой вала и вкладышем образуется масляный слой. Значит, величина давления в масляном клине достаточна, чтобы приподнять тяжелый ротор турбины и держать его как бы во взвешенном состоянии. Это и не удивительно, ведь давление в нем достигает 30 кгс/см^2 .

Так как давление зависит от частоты вращения и вязкости масла, то как бы автоматически регулируется температура трущихся деталей в подшипнике. Чем выше частота вращения, тем больше трение и, следовательно, нагрев деталей. Но одновременно с этим растет давление в масляном клине, а значит и толщина слоя масла между шейкой подшипника и вкладышем. Трение и нагрев деталей уменьшаются.

Но этим борьба за уменьшение трения в подшипниках турбин не ограничивается. Для уменьшения потерь вкладыши заливают антифрикционным сплавом олова, сурьмы и меди, называемым баббитом. Трение шейки вала по баббитовой заливке вкладыша значительно меньше, чем по стали.

Баббит вязок, тверд и он хорошо прирабатывается. Марка баббита обозначает содержание в нем олова. Например, вкладыши подшипников корабельных турбин чаще всего заливают баббитом Б-83, содержащим 83 % олова. Очень важно, чтобы слой баббита не имел царапин и канавок, так как давление масляного клина в этих местах падает (рис. 11, в) и появляется возможность трения металла о металл.

Велик вклад русских и советских ученых в разработку теории смазки подшипников. Обширные и важные экспериментальные исследования в области жидкостной смазки впервые были проведены профессором Н. П. Петровым в 1883—1887 гг., а результаты их изложены в нескольких статьях под общим названием «Трение в машинах и влияние на него смазывающей жидкости».

Его исследования жидкостной смазки подшипников получили свое дальнейшее развитие в работах профессора Н. Е. Жуковского и академика С. А. Чаплыгина. В 1904 г. они обобщили свои теоретические исследования в совместной статье «О трении смазочного слоя между шипом и подшипником». Работы этих ученых послужили теоретической основой создания в нашей стране надежных подшипников турбин и других машин с большой частотой вращения.

Теоретические работы Чаплыгина и Жуковского в области гидродинамики, связанные с исследованием трения в смазочных слоях, были продолжены австралийским инженером и математиком Митчелом и привели к созданию упорного подшипника, который применяется на кораблях и судах в настоящее время. Как же в таком подшипнике создается масляный клин? Ведь давление масляного клина должно возникнуть не в горизонтальном, а в вертикальном слое масла для того, чтобы действовать вдоль оси вращения ротора. Как все истинно талантливые технические находки решение задачи оказалось простым. Вертикально расположенный масляный слой в упорном подшипнике образуется между упорным гребнем вала турбины и упорными подушками. От пяти до восьми таких подушек размещают в корпусе подшипника с каждой стороны гребня.

Изюминка технического решения заключается в способе создания клина между гребнем и подушками, которые могут во время работы турбины поворачиваться и устанавливаться под небольшим углом к плоскости упорного

гребня. Достигается это за счет того, что каждая подушка имеет только одну точку опоры, несколько смещенную от ее середины по направлению вращения гребня вала (рис. 12, а).

Но почему подушка поворачивается именно так, чтобы образовалось клиновидное пространство, где давление масла повышается в несколько раз по сравнению с давлением в трубопроводе, подводящем масло к подшипнику? Разберемся в этом. Когда упорный вал неподвижен, подушки находятся в положении, параллельном плоскости гребня, а между ними размещается слой масла. В начале пуска турбины упорное давление P невелико и будет передаваться через слой масла на подушки. равнодействующая этого давления приложена к середине подушки, а реакция опоры R , равная по величине P , окажется несколько смещенной от середины. Эти две силы и образуют пару, которая поворачивает подушку.

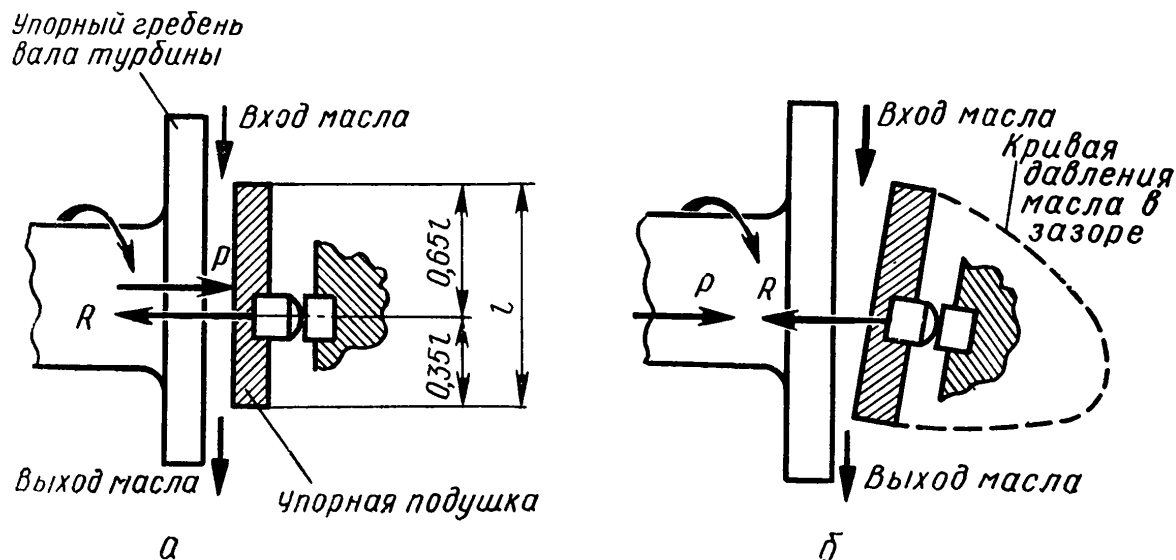


Рис. 12. Смазка упорного подшипника:

а — в начале вращения; б — в процессе вращения

По мере поворота давление масла в клинообразно сужающемся зазоре будет увеличиваться по направлению к его узкому концу так же, как и в опорных подшипниках. Из-за этого точка приложения равнодействующей давления масла на подушку начинает смещаться в сторону, и когда равнодействующая придет на линию действия реакции R , подушка окажется в состоянии равновесия (рис. 12, б). В клиновидном зазоре давление масла достигает более 20 кгс/см^2 . Наличие постоянного слоя масла между стальным упорным гребнем и залитыми баббитом поверхностями упорных подушек резко уменьшает потери мощ-

ности из-за трения, а следовательно, и нагрев трущихся деталей.

Контроль за нагревом подшипников турбин — важнейшая обязанность машинной вахты. И раньше, и теперь при нарушении в походе подачи масла моряки делали все (иногда это были просто героические усилия), чтобы ликвидировать повреждение.

В самом начале Великой Отечественной войны, 26 июля 1941 г., эсминец «Сильный» в составе группы кораблей Краснознаменного Балтийского флота вел жестокий бой с фашистскими кораблями. В эсминец попал вражеский снаряд, который разорвался у кормового орудия. От взрыва выбило прокладку между фланцами трубопровода подачи турбинного масла на подшипники турбозубчатого агрегата. Повреждение трубопровода и утечка масла требовали остановки турбин, что в условиях морского боя могло привести к гибели корабля.

Командир отделения машинистов старшина 2-й статьи Горшков прекрасно понимал это и решил несмотря ни на что попытаться устранить повреждение, не выводя турбозубчатый агрегат из действия. Он с двумя матросами, закрывшись от струй горячего масла листом жести, начал разбирать поврежденное соединение.

Работали в темноте на ощупь, масло обжигало пальцы, горячие брызги попадали на лица. Но несмотря на все трудности повреждение удалось устранить, не останавливая турбин. Только после доклада командиру об окончании работы старшина дал возможность врачу, спустившемуся в машинное отделение, перевязать распухшие, обваренные горячим маслом руки. А в это время корабль продолжал вести победный бой.

Белка в колесе или куда девается пар. Мы познакомились с тем, как пар работает в корабельной турбине. Теперь поговорим подробнее о том, куда он девается после расширения на лопатках турбин. Ранее уже упоминалось, что в конце концов пар поступает в конденсатор, являющийся важной составной частью турбинной установки. Применение конденсатора позволило решить сразу три важнейшие проблемы.

Во-первых, конденсатор дал возможность поддерживать в корпусе турбины за последним рядом рабочих лопаток давление значительно ниже атмосферного. За счет этого увеличилась степень расширения пара и соответственно тепловой перепад.

Во-вторых, конденсатор позволил превратить пар в конденсат — питательную воду, содержащую совсем немного солей и механических примесей. Эта вода используется для питания котлов. Так замыкается цикл превращений и работы пара, ибо в котле все начинается сначала — вода, испаряясь, превращается в пар. Чем меньше солей и механических частиц в питательной воде, тем меньше накипи осаждается в водогрейных трубках и лучше передается тепло от горячих газов через их стенки котловой воде.

И, наконец, в конденсаторе в значительной степени решается задача по освобождению питательной воды от растворенного в ней воздуха. Он выделяется в паровое пространство конденсатора, а затем отсасывается в атмосферу.

За счет чего же создается разрежение в конденсаторе? Все дело в разности величин удельных объемов пара и конденсата. Объем одного килограмма конденсата меньше объема одного килограмма пара при давлении $0,1 \text{ кгс/см}^2$ почти в 15 000 раз. Значит, если отработавший в турбине пар сконденсировать в замкнутом воздухо-непроницаемом корпусе конденсатора, то в нем создастся очень сильное разрежение.

Вот только воздух, поступивший в конденсатор через различные неплотности или в небольших количествах вместе с паром, а также выделившийся из конденсата, не может быть сконденсирован и, скапливаясь, уменьшает разрежение. Его приходится все время отсасывать.

И здесь мы сталкиваемся еще с одной «профессией» пара. Оказывается, струя пара способна поддерживать разрежение в конденсаторе, выступая в виде носителя энергии и главного воздушного насоса. Такие насосы называются пароструйными эжекторами.

В них паровая струя, расширяясь в сопле, с большой скоростью поступает в камеру разрежения (или иначе смесительную камеру) и увлекает за собой в расширяющуюся трубу паровоздушную смесь из конденсатора. В камере создается разрежение и туда засасываются новые порции паровоздушной смеси из главного конденсатора. В расширяющейся трубе скорость паровоздушной струи уменьшается, а давление повышается. Затем струя поступает в небольшой вспомогательный конденсатор, через который прокачивается питательная вода. Здесь пар

конденсируется, а отсосанный воздух выбрасывается в атмосферу.

Морская служба сурова и ответственна, но моряки любят шутить, не чураются иногда и безобидной подначки, которая разряжает напряженную атмосферу корабельных будней. Одна из таких традиционных подначек лет двадцать назад была связана со словом «вакуум», которое часто упоминалось в разговорах между машинистами особенно после окончания ремонта корабельной техники и во время опробования механизмов.

Вспоминается, как машинисты носового машинного отделения допекали машинистов кормового турбинного агрегата просьбами поискать пропавший у них вакуум то ли в своих рундуках, где хранилось матросское обмундирование, то ли в душевой.

Смех смехом, но после окончания рабочего дня машинисты носовой машины, которые закончили подготовку техники к выходу в море, сами попросили командира машинной группы послать их работать в ночную смену, чтобы помочь товарищам. Совместными усилиями вакуум в кормовом конденсаторе был «найден» и поднят до нормы. К утренней побудке командир отделения кормовой машины доложил, что агрегат готов к ходовым испытаниям.

А вообще-то «вакуум» — понятие серьезное. На кораблях этим словом обозначают величину разрежения в конденсаторе, то есть разность между атмосферным давлением и остаточным давлением в конденсаторе. Вакуум измеряется либо в миллиметрах ртутного столба, либо в процентах от величины атмосферного давления. Если говорят, что в корабельном конденсаторе вакуум поднят до 720 мм ртутного столба (или, что то же, вакуум поднят до 95 %), то это значит, что в конденсаторе давление на 720 мм ртутного столба меньше атмосферного и равно $760 \text{ мм} - 720 \text{ мм} = 40 \text{ мм}$ ртутного столба или 5 % от величины атмосферного давления.

Поддержание полного, максимально возможного вакуума в главном конденсаторе — ответственная задача для машинной вахты. Ведь даже небольшое его снижение значительно уменьшает срабатываемый в турбине перепад тепла и, следовательно, ее КПД. Такое снижение вакуума вполне возможно при подсосе воздуха всего лишь через фланцевое соединение одного из многочисленных трубопроводов, связывающих конденсатор с механизма-

ми и устройствами, расположенными в самом машинном отделении или в соседних корабельных помещениях. Естественно, что в таком случае обнаружить место подсоса совсем не просто.

Однажды в походе в главном конденсаторе носового машинного отделения внезапно резко упал вакуум. Пришлось даже перекрыть подачу пара на носовой турбозубчатый агрегат. Корабль сбавил ход. Старшина вахты быстро осмотрел конденсатор, все подводящие отработавший пар и конденсат трубопроводы, но места подсоса воздуха не обнаружил. Пароструйные эжекторы и циркуляционный насос также работали нормально.

Хорошо, что вахтенный инженер-механик слышал, как вахтенный по обеспечению котлов питательной водой послал своего дублера — молодого матроса перевести подачу питательной воды в трубопровод подпитки конденсатора с запасной цистерны правого борта на цистерну левого борта. Он мгновенно связал в уме эти переключения с падением вакуума и приказал закрыть клапан на главном конденсаторе, через который шла подпитка. Вакуум сразу стал расти. Турбозубчатый агрегат был немедленно введен в действие, корабль развил заданный ход.

При разборе происшествия выяснилось, что молодой матрос открыл клапан подачи воды из цистерны, но не обратил внимания на то, что воды в ней почти не было. Когда остатки воды сошли в трубопровод подпитки, начался сильный подсос воздуха. Ведь в цистерне поддерживалось атмосферное давление, в конденсаторе разрежение, а диаметр трубопровода подпитки был не малым — 50 мм.

Происшествие послужило суровым уроком для всех специалистов электромеханической боевой части корабля. Оно заставило старшин и матросов повысить бдительность и ответственно относиться к каждому своему действию во время несения походной вахты. А для машинистов стало уроком вдвойне, так как еще раз наглядно подтвердило, что нормальный вакуум зависит не только от надежной работы механизмов, но и от состояния всех устройств, связанных трубопроводами с главным конденсатором, где бы они не находились.

В походе приходится постоянно добавлять в конденсатор воду, чтобы возмещать неизбежные утечки пара и конденсата из трубопроводов и механизмов через саль-

ники клапанов и неплотности фланцевых соединений. Для этого на корабле имеется запас питательной воды.

Соленая морская вода не пригодна для подачи в паровые котлы. Она может вывести их из строя. Для пополнения запасов питательной воды во время дальнего похода на кораблях устанавливают опреснители — аппараты, в которых морская соленая вода нагревается отработавшим паром, испаряется, а полученный вторичный пар превращается в воду в отдельных конденсаторах. Оттуда конденсат перекачивается в запасные цистерны питательной воды.

Перед выходом в море с танкера-водолея на корабль поступает полный запас питательной воды, прошедшей химическую обработку и освобожденной от солей. Интересно, что содержание солей в речной, озерной воде и воде из артезианских колодцев может быть весьма различным. Есть реки, где вода содержит незначительное количество особо вредных солей кальция и магния. Такая вода называется «мягкой». Очень «мягкая» вода, например, в Неве. На Черном море «мягкой» водой славился порт Батуми. Ранее торговые пароходы, направлявшиеся из Одессы в дальние рейсы, специально заходили в Батуми и принимали там полный запас питательной воды.

На этом закончим первое знакомство с работой корабельных конденсаторов. В них замыкается непрерывный цикл «пар — конденсат». Конденсат, как белка в колесе, совершает постоянный круговорот в котлотурбинной установке, беспрестанно меняет свой облик, то повышая в котле внутреннюю энергию и превращаясь в пар, то совершая полезную работу в турбине и вновь конденсируясь.

Автоматы защищают турбину. В завершении нашего знакомства с паровой турбиной рассмотрим, как ею управляют и как защищают ее от аварии. Совершенно очевидно, что управление частотой вращения турбины достигается только изменением подачи пара на рабочие лопатки. Но вот изменять эту подачу можно двумя способами: качественным и количественным.

Наиболее простое качественное регулирование заключается в изменении открытия маневрового клапана на паропроводе от котла к турбине. Чем больше он открыт, тем больше пара поступает в турбину, и наоборот. Завидная простота, не правда ли? Но эта простота влечет за собой и существенный недостаток: вместе с уменьшением

расхода пара через прикрываемый клапан изменяется и качество пара — его давление и температура. Чем больше закрыт клапан, тем меньше площадь проходного сечения, тем больше потери на трение и завихрение. А следовательно, после прохода пара через закрытый клапан его давление и температура несколько уменьшаются, но при этом никакой полезной работы не совершается. Короче говоря, качественное регулирование уменьшает КПД турбины.

Суть второго способа регулирования заключается в том, что пар в турбину поступает через несколько групп сопел. Каждая группа имеет отдельный подвод пара через свой клапан, называемый сопловым. В этом случае уменьшение подачи пара в турбину производят, закрывая полностью клапан одной из групп сопел. В то же время сопловые клапаны других групп полностью открыты. Естественно, что потери давления пара в этом случае меньше, зато конструкция регулирующего устройства значительно усложнилась.

В современных корабельных турбинах для изменения частоты вращения на переднем ходу применяется количественное регулирование. А к турбине заднего хода пар поступает обычно через один маневровый клапан, то есть на заднем ходу регулирование качественное. Дело в том, что для турбины заднего хода, учитывая ее малое время действия, можно допустить некоторое снижение КПД.

Как же управляют маневровыми и сопловыми клапанами на современных турбинах? На кораблях постройки первых послевоенных лет открытие и закрытие маневровых клапанов переднего и заднего хода производилось вручную с помощью двух больших маховиков. При подходе корабля к причалу, когда командир многократно менял частоту и сторону вращения гребных винтов, вахтенному машинисту на маневровых клапанах приходилось работать довольно напряженно, вращая с большой скоростью то один, то другой маховик. После швартовки вахтенный зачастую был весь в поту.

Но все машинисты стремились освоить искусство управления маневровыми клапанами. Ведь хороший маневрист должен был в совершенстве знать особенности работы котлов и турбин на всех скоростях хода, он буквально чувствовал, когда можно ускорить открытие маневрового клапана, а когда замедлить. При слишком резком открытии маневровых клапанов можно было и «посадить»

пар в котлах, а тут недалеко и до беды — заброса воды из котлов в турбину. Так что стать хорошим маневристом, получить высокую оценку своей работы от командира корабля — это была мечта многих моряков.

Теперь же вахтенному специалисту нет необходимости открывать и закрывать каждый клапан в отдельности. Получив команду с ходового мостика на изменение скорости хода, он поворачивает один маховик управления турбиной. Через валики и шестерни поворачивается основной вал управления клапанами. На валу насажены кулачки, нажимающие в определенной последовательности на ролики коромысел, а поворот коромысла приводит к сжатию пружины и открытию клапана. При повороте вала с кулачками в обратную сторону концы коромысел опускаются и клапаны под действием пружин последовательно закрываются.

Более того, на большинстве турбинных установок поворот маховика управления турбиной приводит к перемещению не самого маневрового или соплового клапана, а только к движению золотника сервомотора, поршень которого с помощью зубчатой рейки и шестерни поворачивает кулачковый вал. Установка поршневого сервомотора облегчила управление турбиной. Теперь для этого не требуется значительных физических усилий.

Для того чтобы понять, как можно турбину надежно защитить от аварий, вспомним какая из них самая тяжелая. Прежде всего это подплавление вкладышей подшипников из-за недостаточной смазки. Такое подплавление может привести к повреждению шеек ротора, которые непосредственно опираются на вкладыши. А тогда не исключена просадка ротора и повреждение рабочих лопаток при их касании корпуса турбины. После этого турбину нужно полностью восстанавливать.

Не менее тяжелая авария связана с «разносом» турбины, то есть с превышением допустимой частоты вращения ротора. Представьте себе, что в турбину подается пар, который совершает работу по вращению гребного вала с винтом. И вдруг по какой-то причине, например из-за взрыва вражеской торпеды или авиабомбы, винт сорван с вала. Подача пара в турбину продолжается и она, оставшись без нагрузки, резко увеличит частоту вращения, которая может возрасти настолько, что произойдет отрыв рабочих лопаток и повреждение корпуса.

На прямодействующих турбинах автоматической за-

щиты от «разноса» не было. Поэтому в случае потери винта предотвратить аварию могли только быстрые и грамотные действия машинистов. В связи с этим можно вспомнить один эпизод Великой Отечественной войны.

Тогда военно-морские специалисты многих стран были просто поражены, узнав, что крейсер Черноморского флота «Красный Кавказ» 29 декабря 1941 г. дерзко ворвался в захваченный фашистами порт Феодосия и под ураганным огнем противника высадил прямо на причал стрелковый полк со всем вооружением. Такого никогда не было в истории военно-морского флота. 4 января крейсер доставил в Феодосию зенитный артиллерийский дивизион со всеми орудиями, тягачами и бойцами в количестве 1200 человек.

Когда разгрузка техники и высадка людей уже заканчивались, на корабль налетели фашистские самолеты. Три бомбы разорвались рядом с крейсером. Корабль получил серьезные повреждения. Командир дал ход и отошел от причала. Из-за затопления части помещений осадка резко увеличилась, а корма почти скрылась под водой. Вновь налетели самолеты. Корабельные зенитчики отбили все атаки, но одна бомба все же разорвалась вблизи борта.

Сразу же после взрыва в кормовом машинном отделении послышался резкий нарастающий вой. Машинист В. Гончаров, несший вахту на маневровых клапанах правого кормового турбинного агрегата, сообразил, что турбина резко увеличила обороты и пошла вразнос. «Оторван винт», — подумал он и, не дожидаясь команды, перекрыл пар, поступавший на турбину. Катастрофа была предотвращена.

На корабле в строю остались только два прямодействующих турбинных агрегата из четырех, рули не действовали, крен составлял 4° , дифферент на корму достиг 4 м. Благодаря мужеству и героизму всего экипажа крейсер по штормовому морю дошел до Туапсе. В апреле 1942 г. за проявленную отвагу в боях с немецкими захватчиками, за стойкость, мужество, дисциплину и организованность, за героизм всего личного состава экипаж крейсера был удостоен гвардейского звания. После ремонта крейсер вновь участвовал в боевых походах до конца войны.

Но то, что еще возможно было сделать на прямодействующем турбинном агрегате, где максимальная частота вращения не превышала 600 об/мин, то невозможно сделать вручную сейчас, когда ротор турбины на полном хо-

ду развивает 3000...5000 об/мин. Для защиты турбин от аварии теперь на главном паропроводе перед турбиной высокого давления устанавливают быстрозапорный клапан. Он автоматически закрывается и перекрывает подачу пара на турбину при падении давления масла в системе смазки подшипников ниже определенного значения. То же произойдет в случае превышения допустимой частоты вращения ротора турбины. В случае необходимости этот клапан может быть закрыт вручную.

Импульсом для закрытия клапана при «разносе» турбины служит скачок давления масла в системе автоматики. Делается это так. На носовом торце вала турбины установлен небольшой масляный насос. Чем больше частота вращения ротора турбины, тем быстрее вращается крылатка насоса и тем выше давление масла на выходе. Если частота вращения превысит допустимое значение, импульс давления масла от этого вспомогательного насоса передастся в систему автоматики быстрозапорного клапана и вызовет его автоматическое закрытие. Подача пара на турбину прекратится, ротор турбины уменьшит частоту вращения и остановится.

4. СТАНОВЛЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО КОРАБЕЛЬНОГО ТУРБОСТРОЕНИЯ

Как появились линкоры. 1905 г. стал поворотным в истории русского флота. Предстояло строить новые корабли с учетом трагического опыта морских сражений на Дальнем Востоке. Царизм потерпел сокрушительное поражение в войне с Японией. Несмотря на то что русские моряки показали в боях образцы стойкости и самоотверженности, на ход сражений повлияли отсталость царской России, бюрократизм и косность царских сановников, приведшие ко многим просчетам и ошибкам при постройке кораблей и оснащении их вооружением и техническими средствами.

Комиссия под председательством морского министра выработала тактико-техническое задание на строительство новых линейных кораблей (линкоров), а также главных турбинных механизмов для них, впервые устанавливаемых на больших бронированных кораблях русского флота.

Эти линкоры должны были превосходить по мощи оружия и скорости хода знаменитый новейший английский линкор «Дредноут». Предусматривалась установка артил-

лерии главного калибра: 12 мощных орудий калибром 305 мм, размещенных в четырех башнях. В качестве артиллерии противоминного калибра, предназначенной для отражения атак миноносцев и легких крейсеров, предполагалось использовать 16 орудий калибром 120 мм, установив их под верхней палубой в бронированных казематах. Скорость хода корабля должна была быть не менее 22 узлов.

Летом 1907 г. морской министр решил провести всемирный конкурс на составление общего проекта линкора и механизмов для него. Всего было представлено 40 проектов, в том числе от ведущих иностранных кораблестроительных фирм: английской «Виккерс», немецких «Блом и Фосс», «Вулкан», итальянской «Ансальдо», французской «Луарская верфь».

Были представлены проекты русских Балтийского и Николаевского заводов и интересный проект известного русского кораблестроителя профессора К. П. Боклевского, намного опередившего свое время (он предлагал установить на линкорах дизели с электропередачей на винт, что было частично выполнено при строительстве немецких «карманных» линкоров лишь через 20 лет).

В рассмотрении всех представленных проектов самое живое участие принял будущий академик Алексей Николаевич Крылов, в то время главный инспектор кораблестроения русского ВМФ. В ходе обсуждения проектов он заявил, что с точки зрения строительной механики корабля наилучшим, далеко оставляющим за собой все остальные проекты, являлся проект Балтийского завода, разработанный под руководством известного корабельного инженера профессора Морской академии И. Г. Бубнова. Этот проект в конце концов и был принят. Техническое бюро завода приступило к разработке необходимой для постройки корабля документации.

В качестве главных механизмов были приняты прямодействующие реактивные турбины Парсонса, как наиболее надежные в то время. Четырехвальная установка, состоявшая из двух одинаковых агрегатов, была размещена в трех турбинных и двух конденсаторных отделениях. Полная мощность установки на переднем ходу составляла 42 тыс. л. с. при частоте вращения гребных винтов 320 об/мин. Мощность установки на заднем ходу была равна примерно половине мощности на переднем ходу (уже в советское время после перевода котлов с угольно-

го на мазутное отопление линкоровские турбины развивали мощность до 50 тыс. л. с.). Турбины работали на насыщенном паре с давлением перед турбиной высокого давления 13 кгс/см² и температурой 195 °С.

Алексей Николаевич Крылов в своих воспоминаниях рассказал о борьбе с бюрократами-чиновниками военноморского ведомства и об усилиях, которые пришлось приложить для установки на новых линкорах только лучшего, надежного механического оборудования. Изготовленные на Балтийском заводе турбины могли развивать мощность 45 тыс. л. с., лишь бы котлы выработали достаточно пара; кораблю были приданы такие размеры и обводы, чтобы он имел ход до 24 узлов.

Но наряду с этим на линкоры предполагалось установить устаревшие водотрубные котлы системы французской фирмы «Бельвиль». Эти котлы могли обеспечить подачу пара для получения на гребных валах мощности не более 32 тыс. л. с., что давало скорость 21,75 узла.

А. Н. Крылов настаивал на установке водотрубных котлов треугольного типа, которые к этому времени уже более четырех лет успешно работали на эсминцах. Он привлек к обсуждению вопроса флагманских механиков Балтийского флота, и общими усилиями сопротивление царских бюрократов было наконец сломлено. На линкорах установили новые котлы.

Таким образом, благодаря энергии и настойчивости А. Н. Крылова в 1909—1914 гг. на Балтийском заводе были построены линкоры «Севастополь» и «Петропавловск», а на Адмиралтейском — «Полтава» и «Гангут». После Октябрьской революции три из них — «Марат» (бывший «Петропавловск»), «Октябрьская революция» (бывший «Гангут») и «Парижская коммуна» (бывший «Севастополь») многие годы составляли главную ударную силу Краснознаменного Балтийского и Черноморского флотов и активно участвовали в Великой Отечественной войне (рис. 13).

В 1908 г., добиваясь осуществления своих идей, А. Н. Крылов говорил: «Не о едином дне надо заботиться, а предвидеть, что можно, и проектировать корабль так, чтобы он возможно долгое время оставался боеспособным и мощным. Вот что положено мною в основу проектирования наших линейных кораблей».

А через 31 год в журнале «Морской сборник» он же написал: «Прошло 25 лет с тех пор, как эти линейные ко-

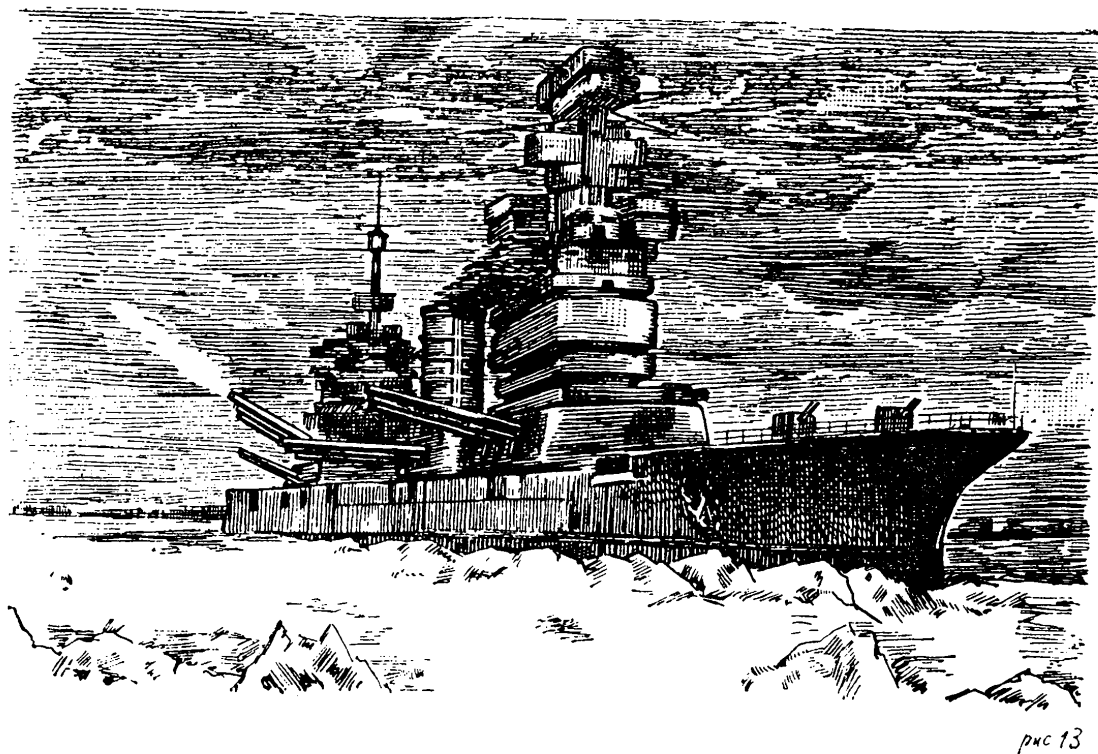


Рис. 13. Линейный корабль «Октябрьская революция» поддерживает своим огнем наступление советских войск под Ленинградом в январе 1944 г.

рабли вступили в строй. Все иностранные сверстники наших линейных кораблей давно обращены в лом, наши же гордо плавают по водам Балтики и Черного моря. «Ваш превосходный «Марат» с честью несет социалистическую вахту в течение 18 лет». Этим приветствием товарища Ворошилова линейному кораблю «Марат», этими словами я имею основание гордиться и считать, что данное мною в 1908 г. обещание выполнено» *.

«Новик» устанавливает рекорд скорости. 1 августа 1910 г. на Путиловской верфи в Петербурге был заложен эскадренный миноносец «Новик», первый в большой серии новых русских эсминцев (53 корабля). Создание «Новика» явилось результатом настойчивых усилий передовых русских моряков, кораблестроителей и инженеров-механиков по созданию быстроходного многоцелевого корабля с мощным торпедным и артиллерийским вооружением.

По проекту водоизмещение было определено 1260 т, но при таком водоизмещении паровые поршневые машины уже не могли обеспечить кораблю скорость хода более 30 узлов, что требовалось согласно тактико-техниче-

* Крылов А. Н. Мои воспоминания.— Л., 1979.

скому заданию. Эти машины имели бы такие размеры и массу, что просто не уместились бы на корабле. Поэтому конструкторы решили установить на «Новике» новейшие механизмы: прямодействующие турбины и водотрубные котлы треугольного типа с нефтяным отоплением. Он явился первым в русском флоте турбинным эсминцем и первым кораблем с котлами на нефтяном отоплении. И вот результат: удельная масса энергетической установки «Новика» 15 кг/л. с., а у лучших эсминцев того времени иностранной постройки — 28 кг/л. с.

На корабле установили три прямодействующие турбины, вращавшие три гребных винта. Мощность каждой турбины на полном ходу достигала 14 тыс. л. с. при частоте вращения гребных винтов 650 об/мин, начальное давление насыщенного пара перед соплами турбины было 14 кгс/см², а температура 200 °С.

Применение активных колес со ступенями скорости позволило сократить общее число ступеней давления и сработать весь перепад тепла в одной турбине, а не в двух, как в реактивных турбинах линкора. За счет этого сократилась масса и размеры турбинной установки, что особенно важно для сравнительно небольших кораблей класса эсминцев.

Первый этап испытаний в море показал недобор мощности и скорости из-за нехватки пара для главных турбин. После замены главных котлов новыми большей паропроизводительности и некоторых вспомогательных механизмов водоизмещение корабля составило 1400 т. «Новик» вышел в море и развил рекордную по тому времени скорость 37,3 узла (69,1 км/ч).

Боевые качества «Новика» в полную меру проявились в годы войны. В ночь на 17 августа 1915 г. два новейших германских эсминца скрытно проникли в Рижский залив. На подходе к Михайловскому маяку их смело атаковал «Новик». Умело маневрируя и используя значительное преимущество в скорости, он добился успеха. Вскоре один из кораблей подорвался на mine, а второй, поврежденный артиллерийским огнем, поспешил скрыться. «Новик» вышел победителем из боя, не получив ни одного повреждения и не понеся потерь в людях.

Первенец советского надводного кораблестроения. Несмотря на победоносное завершение гражданской войны, изгнание интервентов и белогвардейцев за пределы Советской республики, мировой империализм не оставил

надежды сокрушить первую в мире Страну Советов. Международная обстановка требовала от партии большевиков и Советского правительства неослабного внимания к укреплению обороны страны. Еще в 1924 г. Народный комиссар по военным и морским делам Михаил Васильевич Фрунзе сказал: «Перед нами во весь рост встает необходимость немедленно приступить к постройке новых судов... Реввоенсовет твердо и незыблемо стоит на той точке зрения, что флот нам крайне необходим, что мы должны его развивать» *.

В декабре 1926 г. Советом Труда и Обороны была утверждена первая шестилетняя программа военного кораблестроения, предусматривавшая кроме достройки кораблей, заложенных еще до революции, строительство первых кораблей по новым советским проектам: 12 подводных лодок, 18 сторожевых кораблей и 26 торпедных катеров. Не прошло и десяти лет после победы Октября, как Советская страна, оправившись от военной разрухи, начала строить первые свои корабли.

Трудность создания проекта нового сторожевого корабля заключалась в том, что прошло более 15 лет после окончания проектирования артиллерийско-торпедных кораблей малого водоизмещения дореволюционной постройки и была утеряна преемственность и последовательность в проектировании и строительстве кораблей. Тем более впечатляющим был успех советских кораблестроителей.

В августе 1927 г. закладываются шесть сторожевых кораблей типа «Ураган». Их полное водоизмещение 530 т, при мощности энергетической установки 6400 л. с. скорость достигала 24...26 узлов. На них впервые в нашей стране установили паровые турбины, вращавшие гребные валы через одноступенчатый зубчатый редуктор. По сравнению с прямодействующими турбинами эсминцев типа «Новик» турбозубчатые агрегаты были более легкими и имели больший КПД. На этих же сторожевиках также впервые в стране установили водотрубные котлы треугольного типа с пароперегревателями, вырабатывавшими пар с давлением 21 кгс/см² и температурой 280 °С.

Вообще многое на этих кораблях было сделано впервые. Так, впервые для создания вакуума в главных конденсаторах установили вместо поршневого насоса паро-

* Фрунзе М. В. Избранные сочинения. Т. 2.— М., 1957.

струйные эжекторы. Впервые для повышения живучести энергетической установки приняли эшелонное расположение котлов и турбин, размещаемых в 4-х водонепроницаемых отсеках (носовой котел, носовой турбинный агрегат, кормовой котел, кормовой турбинный агрегат). В этих же целях главный паропровод и силовые электрокабели размещались по обоим бортам.

На сторожевики установили мощное вооружение: два орудия калибром 102 мм, три 40-мм автоматические установки, три крупнокалиберные пулемета, а также трехтрубный торпедный аппарат для торпед диаметром 450 мм. От полубака до кормы по обоим бортам устанавливались минные рельсы для 50 мин, на корме — бомбосбрасыватели для глубинных бомб. Тактико-технические данные этих кораблей не уступали, а частично даже превосходили подобные же данные кораблей иностранной постройки. А ведь это были наши первенцы.

Некоторые руководители судостроения считали необходимым заказать главные турбозубчатые агрегаты для сторожевиков за рубежом, но победила другая точка зрения. Первый отечественный корабельный турбозубчатый агрегат был спроектирован в невиданно короткие сроки коллективом конструкторов под руководством и при непосредственном участии видного советского инженера А. В. Сперанского. Именно он доказал необходимость применения перегретого пара и перехода от прямодействующих турбин к турбозубчатым агрегатам. Много он сделал и для расчета впервые примененных пароструйных эжекторов и их доводки на стенде.

Первая модель пароструйного эжектора не дала необходимого вакуума в главном конденсаторе. И только в результате продолжительных наладочных испытаний удалось создать эжектор, работавший устойчиво и надежно. Он состоял из двух отдельных корпусов для первой и второй ступеней, и после каждой ступени пар конденсировался в трубчатых конденсаторах. Такая схема позже с успехом использовалась и на других кораблях.

Первый отечественный корабельный турбозубчатый агрегат максимальной мощностью 3750 л. с. объединял в себе турбину высокого давления с частотой вращения 8400 об/мин и турбину низкого давления с частотой вращения 4200 об/мин. Мощность от обеих турбин передавалась на гребной вал при помощи одноступенчатого редуктора.

Налаживание производства турбин и редукторной передачи сопровождалось колоссальными трудностями. Иностранная фирма «Маффей», согласившаяся изготовить турбинные лопатки для одного корабля, а затем передать все необходимые приспособления, шаблоны и инструмент для организации лопаточного производства в СССР, под различными предлогами пыталась затянуть выполнение заказа до конца 1929 г. Договор пришлось расторгнуть и приступить к самостоятельному изготовлению лопаток в турбинной мастерской кораблестроительного завода, который к тому времени уже располагал необходимыми станками.

Испытание ротора турбины высокого давления на «разнос» было проведено в специальной камере, под которую приспособили боевую рубку старого броненосца «Цесаревич». Проверая прочность крепления рабочих лопаток в роторе, частоту вращения довели до 10 000 об/мин.

Несмотря на то что совместная центровка двух корпусов турбин, зубчатой передачи, гребного вала и гидротормоза у нас в стране производилась впервые, работа эта была превосходно выполнена мастером сборочного участка И. И. Фабишевским. Вибрации узлов абсолютно не было: монета, поставленная на ребро на носовом подшипнике турбины высокого давления при наибольшей частоте вращения ротора и полной нагрузке, не падала и лишь слегка поворачивалась вокруг вертикальной оси.

Первые же испытания показали неустойчивую работу конденсатного насоса. Он действовал нормально только при повышенном уровне конденсата. А если уровень в главном конденсаторе падал?

Проще всего было опустить насос, чтобы создать постоянный подпор на всасывании (теперь это так и делается). Но при строительстве первых сторожевиков подобный простейший способ был неприемлем. Перемещение насосов вниз повлекло бы серьезные переделки фундаментов и элементов набора корпуса, а в результате привело бы к задержке строительства кораблей.

Здесь еще раз проявилась высокая техническая эрудиция А. В. Сперанского. Он определил, что причиной срыва работы насоса было скопление пузырьков воздуха перед крыльчаткой, и предложил отсасывать эти пузырь-

ки в главный конденсатор по дополнительной трубе небольшого диаметра. Время и средства были экономлены.

В 1931 г. в состав флота вошли новые сторожевые корабли «Ураган» и «Тайфун», а в течение девяти месяцев 1932 г. — сторожевики «Смерч», «Циклон», «Гроза» и «Вихрь». Затем были заложены сторожевые корабли второй серии, которые начали свою службу в годы второй пятилетки.

За 7 лет в 17 раз. За первыми сторожевыми кораблями последовали новые лидеры, эскадренные миноносцы и, наконец, крейсера.

22 октября 1935 г. на одном из кораблестроительных заводов состоялась закладка нового крейсера «Киров» в присутствии Михаила Ивановича Калинина и руководителей областной партийной организации. В средней части вертикального киля к его верхней полке была прикреплена серебряная «закладная» пластина.

Началу строительства крейсера предшествовала напряженная работа по проектированию корпуса, энергетической установки и вооружения. В декабре 1934 г. Совет Труда и Оборона СССР утвердил проект крейсера со следующими тактико-техническими данными: бронирование бортов и палубы толщиной 50 мм, боевой рубки — 150 мм, лобовой плиты башен главного калибра — 75 мм. Вооружение: 9 180-мм орудий в трех башнях главного калибра, 12 100-мм и 45-мм зенитных орудий, два трехтрубных торпедных аппарата, два небольших гидросамолета.

Котлотурбинная энергетическая установка в составе шести главных котлов и двух турбозубчатых агрегатов размещалась поэшелонно и должна была развивать мощность на двух гребных валах до 110 тыс. л. с., что обеспечивало кораблю скорость хода более 35 узлов.

Для ускорения изготовления главных турбин и отдельных вспомогательных механизмов использовались поставки и техническая консультация фирмы «Ансальдо». Однако итальянцы плохо выполняли свои обязательства, а при монтаже электромеханического оборудования чересчур много внимания уделяли выявлению тактико-технических данных вооружения. От их помощи пришлось отказаться еще до начала испытаний. На всех последующих крейсерах этого проекта турбозубчатые агрегаты были изготовлены полностью на советских заводах.

Крейсер «Киров» строила вся страна. Металлургиче-

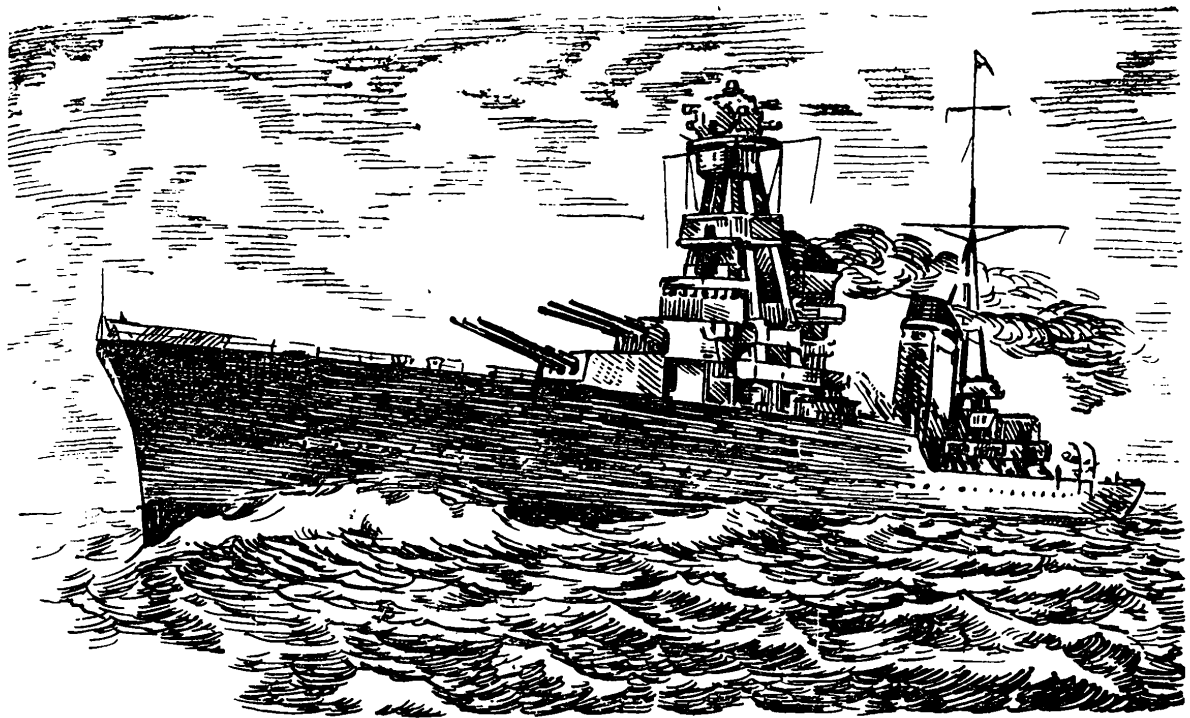


рис. 14. Краснознаменный крейсер «Киров»

ские заводы Магнитогорска, Краматорска и Ленинграда поставляли листовую сталь и профильный прокат, заводы Харькова, Ленинграда, Москвы и других городов делали электрооборудование и приборы управления стрельбой.

Коллектив кораблестроительного завода взял обязательство спустить корабль со стапеля на воду с установленными на место котлами, турбинами и основными вспомогательными механизмами ровно через год после закладки. Впервые в стране погрузка и монтаж таких больших котлов и других мощных механизмов осуществлялись прямо на стапеле. И коллектив завода слово сдержал — 30 ноября 1936 г. громада крейсера, вздымая высокие волны, сошла со стапеля завода.

7 августа 1937 г. «Киров» снялся с якоря на рейде и начал первое самостоятельное плавание. Хотя он и не развил полного хода, но сопровождавшие корабли начали отставать. Потянулись напряженные дни заводских испытаний: отстрел орудий, проверка работы механизмов на всех скоростях хода (рис. 14). А в декабре при 8-балльном шторме проверялась прочность корпуса, работа механизмов и вооружения. Корабль шел полным ходом вдоль Гогланского плеса. Сердца кораблестроителей и моряков при виде быстро исчезающих за кормой пенистых валов наполнялись гордостью. В машинных отделениях (если не смотреть на вращавшийся фланец вала у

главного упорного подшипника турбозубчатого агрегата или на стрелку тахометра, дрожавшую у красной цифры) о стремительном движении корабля можно было только догадываться. О нем свидетельствовал только мощный ровный гул редукторов главных турбин и вздрагивание всего корпуса при ударе волн в носовой части. Могучие турбины работали превосходно.

Спустя семь лет мощность главных турбин, устанавливаемых на вводимых в строй кораблях Советского ВМФ, выросла в 17 раз. Флот Страны Советов мужал и готовился к защите Родины в предстоящих боях Великой Отечественной войны.

На этом можно закончить знакомство с корабельной котлотурбинной энергетической установкой. Паровая турбина — это прошлое и настоящее нашего флота, а каково будущее? Об этом разговор пойдет дальше.

ГЛАВА 2. ГАЗОВАЯ ТУРБИНА ПОБЕЖДАЕТ!

И свищут нам ракеты в небесах,
Что дед-пропеллер может и на отдых,
И, словно о фрегатах в парусах,
Мы думаем теперь о пароходах.
Пар! Отпыхтел свое он и уплыл,
И хорошо, и тосковать не станем
О том, что топок антрацитный пыл
Мы заменили внутренним сгоранием.

Леонид Мартынов

1. ПОЧЕМУ ГАЗ В ТУРБИНЕ ЛУЧШЕ ПАРА

Новое рабочее тело. Разберемся, является ли водяной пар наилучшим рабочим телом в турбинном тепловом двигателе? Ведь для его получения питательную воду, подаваемую в паровой котел под большим давлением, нагревают до температуры кипения, а затем испаряют, то есть производят значительную затрату тепла. Потом в конденсаторе при охлаждении отработавшего пара и превращении его вновь в воду выделившееся при конденсации тепло приходится отводить.

Нельзя ли исключить такие бесполезные превращения из рабочего цикла турбинного двигателя? Оказывается можно, если в качестве рабочего тела использовать газ.

На рис. 15 изображена схема газотурбинной установки открытого цикла, которые сейчас широко применяются на флоте. Проследим же путь воздуха и газов в этом новом для нас типе судовой энергетической установки.

Поступивший из атмосферы воздух сжимается в компрессоре, что приводит к повышению его давления и температуры. Затем он нагнетается в камеру сгорания, куда поступает и топливо, которое сгорает, образуя горячие газы. Из камеры эти газы направляются в газовую турбину, расширяются и совершают работу по вращению компрессора и гребного вала с винтом. Закончив цикл движения по газотурбинному двигателю, отработавшие газы попадают обратно в атмосферу.

Газотурбинная установка схожа с паротурбинной в главном: как в той, так и в другой тепловая энергия (горячего газа или пара) превращается в механическую работу на вращающихся лопатках турбинного двигателя. Но есть и одно принципиальное отличие. В газотурбинной

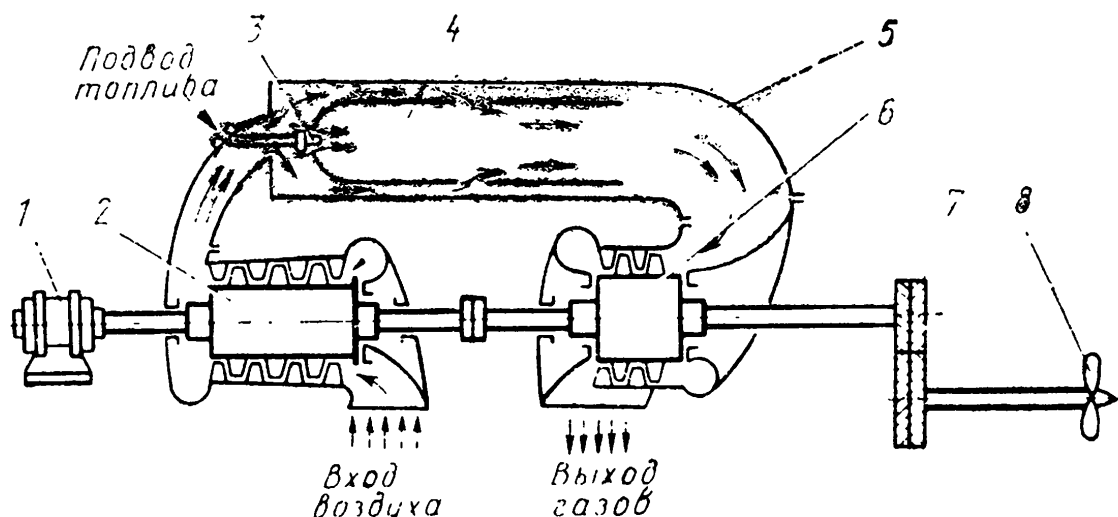


Рис. 15. Схема газотурбинной установки открытого цикла:

1 — пусковой электродвигатель-стартер; 2 — компрессор; 3 — топливная форсунка; 4 — камера сгорания; 5 — защитный кожух камеры сгорания; 6 — газовая турбина; 7 — редуктор; 8 — гребной винт корабля

установке рабочее тело все время остается газом и не меняет своего состояния, не превращается в жидкость. Поэтому в ней нет ни котлов, ни конденсаторов, то есть того оборудования, где происходят так называемые фазовые превращения рабочего тела (вода в пар, а затем пар обратно в воду). Не нужны газовой турбине и запасы питательной воды.

Как сказано выше, эта установка называется установкой открытого цикла. Почему? При выходе из турбины газы выбрасываются в атмосферу, оттуда же в компрессор поступают и новые порции воздуха. Таким образом, именно в атмосфере происходит замыкание цикла движения рабочего тела. Горячие газы после турбины имеют довольно высокую температуру, а компрессор засасывает наружный воздух с температурой обычно не более 20... 30 °С, то есть атмосфера играет роль своеобразного охладителя рабочего тела. Короче говоря, цикл завершается в открытом пространстве наружной атмосферы, поэтому он и называется открытым.

Благодаря этим особенностям газотурбинная установка имеет меньшие массу и размеры, чем паротурбинная такой же мощности. Правда, следует учитывать, что воздух благодаря свойственной ему упругости требует значительно большей затраты энергии на сжатие, чем практически несжимаемая вода, и расход энергии на вращение компрессора может достигать до 75 % от полной мощности, развиваемой газовой турбиной. Но даже и с учетом

этого масса и размеры газотурбинной установки открытого цикла значительно меньше.

Для работы газовой турбины в камеру сгорания необходимо подать сжатый воздух и топливо. Воздух нагнетается компрессором, а сам компрессор вращается турбиной. Как же начнет работать компрессор, если в момент пуска в турбине нет еще горячих газов? На помощь приходит пусковой электродвигатель — стартер, который раскручивает компрессор и соединенную с ним газовую турбину до тех пор, пока из камеры сгорания не будет поступать достаточного количества нагретого до нужной температуры газа. Турбина начинает работать, а стартер отключается.

Жидкое топливо (обычно дизельное или газотурбинное), подаваемое через форсунку в камеру сгорания, первоначально зажигается запальным электроустройством. В дальнейшем оно воспламеняется уже от горящего факела в самой камере.

Воздух от компрессора делится на первичный и вторичный потоки. Первичный поток — одна четверть от общего количества — подводится непосредственно к факелу. Он необходим для качественного распыления и полного сгорания топлива. Остальные три четверти воздуха поступают в промежуток между камерой сгорания и защитным кожухом для охлаждения корпуса. Этот охлаждающий воздух подводится через отверстия в центральной части камеры, смешивается с горячими газами и снижает температуру газовоздушной смеси, поступающей в турбину, до 800...900 °С. Там смесь расширяется, снижает свое давление почти до атмосферного, а затем выбрасывается наружу.

«Профессии» газовой турбины. Как газ движет корабль. Различно назначение корабельных газотурбинных установок: главные вращают гребные винты или приводят в действие другие типы корабельных двигателей, а вспомогательные — обслуживают генераторы электрического тока, центробежные водяные насосы и другие корабельные механизмы.

Главные установки делятся в свою очередь на всежимные и ускорительные. Первые в соответствии со своим названием работают на всех режимах движения корабля передним и задним ходом, вторые вводятся в действие только тогда, когда кораблю необходимо развить большую скорость на переднем ходу. Для этого на кораб-

ле дополнительно установлены и так называемые маршевые двигатели, обычно дизели. Они вращают гребные винты на средних и малых передних ходах, а также при движении задним ходом.

Существенным недостатком схемы, изображенной на рис. 15, является жесткая связь турбины, компрессора и потребителя мощности — гребного винта, что значительно затрудняет пуск. Пусковому электродвигателю приходится вращать весь агрегат, да и КПД установки в этом случае на малых нагрузках низок. Вот почему такую схему используют в основном только для вспомогательных механизмов, в первую очередь газотурбогенераторов. Ведь после запуска они обычно длительно работают с большой нагрузкой, а самих запусков производится сравнительно немного.

Для исключения такой жесткой связи компрессор и корабельный винт снабжают отдельными газовыми турбинами. В этом случае общий перепад тепла, срабатываемый в газовой турбине, делится так же, как и в паровых турбинах. Например, полный перепад тепла, который ранее срабатывался в одной газовой турбине, срабатывают последовательно сначала в турбине высокого давления, приводящей в действие компрессор, а затем в турбине низкого давления, вращающей корабельный винт.

В настоящее время наиболее распространена схема судовой газотурбинной установки, в которой общий перепад тепла разделен на три части и горячие газы работают последовательно в турбине высокого давления, вращающей компрессор высокого давления, затем в турбине низкого давления, вращающей компрессор низкого давления, и, наконец, в турбине винта, которая через редуктор вращает гребной винт.

Компрессор низкого давления и его приводная турбина называются контуром низкого давления, а компрессор высокого давления со своей турбиной — контуром высокого давления. Эти контуры, как и турбина винта, уже не имеют жесткой связи между собой, как в простейшей газотурбинной установке, и при работе вращаются с различными наивыгоднейшими скоростями. Выделение отдельной турбины для винта позволило сделать ее реверсивной, способной менять сторону вращения так же, как паровые. Такие турбины установлены, например, на судах-контейнеровозах типа «Капитан Смирнов».

Отдельный контур высокого давления значительно об-

легчает запуск установки: теперь стартеры раскручивают только этот контур до тех пор, пока из камеры сгорания не начнет поступать газ с необходимым давлением и температурой в количестве, достаточном для начала работы турбин высокого и низкого давления. После этого стартер автоматически отключается.

Рассматривая главные преимущества газовой турбины по сравнению с паровой, прежде всего следует остановиться на коэффициенте полезного действия. КПД любого двигателя в первую очередь зависит от температуры рабочего тела, поступающего в него. Чем выше эта температура, тем выше КПД. В судовых паротурбинных установках температура пара ограничена прочностью стенок водогрейных труб и достигает 450...550 °С. Сопла же и рабочие лопатки турбин высокого давления можно охлаждать и, изготовив их из теплостойких сплавов, подать на них рабочее тело с температурой 900...1000 °С. Понятно, что такая температура «не под силу» паровому котлу. Сейчас газотурбинные установки открытого цикла имеют КПД 28...34 %. Это меньше, чем у двигателей внутреннего сгорания, но значительно выше, чем у паротурбинных установок.

Для того чтобы газотурбинная установка работала при более высоких температурах газа, разрабатываются новые жаропрочные материалы с большим сроком службы. Того же можно достигнуть, применив более действенные способы охлаждения деталей газовой турбины высокого давления.

В газовой турбине удачно сочетаются положительные качества паровых турбин и двигателей внутреннего сгорания. Она, как и паровая турбина, позволяет получить значительную мощность в одном агрегате, но при той же мощности имеет меньшие массу и размеры. Сейчас, когда масса и объемы, занимаемые системами корабельного оружия, резко возросли, возможность сокращения массы, выделяемой на энергетическую установку, особенно ценна.

Газотурбинная установка более маневренна, чем паротурбинная: подготовка ее к действию и вывод на полную мощность занимает значительно меньше времени. И, наконец, для обслуживания газотурбинной установки требуется меньше людей.

К сожалению, у газовых турбин пока меньший ресурс, чем у паровых, но зато у них облегчен агрегатный ремонт.

Это означает, что в течение одних-двух суток можно демонтировать газотурбинный двигатель и установить на его место новый, то есть заменить целый агрегат (отсюда и название — агрегатный ремонт).

Значит, газовая турбина во всем лучше паровой? Пока еще нет. В паротурбинных установках сжигают мазут, а для газовых турбин необходимо дорогое дизельное топливо. Немаловажно и то, что пока мощность корабельных паровых турбин в одном агрегате значительно больше, чем газовых. Поэтому на таких кораблях, как авианосцы и крейсера, до сих пор устанавливают чаще всего паровые турбины. Ремонт газотурбинных двигателей более сложен и требует участия специалистов самой высокой квалификации. Играет роль и то, что в газотурбинных установках устройства для перевода вращения гребного винта с переднего на задний ход, более сложны, чем в паровых. Но все эти недостатки устранимы. И абсолютно ясно, что газотурбинные установки будут развиваться и широко применяться на кораблях и судах. Это один из наиболее перспективных типов транспортных тепловых двигателей.

С самолета на катер. Ускоритель или всережимный двигатель? Наша страна была пионером в создании и освоении корабельных газовых турбин. Еще в 1885 г. подпоручик Назаров выдвинул идею применения такой турбины для вращения корабельного гребного винта, а одна из первых серьезных попыток создания газотурбинного двигателя связана с деятельностью известного флотского механика П. Д. Кузьминского, о котором уже упоминалось в связи с установкой на корабле паровой турбины.

Кузьминский спроектировал и построил газопаровую турбину для небольшого катера. Но смерть изобретателя в 1900 г. и равнодушие царских чиновников не дали довести эту работу до конца и испытать новый двигатель.

В 20—30-х годах советскими учеными В. М. Маковским, Б. С. Стечкиным, В. В. Уваровым и инженером Г. И. Зотиковым были опубликованы работы, которые легли в основу проектирования и создания современных газотурбинных установок. Уже в 1939 г. под руководством профессора В. М. Маковского на Харьковском турбогенераторном заводе проектируется и строится газотурбинная установка мощностью 1000 л. с., работающая при весьма высокой температуре газа перед турбиной (850 °C).

Турбинный диск и лопатки в этой установке охлаждались водой, подводимой через сверления в валу, топливом являлся газ, получавшийся при подземной газификации каменного угля. Этот газ подавался в камеру сгорания поршневым компрессором, а другой компрессор направлял туда же воздух под давлением 3...4 кгс/см². Газовая турбина вращала генератор электрического тока, который на испытаниях развил мощность до 400 кВт. К сожалению, испытания прервались в начале Великой Отечественной войны, а установка была разрушена фашистами в период оккупации Донбасса.

В 40-х годах благодаря успехам наших металлургов и теплотехников появилась возможность проектировать и изготавливать газотурбинные установки, длительно работающие при высокой температуре газов (700 °С и выше), что позволило добиться повышения КПД турбины. В 1944—1945 гг. газотурбинный двигатель устанавливали на самолеты, что резко увеличило их скорость и грузоподъемность.

В послевоенные годы создаются газотурбинные двигатели, рассчитанные на длительную работу на электростанциях и газоперекачивающих станциях. Ведутся работы по внедрению газотурбинного двигателя на железных дорогах и большегрузных автомашинах.

На флоте газотурбинную установку вначале использовали на кораблях малого водоизмещения (торпедные катера, малые противолодочные корабли) в качестве ускорительных двигателей, сообщавших кораблю большую скорость только во время преследования, атаки или отрыва от противника. Это было вполне естественно, так как корабельные газотурбинные двигатели, созданные по образцу авиационных, имели небольшие массу и размеры, но сравнительно ограниченный ресурс, то есть малое время работы между заводскими ремонтами. В остальное время на этих кораблях для движения использовались дизели.

В дальнейшем конструкторы добились значительного увеличения ресурса и надежности газотурбинных двигателей, в результате на малых кораблях стали использовать всережимные установки, вращающие гребные винты постоянно, а не только во время атаки.

Так, главная энергетическая установка морских судов на подводных крыльях типа «Тайфун», построенных в 1971 г., состояла из двух газотурбинных двигателей авиа-

ционного типа мощностью по 1286 кВт (1750 л. с.), от которых при помощи угловых передаточных колонок вращались гребные винты.

Начиная с 60-х годов в нашей стране мощные газотурбинные двигатели начали устанавливать на кораблях большого водоизмещения.

До сих пор мы употребляли старую единицу измерения мощности — лошадиную силу. Теперь же во всех сферах деятельности обязательна к применению Международная система единиц — СИ. В этой системе единицей мощности является ватт (Вт), а 1000 Вт — это один киловатт (кВт). Одна л. с. равна 0,736 кВт. Начиная с этой страницы мощность современных корабельных двигателей будет указываться и в кВт. А старую единицу мы будем использовать только ведя разговор о двигателях, установленных на кораблях и судах постройки начала нынешнего века.

В июле 1964 г. государственная комиссия приняла для использования на судах новую газотурбинную установку ГТУ-20, изготовленную на прославленном ленинградском Кировском заводе. А в 1966 г. первый газотурбоход — сухогруз «Парижская коммуна» водоизмещением 22 тыс. т с ГТУ-20 в качестве главного двигателя был принят в состав Морского флота СССР.

Установка (рис. 16) состоит из двух одинаковых газотурбинных двигателей с наибольшей мощностью каждого 4780 кВт (6500 л. с.). В составе двигателя контуры низкого и высокого давления. Причем турбина низкого давления работает не только на свой компрессор, но и через двухступенчатый редуктор передает вращение на винт регулируемого шага диаметром 6,3 м.

После компрессора низкого давления воздух охлаждается, а затем поступает в компрессор высокого давления. Там он сжимается до 9,25 кгс/см², а затем обогревается в регенераторе за счет тепла отработавших в турбинах газов и с температурой 330 °С направляется в камеру сгорания.

Оттуда горячие газы с температурой 750 °С поступают в турбины сначала высокого, а затем низкого давления. После регенератора отработавшие газы с температурой 240 °С выпускаются в атмосферу.

Установка ГТУ-20 нереверсивная, а изменение с переднего на задний ход и обратно производится за счет механизма поворота лопастей винта регулируемого шага.

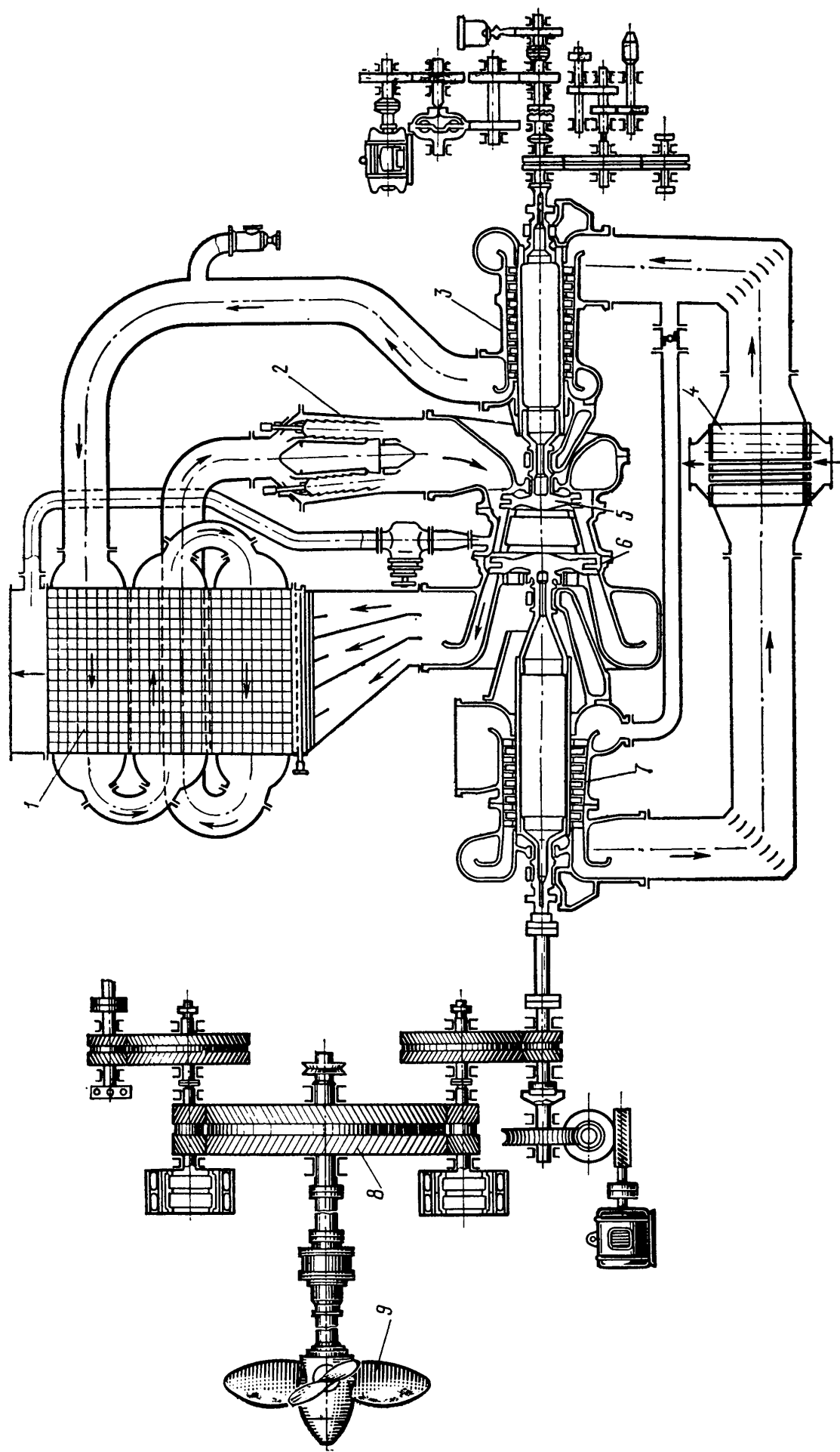


Рис. 16. Схема газотурбинной установки ГТУ-20:

1 — регенератор; 2 — камера сгорания; 3 — компрессор высокого давления; 4 — воздухоохладитель; 5 — газовая турбина высокого давления; 6 — газовая турбина низкого давления; 7 — компрессор низкого давления; 8 — двухступенчатый редуктор; 9 — гребной винт регулируемого шага с поворотными лопастями

Вследствие разворота лопастей винта изменяется направление упора, а следовательно, и направление движения судна. Привод управления механизмом разворота выведен на ходовой мостик, и капитан, передвигая рукоятку машинного телеграфа, через передаточный механизм воздействует на гидравлику этого привода.

Современные газотурбинные двигатели установлены на новых газотурбоходах-контейнеровозах, которые строит прославленный коллектив Черноморского судостроительного завода. Первое судно серии «Капитан Смирнов» водоизмещением 36 тыс. т вступило в состав Морского флота СССР в 1978 г. Газотурбинная установка мощностью 36 780 кВт (50 000 л. с.) сообщает судну скорость 25 узлов (46,2 км/ч) при дальности плавания 22 тыс. миль.

Установка состоит из двух главных всережимных реверсивных газотурбинных агрегатов М-25, в конструкции которых отражены многие достижения советского машиностроения и металлургии. Особо следует отметить, что использование тепла отработавших газов заключается не только в получении пара от котла, расположенного в газоходе двигателя, но и в работе пара в турбине, мощность которой так же, как и мощность газовой турбины, передается на гребной винт судна через единую редукторную передачу.

Конструктивная схема газотурбинного двигателя на судне обычна: турбины высокого и низкого давления вращают свои компрессоры, а после турбины низкого давления газы поступают в реверсивную турбину винта, которая через редуктор вращает гребной винт. Реверс винта производится за счет изменения направления вращения самой турбины (так же, как и у паровой турбины) путем направления потока газов на рабочие лопатки заднего хода.

После газотурбинного двигателя отработавшие газы с довольно высокой температурой (390 °С) поступают в паровой водотрубный котел, размещенный над газоотводом. Там температура газов падает до 180 °С и за счет передачи тепла производится 26 т пара в час с давлением 12 кгс/см².

Интересно решена задача создания парового котла малых габаритов, но способного производить достаточно пара для работы всех паротурбинных механизмов. Его нагревательная поверхность имеет вид змеевиков из труб с ребрами, образованными спирально навитой лентой.

Благодаря оребрению нагревательная поверхность котла увеличилась чуть ли не вдвое.

Но и здесь не обошлось без трудностей: оребрение труб, размещенных в газоходе, значительно увеличило оседание сажи. Выход нашли в установке водообмывочных устройств для очистки поверхности нагрева котла. Они помогли быстро очистить трубы от сажи и нагара.

Для повышения экономичности энергетической установки при ее работе на полную мощность пар из котлов поступает не только в турбину, вращающую винт, но и на два турбогенератора мощностью по 1000 кВт каждый. Таким образом, на ходу электроэнергия для судовых нужд вырабатывается без дополнительного расхода топлива за счет более полного использования тепла отработавших газов. Это позволило снизить удельный расход топлива до 238 г на каждый киловатт за час работы энергетической установки. Отличный показатель для такого типа судов! Показатель на уровне мировых стандартов.

Велика и живучесть энергетической установки. Вспомним: она состоит из двух газотурбинных агрегатов М-25, а в составе каждого агрегата, работающего на свою линию вала, газовая и паровая турбины. Если один из газотурбинных агрегатов выйдет из строя, то судно может продолжать движение при работе только второго, а на неработающем агрегате весь валопровод может быть либо заторможен, либо свободно вращаться.

В последнем случае газовая турбина неработающего агрегата вращается вместе с редуктором, валопроводом и гребным винтом, на который воздействует давление набегающей струи воды, так как судно движется вперед от работы второго гребного винта. Хотя в таком режиме движения потери мощности меньше, он возможен только при исправных турбине винта, редукторе, подшипниках валопровода и их системах смазки. Повреждения могут быть только в контурах высокого или низкого давления.

Возможен и еще один вариант использования энергетической установки: газотурбинный агрегат одного борта работает на свой винт, в то время как пар, вырабатываемый в его паровом котле, поступает в паровую турбину для вращения второго гребного винта. В этом случае скорость судна достигает 18...20 узлов.

Благодаря наличию отдельной независимой турбины винта ее можно при мощности ниже 50 % переводить в режим «стоп-винт», то есть в режим, когда газотурбин-

ный двигатель работает, а турбина винта и гребной винт не вращаются (газы после турбины низкого давления перепускаются, минуя турбину винта, прямо в газоотвод). Этот режим используется при маневрировании в узкостях и швартовках судна к причалу, когда капитан часто останавливает двигатели, а затем вновь вводит их в действие. В режиме «стоп-винт» газотурбинный двигатель готов к немедленному увеличению частоты вращения до полной, а если бы газотурбинный двигатель был полностью остановлен, то на его ввод в действие и последующее увеличение частоты вращения винта потребовалось бы значительно больше времени.

Для замены аварийных газотурбинных двигателей на судне в помещении, примыкающем к машинному отделению, хранятся два запасных.

Газотурбинные двигатели весьма надежны и могут длительно работать без заводского ремонта. Основные их узлы рассчитаны на 25 тыс. часов работы, а редуктор даже на 50. Конструкция большинства насосов и устройств, приводимых во вращение от самого двигателя, такова, что экипаж в случае необходимости может их заменить на запасные прямо в море всего за 2...3 ч.

Теперь становится ясно, какой замечательный газотурбинный двигатель создан советскими инженерами и рабочими. Разработка агрегата М-25 и постройка серии газотурбоходов-контейнеровозов — большая победа наших машиностроителей и судостроителей.

2. А ЧТО ПРОИСХОДИТ ДО ГАЗОВОЙ ТУРБИНЫ!

Как бороться с помпажом. Познакомимся более детально с устройством основных частей газотурбинного двигателя. Все начинается с компрессора, сжимающего воздух и подающего его под давлением в камеру сгорания.

Чтобы разобраться, как работает компрессор, необходимо обратиться к основам газодинамики: если газ течет по трубе переменного сечения, то в соответствии с законом сохранения энергии сумма энергии движения газовой струи и внутренней энергии давления в струе остается постоянной по всей длине трубы (если пренебречь трением газа о стенки).

В местах, где площадь проходного сечения трубы увеличивается, скорость струи уменьшается, а следователь-

но, в ней возрастает внутренняя энергия давления. Расширяющиеся каналы, в которых скорость газа уменьшается, а давление возрастает, называют диффузорными, а суживающиеся, где все происходит наоборот, — конфузорными. Именно диффузорные каналы и используются в компрессорах для сжатия порций воздуха.

В судовых газотурбинных установках наиболее часто применяются осевые компрессоры, конструктивная схема которых изображена на рис. 17. Во внутренних радиусах корпуса по окружности укреплены ряды неподвижных лопаток, которые направляют движение воздуха. Каналы между этими лопатками диффузорные. Вращающаяся часть компрессора — ротор — состоит из барабана или отдельных дисков на общем валу, в которых проточены пазы для установки рабочих лопаток.

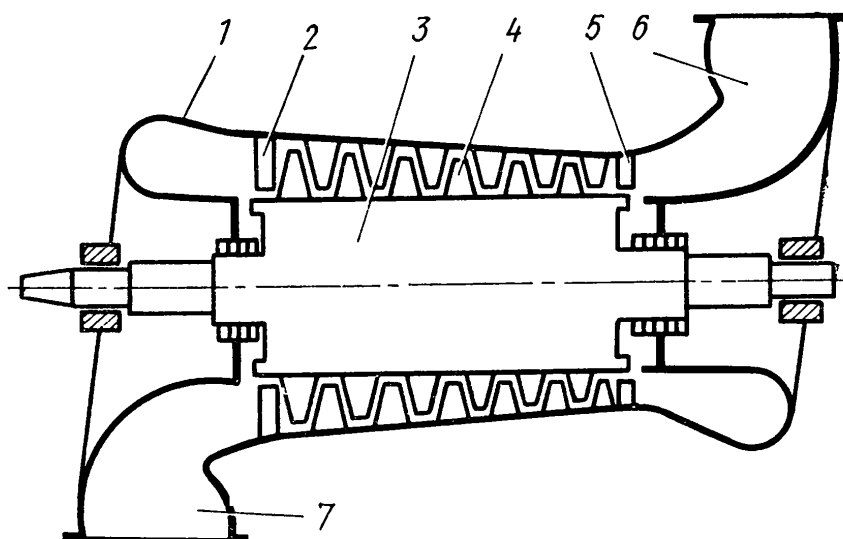


Рис. 17. Схема многоступенчатого осевого компрессора:

1 — корпус; 2 — первый направляющий аппарат; 3 — ротор;
4 — рабочие лопатки; 5 — спрямляющий аппарат; 6 — выходной патрубок; 7 — входной патрубок

Ряд рабочих лопаток вместе с расположенными за ним рядом направляющих лопаток образуют ступень компрессора. В осевом компрессоре повышение давления в каждой ступени получается небольшим, всего в 1,15... 1,25 раза, а, как известно, для нормальной работы газотурбинного двигателя это давление необходимо повысить не менее, чем в 4...5 раз. Именно поэтому компрессоры приходится делать многоступенчатыми.

Воздух поступает в компрессор через всасывающий патрубок и, проходя пространство между корпусом и барабаном ротора, сжимается, а затем выбрасывается через

нагнетательный патрубок. Таким образом, основной поток воздуха движется вдоль оси ротора, поэтому-то компрессор и называется осевым. Каналы между рабочими лопатками ротора также сделаны диффузорными, и, следовательно, давление воздуха по мере его движения в этих каналах будет повышаться. Одновременно, вследствие воздействия вращающихся лопаток, потоку воздуха придается и некоторое ускорение.

Когда поток попадает в диффузорные каналы между неподвижными направляющими лопатками, то там эта скоростная энергия также преобразуется в энергию давления. Подобный процесс происходит на всех последующих ступенях. В связи с тем что при сжатии удельный объем воздуха уменьшается, то и высота лопаток по длине ротора также уменьшается. Повышение давления воздуха в каждой ступени распределяется обычно поровну между рядами рабочих и направляющих лопаток.

Осевой компрессор устойчиво и экономично работает только на полных нагрузках. В этом случае, например, компрессоры главных судовых газотурбинных двигателей нагнетают в секунду до 120 кг воздуха. С уменьшением частоты вращения, а следовательно, и производительности, то есть расхода воздуха через компрессор, степень повышения давления растет только до определенного предела. Тщательные исследования помогли установить, что для каждой частоты вращения компрессора существует критическое значение расхода воздуха. Если этот расход сделать меньше критического, например, прикрыв заслонку на всасывании, то работа компрессора становится неустойчивой. Она сопровождается резкими периодическими колебаниями давления и скорости в потоке воздуха, проходящего через компрессор, а иногда и выбросом его во всасывающий патрубок. Такой неустойчивый режим работы компрессора называется помпажом.

Для того чтобы разобраться в первопричине помпажа, познакомимся с условиями обтекания профиля рабочей лопатки компрессора потоком воздуха. Обычно конструкторы подбирают профиль таким, чтобы при работе двигателя с мощностью, составляющей примерно $\frac{2}{3}$ от полной мощности (рис. 18, а), воздух плавно обтекал лопатку.

Когда мощность двигателя приближается к полной, расход воздуха через компрессор увеличивается, и поток входит на лопатки, ударяясь об их выпуклую поверхность (рис. 18, б). В этом случае на вогнутой поверхности лопат-

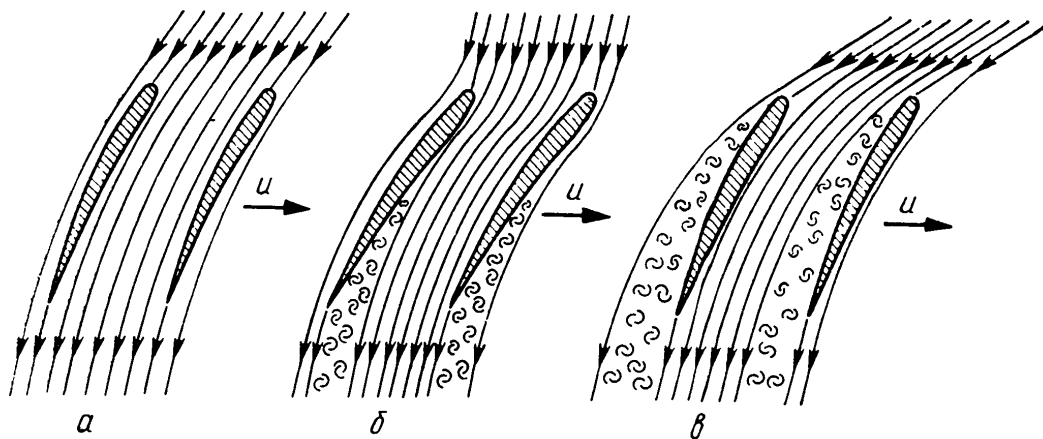


Рис. 18. Обтекание лопаток осевого компрессора воздухом:

а — плавное; б — с ударом о выпуклую поверхность; в — с ударом о вогнутую поверхность

ки возникает зона завихрения, а следовательно начинает бесполезно затрачиваться часть энергии, подводимой от рабочих лопаток. Степень повышения давления и КПД компрессора несколько уменьшаются, но помпажа не возникает. При движении воздуха по изогнутому межлопаточному каналу вихревая зона за счет центробежных сил прижимается к внутренней поверхности лопаток и занимает лишь незначительную часть проходного сечения.

При уменьшении же расхода воздуха через компрессор поток воздуха входит на лопатки с ударом об их вогнутую поверхность (рис. 18, в). Вихревая зона возникает на выпуклой стороне, под действием центробежных сил отходит от стенки лопатки, полностью занимает межлопаточный канал, и вся подводимая энергия затрачивается не на повышение давления воздуха, а на образование вихрей. Нормальная работа компрессора прекращается, давление воздуха не растет, происходят периодические прорывы воздуха из нагнетательной части компрессора во всасывающую, начинается помпаж.

Его внешние признаки — характерные хлопки, которых не бывает при нормальной работе компрессора. Все это сопровождается тряской и уменьшением мощности газотурбинного двигателя. Резкое уменьшение подачи воздуха в камеру сгорания нарушает нормальное устойчивое сгорание топливовоздушной смеси, повышает температуру газов перед турбиной и, что особо опасно, ведет к поломке компрессора из-за периодических толчков воздуха и раскачивания лопаток. Обрыв даже одной лопатки — тяжелая авария, влекущая за собой поломку и других ло-

патов. Во избежание этого работа компрессора в области помпажа не допускается.

Как же предупредить возникновение помпажа? Может быть, можно устранить, хотя бы частично, причины его порождающие? Инженерная мысль работала интенсивно. Раз помпаж возникает при уменьшении потока воздуха, проходящего через компрессор, то конструкторы решили искусственно увеличить этот поток, стравливая, перепуская часть воздуха через отверстия в корпусе компрессора, закрытые лентой перепуска или клапанами. По мере увеличения частоты вращения компрессора, а следовательно, и расхода воздуха, опасность помпажа на первых ступенях уменьшается, поэтому на определенной частоте перепуск воздуха можно прекращать.

Безусловно, такой перепуск — вынужденная мера, так как он связан с определенной потерей мощности. Ведь перепускаемый воздух сжимается в компрессоре без всякой пользы. К тому же устранение помпажа таким способом осуществимо только в компрессоре со сравнительно небольшой степенью повышения давления. Но ведь в действующих газотурбинных двигателях степень повышения давления достигает 10 и более. Как же быть в этом случае?

Именно для расширения зоны устойчивой работы процесс сжатия воздуха в современных газотурбинных двигателях проводят последовательно в компрессорах низкого и высокого давления. Так как роторы этих компрессоров вращаются с различной частотой (они приводятся в действие различными газовыми турбинами), то каждый компрессор удастся спроектировать таким образом, что в довольно большом диапазоне частоты вращения воздух обтекает лопатки плавно и безударно. Кроме того, у компрессора высокого давления на малых нагрузках также производится перепуск воздуха.

Ну, а если, несмотря на все это, помпаж все же возник? Главное не растеряться и принять меры к предотвращению аварии двигателя. Прежде всего надо плавно уменьшить подачу топлива, то есть снизить частоту вращения. Если это не поможет, то двигатель необходимо остановить и выяснить причину ненормальной работы. Но можно быть уверенным: при правильном обслуживании двигателей помпаж возникнуть не может, наши газотурбинные двигатели исключительно надежны и устойчивы в работе на всех режимах.

Газотурбинная топка. По существу камера сгорания газотурбинного двигателя — это та же топка, но сжигание топлива в ней происходит под значительно большим давлением, чем в топке парового котла. Сравните: в топке парового котла с наддувом давление воздуха равно $2...3 \text{ кгс/см}^2$, а в камере сгорания газотурбинного двигателя — $8...10 \text{ кгс/см}^2$ и выше. Следовательно, и тепловое напряжение камеры сгорания в $2...3$ раза выше, чем топки котла.

В 20—30-е годы газовую турбину по аналогии с двигателем внутреннего сгорания называли турбиной внутреннего сгорания. Ведь в обоих этих тепловых двигателях рабочим телом является горячий газ, полученный от смешивания продуктов сгорания топлива и воздуха. Правда, в двигателе внутреннего сгорания топливо подается в цилиндры и сжигается только во время одного из тактов рабочего цикла, а в газотурбинном двигателе процессы горения протекают непрерывно в газоздушных потоках, движущихся со скоростью несколько десятков метров в секунду. При таких скоростях время нахождения топлива и воздуха в камере сгорания составляет всего несколько тысячных долей секунды. Поэтому для полного сжигания топлива требуется исключительно хорошее его распыление и наилучшее перемешивание с воздухом.

Организовать процесс горения топлива в камере наилучшим образом совсем не просто. Прежде всего нужно, чтобы горение оканчивалось в пределах самой камеры. Если же языки пламени попадут в турбину, может произойти авария. Необходимо также, чтобы температура по поперечному сечению потока газов на выходе из камеры была равномерной. Значительная неравномерность также приведет к повреждению камеры и турбины. Важно и то, чтобы топливо сгорало в камере полностью, чтобы не было потерь тепла от недожога. Нельзя забывать и о том, что в камере сгорания не только получают горячие газы, но и охлаждают их, смешивая со вторичным воздухом. Ведь в камере создается температура $1500...2000^\circ\text{C}$, а газовые турбины пока могут работать при температуре газов на входе не выше $800...900^\circ\text{C}$. В противном случае турбина может выйти из строя. Вот как много требований к организации процесса горения топлива и охлаждения горячих газов. И все они важные, их нельзя не выполнить. Как же этого добиваются?

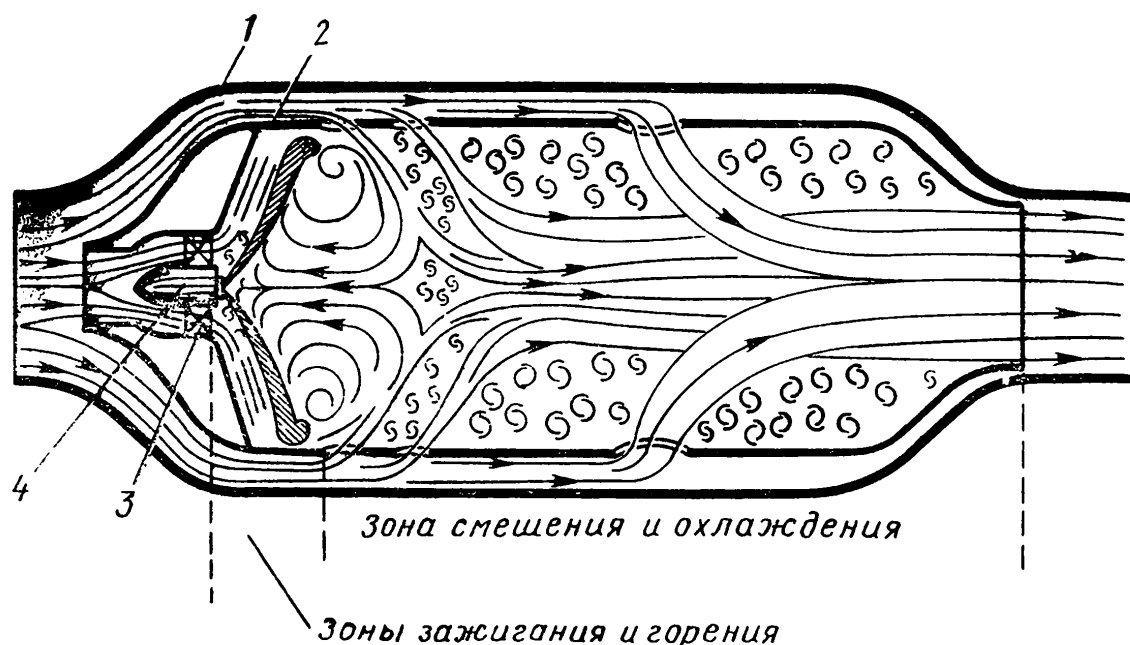


Рис. 19. Схема камеры сгорания и распределения потоков газа и воздуха в ней:

1 — корпус (наружный кожух); 2 — жаровая труба; 3 — завихритель; 4 — форсунка

На рис. 19 изображена принципиальная схема камеры сгорания и распределения потоков воздуха и газа. Не трудно заметить, что в различных участках камеры, как бы в различных ее зонах идут сразу четыре процесса: образование горючей смеси из топлива и первичного воздуха, зажигание смеси, ее горение и, наконец, охлаждение продуктов сгорания вторичным воздухом.

Эти зоны меняют свое расположение в зависимости от нагрузки двигателя. При увеличении нагрузки, что связано с большей подачей топлива, зона горения увеличивается. В это же время вторичный воздух, проходящий через ближайšie к форсунке отверстия жаровой трубы, охлаждает горячие газы и одновременно создает дополнительное завихрение потока, что улучшает смешение частиц топлива и воздуха. При снижении мощности двигателя зона горения уменьшает свой объем. Тогда этот вторичный воздух выполняет в основном роль охладителя горячих газов.

Диаметр частиц топлива, распыляемого форсункой, 75...150 мкм, а быстрому и полному его сгоранию способствует высокая температура воздуха (до 300...350 °С), поступающего в камеру. Важную роль играет и качество топливовоздушной смеси. В первую очередь оно зависит от соотношения между количеством воздуха и топлива. Если первичного воздуха мало, образуется богатая смесь

и при ее сгорании на стенках камеры выделяется и осаждается углерод в виде трудносжигаемого нагара. Кроме того, удлиняется факел и возрастает его температура, а это уже опасно из-за возможного повреждения лопаток турбин.

Вреден и избыток первичного воздуха: температура горения понижается, недожог топлива увеличивается и часть его в виде паров или капелек выносится из камеры. А чрезмерный избыток первичного воздуха может совсем прекратить горение.

Ученые и конструкторы долгое время изучали процесс горения в камере, проводили многочисленные опыты для того, чтобы разобраться в степени влияния на него геометрических размеров камеры, величины давления нагнетаемого воздуха и топлива и многого другого.

В результате исследований стало ясно: для получения устойчивого горения в камере необходимо создать у ее оси в зоне зажигания поток горячих газов, движущийся навстречу основному потоку воздуха и распыленного топлива. Такой встречный поток улучшил бы перемешивание топлива и воздуха и способствовал росту скорости испарения; кроме того, он создал бы благоприятные условия для воспламенения смеси от соприкосновения с горячими газами.

Но как добиться появления встречных потоков, если внутри жаровой трубы нельзя устанавливать никаких перегородок или направляющих? Оказалось, что в этом могут помочь вихри. Да, те самые вихри, которые так вредны в межлопаточных каналах компрессора, где они вызывают появление помпажа.

Установка лопаточных завихрителей, через которые в камеру поступает первичный воздух, привела не только к его закручиванию для лучшего смешения с распыленным топливом, но и к образованию у оси камеры зоны пониженного давления. Вот в эту зону и устремились газы, создав обратный поток. Именно циркуляция газовых потоков и обеспечила устойчивость горения в камере несмотря на их большие скорости.

Самая распространенная конструкция камеры сгорания — трубчато-кольцевая с несколькими жаровыми трубами (рис. 20). Такая камера состоит из наружного и внутреннего цилиндрических кожухов, между которыми размещаются по окружности несколько жаровых труб (8... 10) с форсунками для подачи топлива. Две из них обычно

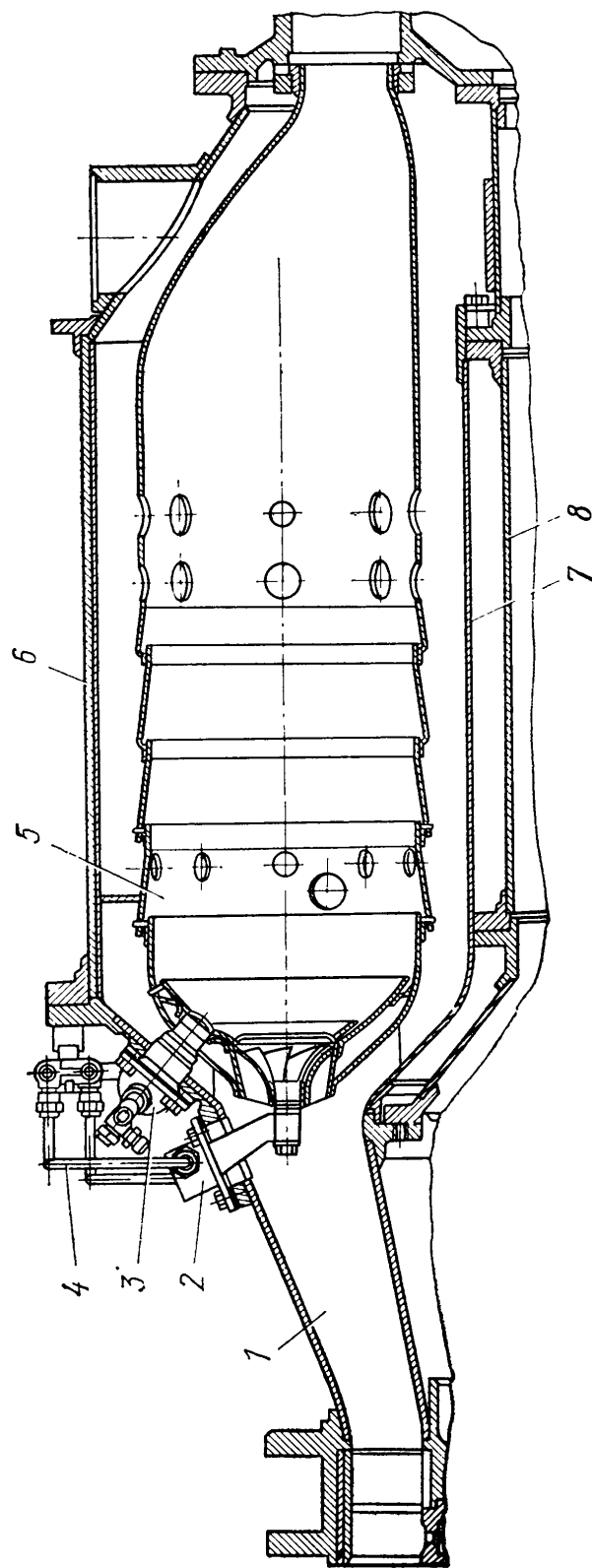


Рис. 20. Трубчато-кольцевая камера сгорания:

1 — кольцевой канал; 2 — рабочая форсунка; 3 — воспламенитель; 4 — труба подвода топлива; 5 — жаровая труба; 6 — наружный кожух; 7 — внутренний кожух; 8 — кожух вала турбины

снабжены электровоспламенителями для начального зажигания топлива. Для воспламенения топлива в остальных трубах служат пламяперебрасывающие патрубки, по которым при пуске двигателя происходит перебрасывание пламени из труб с электровоспламенителями.

Жаровые трубы — одни из самых теплонапряженных деталей газотурбинного двигателя, поэтому конструкторам пришлось немало потрудиться, чтобы изыскать способы их надежного охлаждения. Снаружи они охлаждаются вторичным воздухом, а внутри применено пленочное охлаждение. Для этого средняя часть трубы изготавливается из трех конусообразных обечаек с мелкими отверстиями по краям основания. Через эти отверстия вторичный воздух поступает на внутреннюю поверхность жаровой трубы, выходя в виде пленки из-под козырька предыдущей обечайки и омывая стенки.

Привередливый потребитель. Теперь поговорим подробнее о топливной системе газотурбинного двигателя. Ведь он действительно довольно привередливый потребитель в части качества и чистоты топлива, сжигаемого в камере сгорания. Такая разборчивость — не прихоть, а необходимость. Дело в том, что аппаратура топливной системы предназначена не только для подачи топлива в камеры сгорания, но и для регулирования частоты вращения двигателя. В ее состав входят плунжерные пары, дроссельные пакеты с размерами щелей всего в несколько десятков микрометров, поршневые и золотниковые устройства и другие прецизионные составные части. Попадание обводненного и загрязненного топлива вызовет ржавление, задиры и поломки деталей.

Топливная система газотурбинного двигателя делится на пусковую и основную. Первая подает топливо в воспламенители во время пуска двигателя, а вторая работает на всех остальных режимах. Пусковой шестеренчатый насос приводится во вращение электродвигателем и после пуска двигателя и создания необходимого давления топлива основным насосом он автоматически останавливается.

Основной насос-регулятор приводится во вращение от компрессора высокого давления и подает топливо в рабочие форсунки под давлением до 80 кгс/см². Кроме того, с его помощью изменяют частоту вращения газотурбинного двигателя, а также поддерживают частоту вращения

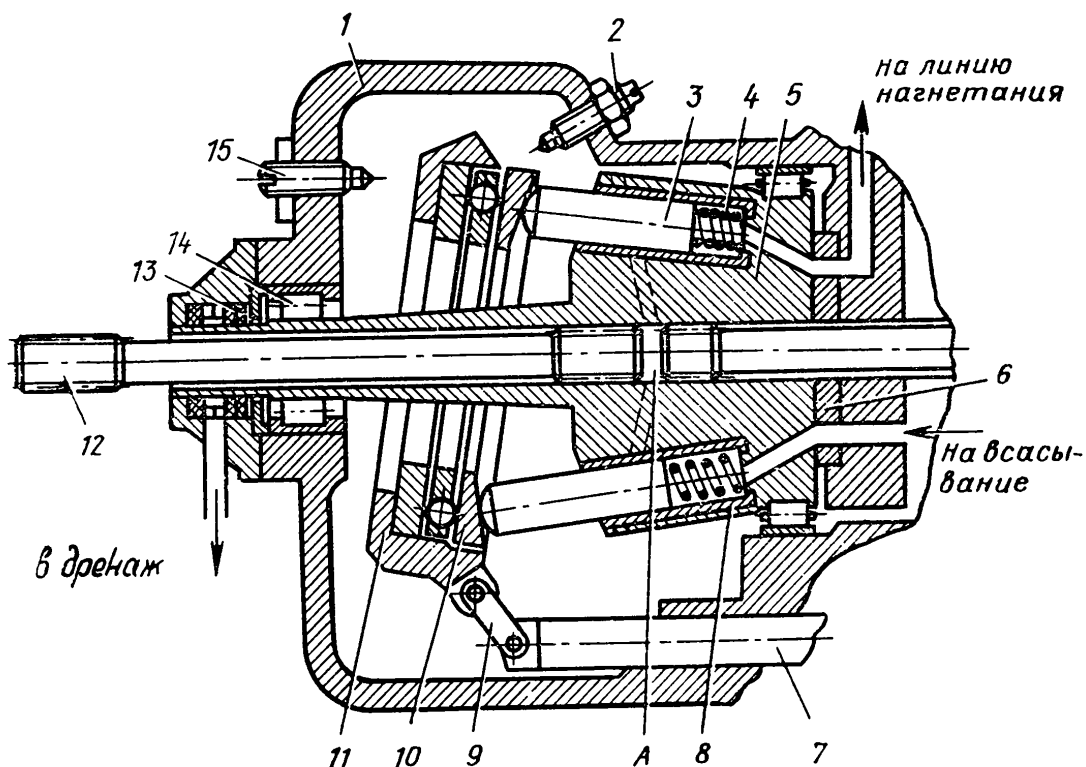


Рис. 21. Схема работы качающего узла топливного насоса газотурбинного двигателя:

А — полость; 1 — корпус; 2 — регулировочный винт максимальной производительности; 3 — плунжер; 4 — пружина плунжера; 5 — ротор; 6 — золотник; 7 — шток поршня обратной связи; 8 — втулка; 9 — серьга; 10 — коническая шайба; 11 — обойма; 12 — приводной валик; 13 — сальник; 14 — передний подшипник; 15 — регулировочный винт минимальной производительности

турбин постоянной для каждого режима работы несмотря на колебания нагрузки на двигатель.

Рассмотрим принцип работы качающего узла — основной части такого насоса плунжерного типа (рис. 21). Стальной ротор насоса имеет 9 гнезд, в которые запрессованы бронзовые втулки. Во втулках перемещаются плунжеры из качественной стали. Эти плунжеры тщательно обрабатываются, подгоняются к втулкам и входят в них с минимальным зазором 0,015...0,02 мм. Каждый плунжер подгоняется к строго определенной втулке и клеймится одинаковым с ней порядковым номером.

Ввиду того, что наклонная шайба расположена под некоторым углом, плунжеры, опирающиеся на ее коническую поверхность при вращении ротора совершают возвратно-поступательные движения. Сам ротор пружинами плунжеров прижимается к золотнику, имеющему два полукольцевых выреза, один из которых сообщается с линией всасывания, а второй — с каналом нагнетания. В процессе поступательного движения плунжера топливо в течение примерно пол-оборота проходит через окна всасы-

вания золотника, а в течение следующего пол-оборота оно поступает в канал через окно нагнетания.

При такой конструкции качающего узла количество топлива, подаваемого насосом, или, как говорят, производительность насоса тем больше, чем выше частота вращения насоса, так как увеличивается число рабочих ходов плунжера, производимых в единицу времени. Но производительность растет также и с увеличением угла наклона шайбы, так как это увеличивает ход плунжеров.

В состав топливного насоса-регулятора входит всережимный регулятор частоты вращения, датчиком которого служит центробежный маятник в виде двух расходящихся грузиков, смонтированных на валу. При изменении частоты вращения грузики перемещаются, их движение передается топливному золотнику, что в свою очередь приводит к перемещению штока поршня обратной связи.

Этот шток воздействует на установку наклонной шайбы качающего узла и, следовательно, на производительность насоса. Поворот штурвала управления для изменения частоты вращения двигателя вручную также вызывает перемещение топливного золотника, а значит и штока поршня обратной связи.

3. О ГАЗОВОЙ ТУРБИНЕ ПОДРОБНО

Работа при температуре 800 °С. Газотурбинный веер. Вот теперь мы подошли непосредственно к газовой турбине — основной части газотурбинного двигателя. Вопрос облегчается тем, что она во многом подобна паровой. Так же работает газовая струя на лопатках, так же турбины делятся на активные и реактивные. А так как общий КПД у реактивной ступени турбины обычно выше, чем у активной, то в газовых турбинах и применяют в основном реактивные ступени. Проточную часть выполняют в виде двух-трех ступеней давления, срабатывая общий теплоперепад газового потока последовательно в нескольких рядах сопел. За последние десятилетия советские ученые и инженеры создали много образцов корабельных и судовых газовых турбин с высоким КПД.

Вспомним еще раз, что температура горячего газа, поступающего в газовую турбину, почти вдвое превышает температуру перегретого пара в современных судовых паротурбинных установках. Как же в таком случае обеспечивается ее надежная работа? Во-первых, детали

газовых турбин, работающие в условиях высоких температур, изготавливают из особо жаростойких и жаропрочных сплавов, а во-вторых, создают особо надежное воздушное охлаждение. При наличии в составе газотурбинного двигателя трех турбин охлаждают только турбины высокого и низкого давления. Температура газов в турбине винта относительно невелика, и ее детали такого охлаждения не требуют.

Примечательно, что охлаждающий воздух сам имеет довольно значительную температуру. Так, в ГТУ-20 на судах типа «Парижская коммуна» для охлаждения ротора турбины высокого давления воздух отбирается после нагрева в регенераторе, то есть с температурой 330°C . Для охлаждения менее нагретой турбины низкого давления используется воздух после компрессора высокого давления с температурой около 170°C . А иначе нельзя.

Если для охлаждения использовать просто наружный воздух с температурой $20...30^{\circ}\text{C}$, то это вызовет в охлаждаемых деталях значительные температурные напряжения. Уж слишком велик перепад температуры.

Особенно сложно обеспечить надежную работу турбин высокого давления. Поэтому для них применяют не только охлаждение воздухом, но и защиту деталей от прямого воздействия горячих газов. Для этого роторы снабжают защитными экранами, надетыми на диски первых ступеней. Он и защищает диски, находящиеся под воздействием значительных изгибающих усилий, от контакта с горячими газами. Кроме того, в пространство между экраном и диском подводится охлаждающий воздух, омывающий сам диск и проникающий к корням рабочих лопаток.

Так же как и у паровой турбины, наивыгоднейшие частоты вращения газовой турбины и гребного винта или генератора электрического тока, вращаемых ею, не совпадают. Для того чтобы сконструировать газовую турбину большой мощности при относительно небольших массе и размерах и обеспечить высокий КПД, необходимо принять частоту вращения $4000...6000$ об/мин. В то же время наивыгоднейшая частота вращения гребного винта не превышает $300...500$ об/мин, а генератора — $1400...1500$ об/мин. Значит и здесь нужна какая-то передача между газотурбинным двигателем и приводимым во вращение механизмом, уменьшающая частоту вращения.

Обычно берется зубчатая передача. Если газотурбин-

ный двигатель вращает вспомогательный механизм, то редуктор у него чаще всего одноступенчатый. Передача мощности на винт производится через двух- или трехступенчатый редуктор с разделением ее на две и даже три части. Такое раздробление мощности и многоступенчатость передачи дают большой выигрыш в размерах и массе редуктора.

Не только клин клином. Теперь о системе смазки газотурбинного двигателя. Роторы газовых турбин и компрессоров вращаются в ролико- и шарикоподшипниках, которые воспринимают как нагрузки, направленные по радиусу шейки вала, так и осевые усилия, то есть являются опорными и упорными. В то же время подшипники редукторов газотурбинных агрегатов обычно такие же, как в паротурбинных — обыкновенные подшипники скольжения, залитые белым металлом и работающие по принципу клиновой смазки. Есть в газотурбинной установке и главный упорный подшипник с упорными подушками, принцип работы которого рассмотрен раньше.

Как видим, в газотурбинном двигателе вредные последствия трения — нагрев и износ трущихся деталей — уменьшаются не только с помощью принципа клиновой смазки, но и заменой трения скольжения трением качения.

Такое трение при прочих равных условиях значительно меньше, чем трение скольжения. Поэтому его стараются применить всюду, где позволяют условия работы и нагрузки на опоры. У подшипников качения меньший момент сопротивления вращению вала, особенно в начале движения, а также на малых и средних частотах вращения, они могут выдерживать большую нагрузку на единицу своей ширины и, наконец, нельзя не отметить их полной взаимозаменяемости при ремонте.

Но почему же тогда конструкторы продолжают использовать и подшипники скольжения? Дело в том, что подшипники качения быстрее изнашиваются, особенно при высокой частоте вращения вала. К тому же их характеризует большее рассеивание сроков службы, то есть среди однотипных подшипников относительно много таких, которые изнашиваются значительно быстрее, чем все остальные. Недостатком является и то, что подшипники качения обладают меньшей способностью демпфировать (поглощать, смягчать) вибрации и удары, передаваемые по валу, чем подшипники скольжения, что особенно

важно для деталей корабельных двигателей. Да и стоимость их изготовления малыми сериями выше.

Поэтому-то в настоящее время конструкторы применяют и те и другие типы подшипников, учитывая все их противоречивые свойства.

Конечно, все подшипники при работе следует смазывать. И смазка газотурбинного агрегата осуществляется двумя системами: вспомогательной и основной. Вспомогательная (ее называют еще системой прокачки) служит для смазки подшипников и зубчатых зацеплений агрегата при его пуске и остановке. Основная — используется для этих же целей на всех остальных режимах работы.

В основной системе смазки масло под давлением до 6 кгс/см^2 нагнетается шестеренчатыми насосами, которые приводятся во вращение от самого двигателя. Перед поступлением на смазку масло последовательно очищается в нескольких фильтрах, а окончательную, завершающую очистку оно проходит обычно в индивидуальном сетчатом фильтре, установленном перед каждым подшипником. Его назначение — предотвратить засорение трубок-жиклеров, по которым масло подводится непосредственно к местам смазки. Ведь эти жиклеры могут засориться даже частицами ржавчины и грязи, случайно отслоившимися от внутренних поверхностей трубопроводов, идущих от общих фильтров к подшипникам.

Во вспомогательной системе шестеренчатые насосы вращаются электродвигателями и включаются в работу автоматически при пуске газотурбинного двигателя. С набором оборотов начинают работать насосы основной системы смазки, а вспомогательные автоматически отключаются. А при падении частоты вращения газотурбинного двигателя роторы основных масляных насосов вращаются медленнее, и давление масла падает. Когда оно дойдет примерно до 2 кгс/см^2 , автоматически включается в работу вспомогательный масляный насос.

Как мы уже знаем, при падении давления ниже допустимого произойдет авария двигателя. Поэтому в систему смазки включают автоматический сигнализатор давления. Стоит во время работы давлению масла упасть ниже 2 кгс/см^2 , как сигнализатор выдаст предупредительный сигнал и команду на автоматическую остановку двигателя, осуществляемую прекращением подачи топлива в камеру сгорания.

Уход за смазочным маслом требует особой аккурат-

ности, внимания и ответственности. Не случайно установлено строгое правило, что разрешение на прием свежего масла в корабельные цистерны дает лично командир электромеханической боевой части. Перед приемкой расходные и запасные цистерны тщательно промывают и протирают чистой замшей. Да, именно замшей, а не ветошью. Ведь масло необходимо предохранить от малейшего загрязнения и, в первую очередь, от попадания в него ниток и отдельных волокон.

На корабле ежедневно проверяют наличие смазочного масла и удаляют из него отстой воды. Для этого в нижней части расходных цистерн установлены спускные краны. А масло в цистернах, расположенных между вторым дном и наружной обшивкой (их называют междудонными), проходит через корабельные масляные сепараторы, которые работают до полного удаления из него воды.

Невольно возникает вопрос — откуда в масло может попасть вода? А вот откуда. Бывает, что масляный трубопровод, расположенный в трюме машинного отделения, имеет неплотности в соединениях. Вот через них-то вода из трюма может попасть в трубопровод, а затем и в масло. Случается, что неплотность возникает в уплотнении крышки горловины на междудонной масляной цистерне. Может вода попасть в масло и через свищи в трубках маслоохладителя, который прокачивается забортной водой.

Особенно опасно, когда в масло попадает забортная соленая вода: сразу возникает обожжение подшипников и шеек валов. Если такая беда случилась, то немедленно устанавливают причину засоления масла и устраняют ее. А после этого приступают к удалению солей, попавших в масло. И делают это самым необычным способом: масло «купают», то есть подвергают отмывке. Для этого в цистерну с засоленным маслом заливают чистый горячий конденсат в количестве одной десятой части от массы масла. Соли в нем растворяются. А затем засоленное масло сепарируют до полного удаления влитого конденсата. Такую отмывку повторяют до тех пор, пока соленость отсепарированной воды не станет совсем малой. Если же «купание» результатов не дает, масло придется заменить. В этом деле необходима строгость и принципиальность. Использование некачественного масла неизбежно приведет к беде — к повреждению подшипников и аварии двигателя.

4. ГАЗОВАЯ ТУРБИНА И АВТОМАТИКА

Дирижер газотурбинного оркестра. Если вы находитесь на посту управления газотурбинной установкой и наблюдаете за действиями вахтенного при пуске и раскрутке двигателя, вас, наверняка, поразит слаженность действий всех составных частей установки. Вот, например, нажимается кнопка «Пуск» на пульте установки. В результате в определенной, точно соблюдаемой последовательности включаются и отключаются в нужный момент электростартеры, насосы, муфты, реле и другие устройства. Двигатель автоматически выходит на режим холостого хода.

Кто же дирижирует этим сложным электромеханическим оркестром? Это — система управления газотурбинным агрегатом. О ней и поговорим подробнее. Эта система осуществляет запуск, включение на передний и задний ход, остановку газотурбинного агрегата, его холодную прокрутку электростартерами без подачи и зажигания топлива, медленное проворачивание турбины винта, редуктора, гребного вала с винтом и ряд других операций.

Проследим для примера работу системы при запуске газотурбинного двигателя. Вахтенный поставил штурвал управления в положение «Запуск». Сразу подается электропитание на все электродвигатели насосов и другие электроустройства, обеспечивающие работу газотурбинного агрегата. На пульте загорается сигнальное табло «Включено напряжение». Электросхема системы управления начинает работать, автоматически включаются в действие все защитные устройства двигателя. Только теперь он подготовлен к пуску.

Вахтенный нажимает кнопку «Пуск», включенную в цепь управления электростартерами. Одновременно автоматически включается система зажигания: подается напряжение на свечи воспламенителей, начинает работать пусковой топливный насос. Кроме того, открывается перепуск воздуха на компрессоре высокого давления для предупреждения помпажа, автоматически включаются электродвигатели вспомогательной системы смазки. И все это моментально отображается на пульте управления, где загораются сигнальные табло.

Электростартеры начинают раскрутку контура высокого давления. К рабочим форсункам подается воздух, обеспечивая хорошее распыление топлива и его устойчи-

вое зажигание. Автоматически открывается стоп-кран и топливо начинает поступать к рабочим форсункам. Обороты стартеров растут, быстрее вращаются компрессор и турбина высокого давления, растет давление масла в напорном трубопроводе основной системы смазки. После этого система управления отключает стартеры, останавливает пусковой топливный насос, прекращает подачу воздуха к рабочим форсункам, обесточивает катушки зажигания. И все эти события, произошедшие с момента нажатия кнопки «Пуск», укладываются в 100 секунд. Двигатель вышел на режим холостого хода!

На первом этапе запуска особую роль играют стартеры — электродвигатели постоянного тока, питающиеся от низковольтной сети и обладающие большим пусковым моментом, позволяющим стронуть с места и раскрутить контур высокого давления.

При использовании электростартеров нельзя забывать, что они рассчитаны на кратковременный режим работы. Это как бы «спринтеры» электромашинного мира. Из-за больших рабочих токов в обмотке якоря и малых размеров они при работе сильно нагреваются. Поэтому обычно допускается только несколько следующих друг за другом включений электростартеров с небольшим интервалом между включениями. После этого делается перерыв до тех пор, пока их температура не понизится до 50...60 °С.

Теперь познакомимся с элементами системы управления, обеспечивающими своевременное включение и выключение агрегатов и устройств — электромагнитными реле и контакторами. Посмотрите на рис. 22. Основа реле — сердечник с надетой на него катушкой, на которую намотано большое число витков тонкой проволоки. Подвижная часть реле включает в себя якорь с пружиной и прикрепленный к якорю подвижный контакт. На рисунке реле изображено в нерабочем (обесточенном) состоянии, но стоит только подать ток к катушке, как сердечник намагнитится и притянет якорь, преодолевая усилия пружины. Прикрепленный к якорю подвижный контакт переместится от одного неподвижного контакта к другому. Благодаря этому включатся или выключатся приборы и электромеханизмы, в цепь управления которых введены контакты реле.

Если протекание тока по виткам катушки прервать, то якорь под действием пружины вернется в исходное положение, что вызовет обратное переключение контактов

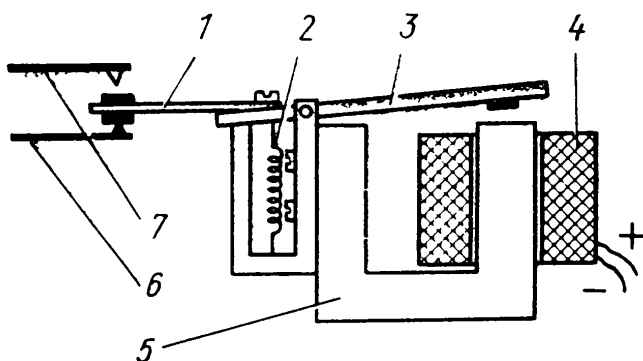


Рис. 22. Схема устройства электромагнитного реле:

1 — подвижный контакт; 2 — пружина; 3 — якорь; 4 — катушка с обмоткой; 5 — сердечник; 6, 7 — неподвижные контакты

и противоположные изменения в цепи управления приборами и электромеханизмами. В изображенном реле две пары контактов, а вообще-то в схемах управления применяются реле с самым различным количеством контактов. С помощью слабых токов, подаваемых в катушки реле, можно

управлять работой электрической аппаратуры большой мощности и на большом расстоянии.

По принципу реле работают и контакторы, которые часто используются для управления электростартерами. Так как они управляют электрическими цепями, по которым проходят большие токи, то их делают более массивными, чем реле.

Итак, мы подошли к тому моменту, когда с помощью реле и контакторов системы управления двигатель был выведен на режим холостого хода. А что дальше? Вахтенный продолжает поворот штурвала управления, растет частота вращения компрессора высокого давления и при определенной ее величине прекращается перепуск воздуха, автоматически останавливаются масляные электронасосы. Теперь смазка подшипников и шестерен осуществляется только за счет работы навесных масляных насосов.

Для остановки агрегата оператор нажимает на пульте управления кнопку «Стоп». При этом автоматически закрывается стоп-кран, перекрывая подачу топлива в камеру сгорания, частота вращения двигателя снижается до полной остановки.

Стоп-кран используется для прекращения подачи топлива при возникновении любой аварийной обстановки. Так как он включен в систему защиты двигателя, то его перекрытие и прекращение подачи топлива к рабочим форсункам происходит не только при нажатии кнопки «Стоп», но и автоматически в случае падения давления масла в системе смазки двигателя ниже определенной величины или повышении частоты вращения гребного вала на 10 % выше установленного наибольшего значения. Так

же срабатывает стоп-кран при превышении температуры газов за турбиной высокого давления выше установленных значений и в ряде других аварийных ситуаций.

Его можно закрыть и вручную непосредственно поворотом рукоятки. Во всех аварийных случаях помимо импульса, посылаемого в систему управления на автоматическое перекрытие стоп-крана, также автоматически включается сигнальная лампа, звонок-ревун, загорается аварийное табло на пульте управления. Так что вахтенный специалист в любом случае будет оповещен об аварийной обстановке.

АСУ газотурбинной установкой. Аббревиатуру АСУ сейчас часто можно встретить на страницах газет, услышать по радио и телевидению. АСУ — это автоматизированная система управления. Без использования таких систем немыслимо дальнейшее развитие народного хозяйства, ведь они — сочетание деятельности человека и работы автоматических устройств, электронно-вычислительной техники, средств связи с целью управления комплексами машин и станков, целыми предприятиями и даже объединениями. Именно такие АСУ все больше используются для управления судовыми газотурбинными установками. Для более наглядного представления об устройстве АСУ познакомимся с системой, примененной на газотурбоходе «Капитан Смирнов».

Эта АСУ, называемая «Тропик», управляет всеми техническими средствами и обладает высокой надежностью. Такой уровень надежности достигнут использованием только элементов повышенной надежности, дублированием важных управляющих цепей и, главное, включением в состав цепей управления контрольных устройств, которые автоматически проверяют систему и определяют место повреждения с точностью до сменного блока. Все это существенно сокращает время на поиск и устранение неисправностей, но, кроме того, оператор имеет возможность время от времени проверить исправность системы управления, включая контрольные приборы вручную.

Интересно отметить, что все системы сконструированы таким образом, что основным состоянием большинства составляющих их элементов является состояние ожидания, иначе говоря, элементы постоянно готовы к работе, но работают только во время передачи управляющих

сигналов, что резко сокращает время непосредственного нахождения под напряжением.

Если системы управления обесточатся при выходе из строя основных источников питания судовой сети, то автоматически включаются в работу резервные. При полном обесточивании судна и запуске аварийного дизель-генератора системы управления сразу же получают питание от него и автоматически включают насосы, обеспечивающие живучесть судна.

Все пульты систем управления на судне сконструированы с учетом требований инженерной психологии. Так как человек привык воспринимать желтый свет как предупреждающий, а красный — как сигнал опасности, то на пультах управления и использован принцип светофора.

Когда механизмы и устройства работают нормально, лампы сигнализации горят ровным белым или зеленым светом. Белый свет сигнализирует об исполнении отданной команды, например о закрытии клапана. Зеленый — означает, что устройство находится в нормальном, неизменяющемся состоянии.

Если характеристика работы или состояния механизма отклонилась от нормы, на пультах вспыхивает желтый мигающий свет. Одновременно включается звонок или ревун, посылая звуковой предупреждающий сигнал. Когда эти отклонения достигают аварийного значения, начинает мигать красная лампа в сопровождении звукового сигнала. Оператор, приняв предупреждающий или аварийный сигнал, нажимает кнопку разблокирования. Желтая или красная сигнальная лампа прекращает мигание и продолжает гореть ровным светом до тех пор, пока работа механизма вновь не войдет в норму.

Рассмотрим несколько подробнее систему дистанционного автоматизированного управления газотурбинной установкой «Раскат», входящую в состав АСУ «Тропик». Эта система позволяет управлять установкой с закрытого ходового мостика, с двух выносных постов управления на крыльях мостика и с центрального поста управления энергетической установкой (ЦПУ). Выносные посты капитан использует при швартовке судна или плавании в узкостях, когда ему удобнее наблюдать обстановку не с закрытого мостика, а с его открытого крыла.

Передвигая рукоятки машинного телеграфа, он прямо с мостика изменяет скорость судна, увеличивая или уменьшая частоту вращения газотурбинных агрегатов,

производит реверс с переднего хода на задний и обратно, переводит установку в режим «стоп-винт». С ходового мостика с помощью стоп-кранов можно произвести и экстренную остановку агрегатов. Система «Раскат» позволяет одному вахтенному в ЦПУ управлять газотурбинной установкой и обходиться при этом без постоянной вахты в машинном отделении.

Вторая часть АСУ «Тропик» — система дистанционного автоматизированного управления генераторами электрического тока «Ижора-6». Эта система следит за работой двух турбогенераторов и трех дизель-генераторов. Вмешательство оператора требуется только при вводе их в действие и для первоначального задания режима работы. С ростом же электрической нагрузки система автоматически запускает резервный генератор и распределяет нагрузку между работающими.

Уровень автоматизации в системе значителен. Например, на судне имеется подруливающее устройство, облегчающее поворот носовой части судна в нужную сторону при швартовке. Это довольно мощный электродвигатель, вращающий небольшой гребной винт, установленный в носовой части. Вот система «Ижора-6» и включает блокировку, позволяющую включать подруливающее устройство только после ввода в действие необходимого количества резервных генераторов.

В случае снижения мощности газотурбинных агрегатов и уменьшения давления пара в паровых котлах система автоматически отключает турбогенераторы, включает резервные дизель-генераторы и переводит на них электрическую нагрузку. И все это без вмешательства оператора.

Третья часть «Тропика» — система «Нарочь-6», обеспечивающая дистанционное автоматизированное управление судовыми системами, в частности балластной системой, включающей цистерны для приема водяного балласта — забортной воды во избежание опрокидывания порожнего судна.

Кроме того, «Нарочь-6» управляет системами приема и перекачки топлива, водяной противопожарной, креновой и некоторыми другими. Под ее «присмотром» находятся 14 мощных электронасосов и около 100 устройств для автоматического открытия и закрытия клапанов. С помощью этой системы управлять всеми насосами и клапанами можно прямо с пульта, установленного в ходовой рубке. Например, капитан сам может выравнивать крен,

заполняя креновые отсеки того борта, который противоположен поврежденному. Это чрезвычайно важно и при повседневной работе, когда никаких повреждений нет и судовые отсеки сухие. Ведь «Капитан Смирнов» — контейнеровоз. Во время погрузки и выгрузки судна нельзя допускать крена более 2° , иначе будет затруднена нормальная работа автопогрузчиков, перевозящих с берега на судно и обратно транспортные контейнеры с грузом. Для этого-то прямо с ходового мостика и включают в работу насос для заполнения цистерн и выравнивания крена.

Теперь осталось коснуться только системы централизованного автоматизированного контроля состояния технических средств — последней составляющей части АСУ «Тропик». На щитах этой системы отображается очень большой объем сведений. Посудите сами: система автоматически производит более 150 измерений характеристик работы главных и вспомогательных механизмов, сигнализирует об отклонении от нормы или аварийном значении 300 показателей и, наконец, регистрирует характер изменения более 50 показателей работы энергетической установки.

Некоторые из них высвечиваются на цифровых табло по запросу оператора, а большая часть постоянно отображается на шкалах приборов. Автоматический сбор, обобщение и анализ такого количества сведений, поступающих от датчиков, был бы невозможен без использования ЭВМ, работающей в составе этой системы.

В заключение знакомства с современной газовой турбиной следовало бы ответить на вопрос, поставленный в заглавии: побеждает газовая турбина паровую или нет? Но вот однозначного-то ответа и не существует. Безусловно, использование на морских судах газотурбинных установок будет возрастать, ведь они имеют большие преимущества перед паротурбинными. Но окончательно вытеснить турбину, успешно работающую на ядерном горючем, им не удастся. Видимо, такое положение останется надолго, а до конца столетия безусловно.

ГЛАВА 3. КОРАБЕЛЬНЫЙ ДИЗЕЛЬ

Нет,
Мы не так препятствия тараним!
Заменены на наших кораблях
И пар,
И парус
Внутренним сгоранием,
Чтоб кровь земли
Пылала в дизелях.

Леонид Мартынов

1. СТАНОВЛЕНИЕ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ДИЗЕЛЯ

Рождение теплохода. На судне труба, да не та.

С древних времен человек мечтал о небольшом и легком двигателе, с помощью которого он мог бы быстро передвигаться в любом направлении по суше и воде. Эти мечты выражались в поэтических сказках о семимильных сапогах, могучих китах и змеях, переносивших путешественников через моря и океаны. Так продолжалось столетия. Первые тепловые двигатели — паровые машины — были тяжелы и громоздки. Но именно на пути их совершенствования и находились возможности осуществления давней мечты.

Еще в 1680 г. известный голландский физик и инженер — создатель маятниковых часов — Христиан Гюйгенс предлагал построить двигатель, работающий за счет взрыва заряда пороха в цилиндре с поршнем. А затем многие ученые и изобретатели прилагали усилия к созданию нового типа теплового двигателя, в котором бы поршень двигался в цилиндре под воздействием не пара, а горячих газов. В результате этих усилий уже во второй половине XIX века появились первые работоспособные двигатели внутреннего сгорания.

В 1879 г. в России изобретатель И. С. Костович спроектировал первый в мире легкий бензиновый двигатель внутреннего сгорания для дирижабля мощностью 80 л. с. Удельная масса этого построенного в 1884 г. на Охтенской верфи в Петербурге транспортного двигателя была для того времени просто фантастической и равнялась всего 3 кг/л. с. Даже через 13 лет немецкие заводы строили для дирижаблей двигатели с удельной массой только 24 кг/л. с.

Создание дизеля стоит того, чтобы о нем поговорить подробнее. Ведь история немецкого инженера Дизеля, по фамилии которого был назван двигатель, поучительна во всех отношениях. Изучая его деятельность, мы поражаемся настойчивости и целеустремленности изобретателя в достижении поставленной задачи. И одновременно еще раз убеждаемся в том, что для капитализма главное не научный прогресс, не облегчение труда, а получение наибольшей прибыли.

В 1892 г. Рудольф Дизель получил патент на устройство нового типа двигателя внутреннего сгорания. Предполагалось, что в нем при постоянной температуре будет сгорать угольная пыль. По мнению изобретателя, двигатель должен был работать без охлаждения стенок цилиндров с самовоспламенением топлива от соприкосновения со сжатым горячим воздухом. Немецкие капиталисты вначале ухватились за изобретение Дизеля. Для них это была находка: ведь в Германии были значительные запасы угля и совсем не было нефти.

Под руководством изобретателя строится несколько опытных двигателей, но они не дали положительных результатов. Выяснилось, что и сгорание при постоянной температуре осуществить невозможно и что работать на угольной пыли двигатель не может. Но недаром Р. Дизель однажды заметил: когда опыт кончается неудачей, начинается открытие.

1895 г. ознаменовался постройкой более удачного третьего двигателя. Он работал на керосине, распыливаемом сжатым воздухом, цилиндры охлаждались водой, воздух сжимался до 35 кгс/см^2 , а топливо воспламенялось и сгорало при приблизительно постоянном давлении. Короче говоря, это оказался двигатель, появление которого выдающийся французский ученый Сади Карно предвидел еще в 1824 г.

В конце 1896 г. закончилась постройка четвертого опытного двигателя мощностью 20 л. с., а летом 1897 г. Дизель завершил создание работоспособного двигателя с высоким КПД (около 26 %), который в 1,5...2 раза превышал КПД основного теплового двигателя тех лет — паровой поршневой машины.

Вот тут-то на судьбу изобретателя и оказала роковое влияние бесчеловечная сущность системы капитализма. Немецкие заводчики, выяснив, что новый двигатель будет работать на жидком топливе, запасы которого в Герма-

нии крайне скудны, урезали помощь изобретателю и даже способствовали его травле. Несмотря на это, Дизель все же создал новый двигатель, получивший его имя, и широко внедрил его в промышленность и транспорт. Его смерть в 1913 г. окутана тайной: возможно, он покончил с собой, не исключено, что с ним свели счеты недруги.

Уже в 1897 г. патент на постройку нового двигателя был приобретен механическим заводом «Л. Нобель» в Петербурге (ныне завод «Русский дизель»), а в 1898 г. завод по совету известного русского теплотехника профессора Петербургского технологического института Г. Ф. Деппа приступил к постройке дизелей. Была поставлена задача обеспечить работу двигателя на дешевом топливе — сырой нефти, а не на дорогом керосине, как это делалось за рубежом. И уже в январе 1899 г. первый одноцилиндровый дизель мощностью 20 л. с. при 200 об/мин успешно работал на сырой нефти.

Инженеры завода «Л. Нобель» придали основным деталям двигателя ту конструкцию, которая впоследствии стала общепринятой. Он был всесторонне испытан профессором Г. Ф. Деппом и показал отличные качества: легкость пуска, спокойный ход, полноту сгорания, хорошее регулирование и плавную работу при малых нагрузках. Расход нефти оказался равным 220 г/л. с. ч, в то время как заграничные двигатели такой же мощности расходовали 240 г/л. с. ч более дорогого керосина.

Профессор Г. Ф. Депп с гордостью заявил на собрании общества инженеров-технологов: «Моя уверенность, что заводы, способные строить самые совершенные машины, у нас найдутся, оправдалась. Первая же попытка построить у нас двигатель, пользующийся нефтью, которой столь богата наша родина и которая представляет наивыгоднейшее во всех отношениях топливо, увенчалась успехом.

Безукоризненно выполненный нефтяной мотор пущен в ход, и я не могу не подчеркнуть, что именно у нас разрешен вопрос об экономичном тепловом двигателе, так как только с переходом на нефть решается судьба дизель-мотора, обеспечивается ему применение и широчайшее распространение... Русские инженеры показали свою техническую зрелость. Мы обеспечили двигателю Дизеля великое будущее». Успешная постройка дизелей в России (их даже стали называть за границей русскими двигателя-

ми) привела к оживлению интереса к ним со стороны зарубежных машиностроительных заводов.

Еще в 1898 г. выдающийся русский кораблестроитель профессор К. П. Боклевский впервые выдвинул идею о целесообразности использования двигателей внутреннего сгорания на судах. Это ему принадлежат слова: «Будущее русского судоходства принадлежит теплоходам». Именно в эти годы появилось в русском языке новое слово «теплоход», обозначавшее судно, на котором в качестве главного двигателя использован дизель.

Интересно, что на теплоходах, как и на пароходах, для отвода отработавших газов устанавливали трубу. Но, как говорится, труба, да не та. Если пароходные трубы часто украшал густой султан черного дыма, то трубы теплоходов играли больше декоративную роль. Сама же выхлопная труба дизеля занимала только малую часть площади поперечного сечения судовой трубы, а выхлоп отличался резкими частыми хлопками в такт движению поршней.

Весной 1903 г. от причала Выборгской стороны в Петербурге отошел первый в мире теплоход — волжский танкер «Вандал» грузоподъемностью 820 т. Многим установка дизелей на судах казалась недопустимой из-за огнеопасности топлива. Предполагали также, что при работе дизеля возникнет чрезмерная вибрация корпуса и его разрушение.

Но эти опасения не остановили русских инженеров. Сормовскому судостроительному заводу было заказано изготовление металлических корпусов танкеров «Вандал», «Сармат» и «Скиф», предназначенных для работы на Волге. Размеры корпусов позволяли им проходить по шлюзам Мариинской системы, соединявшей Неву с Волгой, и плавать по Онежскому и Ладожскому озерам.

«Вандал» дооборудовался на заводе «Л. Нобель». Там в качестве главных двигателей установили три трехцилиндровых четырехтактных нереверсивных дизеля мощностью по 120 л. с. каждый при частоте вращения 240 об/мин. Эти дизели предназначались для вращения генераторов электрического тока.

Таким образом, «Вандал» был не только первым в мире теплоходом, но и первым дизель-электроходом. Питание от генераторов постоянного тока подавалось на три гребных электродвигателя, вращавших три линии вала с гребными винтами. При такой передаче мощности от ди-

зеля на винт до 15 % ее терялось, но это было вынужденное решение.

Ведь первые судовые дизели были нереверсивными, что и заставило использовать электропередачу на винт. В этом случае направление гребного электродвигателя легко изменялось переменной полярности тока в обмотках возбуждения. Дизель-электрическая энергетическая установка обеспечивала «Вандалу» скорость 7,4 узла (13,7 км/ч).

«Сармат», имевший такие же размерения, как и «Вандал», начал плавание на год позже. На нем установили два четырехцилиндровых четырехтактных дизеля мощностью 180 л. с. каждый с новой системой электропередачи, разработанной в России. На переднем ходу дизели работали непосредственно на гребные винты, а на заднем ходу они, используя электромагнитные муфты, отсоединялись от гребных валов и переключались на вращение генераторов электрического тока, питание от которых передавалось на два гребных электродвигателя заднего хода. Мощность этих электродвигателей была значительно меньше, чем гребных электродвигателей «Вандала», за счет чего и удалось сократить их массу и размеры. Два вспомогательных одноцилиндровых дизель-генератора питали током электрическое освещение и вспомогательные электромеханизмы.

Танкер-теплоход «Сармат» находился в строю до 1945 г., а затем был передан Горьковскому институту инженеров водного транспорта для размещения на нем плавучего филиала музея.

В дальнейшем изготовление дизелей в России было освоено также на Коломенском и Сормовском заводах. В 1907—1909 гг. заводы «Л. Нобель» и Коломенский совместно построили дизели для восьми амурских мониторов типа «Шквал», ставших первыми в мире надводными военными кораблями с дизельной энергетической установкой. На каждом мониторе стояло по четыре дизеля общей мощностью 1000 л. с. при частоте вращения 350 об/мин, что обеспечивало ход до 11 узлов (20,4 км/ч). На переднем ходу дизели работали непосредственно на винт, а задний ход обеспечивался при помощи электропередачи, как и на «Сармате».

Сами могучие речные корабли «Шквал», «Вьюга», «Смерч», «Тайфун», «Шторм», «Вихрь», «Гроза», «Ураган» построил Балтийский завод в Петербурге. На каждом

мониторе размещались четыре бронированные башни, в двух было установлено по одному 152-мм орудью, а в остальных — по два 120-мм орудия. В дополнение к орудиям на каждом мониторе устанавливалось по семь пулеметов. Борта кораблей защищала 76-мм броня, толщина палубной брони была 20 мм.

Использование дизелей позволило сократить массу энергетической установки и за счет этого при сравнительно небольшом водоизмещении (946 т) установить на корабле мощную артиллерию и сильное бронирование. Журнал «Морской сборник», оценивая установку на этих мониторах дизелей, писал в 1922 г.: «Факт этот — величайшего значения, так как в этом случае Россия опередила на много лет не только Европу, но и Америку».

После революции по просьбе моряков Амурской флотилии некоторые корабли получили новые славные имена. Монитору «Шторм» присвоили имя Владимира Ильича Ленина, «Вьюге» — Якова Михайловича Свердлова. «Ураган» был назван «Красным Востоком», а монитор «Шквал» получил имя выдающегося китайского революционера — друга Советского Союза Сун-Ятсена. Монитор «Вихрь» переоборудовали в речную авиаматку «Амур», на которой базировался отряд гидросамолетов флотилии. Все эти корабли успешно участвовали в боевых действиях во время отражения агрессии белокитайских генералов в 1929 г.

В 1931—1932 гг. восстанавливаются и вводятся в строй боевых кораблей теперь уже Краснознаменной Амурской флотилии остальные три монитора. Два были названы именами Сергея Мироновича Кирова и Феликса Эдмундовича Дзержинского, а третьему было присвоено имя «Дальневосточный комсомолец». Они приняли активное участие в боевых действиях по разгрому японских империалистов и освобождению в 1945 г. Маньчжурии. Таков славный боевой путь первых в мире речных военных кораблей с дизельной энергетической установкой.

Как обеспечить реверс. Эта проблема сразу же привлекла внимание русских инженеров-дизелистов. На Коломенском заводе реверсом дизелей занимался инженер Р. А. Корейво, известный строитель волжских и каспийских теплоходов. Он предложил использовать передачу с зубчатыми колесами и разобщительными муфтами, управляемыми сжатым воздухом.

При такой передаче (рис. 23) на переднем ходу дизель

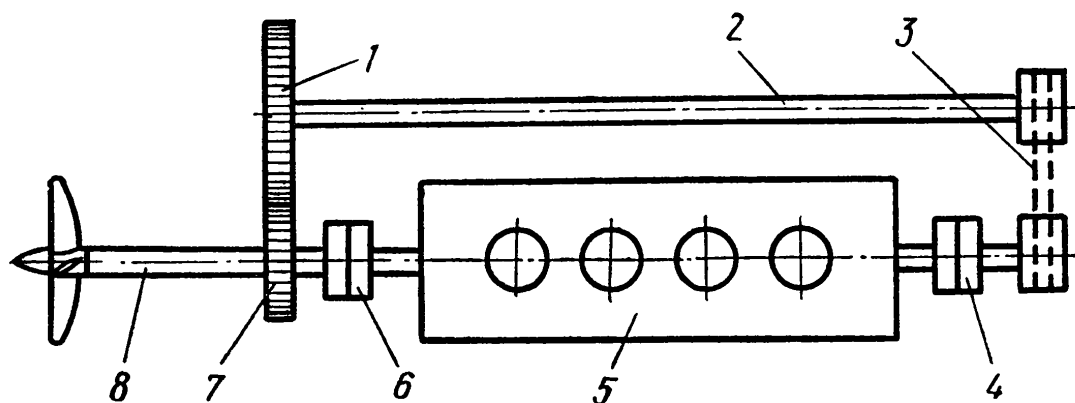


Рис. 23. Схема системы реверса дизеля конструкции инженера Р. А. Корейво:

1 — шестерня; 2 — промежуточный вал; 3 — цепная передача; 4 — носовая пневматическая муфта; 5 — дизель; 6 — кормовая пневматическая муфта; 7 — шестерня; 8 — гребной вал с винтом

работал непосредственно на гребной вал. На заднем же ходу кормовая разобщительная муфта выключалась, а носовая включалась. При помощи носовой муфты и цепной передачи дизель приводил во вращение промежуточный вал с ведущей шестерней. Эта шестерня вращала другую, ведомую, закрепленную на гребном валу, но уже в сторону, обратную направлению вращения коленчатого вала дизеля. Таким образом, сам дизель стороны вращения не менял.

Коломенский завод в 1907 г. построил первый в мире колесный буксир — теплоход «Мысль» (именно к этому судну и было впервые применено слово «теплоход»), на котором передача вращения от четырехцилиндрового дизеля мощностью 300 л. с. к гребным колесам осуществлялась с помощью системы Корейво. Там же через год был построен для Каспия и первый морской теплоход — танкер «Дело» (впоследствии «В. Чкалов»). На нем установили два четырехцилиндровых дизеля мощностью 500 л. с. каждый.

В это же время на заводе «Л. Нобель» в Петербурге создавался первый в мире реверсивный дизель, коленчатый вал которого мог вращаться в любом направлении на передний и задний ход. Работу возглавил талантливый инженер К. В. Хагелин. Задача по созданию четырехтактного реверсивного дизеля для новой подводной лодки «Минюга» была поставлена перед заводом еще в 1906 г.

Сама идея установки на подводной лодке именно дизелей родилась в России. Ее выдвинул в 1904 г. один из конструкторов первой отечественной боевой подводной

лодки «Дельфин» инженер-механик Горюнов. На «Дельфине» установили бензиновый двигатель, но вскоре убедились, что он явно не подходит к условиям работы из-за огнеопасности и летучести горючего.

Уже в 1908 г. реверсивный дизель мощностью 120 л. с. для подводной лодки был готов. Весь процесс реверса требовал не более 10...12 с и осуществлялся с помощью двойного комплекта кулачковых шайб, размещенных на распределительном валу. В момент реверса под ролики толкателей клапанов подводился нужный комплект кулачковых шайб переднего или заднего хода.

Тщательные испытания этого дизеля, проведенные профессором Н. А. Быковым, показали его прекрасные качества как в отношении надежности действия и простоты реверсивного механизма, так и в отношении расхода нефти (200 г/л. с. ч при работе на полную мощность).

В 1910 г. реверсивные дизели завода «Л. Нобель» были впервые установлены на надводных боевых кораблях — канонерских лодках «Карс» и «Ардаган». На каждом корабле было по два дизеля мощностью 500 л. с. каждый, а также по вспомогательному дизелю для привода генераторов электрического тока и некоторых других механизмов.

Канонерские лодки, построенные в Петербурге, совершили сложный переход по системе каналов и Волге на Каспий, что подтвердило полную пригодность новой системы реверса для корабельной службы. Ведь во время перехода каналами и по извилистому волжскому фарватеру приходилось не раз давать задний ход и вновь продолжать движение вперед.

С 1913 г. завод стал строить восьмицилиндровые дизели мощностью 1320 л. с. для новых подводных лодок типа «Барс» (рис. 24) и «Морж». Эти дизели — одни из лучших в мире — прекрасно показали себя в отношении надежности и удобства обслуживания в период боевых походов во время первой мировой и гражданской войн.

Надежные дизели, обеспечивающие надводный ход до 18 узлов, не раз выручали русских подводников. Вот один характерный боевой эпизод. В октябре 1916 г. подводная лодка «Тюлень», находясь на позиции вблизи Босфора, обнаружила турецкий вооруженный военный транспорт «Родосто». Командир лодки решил попытаться захватить судно в плен, скомандовал всплытие и открыл по

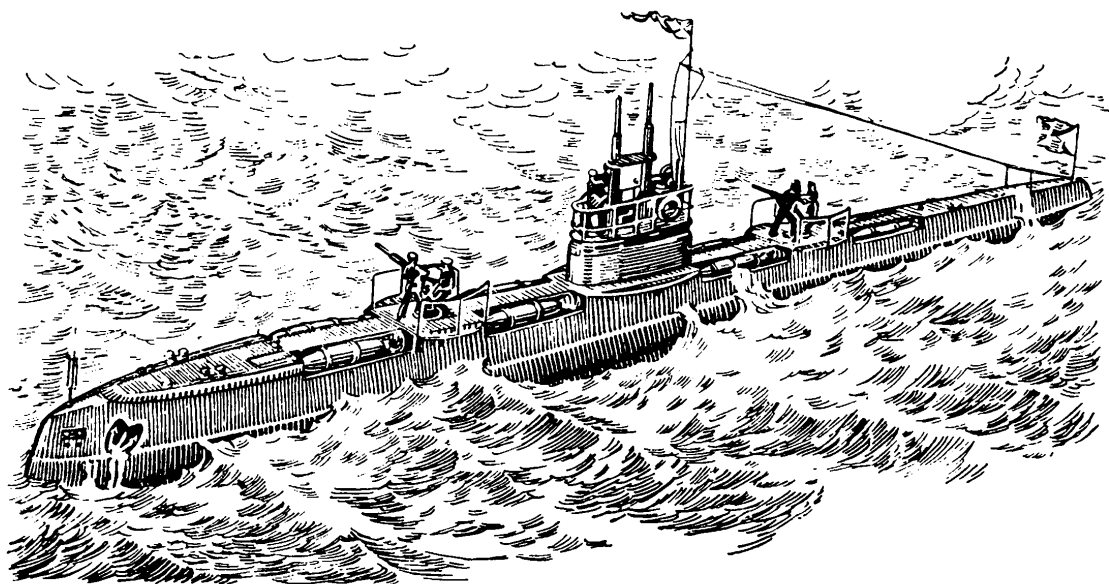


Рис. 24. Подводная лодка «Барс»

транспорту артиллерийский огонь. Транспорт отвечал. Артиллерийская дуэль продолжалась более часа.

Вот тогда-то в полной мере и проявили себя надежность дизелей, установленных на лодке, и отличная выучка мотористов. Командир лодки умело маневрировал под огнем противника, не давая ему пристреляться. Он то увеличивал ход до полного, то резко сбавлял скорость, а мотористы быстро и четко выполняли его приказания.

От попадания снарядов на транспорте начался пожар, он потерял ход и команда стала выбрасываться за борт. Позже пленные говорили, что поначалу лодку из-за ее значительной скорости хода и маневренности приняли за миноносец.

Подводная лодка подошла к «Родосто» и пришвартовалась к нему. На транспорт была высажена призовая партия, а оставшаяся команда обезоружена. Русские подводники ликвидировали пожар, исправили повреждения в корпусе судна, а мотористы сумели пустить в ход паровую машину. Трофейный транспорт в кильватере за лодкой, шедшей в надводном положении под дизелями, после сорокачасового перехода был приведен в Севастополь.

Корабельные дизели довоенных пятилеток. Уже во второй половине двадцатых годов в СССР возобновилась постройка дизелей на ряде машиностроительных заводов. Партия и правительство, учитывая опасность нападения империалистов на нашу страну, принимали меры по укреплению и строительству Красного флота.

На заводах были созданы дизели для первых подводных лодок советской постройки. Эти шесть лодок типа «Д» вступили в строй в начале тридцатых годов и назывались: «Д-1» «Декабрист», «Д-2» «Народоволец», «Д-3» «Красногвардеец», «Д-4» «Революционер», «Д-5» «Спартак», «Д-6» «Якобинец». На них стояло по два дизеля мощностью 1100 л. с. каждый, которые сообщали ход в надводном положении до 15,3 узла. Дальность плавания в надводном положении была около 9000 миль.

Нелегко давалось производство и обслуживание первых советских лодочных дизелей. Вот одна поучительная история, рассказанная старым подводником К. Л. Григайтисом, награжденным еще в 1935 г. орденом Ленина за освоение новых подводных лодок.

Впервые в отечественном подводном кораблестроении на линии вала лодок типа «Д» установили упорно-опорные подшипники Митчеля с подвижными упорными подушками. Новые подшипники обладали значительным преимуществом перед подшипниками, стоявшими на русских лодках дореволюционной постройки. Их размеры и масса были меньше, не нужен был отдельный насос для подачи смазочного масла.

Первые такие подшипники прошли испытания в заводских условиях и были запущены в серию. Но во время ходовых испытаний в море начались неприятности. Примерно через 20 ч работы температура масла в подшипниках резко повышалась, баббит на упорных подушках расплавлялся, на гребнях упорных валов образовывались круговые риски.

Каждый раз после возвращения лодки в базу комиссия вскрывала и осматривала подшипники, проводили полный анализ проб масла. Но несмотря на его замену она вновь и вновь обнаруживала в масляных камерах следы песка. Немало пришлось поразмыслить и потрудиться заводским специалистам и экипажу лодки, чтобы разгадать эту техническую загадку.

Успеха удалось добиться только после тщательной проверки всех технологических этапов изготовления упорных подшипников. Оказалось, что появление песка в масле — это следствие плохой очистки масляных камер литого корпуса подшипника от формовочной земли. Форму камер пришлось изменить, чтобы можно было проводить их качественную очистку механическим способом. Кроме того, очистку дополнили промывкой камеры горячим ще-

лочным раствором. И все неприятности с подшипниками прекратились.

Подводным лодкам типа «Д» пришлось воевать в годы Великой Отечественной войны. Особенно прославилась в боях на Севере Краснознаменная гвардейская лодка «Д-3» «Красногвардеец». И в боевых походах ее не раз выручали надежные дизели.

30 сентября 1941 г. «Д-3» обнаружила вражеский конвой, поднырнула под него и начала разворачиваться для атаки, но неожиданно выскочила на отмель. Командир дивизиона лодок капитан 3 ранга И. А. Колышкин (впоследствии Герой Советского Союза, контр-адмирал), находившийся на этой лодке, и ее командир Ф. В. Константинов приняли дерзкое решение: всплыть и, несмотря на близость вражеских кораблей охранения, уйти в надводном положении под дизелями.

Конечно, такое решение можно принять только твердо веря в надежность лодочных дизелей и мастерство мотористов. Все вышло как было задумано. Лодка всплыла, развернулась на виду у растерявшегося врага и полным ходом отошла от берега. Вражеские корабли не смогли ее догнать, а, отойдя в море, она опять погрузилась. Через некоторое время командир вновь атаковал конвой и потопил вражеский транспорт.

Вслед за лодками первой серии типа «Д» в довоенные годы развернулось строительство лодок последующих серий. На лодках четвертой серии типа «Правда» установили два дизеля мощностью по 2700 л. с. каждый, которые позволяли развивать надводную скорость хода до 20 узлов.

Весной 1938 г. состоялся одновременный спуск на воду двух самых больших лодок довоенной постройки — крейсерских подлодок типа «К». Командующий Северным флотом в годы Великой Отечественной войны адмирал А. Г. Головкин писал: «...большие океанские лодки типа «К», неизменно вызывающие зависть у наших союзников». По маневренным качествам, мощности главных дизелей и гребных электродвигателей, по вооружению, скорости и дальности плавания эти подводные лодки значительно превосходили тогдашние американские и английские.

Интересно, что разработку проекта первой крейсерской лодки возглавил опытный подводник контр-адмирал-инженер И. А. Рудницкий, который ранее служил командиром электромеханической боевой части на подлодке

«Д-3» «Красногвардеец». Два новых советских дизеля мощностью по 4200 л. с. каждый сообщали лодке скорость надводного хода до 22 узлов (40,7 км/ч).

В годы Великой Отечественной войны надежная работа этих дизелей не раз выручала подводников. 12 сентября 1941 г. подводная лодка «К-2» под командованием капитана 3 ранга В. П. Уткина впервые на Северном флоте успешно применила для атаки в надводном положении артиллерию. На ее борту в этом походе находился командир дивизиона капитан 2 ранга М. И. Гаджиев (впоследствии Герой Советского Союза). Обнаружив вражеское судно водоизмещением 6 тыс. т и убедившись в невозможности атаки торпедами, Гаджиев предложил атаковать судно артиллерией. Всплыв в надводное положение, лодка развила полный ход, пошла на сближение и с дистанции 45 кабельтовых (8,3 км) открыла огонь по судну из 100-мм орудия. Получив несколько прямых попаданий, транспорт потерял управление и, погружаясь кормой в воду, резко повернул в сторону берега.

Когда «К-2» входила в родную базу, Гаджиев разрешил произвести холостой выстрел из орудия — салют в честь победы. Этим было положено начало традиции подводников Северного флота при входе в базу количеством орудийных выстрелов извещать о числе потопленных вражеских кораблей. И когда мотористы слышали победный салют орудия своей подлодки, то с гордостью сознавали, что в общее дело они внесли и свой вклад — обеспечили надежную безаварийную работу дизелей — главных лодочных двигателей.

3 декабря 1941 г. М. И. Гаджиев, находясь в море на подлодке «К-3», совершавшей первый боевой поход, обнаружил большой транспорт в охранении сторожевика и двух катеров. Команда, пуск двух торпед — и транспорт потоплен. Корабли охранения стали преследовать и бомбить лодку, а затем вызвали на помощь еще несколько противолодочных кораблей.

Когда на горизонте появилось подкрепление, Гаджиев решил, не дожидаясь его подхода, прорваться в надводном положении под дизелями. «К-3» всплыла и открыла артиллерийский огонь по вражеским кораблям. В течение нескольких минут были потоплены сторожевик и катер, второй катер поспешно отошел к берегу, а лодка на полной скорости ушла в море. И на этот раз мотористы не подкачали, лодочные дизели работали безупречно.

В годы первых пятилеток наши заводы делали дизели и для надводных кораблей. На новые тральщики устанавливали по два дизеля мощностью 1400...1500 л. с. каждый. Эти тральщики имели скорость более 18 узлов, а с поставленными тралами — до 15 узлов даже при волнении 2...3 балла. Корабли на полной скорости могли пройти 3000 миль.

Эти дизели в годы Великой Отечественной войны надежно работали в самых тяжелых условиях. И вот подтверждение. Около двух часов ночи 27 июня 1942 г. Краснознаменные базовые тральщики Черноморского флота «Трал» и «Мина» вышли из Севастополя в Туапсе. На каждом тральщике было по 250 раненых, находящихся в кубриках и на верхней палубе. Около пяти часов утра корабли были атакованы 18 вражескими бомбардировщиками, которые сбросили 57 бомб весом от 250 до 1000 кг и обстреляли цели из пушек и пулеметов.

Оба экипажа в неимоверно тяжелых условиях совершили буквально чудо, но свои корабли отстояли. Командиры тральщиков старшие лейтенанты Б. П. Фаворский и И. И. Сенкевич умело маневрировали, уклоняясь от бомб и обстрела. За время боя не было случая, чтобы мотористы, несмотря на ранения, поломки и повреждения механизмов, не выполнили команду по изменению хода, переданную с мостика.

А обслуживать во время боя корабельные дизели было совсем не просто. Хотя прямых попаданий фашистские летчики не добились, но бомбы разрывались у самого борта и корабли раскачивало с борта на борт так, что крен порою достигал 15°. Каскады воды и град осколков обрушивались на палубу. Наружная обшивка во многих местах была пробита, некоторые швы разошлись. После боя на «Мине» насчитали 800 осколочных пробоин выше ватерлинии.

Немало повреждений получили и машинные отделения. Командир электромеханической боевой части «Трала» воентехник 1 ранга П. Г. Сергеев был контужен, его заменил старшина команды мотористов старшина 1-й статьи М. Г. Бондаренко. От сотрясения при близком взрыве вышел из строя насос охлаждения носового главного дизеля. Бондаренко приказал включить на охлаждение трюмно-пожарный насос. Бой продолжался, носовой дизель оставался в строю, но температура охлаждающей

воды росла. Тогда мотористы подключили на охлаждение второй насос.

Из-за перегрева двигателя появилась трещина в крышке четвертого цилиндра, а в нескольких цилиндрах вследствие сотрясений при взрывах через ослабшие уплотнительные втулки возникла течь воды. Лопнула втулка золотника топливного насоса одного из цилиндров. Мотористы и на этот раз не растерялись — быстро заменили втулку запасной и отрегулировали зазоры клапанов.

В кормовом машинном отделении через сальниковую набивку компенсатора выхлопного коллектора главного двигателя в отсек стали поступать выхлопные газы. Становилось трудно дышать. Мотористам удалось устранить неисправность: компенсатор обмотали листовым асбестом, закрепив его проволокой. Лопнула крышка одного из цилиндров кормового главного двигателя. Отсутствие освещения, задымление машинных отделений, близкие разрывы авиабомб — ничто не смогло помешать мотористам «Трала» обеспечить кораблю ход и маневр.

Тяжело пришлось и тральщику «Мина». Сначала уменьшился ход, так как носовой главный двигатель перегревался из-за повреждения насоса охлаждения. Затем вышел из строя газотурбинный нагнетатель воздуха. Носовой двигатель остановили и мотористы, не дожидаясь окончания боя, под руководством командира электромеханической боевой части лейтенанта-инженера Н. Г. Соловья и старшины команды мотористов главного старшины А. Г. Лаушкина приступили к ликвидации повреждения.

Корабль продолжал движение под одним главным двигателем, а в это время в носовом машинном отделении кипела работа. Нагнетатель полностью отключили, а вскоре удалось ввести в строй насос охлаждения. Не прошло и часа, как командир электромеханической боевой части доложил на ходовой мостик, что носовой двигатель введен в строй. Утром 28 июня оба тральщика благополучно прибыли в Туапсе. И на этот раз успешному выполнению боевого задания во многом способствовали высокая надежность и живучесть главных дизелей, самоотверженность и отличная подготовка мотористов. Через неделю оба тральщика, устранив повреждения корпусов и механизмов, вновь вышли в море.

В предвоенные годы дизели устанавливались на новых советских крейсерах и эсминцах в составе дизель-генераторов — резервных корабельных источников электроэнер-

гии. Следует отметить, что за годы довоенных пятилеток было построено и введено в состав ВМФ 246 кораблей с дизельной энергетической установкой, в том числе 200 подводных лодок, 38 тральщиков и 8 речных мониторов. Наше дизелестроение полностью обеспечило боеготовность Военно-Морского Флота к началу Великой Отечественной войны.

2. МНОГООБРАЗНОЕ СЕМЕЙСТВО

В два или четыре такта. Все многообразное семейство корабельных дизелей делится на четырехтактные и двухтактные. У первых весь рабочий цикл совершается за четыре хода поршня.

Во время движения поршня вниз происходит наполнение цилиндра воздухом через впускные клапаны (такт впуска). При последующем подъеме поршня воздух в цилиндре сжимается (такт сжатия). В конце его в цилиндр впрыскивается топливо. Оно распыляется, смешивается со сжатым горячим воздухом, самовоспламеняется и сгорает. Под действием давления газов поршень перемещается вниз (рабочий ход). Затем поршень вновь движется вверх (такт выпуска) и из цилиндра через выпускные клапаны удаляются продукты сгорания.

У двухтактных же дизелей весь рабочий цикл совершается за два хода поршня (вверх и вниз).

По своему назначению корабельные дизели, как и турбины, подразделяются на главные и вспомогательные. Первые приводят во вращение гребные валы с винтами и сообщают кораблю ход. А вторые вращают генераторы электрического тока, насосы и некоторые другие вспомогательные механизмы.

В зависимости от частоты вращения коленчатого вала дизели бывают малооборотные (300 об/мин), среднеоборотные (до 1000 об/мин) и высокооборотные (более 1000 об/мин).

Существуют дизели простого и двойного действия. В первых процессы рабочего цикла происходят в цилиндре с одной стороны поршня. Во вторых же они происходят попеременно с обеих сторон поршня, то есть топливо впрыскивается сначала в верхнюю часть цилиндра (рабочий ход направлен от верхней мертвой точки (ВМТ) к нижней мертвой точке (НМТ), а затем в нижнюю (рабочий ход направлен от НМТ к ВМТ). Двигатели двойного действия

существовали только двухтактные и большой мощности, но широкого распространения они не получили.

Интересны дизели с противоположно движущимися поршнями и с двумя коленчатыми валами. В них в каждом цилиндре размещены два поршня, движущиеся вертикально в противоположных направлениях и образующие в средней части цилиндра общую камеру сгорания. Каждый поршень через шатун вращает свой коленчатый вал, а затем от обоих коленчатых валов через редукторную передачу вращение передается на один гребной вал с винтом.

Кроме того, дизели разделяются на реверсивные, в которых направление вращения коленчатого вала может меняться, и нереверсивные, в которых оно неизменно. В зависимости от числа цилиндров дизели бывают одноцилиндровые и многоцилиндровые. Причем у последних цилиндры могут быть выстроены в один ряд в виде буквы V или в виде звезды. Разделяются дизели и по характеру наполнения воздухом (без наддува и с наддувом, когда воздух в цилиндры нагнетается под давлением). Вот какое многочисленное и разнообразное дизельное семейство трудится на кораблях и судах.

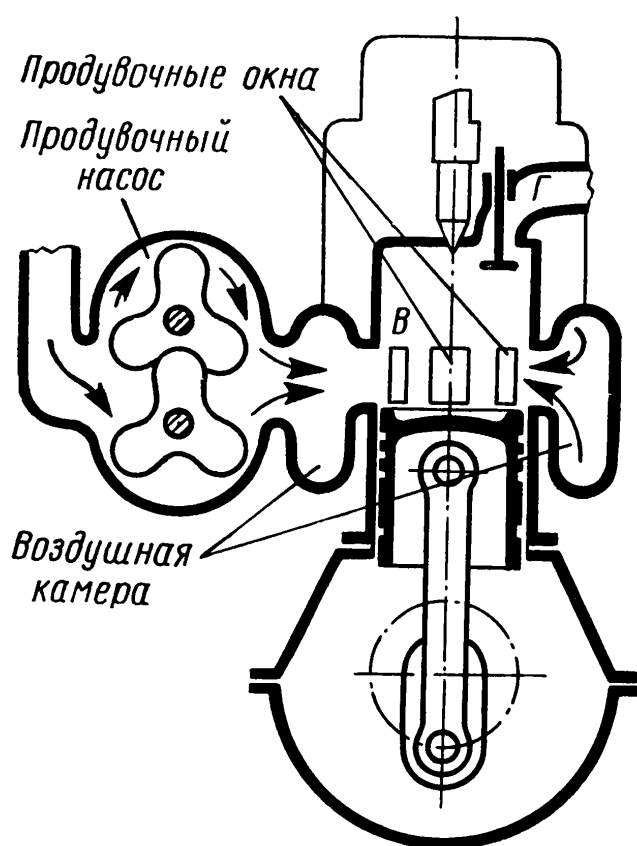


Рис. 25. Схема работы двухтактного дизеля с прямоточно-клапанной продувкой

Как устроить сквозняк в цилиндре. На рис. 25 показана схема двухтактного дизеля с прямоточно-клапанной продувкой. Выпуск отработавших газов в нем происходит через клапаны, расположенные в крышке цилиндра, а поступление свежего воздуха — через продувочные окна в нижней части цилиндра. Воздух с давлением $1,3...1,6 \text{ кгс/см}^2$ подается продувочным насосом, приводимым в действие от самого дизеля.

Первый такт цикла начинается с движения

поршня вверх от НМТ. Первыми закрываются выпускные клапаны, впуск же воздуха в цилиндр продолжается. Затем движущийся поршень закрывает продувочные окна и в цилиндре начинается сжатие. При дальнейшем движении поршня вверх свежий заряд воздуха сжимается до 35...40 кгс/см² и его температура поднимается до 550...650 °С. В конце такта сжатия, когда поршень еще не дошел до ВМТ, в цилиндр впрыскивается топливо. Оно само воспламеняется и сгорает. Начинается второй такт цикла.

Поршень под действием давления газов движется вниз, совершая рабочий ход. Когда он проходит примерно две трети расстояния от ВМТ до НМТ, открываются выпускные клапаны и начинается выпуск отработавших газов. Давление в цилиндре продолжает понижаться. Дальнейшее движение поршня вниз открывает продувочные окна, в цилиндр начинает поступать продувочный воздух, который почти полностью выдувает отработавшие газы.

Для улучшения «проветривания» цилиндра продувочные окна делают с наклоном вверх и в сторону. Благодаря этому воздух завихряется и продувает цилиндр значительно лучше, чем в четырехтактном двигателе.

Итак, рабочий цикл в двухтактном дизеле совершается за один оборот коленчатого вала, а не за два, как в четырехтактном. Значит, при прочих равных условиях мощность первого должна быть в два раза больше мощности второго? К сожалению, это не так. Она больше всего в 1,5...1,7 раза. Объясняется это главным образом тем, что часть цилиндра двухтактного дизеля занята продувочными окнами, за счет чего уменьшается полезный ход поршня. Нельзя забывать и о том, что часть мощности дизеля затрачивается на вращение продувочного насоса.

В двухтактном дизеле рабочие процессы отличаются большей напряженностью, чем в четырехтактном. Ведь в нем топливо сгорает в цилиндрах при каждом обороте коленчатого вала, а не через один оборот. Значит, средняя температура деталей двухтактного дизеля более высока. Отсюда и более быстрый выход из строя теплонапряженных деталей: поршней, поршневых колец, выпускных клапанов. А следовательно, для их изготовления требуется применять более качественные и теплоустойчивые материалы.

В конце концов мощность и экономичность работы двухтактного дизеля зависят от качества продувки цилиндров. При хорошей продувке достигается наиболее пол-

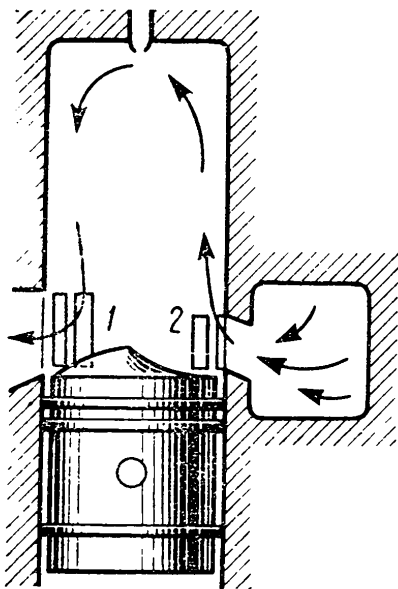


Рис. 26. Схема поперечно-щелевой продувки дизеля:

1 — выпускные окна;
2 — продувочные окна

ная очистка цилиндра от продуктов сгорания, в цилиндр вводится полный заряд свежего воздуха, требующий наименьшей затраты энергии на сжатие.

Вот почему конструкторы дизелей настойчиво стремились разработать способы наилучшей очистки и наполнения цилиндров воздухом. Ими предложено много типов продувок, но наиболее распространенными являются поперечно-щелевая и прямоточно-клапанная продувка.

Схема поперечно-щелевой продувки показана на рис. 26. Ее главная особенность — отсутствие выпускных клапанов и размещение выпускных окон напротив продувочных на одном уровне.

Высота выпускных окон больше высоты продувочных, которые наклонены так, что струя воздуха при поступлении в цилиндр направляется вверх.

Как же в этом случае происходит продувка? Когда кромка днища поршня,двигающегося вниз под действием расширяющихся газов, откроет выпускные окна, продукты сгорания начинают вытекать из цилиндра в выпускной трубопровод. Давление в цилиндре снижается. Дальнейшее движение поршня вниз открывает продувочные окна и в цилиндр начинает поступать воздух по пути, указанному на рис. 26 стрелками. Этот воздух будет вытеснять отработавшие газы в выпускные окна.

Во время движения поршня вверх сначала закроются продувочные окна, а затем выпускные. А это значит, что этот тип продувки исключает применение наддува, и это безусловно его недостаток. Конечно, при поперечном движении воздуха в цилиндре значительно труднее добиться полного удаления отработавших газов, так как часть продувочного воздуха неизбежно будет поступать прямо из продувочных окон в выпускные, что уменьшит свежий заряд и снизит мощность дизеля. Но зато такая продувка не требует установки выпускных клапанов и приводов к ним. Понятно, что это упрощает конструкцию дизеля и удешевляет его изготовление.

Со вторым, наиболее распространенным способом устройства «сквозняка» в цилиндре — прямоточно-кла-

панной продувкой — мы уже познакомились ранее. Такая продувка наиболее полно очищает цилиндр от отработавших газов и прямоточно-клапанной называется потому, что продувочный воздух, вытесняя газы из цилиндра, движется прямоходом в одном направлении.

Так как в этом случае открытие и закрытие продувочных окон происходит позднее открытия и закрытия клапанов, то расход продувочного воздуха будет относительно меньшим, а свежий заряд — большим. Эта продувка используется в дизелях, в которых требуется обеспечить наибольшую мощность при сравнительно небольших массе и размерах. Правда, она требует некоторого усложнения конструкции дизеля.

3. БЛИЗКОЕ ЗНАКОМСТВО С ДИЗЕЛЕМ

Как устроен дизель. На рис. 27 изображен поперечный разрез корабельного четырехтактного восьмицилиндрового дизеля. Такие дизели изготавливают обычно двух моделей — правой и левой и устанавливают на кораблях с двухвальной энергетической установкой для вращения соответственно гребных винтов правого и левого борта.

У двигателя солидная фундаментная рама, воспринимающая во время работы значительные усилия от давления газов на поршни и воздействия сил инерции движущихся деталей. Она состоит из продольных балок с полками для крепления дизеля к корабельному фундаменту и поперечных балок с гнездами для рамовых подшипников. В этих подшипниках укладывается коленчатый вал дизеля, передающий вращение гребному валу с винтом.

Коленчатый вал — одна из самых ответственных и дорогостоящих деталей дизеля. Его всегда изготавливали из лучших марок легированной стали. А сейчас благодаря успехам отечественной металлургии с целью снижения стоимости для этой цели все шире применяется качественный чугун.

Внизу рама снабжена корытообразным днищем — поддоном, служащим для сбора стекающего из подшипников смазочного масла.

На фундаментной раме установлена станина, а для разгрузки станины и цилиндров от растягивающих усилий из-за давления газов применены анкерные связи — длинные

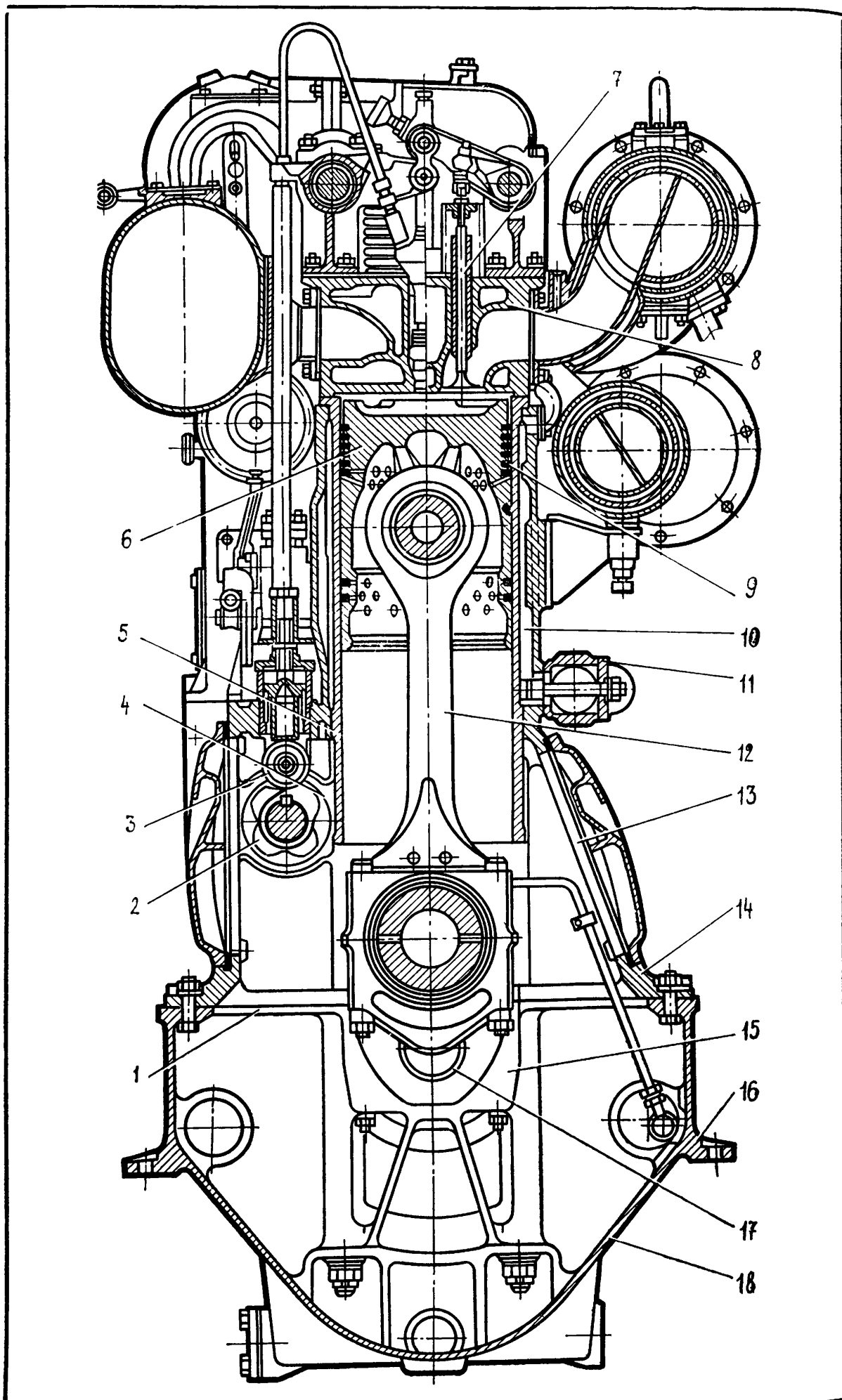


Рис. 27. Поперечный разрез корабельного 4-тактного 8-цилиндрового дизеля:

1 — продольная балка фундаментной рамы; 2 — профильные кулачковые шайбы распределительного вала; 3 — толкатель; 4 — подшипники распределительного вала; 5 — рабочая втулка цилиндра; 6 — поршень; 7 — впускные и выпускные клапаны; 8 — крышка цилиндра; 9 — уплотнительные поршневые кольца; 10 — зарубашечное пространство; 11 — труба для подвода охлаждающей воды; 12 — шатун; 13 — смотровой люк; 14 — станина; 15 — поперечная балка фундаментной рамы; 16 — полка для крепления дизеля к корабельному фундаменту; 17 — коленчатый вал; 18 — корытообразное днище-поддон

стальные болты, стягивающие цилиндр и станину вместе с фундаментной рамой.

Цилиндр дизеля — особо нагруженная деталь, так как он подвергается воздействию газов с высокой температурой и давлением, воспринимает на свои стенки быстроизменяющиеся боковые усилия при перемещении поршня. Возникающие же вследствие этого значительные силы трения приводят к дополнительному нагреву трущихся деталей.

Чтобы внутренние поверхности цилиндра могли свободно расширяться, его часто изготавливают из двух отдельных частей: наружной рубашки и вставной внутренней рабочей втулки. Для поддержания температуры втулок в допустимых пределах через пространство между рубашкой и втулкой прокачивается охлаждающая вода.

У большинства дизелей рубашки цилиндров объединены в блоки, выполненные в виде одной отливки для всего ряда цилиндров. Блок цилиндров обычно имеет с обеих сторон люки, через которые можно осматривать подшипники коленчатого вала.

В приливы блока вставлены подшипники распределительного вала с профильными кулачковыми шайбами. Эти шайбы перемещают толкатели с роликами и передают усилия для открытия впускных и выпускных клапанов и движения плунжеров топливных насосов.

С блоком соединена труба для подвода охлаждающей воды к цилиндрам. Крышки цилиндров, образующие непроницаемый объем камеры сгорания, также охлаждаются водой, поступающей из зарубашечного пространства блока. На них обычно размещены впускные и выпускные клапаны, форсунка для впрыскивания топлива и клапан для подачи в цилиндр сжатого воздуха при пуске.

На поршень надеты кольца двух видов: в верхней части уплотнительные, в нижней — маслосъемные. Поршневые кольца из мелкозернистого чугуна, обладающего хо-

рошей упругостью при высокой температуре, изготавливают разрезными. Ведь они должны во время работы дизеля пружинить и плотно прилегать к зеркалу втулки, не давая газам прорываться в картер.

Маслосъемное кольцо в сечении представляет собой прямоугольник со срезанным на конус одним из углов. На поршне его устанавливают так, чтобы меньший диаметр конусного среза был направлен в сторону камеры сжатия. Тогда кольцо подобно скребку будет соскабливать масло со стенок цилиндра и сбрасывать его в картер во время движения поршня вниз. При движении поршня вверх кольцо скользит по масляной пленке, не забрасывая ее в камеру сжатия, чем уменьшается образование нагара на стенках камеры, на клапанах, поршнях и уплотнительных кольцах.

Это чрезвычайно важно: ведь обильный нагар на кольцах приводит к их пригоранию к канавкам. Кольца перестают пружинить и плотно прилегать ко втулке цилиндра, что приводит к прорыву газов из цилиндра в картер, к сильному выгоранию масла, к уменьшению мощности дизеля.

Изо всех деталей дизеля поршень, пожалуй, работает в особо тяжелых условиях. Во-первых, он воспринимает давление горячих газов и передает его через шатун на коленчатый вал, а во-вторых, его возвратно-прямолинейное движение с большими скоростью и ускорением приводит к воздействию на него значительных сил инерции.

Чтобы уменьшить эти силы, надо сократить массу поршня и делать его из легкого, но прочного материала. Кроме того, этот материал должен быть износостойким, хорошо отводить тепло, выделяющееся при сгорании топлива, а его тепловое расширение должно быть невелико. При большом расширении нагретый поршень станет заедать во втулке цилиндра и тогда придется увеличить зазор между поршнем и втулкой, что конечно приведет к ухудшению работы дизеля.

В результате многочисленных опытов и исследований наилучшим материалом для поршней были признаны алюминиевые сплавы. Наиболее широко применяется силумин.

Почему же именно силумин обладает набором всех необходимых качеств для изготовления поршней? Это связано с его структурой. Он состоит из относительно мягкой основной массы алюминия, в которой залегают

твердые мелкие кристаллы соединений меди и никеля с алюминием, магния с кремнием и другие. Именно такая структура придает сплаву высокую износостойкость и достаточную прочность при сохранении всех других необходимых качеств.

Шатун также весьма ответственная деталь. Он делается из легированной стали и присоединяется к шейке коленчатого вала с помощью разъемного подшипника со стальным вкладышем, залитым баббитом или свинцовой бронзой. Верхняя и нижняя часть этого подшипника скреплены шатунными болтами. У дизелей с двумя и более рядами цилиндров несколько шатунов работают на одну шейку коленчатого вала. Так у V-образного дизеля, например, один шатун является главным, а второй — прицепным.

Так как шатунные болты очень сильно нагружены, то они делаются из особо прочных и вязких сортов стали, а при установке тщательно подгоняются к отверстию. Затяжка же их дело настолько ответственное, что его поручают только опытным специалистам. Болты затягивают только особыми ключами строго установленной длины и с определенным усилием, а способ затяжки подробно описывается в ремонтных инструкциях для каждого типа дизеля.

При длительной работе дизеля из-за смятия резьбы и прокладок в разьеме подшипника затяжка шатунных болтов может ослабнуть. Поэтому через определенное число часов работы мотористы ее проверяют, а во время работы дизеля внимательно прислушиваются к характеру его шумов. Ослабление затяжки шатунных болтов сопровождается обычно стуком. Вот тут-то и необходимо немедленно остановить дизель, определить причину этого стука и устранить ее.

Сейчас на кораблях и судах установлены дизели самой разнообразной мощности и размеров: от одноцилиндрового мощностью 3 кВт (4 л. с.) с диаметром цилиндра всего 85 мм до многоцилиндровых богатырей мощностью более 22 000 кВт (30 000 л. с.) и диаметром цилиндра немногим менее метра.

Рассмотрим для примера мощные малооборотные дизели, изготовленные производственным объединением «Брянский машиностроительный завод». На новом нефте-рудовозе водоизмещением 122 000 т «Борис Бутома», который построен на Черноморском судостроительном за-

воде «Океан», установлен один из таких дизелей. Это двухтактный, реверсивный, 9-цилиндровый дизель мощностью 15 500 кВт (21 000 л. с.) при 110 об/мин коленчатого вала и винта. В случае необходимости почти в течение часа этот дизель может работать с частотой вращения 117 об/мин. Тогда его мощность достигнет 18 750 кВт (25 500 л. с.).

О размерах этого великана лучше всего судить по диаметру цилиндров, который равен 840 мм, и ходу поршня — 1800 мм. Масса дизеля равна массе 762 автомашин «Жигули» и составляет около 762 т. Удельный расход топлива на полной мощности всего 209 г на каждый киловатт развиваемой мощности в течение часа. Это отличный экономический показатель.

Интересно отметить, что завод гарантирует нормальную работу и установленную мощность дизеля при плавании в любых районах океана, включая тропики, когда температура наружного воздуха равна 35...40 °С, а температура забортной воды 32 °С.

Тщательный контроль за качеством изготовления каждой детали и сборки узлов определил высокую надежность работы дизелей в течение 100 000 ч от момента изготовления до капитального ремонта.

Брянские дизелестроители продолжают совершенствовать конструкцию своих богатырей. Используя ЭВМ и новейшие математические методы, они все более точно рассчитывают тепловые и механические напряжения в деталях самой сложной конфигурации, учитывают условия работы, усталость металла в результате воздействия большого числа переменных нагрузок, устанавливают влияние изменения напряжения в деталях дизеля при его прогреве, при длительной работе и работе на предельной мощности.

Такое глубокое проникновение в тайны изменения состояния дизельных деталей позволило выбрать их наилучшие размеры и конструкцию для новых дизелей. Такие дизели будут иметь от 5 до 12 цилиндров и каждый из них разовьет мощность 1770 кВт (2400 л. с.). А это значит, что 12-цилиндровый двигатель может длительно работать с мощностью 21 200 кВт (28 800 л. с.). И это, конечно, не предел, дизельные богатыри будут становиться все сильнее и сильнее.

Под давлением в 300 атмосфер. В первых дизелях топливо впрыскивалось в цилиндр сжатым воздухом и

сгорало там при почти постоянном давлении. А так как воздух для распыления нагнетался компрессором, приводящимся в движение от самого двигателя, то такие дизели назывались компрессорными. Установка компрессора увеличивала массу дизеля, усложняла его обслуживание, и ученые не прекращали поисков лучших способов подачи и распыления топлива.

Впервые идею о возможности создания дизеля с бескомпрессорным распылением топлива высказал профессор Горьковского института инженеров водного транспорта Г. В. Тринклер, известный конструктор Сормовского завода, который еще в 1898 г. будучи студентом Петербургского технологического института, получил патент на подобный двигатель и спроектировал его. Этот двигатель мощностью 10 л. с. с распыляющим топливо устройством на крышке был построен в 1901 г. на Путиловском заводе в Петербурге.

В 1904 г. Тринклер получил патент на новую конструкцию устройства для подачи топлива. Он предложил для сжатия воздуха и распыления топлива использовать вспомогательный поршень.

Но главная заслуга Г. В. Тринклера состояла в том, что он первый в мире осуществил работу дизеля по смешанному циклу, когда сгорание топлива происходит сначала при постоянном объеме, а затем при постоянном давлении. Именно такой принцип положен в основу работы современных бескомпрессорных дизелей.

Над созданием бескомпрессорных дизелей в России работал и инженер Я. В. Мамин, по проектам которого в 1903—1904 гг. было построено и испытано несколько бескомпрессорных двигателей, демонстрировавшихся на все-русских и международных выставках.

К сожалению, все бескомпрессорные дизели постройки тех лет имели мощность всего 20...30 л. с. и могли быть использованы лишь в качестве вспомогательных двигателей. И только в 1915—1916 гг. в Англии и Германии появились бескомпрессорные дизели большой мощности. Но так как они работали не всегда надежно, то до начала 30-х годов продолжался выпуск компрессорных дизелей большой мощности для использования на кораблях и судах в качестве главных двигателей. Сейчас же на флоте применяют только бескомпрессорные дизели, в которых

распыление топлива производится механическим путем с помощью насосов.

Для устойчивой работы дизеля топливо должно подаваться к форсункам в строго необходимом количестве, в точно определенный момент и одинаковыми порциями в каждый цилиндр. Каждое из этих требований важно и необходимо, а без выполнения последнего из них нельзя добиться равномерного распределения нагрузки между цилиндрами. А это очень опасно. Ведь если дизель работает на полную мощность, когда количество подаваемого в каждый цилиндр топлива приближается к предельному значению, то даже небольшое увеличение подачи в один из цилиндров так его перегрузит, что может произойти авария.

Топливная система дизеля должна позволять плавно изменять подачу топлива, а также увеличивать подачу с ростом нагрузки на дизель и уменьшать с падением. Но ведь увеличивать подачу топлива (а следовательно, и нагрузку) можно только до определенного предела, до тех пор, пока для его полного сгорания будет хватать поступающего в цилиндры воздуха. Если же и дальше увеличивать подачу топлива, то сгорание резко ухудшится, повысится дымность и температура выхлопных газов, дизель перегрузится. И это не пройдет даром: возникнет повышенный износ поршневых колец и цилиндровых втулок, не исключены также задиры поршней, появление трещин в крышках цилиндров, прогорание выпускных клапанов. Конечно, этого допускать нельзя, и следовательно, топливная система должна содержать устройства, предупреждающие перегрузку всего дизеля или отдельных цилиндров.

Топливная система современных дизелей впрыскивает в цилиндры мелкораспыленное топливо на протяжении всего времени его подачи. Но для образования рабочей смеси необходимого качества частицы распыленного топлива нужно правильно распределить по всему объему камеры сгорания. Ведь только в этом случае для горения будет использован весь кислород воздуха, сжатого в цилиндре. Как же этого достигнуть?

В корабельных дизелях наиболее распространен струйный способ образования рабочей смеси с помощью форсунок. Диаметр их сопловых отверстий составляет всего 0,2...0,5 мм, а давление топлива иногда достигает 700 кгс/см². Но даже и при меньшем давлении, 250...300 кгс/см², скорость истечения топлива доходит до 200...

300 м/с. Выходя из сопла, струи топлива распадаются на мельчайшие частицы и движутся в различных направлениях и с различными скоростями по всему объему камеры сжатия. Такие дизели называются однокамерными, так как в одном объеме происходит и образование рабочей смеси и ее сгорание.

Существуют дизели и с форкамерным смесеобразованием, в которых топливо под давлением до 100 кгс/см² подается через форсунку в особую камеру (форкамеру), находящуюся в крышке цилиндра. В ней топливо частично сгорает, а большая его часть под давлением газов выталкивается в основную камеру сжатия, где перемешивается с воздухом и сгорает полностью.

Но при любых способах смесеобразования топливо необходимо подавать в цилиндры, что наилучшим образом достигается с помощью насосов высокого давления.

Наибольшее распространение получили топливные насосы с постоянным ходом плунжера — цилиндрического стержня, точно пригнанного к направляющей втулке. При движении плунжера вверх насос нагнетает топливо в цилиндр, а при движении вниз — топливо поступает из приемной магистрали в полость над плунжером (рис. 28, а).

Ход плунжера всегда один и тот же, а регулировка подачи топлива происходит за счет перепуска его излишков обратно во всасывающую камеру насоса. В момент прекращения нагнетания топлива, называемый отсечкой, спиральная кромка плунжера открывает перепускное отверстие, через которое топливо и уходит во всасывающую камеру насоса. Именно изменением момента отсечки достигается увеличение или уменьшение количества подаваемого в форсунку топлива. Это изменение производится поворотом плунжера (рис. 28, б).

Естественно, что с ростом нагрузки на дизель частота его вращения будет уменьшаться. Для сохранения ее неизменной необходимо увеличить подачу топлива. И наоборот, если нагрузка на дизель резко уменьшится, частота вращения начнет возрастать, то следует сразу же уменьшить подачу топлива, чтобы дизель не пошел вразнос.

Поддерживать постоянной частоту вращения дизеля вручную, поворачивая плунжеры топливных насосов, просто невозможно. Для этой цели используют центробежные регуляторы, в которых воздействие от вращающихся грузиков передается на зубчатые рейки, связанные с на-

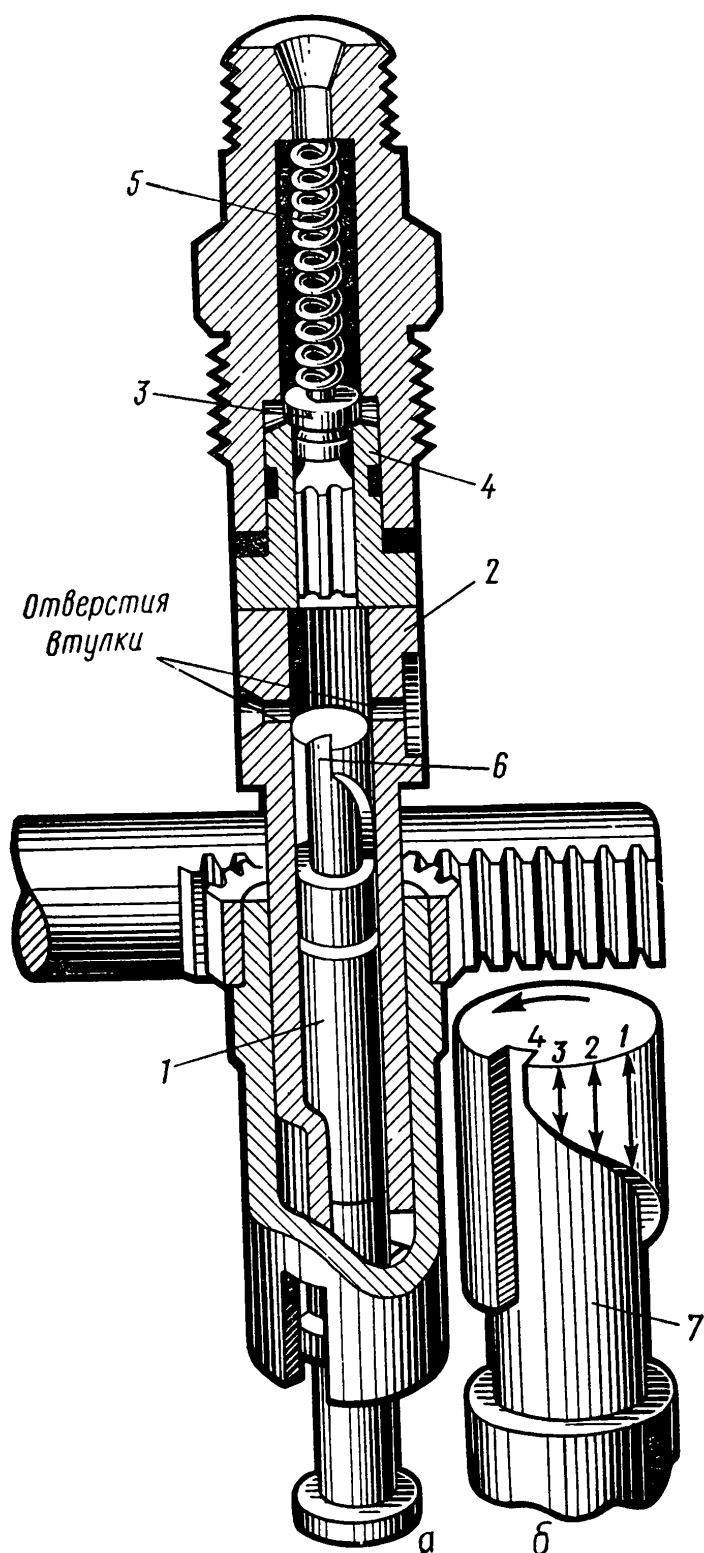


Рис. 28. Топливный насос с постоянным ходом плунжера:

1 — плунжер; 2 — втулка; 3 — нагнетательный клапан; 4 — гнездо нагнетательного клапана; 5 — пружина нагнетательного клапана; 6 — вертикальный паз на плунжере; 7 — плунжер топливного насоса с фигурным вырезом

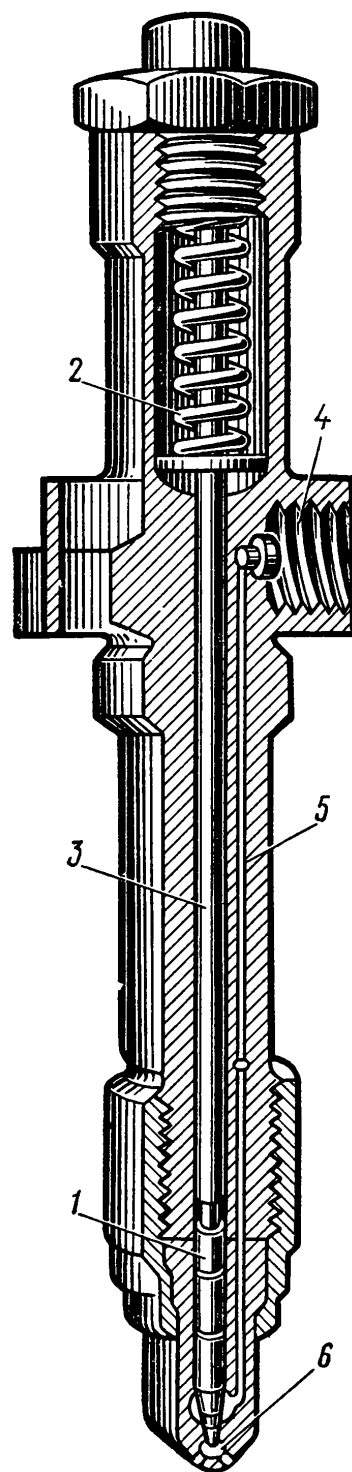


Рис. 29. Форсунка дизеля:

1 — запорная игла; 2 — пружина; 3 — стержень; 4 — штуцер; 5 — вертикальный канал в корпусе форсунки; 6 — распылитель

детым на плунжер топливного насоса зубчатым колесом. При повороте зубчатого колеса разворачивается и плунжер, изменяя подачу топлива. Одновременно воздействие от вращающихся грузиков передается и на установочную пружину регулятора. Изменяя ее натяжение, частоту вращения дизеля можно регулировать и вручную.

В дизелях большой мощности перемещение зубчатой рейки и поворот плунжеров топливных насосов требуют значительных усилий. Поэтому в них центробежная сила грузиков воздействует только на пружинные весы (устройство, допускающее изменение натяжения пружин в больших пределах), которые передают усилие на золотник масляного сервомотора.

Золотник, перемещаясь, пропускает в соответствующую полость цилиндра сервомотора масло, которое своим давлением перемещает поршень со штоком. А уже движение штока передается зубчатой рейке топливных насосов. Так сервомотор усиливает воздействие вращающихся грузиков регулятора и разворачивает плунжеры топливных насосов мощного дизеля, изменяя подачу топлива в цилиндры.

В настоящее время наиболее распространены форсунки, в которых запорная игла разобщает их внутреннюю полость с камерой сгорания (рис. 29). Эта запорная игла прижимается к гнезду сильной пружиной, а поднимается под давлением топлива на ее коническую поверхность. Когда насос создаст достаточно большое давление, которое преодолеет усилие пружины и поднимет иглу вверх, то топливо, пройдя через распылитель, с большой скоростью впрыснется в камеру сгорания. В момент отсечки подачи топлива давление в нагнетательном трубопроводе резко упадет, отчего игла вновь опустится на седло.

Давление начала впрыскивания в пределах 250... 300 кгс/см² можно регулировать затяжкой пружины. Так как игла садится на гнездо резко и быстро перекрывает подачу топлива в распылитель форсунки, то поступающие в цилиндр последние капли топлива обладают достаточно большой скоростью для хорошего распыления в камере сжатия. В таких форсунках после окончания впрыскивания топливо из распылителя не подтекает, а значит, все оно хорошо распыляется и бездымно сгорает.

В последнее время все чаще на дизелях устанавливают насос-форсунки — единые агрегаты, соединяющие вместе две отдельные части топливной системы. Такое объедине-

ние до предела сокращает длину нагнетательного трубопровода, а это чрезвычайно важно: уменьшается объем топлива, находящийся между плунжером насоса и отверстием распылителя форсунки, а следовательно, и влияние сжимаемости топлива, которое делает начало и конец впрыскивания менее резкими и способствует подтеканию топлива из распылителя.

Совершенно очевидно, что попадание даже мельчайших твердых частиц на рабочие поверхности плунжеров, втулок и клапанов топливных насосов, игл форсунок может нарушить их плотность и стать причиной задиров и заеданий. Отсюда ясно, как важна тщательная очистка топлива от механических частиц. Топливо в дизелях проходит трех-четырекратную очистку в фильтрах различной конструкции. И один из лучших способов очистки — сепарирование. В быстро вращающейся центрифуге под действием центробежных сил механические частицы и вода отделяются от топлива. Они отбрасываются от оси вращения к наружным кромкам внутренних дисков и накапливаются в грязевой камере, а очищенное топливо выходит наружу.

Заканчивая знакомство с топливной системой, вспомним еще раз о важности бесперебойной подачи топлива для нормальной работы корабельного дизеля. Моторист обязан в совершенстве знать устройство этой системы, чтобы в сложных боевых условиях не растеряться, быстро определить и устранить полученные в бою повреждения. Так поступали и мотористы в годы Великой Отечественной войны.

20 сентября 1941 г. после выполнения боевого задания базовый тральщик Черноморского флота «Искатель» возвращался из Тарханкута в Севастополь. Около 11 часов дня три вражеских бомбардировщика атаковали корабль. Командир тральщика капитан-лейтенант В. А. Паевский умело маневрировал, уклоняясь от сброшенных авиабомб. Всего несколько бомб взорвались в 5...10 м от носовой и кормовой оконечности корабля, остальные грохотали вдали.

При близких взрывах корабль подбрасывало вверх, полубак, мостик и корму заливало водой. От фундаментов оторвались корпуса опорных подшипников валов правого и левого борта. В коридор вала из перебитой магистрали охлаждения подшипников и дейдвудных сальников поступала вода. Освещение вышло из строя.

Судьба корабля фактически зависела от того, сумеют ли мотористы обеспечить ход и маневр. Так как в машинных отделениях большинство приборов было повреждено, то контроль за работой главных дизелей мотористы осуществляли «на слух и на ощупь». Командир отделения мотористов старшина 1-й статьи Ф. А. Шмитько по изменению звука установил, что главный дизель снижает обороты.

В отсеке было темно, но старшина, пользуясь ручным аккумуляторным фонарем, быстро выяснил, что от сотрясения при взрыве топливный шестеренчатый насос начал подсасывать воздух через неплотность во фланце топливной магистрали. Он приказал мотористу В. А. Платонову подкачивать топливо ручным насосом, а за это время поджал болты у фланцевого соединения и прекратил подсос воздуха. Шестеренчатый насос заработал нормально. Главный дизель увеличил обороты.

Казалось бы, устранили небольшую неисправность, что здесь особенного? Но ведь старшина сумел разобраться в причинах падения оборотов в темноте, когда рядом за бортом взрывались одна за другой фашистские бомбы и нервы были напряжены до предела. Ведь следующая бомба могла разорваться прямо в машинном отделении. Именно хладнокровие, отличное знание своей специальности, высокое чувство ответственности за судьбу корабля помогли командиру отделения обеспечить в этих сложных условиях работу главного дизеля и заданный ход.

Когда самолеты улетели, командир электромеханической боевой части лейтенант-инженер К. Н. Иванов осмотрел поврежденные подшипники линий валов. Согласно техническим условиям работа главного дизеля при таких повреждениях не допускалась, так как могла привести к повреждению дейдвудных сальников и самого дизеля. Что же делать? Вызывать буксир? А если опять появятся вражеские самолеты?

Иванов посоветовался со старшинами-мотористами. Они еще раз тщательно осмотрели обе линии вала. И было принято смелое решение раскрепить корпуса опорных подшипников и идти своим ходом в Севастополь. Конечно, командир электромеханической боевой части организовал тщательное наблюдение за работой дизелей и подшипников, специально выделенные мотористы непрерывно следили за температурой масла, а сам лейтенант и командиры отделения мотористов все время находились

в машинных отделениях и контролировали работу дизелей.

К вечеру тральщик благополучно прибыл в Севастополь. После 10-дневного ремонта на заводе «Искатель» вновь вышел в море.

Как часто в годы Великой Отечественной войны только смелое техническое решение, решение на грани допустимого риска, принятое нашими корабельными инженерами-механиками, казалось бы вопреки всем правилам и положениям, приводило к успеху, к выполнению боевой задачи в самых немыслимых, рискованных ситуациях, а зачастую и к спасению корабля и всего экипажа. Вспомним хотя бы докование крейсера «Красный Кавказ» в небольшом доке, рассчитанном на подъем кораблей не более эскадренного миноносца, и многое другое.

Да, риск был исключительный, но он был не слепым и безрассудным. На чашу весов ложились высокий уровень технической подготовки, а также мастерство и самоотверженность матросов, старшин и офицеров электромеханических боевых частей.

Еще раз о системе смазки. Трение, возникающее в движущихся сопряженных узлах работающего дизеля, вызывает потерю мощности, а также нагрев и износ деталей. Как его уменьшить? Эта проблема неизменно волнует и конструкторов и эксплуатационников. Мы уже познакомились с тем, как она решается в турбинных агрегатах. Теперь посмотрим, как с ней справились при создании дизелей.

В современных дизелях масло для смазки и охлаждения трущихся деталей подается принудительно под давлением навесными масляными шестеренчатыми насосами. Во время же пуска масло прокачивается отдельным шестеренчатым электронасосом. Все масло, нагнетаемое насосами, очищается в фильтрах и охлаждается в холодильнике, через трубки которого прокачивается забортная вода. Затем оно направляется по трубопроводу в дизель, где поступает к подшипникам коленчатого и распределительного валов, к роликам толкателей клапанов и топливных насосов. В ряде дизелей шейки коленчатого вала изготавливают пустотелыми, торцы шеек закрывают маслонепроницаемыми заглушками, а в щеках мотылей просверливают отверстия, соединяющие внутренние полости вала в одну общую вращающуюся масляную магистраль. Тогда эта магистраль используется не только для

подвода масла к подшипникам, но и для дополнительной его очистки.

Как же это происходит? Все мотылевые шейки смазываются маслом, проходящим из внутренней полости вала через сверления, в которые вставлены трубки, выступающие в эту полость. Благодаря этому механические частицы, попавшие в шейку мотыля и отбрасываемые центробежными силами ко внутренней поверхности полости, в трубку не попадут, а, следовательно, поступившее в трубку масло будет более чистым.

Опытный моторист никогда не забудет, что нарушение смазки двигателя может привести к выходу его из строя, к потере кораблем хода. А в бою остаться без хода — значит наверняка погибнуть. В годы Великой Отечественной войны бывали случаи, когда только героическое поведение и самоотверженность мотористов предотвращали гибель корабля по этой причине. Именно так вел себя в бою моторист Кузнецов из экипажа торпедного катера ТК-93, которым командовал в годы войны Герой Советского Союза А. Е. Черцов.

ТК-93 возвращался в свою базу после успешного уничтожения фашистских кораблей в оккупированном гитлеровцами черноморском порту. Моторист Кузнецов, осматривая двигатели, увидел под одним из них масло, а затем обнаружил место течи — трещину в передней части картера. Пришлось продолжать движение под одним двигателем. Только благодаря бдительности вахтенного моториста неисправный двигатель не заклинило. В него залили масло из запасных банок и приготовили к пуску.

Когда до берега, где катер мог быть прикрыт нашими береговыми зенитными батареями, оставалось 15...20 мин хода, показались два самолета противника. Черцов приказал немедленно ввести второй двигатель в действие. Два истребителя, стреляя из пушек и пулеметов, пронеслись над катером, но он уже мог маневрировать и уклоняться от огня.

Командир отделения мотористов Шаманский умело управлял работой обоих двигателей. Стрелка машинного телеграфа все время была в движении, командир то давал полные обороты переднего хода, то ставил ручку на «Стоп», то переводил телеграф на задний ход. Шаманский мгновенно реагировал на все приказания, изменяя обороты и переключая реверсивные муфты. Он понимал, что только ход и маневр могут спасти катер.

В это время ударили береговые зенитные установки, один истребитель задымил, отвалил с боевого курса и пошел от берега над морем. За ним ушел и второй. Из моторного отделения в ходовую рубку катера повалил дым, оттуда выскочил Шаманский и доложил: «Левый двигатель горит, разрешите его заглушить».

Только после этого узнали, что в течение всего боя с самолетами моторист Николай Кузнецов лежал под двигателем и ветошью закрывал трещину в картере. Горячее масло пропитало ее и обжигало ладони, Кузнецов терял сознание от боли, но рук не отпускал.

Когда коллекторы двигателя почернели и загорелась краска, Шаманский буквально силой вытащил Николая из-под двигателя. Вместе они стали сбивать пламя. Двигатель проработал всего 10 мин, но этого было достаточно: Кузнецов дал катеру возможность в критические минуты боя маневрировать, идя под двумя двигателями, и этим спас его.

Вода охлаждает воду. Для того чтобы не допустить перегрева деталей, непосредственно соприкасающихся с горячими газами, в корабельных дизелях имеется система водяного охлаждения. Она называется принудительной, так как прокачка охлаждающей воды производится центробежными насосами, приводимыми во вращение электродвигателями или непосредственно коленчатым валом дизеля.

Конечно, проще всего дизели охлаждать забортной водой, но эта вода имеет большую соленость и от ее воздействия детали сильно ржавеют. Поэтому сейчас дизели все чаще охлаждают пресной водой, которая принудительно циркулирует в замкнутой системе охлаждения. Но так как она, отбирая тепло от деталей дизеля, нагревается, то ее в свою очередь охлаждают в холодильнике, через который другим центробежным насосом прокачивают уже забортную воду.

У большинства дизелей пресная вода вначале подается в зарубашечное пространство блока (пространство между стенками блока и втулками цилиндров). Для усиления охлаждения наиболее нагретой верхней части втулки цилиндра на ее внешней поверхности устанавливают винтовые гребни, ускоряющие движение воды в зоне камеры сжатия.

Из зарубашечного пространства вода по перепускным коленам поступает в крышки цилиндров, замыкающие

камеру сжатия и подвергающиеся действию большого давления и высокой температуры. В некоторых дизелях полость охлаждения крышек разделена горизонтальной перегородкой с отверстиями на верхний и нижний ярусы. Так как в нижнем ярусе требуется более сильное охлаждение, то его полость делают суженной, что увеличивает скорость потока охлаждающей воды, а значит, и улучшает охлаждение.

Из крышек вода направляется в полости охлаждения выпускного трубопровода (коллектора), а затем в терморегулятор. Если температура охлаждающей пресной воды превышает установленный предел, то терморегулятор направляет часть ее через холодильник. И эта часть тем больше, чем выше температура воды. При пуске же и прогреве дизеля, когда температура охлаждающей воды невысока, терморегулятор весь ее поток направляет помимо холодильника.

К сожалению, использование в системе охлаждения пресной воды не исключает полностью ржавления и разрушения охлаждаемой поверхности. Значительно замедляет эти процессы применение дистиллированной воды или конденсата из корабельных опреснителей. Ведь в них содержится незначительное количество растворенного воздуха и почти нет солей. А ведь именно кислород воздуха и соли являются теми веществами, которые ускоряют ржавление.

Ученые нашли и особые вещества — замедлители ржавления, добавка которых в охлаждающую воду резко уменьшает ее разрушающее действие. Конечно, применение этих замедлителей возможно только при замкнутой системе охлаждения, когда одна и та же вода циркулирует постоянно.

Воздушный старт. Как правило, главные корабельные дизели пускаются сжатым воздухом, а вспомогательные небольшой мощности могут пускаться и с помощью электростартеров. Из пусковых баллонов сжатый воздух под давлением до 200 кгс/см^2 подводится к воздухораспределителю, но предварительно он проходит через редукционный клапан, где давление уменьшается до $30 \dots 50 \text{ кгс/см}^2$.

Затем по трубкам воздух подводится к пусковым клапанам на крышках цилиндров дизеля. Поступая поочередно к тем цилиндрам, в которых должен происходить рабочий ход, воздух давит на поршни и приводит во враще-

ние коленчатый вал. После этого он удаляется из цилиндра через выпускные клапаны. Как только дизель заработает на топливе, подача воздуха к воздухораспределителю прекращается.

В мощных дизелях с большим объемом цилиндров невозможно пропустить необходимое количество воздуха через отверстия золотника распределителя. Поэтому в них воздухораспределитель лишь управляет открытием и закрытием больших пусковых клапанов, к которым воздух подводится непосредственно из баллонов по главной пусковой магистрали большого диаметра.

Мотористы постоянно следят за достаточным давлением воздуха в пусковых баллонах. И в море, и при швартовке к причалу нужно быть готовым к любым неожиданностям, в том числе и к тому, что «воздушный старт» главных дизелей потребует выполнения несколько раз подряд в течение совсем короткого времени.

4. ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ДИЗЕЛЕЙ

Еще одна профессия газовой турбины. Уже говорилось, что для повышения мощности дизеля используется наддув — подача воздуха в цилиндры под давлением, превышающем атмосферное. За счет наддува увеличивается масса поступающего в цилиндр свежего воздуха, так как увеличивается его плотность. Практически при помощи наддува мощность дизеля можно увеличить в полтора раза.

Именно в области наддува газовая турбина освоила новую «профессию». Она служит приводом нагнетателя — воздушного насоса. В этом случае отработавшие газы из выпускного коллектора направляются в газовую турбину (рис. 30), на одном валу с которой установлено рабочее колесо центробежного компрессора. Такой нагнетатель называется турбовоздуходувкой.

При вращении рабочего колеса компрессора воздух входит в него по пути, показанному на рис. 30 стрелками, затем центробежной силой отбрасывается на периферию и через улиткообразную трубу и наддувочный коллектор поступает под давлением к впускным клапанам.

При малых нагрузках дизеля, когда выхлопных газов не хватает и частота вращения турбовоздуходувки мала, в наддувочном коллекторе создается разрежение, то есть наддува как такового нет. Но при работе дизеля на пол-

ную мощность частота вращения газовой турбины возрастает до 10...15 тыс. об/мин и тогда в наддувочном коллекторе создается давление, равное 1,3...1,4 кгс/см².

Газотурбинный наддув стал определенным шагом вперед по сравнению с нагнетателями, приводимыми во вращение от коленчатого вала дизеля. Ведь в газотурбовоздуходувке использовалась тепловая энергия горячих газов, которая ранее бесполезно терялась при их выбросе в атмосферу, а вращение приводных нагнетателей требовало затраты части мощности, развиваемой дизелем.

Правда, использование газотурбинного наддува несколько усложнило обслуживание дизеля, потому что газовая турбина чутко реагирует на его перегрузку. Вследствие высоких температур отработавших газов при перегрузке дизеля в корпусе и сопловом устройстве турбины могут появиться трещины. Так как турбовоздуходувка развивает значительную частоту вращения, то особого внимания требует смазка ее подшипников.

Но как же избавиться от главного недостатка газотурбовоздуходувок — невозможности выполнять наддув при малых нагрузках дизеля? Это стало возможным с появлением двухступенчатого наддува, когда первая ступень осуществляется турбокомпрессором, из которого воздух поступает во вторую ступень — воздуходувку, приводимую во вращение коленчатым валом дизеля.

Именно эта воздуходувка и осуществляет наддув при малых нагрузках дизеля.

От одного ряда к семи. На протяжении послевоенных пятилеток советское дизелестроение неуклонно развива-

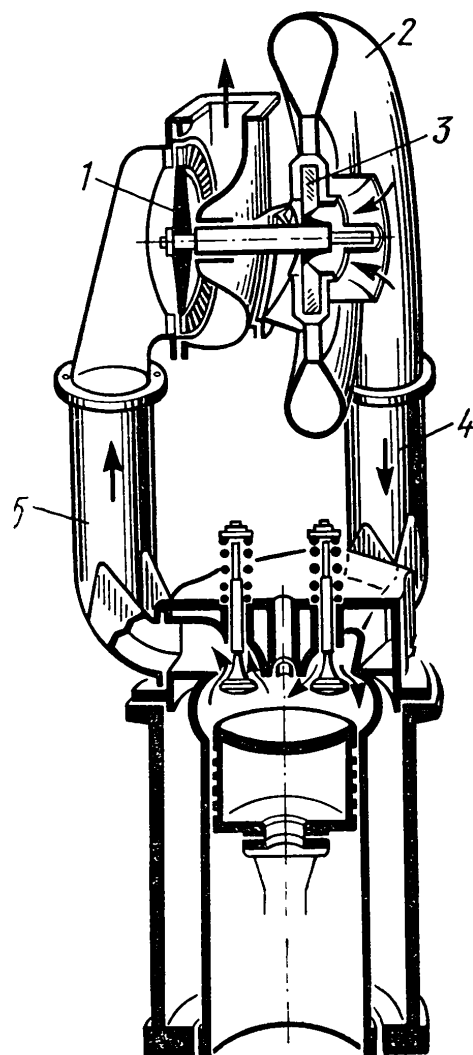


Рис. 30. Схема газотурбинной системы наддува дизеля:

1 — газовая турбина; 2 — улиткообразная труба; 3 — центростремительный компрессор; 4 — наддувочный коллектор; 5 — выпускной коллектор

лось. Его достижения стали возможными благодаря высокому уровню развития советской науки, машиностроения и металлургии. Технической победой советских ученых, инженеров и рабочих явилось создание и серийное производство многорядных, звездообразных легких дизелей большой мощности.

Один из них — легкий, четырехтактный, 56-цилиндровый дизель с газотурбинным наддувом предназначен для вращения корабельных винтов. По расположению цилиндров — это семиблочная звезда: цилиндры расположены в виде семи блоков, а в каждом блоке восемь цилиндров. Полная мощность таких двигателей при частоте вращения коленчатого вала 2000 об/мин равна 3670 кВт (5000 л. с.), но самое поразительное — это значение удельной массы двигателя, составляющее всего 2 кг/кВт (1,5 кг/л. с.). Это прекрасный показатель, позволяющий устанавливать этот двигатель даже на небольших кораблях и катерах, что обеспечивает им значительную скорость хода.

Остановимся на некоторых конструктивных и технологических новинках, использованных при создании этой замечательной машины.

Каждый из семи блоков — это отливка из алюминиевого сплава, в которой рубашки сделаны совместно с головками цилиндров. В блок впрессованы гильзы цилиндров, представляющие собой открытые с обеих сторон стаканы, изготовленные из легированной стали.

Внутренняя зеркальная поверхность гильзы для повышения износостойкости азотирована: тонкий поверхностный слой металла подвергнут насыщению азотом, который, соединяясь с атомами металла, образует исключительно прочное химическое соединение.

Верхний посадочный пояс гильзы покрыт слоем мягкого олова, что обеспечивает непроницаемость стыка гильзы и блока. Наружная поверхность гильзы, омываемая пресной охлаждающей водой, для предотвращения ржавления покрыта защитным слоем хрома.

Немало трудностей пришлось преодолеть при проектировании уплотнения нижнего стыка гильзы с блоком. Ведь оно должно быть абсолютно водонепроницаемым несмотря на значительное расширение гильзы и блока от нагрева и больших растягивающих усилий вследствие давления газов. В конце концов конструкторы остановились на уплотнении стыка с помощью составного пакета из

фторопластовых, резиновых, стальных и алюминиевых колец.

Каждое кольцо имеет свое назначение: фторопластовое противостоит высоким температурам, резиновое обеспечивает водонепроницаемость, стальное служит опорой пакета. Блоки цилиндров крепятся к двигателю стальными шпильками, ввернутыми в секции картера. При завинчивании этих шпилек пакет сжимается, создавая надежное уплотнение.

В двигателе умело реализованы преимущества подшипников качения, а именно: бóльшие допустимые нагрузки на единицу ширины подшипника, чем у подшипников скольжения. Благодаря этому опорные роликоподшипники коленчатого вала удалось разместить на сравнительно узких щеках.

Шатунный механизм каждой семицилиндровой звезды состоит из главного и шести прицепных шатунов, соединенных с ним пальцами, запрессованными в проушины. Внутренняя поверхность главного вкладыша залита свинцово-оловянистой бронзой, а для улучшения приработки и защиты от окисления покрыта тончайшим слоем свинца с индием.

На вкладыш главного шатуна воздействуют такие высокие нагрузки, что для их равномерного распределения по всей опорной поверхности пришлось учесть даже прогиб шатунных шеек коленчатого вала во время его вращения под нагрузкой. Для этого внутренняя поверхность вкладыша растачивается по особой кривой — гиперболе. И тогда при работе дизеля достигается более полное прилегание изогнутой под нагрузкой поверхности мотылевой шейки к внутренней поверхности вкладыша. Для лучшего восприятия переменных нагрузок наружная поверхность вкладыша омеднена. Тончайший слой меди служит своеобразным гасителем возникающих колебаний.

Поршни двигателя сделаны из алюминиевого сплава, а уплотнительные поршневые кольца для увеличения износостойкости и уменьшения сопротивления трения покрыты пористым хромом. Днище поршня, ограничивающее камеру сжатия, имеет особый профиль, способствующий наилучшему образованию горючей смеси и ее сгоранию. Его внутренняя часть представляет собой сферическую поверхность, переходящую в конус, что при сохранении достаточной прочности способствует пони-

женному образованию нагара и хорошему отводу тепла в масло, поступающее из форсунки на щеке коленчатого вала.

Интересно устроен приводной турбокомпрессор. Если раньше наддув на малых нагрузках дизеля обеспечивался двумя ступенями, то в этом дизеле один и тот же компрессор может вращаться как газовой турбиной, так и коленчатым валом дизеля.

Ротор этого турбокомпрессора через зубчатую передачу и гидромуфты соединяется с коленчатым валом, что обеспечивает эластичную гибкую связь, значительно уменьшающую нагрузки на привод в момент пуска дизеля и во время резких изменений его частоты вращения и мощности.

Когда дизель работает на малых оборотах и отработавших газов не хватает для наддува, дополнительная мощность для вращения компрессора передается от коленчатого вала. При работе же дизеля с большой нагрузкой отработавших газов вполне достаточно для вращения крылатки компрессора, и передачи мощности от коленчатого вала на турбокомпрессор не происходит.

Вращение от коленчатого вала к гребному передается с помощью реверсивной муфты, которая переключается с переднего на задний ход сжатым воздухом, и одноступенчатого понижающего редуктора.

АСУ и морской дизель. 7 ноября 1981 г. было опубликовано постановление о присуждении группе ученых, инженеров и моряков Государственной премии СССР в области техники за создание и внедрение на морских судах типового комплекса систем автоматизации технических средств, который называется «Залив».

Это постановление имеет непосредственное отношение к теме нашего разговора. Ведь вместе с комплексом «Залив» на судах обязательно устанавливают систему дистанционного автоматизированного управления (ДАУ) главным дизелем прямо из рулевой рубки или из центрального поста управления (ЦПУ) энергетической установкой судна. Так, для мощных судовых дизелей производства ПО «Брянский машиностроительный завод» выпускается система ДАУ «Гром».

Возможности «Грома» велики. В сочетании с комплексом «Залив» он позволил практически воплотить мечту многих моряков об управлении главным двигателем прямо с ходового мостика. Как часто капитан судна при

сложном маневрировании или швартовке остро ощущал потребность изменить скорость хода самому, а не ждать, пока это сделают вахтенные после получения приказа по машинному телеграфу. Теперь такая возможность появилась.

Система ДАУ «Гром» позволяет капитану судна с ходового мостика или из рулевой рубки изменять частоту вращения, производить реверс дизелей и следить за значениями характеристик их работы. Необходимость в вахтенных мотористах у главных дизелей отпала. Теперь вахта несется только в ЦПУ, а в машинное отделение вахтенные спускаются только раз-два в сутки.

Раньше при пуске главного дизеля вахтенный моторист вручную поддерживал постоянную частоту вращения до тех пор, пока температура масла и охлаждающей воды не достигала установленной величины. Система же «Гром» обеспечивает автоматическое соблюдение программы пуска и увеличения частоты вращения. И даже быстрый поворот капитаном рукоятки, увеличивающей частоту вращения, не приведет к увеличению оборотов, если дизель не прогрет должным образом. Автоматика не позволит нарушить инструкцию по пуску и прогреву главного дизеля.

Многочисленные автоматические регуляторы и контрольные устройства, входящие в систему «Гром», поддерживают постоянную частоту вращения дизеля, заданную положением рукоятки управления на ходовом мостике, постоянную температуру охлаждающей воды и масла, обеспечивают автоматическую очистку масляных фильтров при повышении разности давления масла до и после фильтра свыше установленного уровня. А раньше все это делалось вахтенными мотористами вручную.

Разрабатывая защитные и блокировочные устройства системы ДАУ, конструкторы постарались учесть психологию вахтенных и их характерные ошибки при выполнении своих обязанностей на вахте. Например, в систему ДАУ включено блокировочное устройство, исключающее пуск дизеля вахтенным оператором из ЦПУ или вахтенным мотористом из поста управления дизеля в направлении, не соответствующем положению рукоятки машинного телеграфа.

Установлена и блокировка, исключающая пуск дизеля при включенном валоповоротном устройстве. Хотя и редко, но бывали случаи, когда мотористы пытались пускать

дизель, не отключив устройства, позволяющего медленно проворачивать коленчатый вал дизеля вместе с гребным валом и винтом.

Важная составная часть системы ДАУ — предохранительные устройства, установленные на главном дизеле. Благодаря им автоматически прекращается подача топлива при возникновении различных аварийных ситуаций: падении давления масла в системе смазки подшипников и охлаждения поршней, повышении частоты вращения гребного вала свыше установленного предела.

При нарушении режима охлаждения различных узлов главного дизеля предохранительные устройства только понижают частоту вращения коленчатого вала, уменьшая подачу топлива в цилиндры.

В состав комплекса «Залив» входит и автоматизированная информационная система «Шипка-М», помогающая вахтенным специалистам следить за работой главного дизеля, автоматически контролируя значения 250 характеристик работы механизмов и устройств энергетической установки. Основу ее составляет ЭВМ, которая по заложенной программе опрашивает датчики, установленные на главном дизеле и других механизмах. Для отображения всех сведений о состоянии механизмов здесь также использован принцип «светофора», о котором уже говорилось.

Устройство такой всеобъемлющей автоматизированной системы контроля потребовало и применения новых принципов определения состояния узлов и деталей дизеля. Так, например, прибор, сигнализирующий о том, каковы свойства масляного тумана в картере двигателя, позволяет косвенным путем оценивать температуру подшипников. Контрольные реле, подающие сигнал при изменении скорости движения или исчезновении потока масла после охлаждения поршней, дают возможность судить об их состоянии.

В ЦПУ установлены цифровые табло контроля, и вахтенный оператор, пользуясь клавишным пультом, может обратиться в ЭВМ для вызова из запоминающего устройства интересующей его характеристики работы главного дизеля. ЭВМ автоматически регистрирует «выбег» (характер изменения) пятидесяти основных характеристик, печатая на ленте время и дату замера, номер характеристики и знак отклонения — плюс (растет), минус (уменьшается). Анализируя «выбеги», ЭВМ подает команды в систему

управления главным дизелем на снижение частоты вращения или на прекращение подачи топлива в цилиндры.

Кроме рассмотренных систем, в состав комплекса «Залив» входят также системы автоматизированного управления генераторами электрического тока «Ижора», автоматизированного управления приемом и перекачкой топлива, осушения и очистки воды, скапливающейся в трюмах машинного отделения, обогрева топливных цистерн и т. д.

Комплекс «Залив» дает возможность в ближайшем будущем перейти к полностью автоматизированным судам, на которых все управление двигателем и другими техническими средствами будет идти прямо с ходовой рубки. Работы по его совершенствованию направлены на то, чтобы можно было определять состояние внутренних частей дизеля без его разборки и предвидеть возможный износ деталей.

Каковы же перспективы развития мощных малооборотных дизелей? По-видимому, их совершенствование пойдет в направлении создания так называемых длинноходовых дизелей, в которых ход поршня увеличен по сравнению с существующими двигателями на $1/5$ и более, а частота вращения коленчатого вала снижена до 70...80 об/мин. Понятно, что увеличение хода поршня увеличивает и КПД дизеля, так как горячие газы будут производить полезную работу на более длинном пути, а значит, и более полно станет использоваться тепловая энергия топлива. Снижение же частоты вращения гребного винта повысит его КПД. А в сумме все это может дать снижение удельного расхода топлива на 5...8 %, что чрезвычайно важно.

Несмотря на то что дизели появились более 80 лет назад, их нельзя считать устаревшими. Они перспективны, потому что при мощности агрегата до 4...8 тыс. кВт имеют значительно меньшую массу и размеры, чем турбинные установки. У них самый высокий КПД из всех рассмотренных нами типов тепловых двигателей, и сейчас, когда стоимость топлива растет, а запасы органического топлива сокращаются, это особенно важно.

ГЛАВА 4.

АТОМ НА КОРАБЕЛЬНОЙ СЛУЖБЕ

Окупится богато нам
Все, что рукой мы тронули.
Клянусь разъятым атомом
И всеми электронами!

Леонид Мартынов

Если сравнить Россию со зданием,
нельзя не признать, что фасад его
выходит на Северный Ледовитый океан
Если бы Ледовитый океан был открыт
для плавания, то это дало бы весьма
важные выгоды.

Вице-адмирал С. О. Макаров

1. АТОМ ДВИЖЕТ КОРАБЛЬ

Что такое ядерное горючее. В корабельных паровых котлах сжигают мазут, полный запас которого составляет $1/8...1/10$ часть от массы корпуса, энергетической установки и всего вооружения корабля. Для выполнения своих задач корабли регулярно пополняют запасы топлива у причалов, а если поход дальний, то и в море с танкеров.

Моряки давно уже мечтали о неиссякаемом источнике энергии. Неплохо было бы избавиться и от топливных цистерн. Ведь тогда можно было бы установить дополнительное вооружение, усилив боевую мощь корабля.

Но только в наши дни появился такой практически неиссякаемый источник. Это ядерное горючее для корабельных атомных энергетических установок. Энергия, вырабатываемая такой установкой, возникает в результате деления ядер атомов некоторых тяжелых элементов в ядерном реакторе. Делящиеся вещества уран и плутоний, используемые в реакторах, называют ядерным горючим. В зарубежных АЭУ, о которых речь пойдет ниже, основным горючим служит уран.

В реакторе ядра атомов урана, поглощая нейтроны, делятся на два разлетающихся с очень большой скоростью осколка. При столкновении этих осколков с атомами соединений урана, составляющими топливную композицию, они передают им энергию движения, и атомы начинают двигаться с большой скоростью.

Так как в реакторе ядерное горючее погружено в охлаждающее вещество, то при делении ядер повышается температура не только топливной композиции, но и самого этого вещества, которое выступает в роли теплоносителя. Тепло поступает в парогенератор, где и расходуется на образование рабочего пара, направляемого затем в турбину.

Из сказанного видно, что ядерный реактор и парогенератор заменяют собой паровые котлы и многочисленные корабельные цистерны, заполненные мазутом. Да и кислорода для получения рабочего пара здесь не нужно, ведь тепло для нагрева и испарения воды получается без сжигания топлива.

Именно поэтому ядерные реакторы в первую очередь были установлены на подводных лодках, которые из погружающихся превратились в действительно подводные корабли и подобно «Наутилусу» Немо, созданного фантазией Жюль Верна более ста лет назад, могут безостановочно проплывать под водой многие тысячи миль, месяцами не поднимаясь на поверхность.

А откуда же берутся в реакторе нейтроны, поглощаемые ядрами атомов урана? Они появляются из тех же ядер. Дело в том, что после поглощения одного нейтрона и последующего деления из ядра атома урана вновь вылетают уже 2...3 нейтрона, которые в свою очередь вызывают деление других ядер атомов урана, и т. д.

Возникает цепная реакция деления ядерного горючего. Безусловно, для нормальной работы реактора эту реакцию нужно уметь регулировать, не давая ей возрастать до ядерного взрыва, нужно, как говорят, поддерживать реактор в критическом состоянии.

Познакомимся с зарубежным ядерным реактором. Каждый блок ядерного горючего в реакторе состоит из тепловыделяющих элементов. В свою очередь каждый тепловыделяющий элемент — это множество таблеток окиси урана, собранных в виде сердечника, закрытого оболочкой из нержавеющей стали или алюминия. Группы тепловыделяющих элементов объединяются в топливные сборки или кассеты.

Испускаемые при делении урана нейтроны обладают большой энергией и, следовательно, большой скоростью. Для повышения вероятности захвата нейтронов другими ядрами атомов урана их скорость нужно понизить. Поэтому тепловыделяющие элементы погружены в вещество,

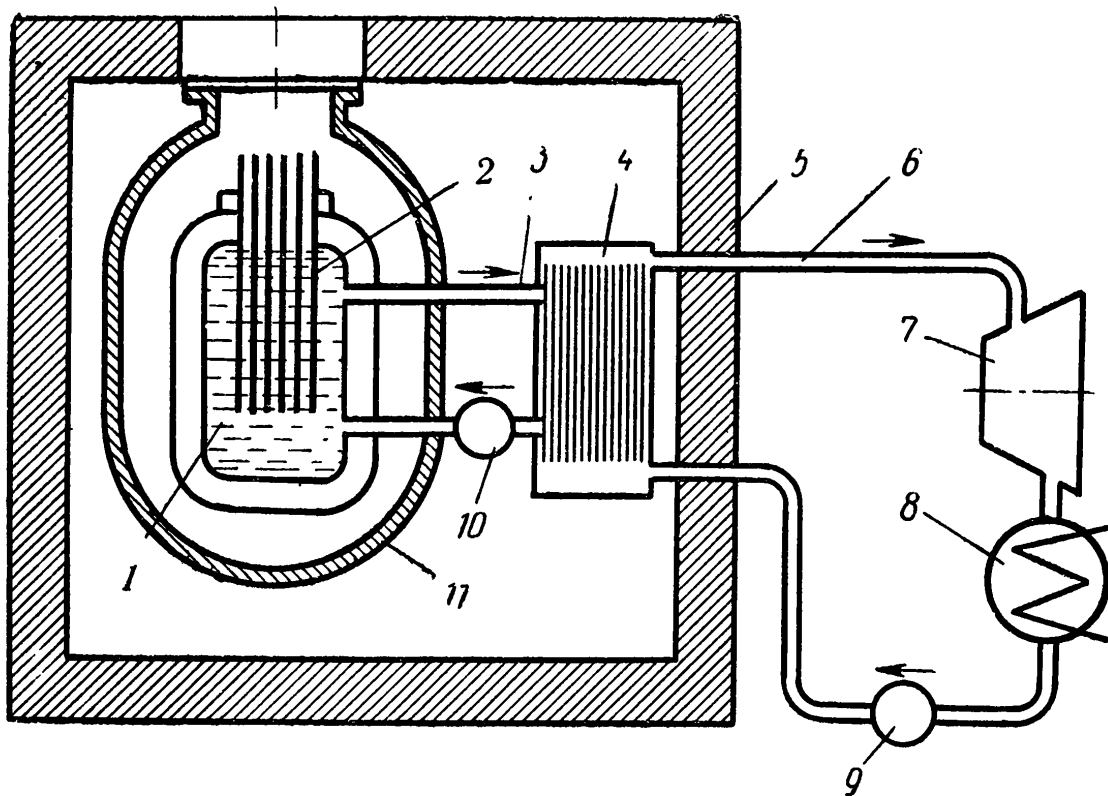


Рис. 31. Схема ядерного реактора и парогенератора в двухконтурной атомной энергетической установке:

1 — активная зона реактора; 2 — тепловыделяющие элементы; 3 — трубопровод 1-го контура; 4 — парогенератор; 5, 11 — экраны биологической защиты; 6 — паропровод 2-го контура; 7 — паровая турбина; 8 — конденсатор; 9 — питательный насос; 10 — циркуляционный насос 1-го контура

замедляющее движение нейтронов. В корабельных атомных установках в качестве теплоносителя и замедлителя используется одно и то же вещество — обычная вода высокой чистоты.

Обратимся к принципиальной схеме ядерного реактора и парогенератора (рис. 31). Пространство внутри корпуса, занятое тепловыделяющими элементами и замедлителем-теплоносителем, называется активной зоной реактора. В этой зоне размещены полые гнезда для установки регулирующих и аварийных стержней из кадмиевой или бористой стали, которая хорошо поглощает нейтроны. Если стержни продвинуть внутрь активной зоны, то ядерная реакция деления замедлится, а при дальнейшем передвижении и вовсе прекратится.

В результате ядерных реакций примерно $4/5$ энергии превращается в тепловую, а $1/5$ выделяется в виде опасных для жизни излучений, от которых необходимо защищать обслуживающий состав. Вот почему активная зона реактора окружена защитным экраном из листов нержавеющей стали, а вокруг реактора, механизмов и трубо-

проводов, внутри которых движется радиоактивная вода, побывавшая в реакторе, установлен воздухо- и водонепроницаемый экран биологической защиты из стальных и бетонных плит толщиной 300...420 мм.

В процессе работы реактора ядерное горючее непрерывно расходуется и после того, как оно «выгорит» до определенной степени, его заменяют. Суточный расход такого горючего в первых зарубежных корабельных атомных установках мощностью 11 тыс. кВт (15 тыс. л. с.) составлял примерно 15...18 г.

Вдумайтесь в эти цифры! Подводная лодка двигалась со скоростью 20 узлов (37 км/ч), в течение суток проходила за это время 480 миль (889 км) и тратила для этого всего 15 г горючего.

Вода-теплоноситель, называемая водой первого контура, прокачивается электронасосом через реактор, а затем попадает в трубки парогенератора. Здесь она отдает тепло воде второго контура, которая омывает трубки первого. Вода второго контура нагревается, закипает, превращается в пар, который поступает в паровые турбины, где и производит полезную работу. Далее пар конденсируется как в обычной котлотурбинной установке, а конденсат вновь возвращается в парогенератор.

Для того чтобы вода первого контура сумела нагреть воду второго и передать достаточно тепла для получения пара, она сама должна иметь достаточно высокую температуру, превышающую температуру производимого пара. С другой стороны, во избежание вскипания воды в реакторе эта температура должна быть ниже температуры парообразования при принятом для первого контура давлении. Для того чтобы выполнить эти противоречивые условия, в первом контуре приходится поддерживать давление 180...200 кгс/см².

Для возмещения изменения объема теплоносителя при его нагреве и охлаждении и поддержания высокого давления в первом контуре к нему подключены компенсаторы объема — сосуды, заполненные наполовину водой-теплоносителем, а наполовину инертным газом под высоким давлением.

Рассмотренная энергетическая установка называется двухконтурной с водо-водяным реактором, так как в обоих контурах (и в реакторе, и вокруг трубок парогенератора) движется вода. Такие атомные энергетические установки наиболее распространены в настоящее время на

зарубежных атомных подводных лодках, надводных кораблях и судах. Они установлены и на наших атомных богатырях-ледоколах.

Судовой атом среди льдов. Советский Союз был первым в применении атомных энергетических установок на морских судах. Уже в августе 1956 г. на стапеле судостроительного завода в Ленинграде был заложен первый в мире атомный ледокол «Ленин», а 5 декабря 1959 г. он вступил в строй действующих ледоколов советского морского флота.

Атомная энергетическая установка мощностью 32 350 кВт (44 тыс. л. с.) сообщала ледоколу водоизмещением 19 240 т на чистой воде скорость до 19,7 узла (36,5 км/ч). Но что особо поражало, так это способность атомного богатыря двигаться во льдах толщиной 2,5 м непрерывным ходом со скоростью около двух узлов (3,7 км/ч). Первоначально активные зоны реакторов могли работать на полную мощность без перезарядки 200 суток непрерывно. В дальнейшем этот срок был значительно увеличен.

К апрелю 1970 г., к 100-летней годовщине со дня рождения В. И. Ленина, ледокол прошел модернизацию с заменой атомной паропроизводительной установки на новую улучшенной конструкции. Советские люди с удовлетворением узнали, что за успешную многолетнюю работу в Арктике ледокол «Ленин» был награжден высшим орденом Советского государства — орденом Ленина.

В конце 1974 г. прошел ходовые испытания новый атомный ледокол второго поколения «Арктика», построенный корабелями Балтийского судостроительного завода имени Серго Орджоникидзе в Ленинграде. А в 1982 г. он был назван именем Л. И. Брежнева. При постройке этого ледокола был полностью учтен опыт эксплуатации первенца атомного ледокольного флота, в его создании участвовали свыше ста научно-исследовательских и проектных институтов и конструкторских бюро, более 350 объединений и промышленных предприятий.

Водоизмещение нового богатыря было уже 23 460 т, а мощность атомной энергетической установки возросла до 55,2 тыс. кВт (75 тыс. л. с.), что обеспечило скорость хода на чистой воде до 21 узла (39 км/ч). В Арктике этот ледокол (рис. 32) уверенно преодолевал непрерывным ходом льды толщиной более 2,5 м, успешно форсировал с разбегу тяжелые многолетние льды, спокойно двигался

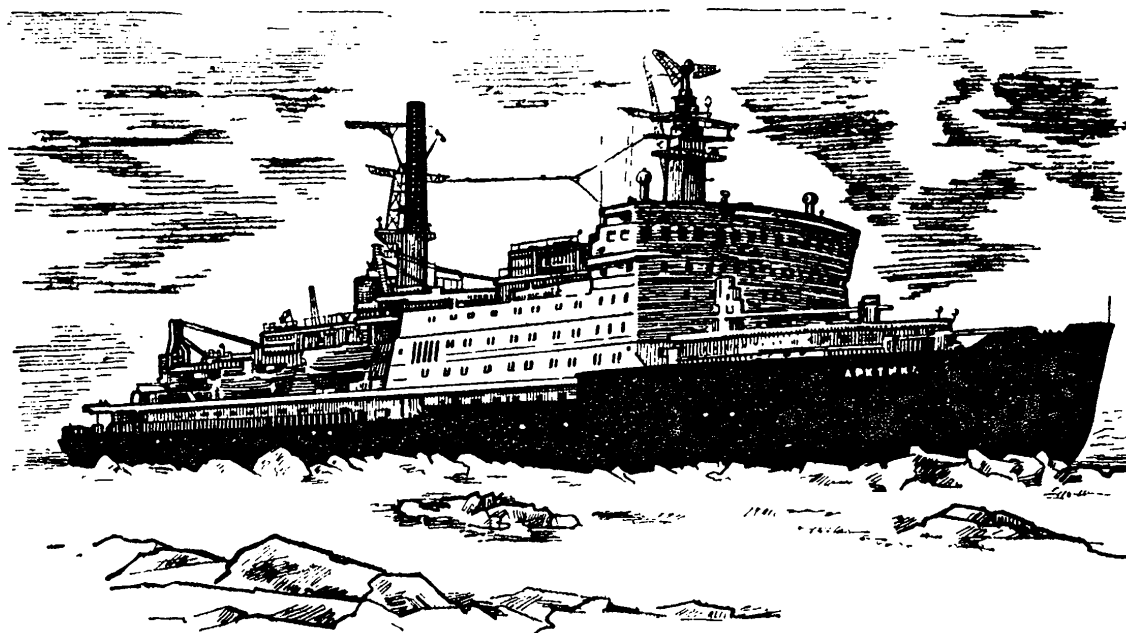


Рис. 32. Атомный ледокол «Арктика» («Леонид Брежнев»)

в условиях сжатия льдов. Мощная атомная энергетическая установка позволила ему 17 августа 1977 г. впервые в истории достичь географической точки Северного полюса, находясь в активном плавании.

В канун XXV съезда КПСС ленинградские корабли спустили на воду третий однотипный с ледоколом «Леонид Брежнев» атомоход «Сибирь». К 60-летию Великого Октября на нем были завершены государственные испытания и к середине декабря на 15 дней раньше планового срока ледокол был полностью сдан морякам. С 1978 г. на трассах Северного морского пути работало уже три атомных ледокола.

В одиннадцатой пятилетке советский ледокольный флот пополнится еще одним атомоходом — «Россия», закладка которого состоялась на заводе в дни работы XXVI съезда КПСС. В «Основных положениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 гг. и на период до 1990 года», принятых XXVI съездом КПСС, указано, что в одиннадцатой пятилетке должно начаться оснащение транспортных судов атомными силовыми установками. Сейчас у нас в стране уже создается такое судно — это лихтеровоз-контейнеровоз водоизмещением более 60 тыс. т. Арктический атомный флот растет и мукает.

«Горячее сердце» ледокола. Размеры и водоизмещение атомных ледоколов «Ленин» и «Леонид Брежнев» от-

личаются не намного, а мощность энергетической установки ледокола «Леонид Брежнев» в 1,7 раза больше, чем у первенца атомного ледокольного флота. Как же этого удалось достичь?

Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо более подробно рассказать об устройстве всех составных частей энергетической установки ледокола «Леонид Брежнев». При создании проекта этого ледокола советские ученые и инженеры заново сконструировали более сорока образцов механизмов, аппаратов, комплексных систем, в том числе все основные механизмы энергетической установки.

На ледоколе установлена совершенная компактная атомная паропроизводительная установка, состоящая из двух независимых блоков, разделенных непроницаемой выгородкой. Каждый блок состоит из ядерного реактора, четырех парогенераторов, четырех циркуляционных электронасосов первого контура, компенсаторов объема и другого оборудования. За счет такой блочной компоновки сокращена длина трубопроводов первого контура, уменьшены масса и размеры атомной установки, хотя мощность реакторов по сравнению с установленными на ледоколе «Ленин» значительно возросла.

Следует особо отметить, что при создании атомной установки ледокола «Леонид Брежнев» предусмотрены все необходимые меры для предотвращения аварий, тщательно продумана конструкция каждого узла, каждой детали оборудования. Например, напорные и отводящие трубы, соединяющие циркуляционные насосы первого контура с корпусом реактора, присоединены к верхней части корпуса. И это не случайно.

Представьте себе, что циркуляционный насос во время действия реактора по какой-то причине остановился и прекратил прокачку воды. Благодаря принятому расположению труб вода из корпуса реактора не сольется, что предотвратит перегрев тепловыделяющих элементов и расплавление их оболочек. То же самое произойдет и при большой утечке воды из первого контура: внутри корпуса реактора останется вода до уровня напорных и отводящих труб.

Как уже говорилось, в активной зоне реактора в направляющих трубах перемещаются регулирующие и аварийные стержни. Регулирующие, или, как их еще называют, компенсирующие, стержни с течением времени по-

степенно поднимают из активной зоны. Это сокращает поглощение нейтронов, что возмещает уменьшение мощности реактора при «выгорании» ядерного горючего. Кроме того, возмещается и уменьшение мощности от появления в рабочих кассетах продуктов деления ядер атомов урана, сильно поглощающих нейтроны.

Аварийные стержни (их в реакторе ледокола «Леонид Брежнев» 16 штук) вводятся в активную зону автоматически в случае какой-либо аварии. Конструкция реактора полностью исключает возможность ядерного взрыва даже при расплавлении оболочек тепловыделяющих элементов.

На ледоколе установлен постоянный контроль за состоянием наиболее ответственных участков первого контура. Тщательно контролируется и состояние корпуса реактора. Для этих целей используются приборы ультразвукового просвечивания, применяются и другие способы для обнаружения мельчайших трещин и дефектов в металле корпусов и трубопроводов.

Сейчас за рубежом для контроля широко используется метод акустической эмиссии, основанный на улавливании «голоса» металла, подающего как бы сигнал SOS. Ученые обнаружили, что при образовании и росте трещин в металле возникают звуковые волны. Конечно, человек их услышать не может: частота этих звуков лежит выше границы чувствительности уха. А чуткие приборы регистрируют звуковые импульсы, возникающие при зарождении и развитии трещин, преобразуют их в электрические сигналы, своевременно оповещают о дефекте и предупреждают возможную аварию. Такие акустические датчики монтируют на корпусах реакторов, парогенераторов и на наиболее важных трубопроводах.

Все оборудование атомной установки сконструировано таким образом, чтобы избежать малейших протечек радиоактивной воды-теплоносителя. Именно поэтому при создании циркуляционного насоса первого контура пришлось совсем отказаться от уплотнительного сальника на его оси. Как же это удалось сделать?

Центробежный насос и вращающий его электродвигатель объединены в единый блок. Ротор электродвигателя вместе с крылаткой насоса вращаются прямо в полости блока, заполненной водой первого контура, статор же, в обмотки которого подводится ток, отделен от ротора водонепроницаемой рубашкой из нержавеющей сплава.

Вот таким образом избавились от сальника, а следовательно, и от неизбежных протечек через него радиоактивного теплоносителя. Удалось добиться и побочного эффекта: вода первого контура смазывает и охлаждает трущиеся поверхности подшипников ротора, а также охлаждает сам ротор и водонепроницаемую рубашку.

Все оборудование атомной установки смонтировано в баках из нержавеющей стали, заполненных водой. Вода и стальные листы задерживают и в значительной степени ослабляют радиоактивное излучение реактора. Целиком же атомная установка размещена в газонепроницаемом судовом отсеке, в котором постоянно поддерживается некоторое разрежение за счет отсоса воздуха вентиляторами. Благодаря этому зараженный воздух в случае утечки радиоактивных веществ из первого контура не будет распространяться по судну.

В отсек атомной установки можно попасть только через герметичную дверь, а осмотреть оборудование — только через смотровые окна, сделанные в переборках. Для детального осмотра служит телекамера, управляемая из ЦПУ энергетической установкой.

Многие люди, далекие от атомной энергетики, думают, что находиться на корабле рядом с ядерным источником радиоактивного излучения смертельно опасно. Ведь радиоактивность нельзя обнаружить при помощи наших органов чувств, нельзя услышать, увидеть, обонять. Все это так. Но существуют приборы, точно регистрирующие наличие радиоактивности, существует надежная биологическая защита вокруг атомных блоков, и, наконец, оборудование атомного отсека вовсе не требует постоянного пребывания около него обслуживающего персонала. Человек появляется там только периодически для того, чтобы осмотреть механизмы и устройства, а также в случае необходимости выполнить их ремонт. Но и тогда соблюдаются строгие правила предосторожности, чтобы не допустить опасного облучения.

На атомных ледоколах действует строгая и четкая система радиационного контроля, основу которой составляют автоматические приборы. Они выдают постоянную информацию об уровнях различного рода излучений в помещениях атомной установки и вблизи нее, а также об уровне радиоактивности теплоносителя в первом контуре, который как бы характеризует состояние активной

зоны. Непрерывно ведется контроль за радиоактивностью воздуха во всех помещениях, а данные сразу же отображаются на пульте вахтенного дозиметриста в ЦПУ.

Кроме того, у всех дозиметристов есть переносные приборы для контроля уровня радиоактивности в любой точке судна. К их услугам сложное оборудование радиохимической и радиометрической лабораторий, где выполняют контрольные анализы радиоактивности образцов материалов и проб воды, масла, любой другой жидкости, используемой при работе энергетической установки.

В заключение можно отметить, что за всю многолетнюю полярную службу наших атомных ледоколов не было ни одного случая облучения людей.

2. ЗАЧЕМ АТОМНОМУ ЛЕДОКОЛУ ГРЕБНЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ?

Главный турбогенератор. Мы познакомились с тем, как на атомном ледоколе получают пар. Теперь посмотрим, как он используется для движения судна во льдах. Ледокол «Леонид Брежнев», так же, как и ледокол «Ленин», — турбоэлектроход: его гребные валы с винтами вращают мощные электродвигатели, ток для которых вырабатывают главные турбогенераторы. Если сравнить паротурбинную установку ледокола «Леонид Брежнев» с установкой ледокола «Ленин», то сразу бросается в глаза уменьшение количества главных турбогенераторов и увеличение их мощности.

На ледоколе «Ленин» установлено четыре турбогенератора постоянного тока мощностью 8090 кВт каждый. На ледоколе же «Леонид Брежнев» — всего два турбогенератора переменного тока, но зато мощность каждого равна уже 27 660 кВт. Такое увеличение мощности каждого агрегата позволило значительно упростить паротурбинную установку, повысив при этом надежность и экономичность ее работы.

Главный безредукторный генератор ледокола «Леонид Брежнев» состоит из однокорпусной турбины, вращающей три последовательно соединенных генератора переменного тока (рис. 33). В двухпроточную турбину, изготовленную на прославленном ПО «Кировский завод», из

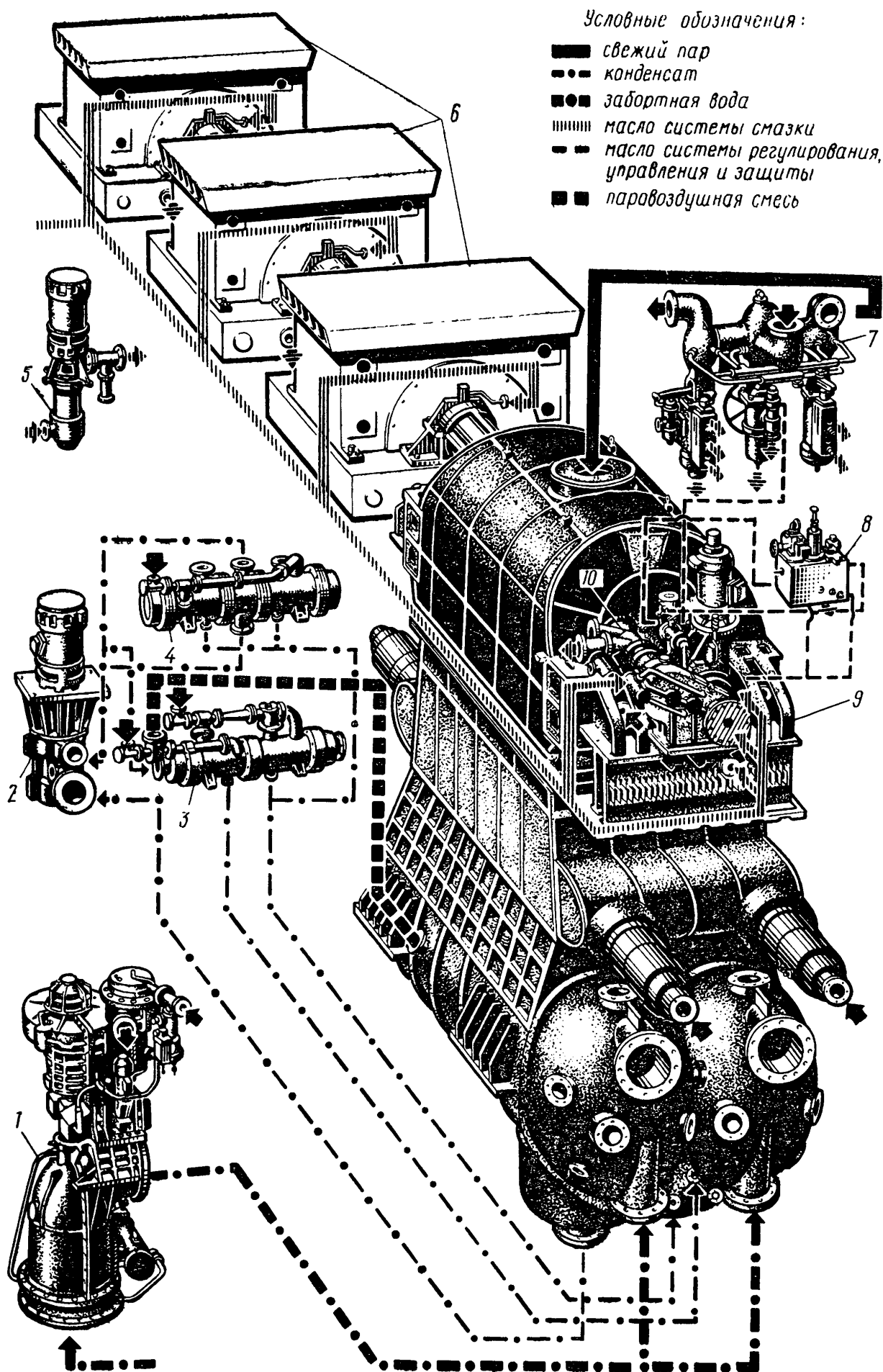


Рис. 33. Главный турбогенератор атомного ледокола «Леонид Брежнев»:

1 — циркуляционный турбонасос; 2 — конденсатный электронасос; 3 — эжектор главный; 4 — эжектор вспомогательный; 5 — масляный резервный электронасос; 6 — генераторы; 7 — блок паровых клапанов; 8 — блок регулирования; 9 — турбина турбогенератора; 10 — главный масляный насос

парогенераторов поступает пар с давлением 30 кгс/см² и температурой 300 °С.

В результате точного инженерного расчета вместо генераторов постоянного тока, стоящих на ледоколе «Ленин», на ледоколе «Леонид Брежнев» установлены генераторы переменного тока. Выгода налицо: масса генераторов переменного тока меньше, они более надежны и просты в обслуживании, их КПД выше. А особенно важно то, что они могут работать с большой частотой вращения. Именно поэтому на ледоколе «Леонид Брежнев» удалось отказаться от редукторной передачи и соединить генераторы с турбиной непосредственно. За счет этого конструкторы скомпоновали две турбины и шесть генераторов в два турбогенераторных агрегата, а затем смогли разместить их в одном машинном отделении без значительного увеличения ширины судна.

На ледоколе «Леонид Брежнев» применены синхронные генераторы переменного тока мощностью по 9000 кВт каждый. В них обмотки якоря размещены на неподвижной части генератора — статоре, а полюсы с обмоткой возбуждения — на вращающейся его части — роторе. Достаточно такой ротор намагнитить, пропустив через полюсную обмотку постоянный ток, а затем привести его во вращение, как в обмотке статора появится переменный ток.

Такая конструкция генератора переменного тока имеет значительные преимущества. При большой частоте вращения (3600 об/мин) было бы трудно поддерживать постоянный хороший контакт между контактными кольцами на роторе и щетками генератора, если бы его рабочая обмотка, в которой возникает ток большой силы, была помещена на вращающемся роторе. С другой стороны, для возбуждения генератора требуется сравнительно небольшой ток, и обмотка возбуждения может быть вращающейся, так как устройство скользящего контакта в этом случае не вызывает затруднений.

Электродвигатели вращают гребные винты. Несмотря на то что генераторы ледокола вырабатывают переменный ток, для вращения гребных винтов установлены три гребных электродвигателя постоянного тока. Чем это вызвано? Все дело в том, что частота вращения таких двигателей может плавно и в широких пределах регулироваться путем изменения силы тока в обмотке возбуждения или напряжения питающего тока. Легко изменить и на-

правление вращения электродвигателя постоянного тока, для этого нужно просто поменять полярность тока в обмотках возбуждения.

А для ледоколов особенно важна возможность быстро изменять частоту вращения гребных винтов и точно поддерживать заданную скорость хода. Еще важнее способность легко менять направление вращения гребных винтов, так как при маневрировании во льдах приходится неоднократно производить реверс, двигаясь то передним, то задним ходом.

Но ведь ток-то, вырабатываемый главными турбогенераторами ледокола, все же переменный? Значит, придется его выпрямлять. Именно для этого на корпусах генераторов и установлены шесть статических кремниевых полупроводниковых выпрямительных установок, преобразующих переменный ток в постоянный напряжением 1000 В.

На ледоколе «Леонид Брежнев» три гребных вала с винтами, имеющими съемные лопасти из нержавеющей высокопрочной стали. Каждая лопасть крепится отдельно к ступице винта, и в случае поломки одной из них весь винт менять не нужно, следует просто поставить запасную.

Каждый вал вращается отдельным гребным электродвигателем, который имеет два якоря: носовой и кормовой. Носовые якоря всех трех электродвигателей питаются от одного главного турбогенератора, а кормовые — от второго. Такое построение схемы питания позволяет подать электроток от каждого главного турбогенератора одновременно на все три гребных электродвигателя, что исключительно важно для обеспечения живучести энергетической установки. В случае выхода из строя одного из главных турбогенераторов электродвигатели не останавливаются, так как будут получать питание от второго, мощности которого вполне достаточно для проводки судов во льдах с небольшой скоростью.

Все переключения схемы питания гребных электродвигателей производятся на расстоянии прямо из ЦПУ энергетической установкой. Главные контакты переключателей оборудованы водяным охлаждением, благодаря чему с их помощью можно легко разрывать электрическую цепь с токами до 10 тыс. А.

На ледоколе «Леонид Брежнев» впервые в истории отечественного судостроения для подачи тока большой

силы от генераторов к гребным электродвигателям используются не кабели, а медные шины длиной 550 м, проложенные в отдельных коридорах и закрытые кожухами. Это значительно сократило затраты цветных металлов и стоимость изготовления токопроводящих устройств.

Все основное электрооборудование ледокола (генераторы, выпрямители, гребные электродвигатели) отечественное. Его основной разработчик и изготовитель — прославленный коллектив Ленинградского электротехнического объединения «Электросила» — гарантировал надежную работу всех агрегатов в течение 25 лет.

Автоматика для гребного электродвигателя и ядерного реактора. На ледоколе «Леонид Брежнев» капитан непосредственно из ходовой рубки изменяет частоту вращения гребных электродвигателей, а следовательно, и гребных винтов, передвигая три задающих рукоятки машинного телеграфа (по числу гребных электродвигателей). Кроме того, управлять частотой вращения можно из запасного поста, расположенного в кормовой части судна, и из ЦПУ энергетической установки.

Ну а если команды на изменение частоты вращения поступят сразу из двух постов управления? Для того чтобы предотвратить неразбериху в таком ответственном деле, в ходовой рубке и ЦПУ установлены переключатели, обеспечивающие включение только одного поста управления.

Рукоятки управления гребными электродвигателями имеют 41 положение: 20 определяют различную частоту вращения переднего хода, 20 — заднего хода, а одно положение соответствует команде «Стоп». В зависимости от положения рукоятки управления сигнал поступает в систему регулирования, изменяющую величину напряжения, вырабатываемого главными генераторами, и направление тока в обмотке возбуждения гребных электродвигателей, а следовательно, скорость хода и реверс.

Для управления атомной установкой и гребными электродвигателями служит система автоматики «Север», работающая в двух режимах. Раздельно управляют атомной установкой и гребными электродвигателями при плавании в тяжелых льдах. Ведь в таких условиях ледокол все время меняет скорость хода. Капитан может пробивать ледовую дорогу набегами, то разгоняясь и сокрушая лед массой корпуса, то отходя назад малым ходом для подготовки к повторной атаке. Ему трудно заранее предвидеть,

какое усилие потребуется, чтобы пробиться через торосы. Значит, атомная паровая установка должна вырабатывать пар с избытком, срамливая его в случае необходимости помимо турбин прямо на главные конденсаторы.

При раздельном управлении потребляемую гребными электродвигателями мощность можно ограничить в зависимости от заданного атомной паровой установке режима работы. Это делает оператор, вводящий в систему регулирования сигнал об ограничении мощности величиной $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$, $\frac{3}{4}$ или $\frac{5}{6}$ от полной мощности гребных электродвигателей.

Если же сопротивление движению ледокола увеличится и мощность, потребная для дальнейшего движения, превысит установленную, то гребные электродвигатели станут автоматически уменьшать частоту вращения до тех пор, пока атомная установка не будет переведена на производство большего количества пара и ограничение мощности гребных электродвигателей не снимется.

Во время плавания в чистой воде потребляемая гребными электродвигателями мощность резко не меняется, поэтому система работает в режиме совместного автоматического управления, при котором постоянно уравнивается мощность, вырабатываемая атомной паровой установкой, и мощность, потребляемая гребными электродвигателями. В этом случае паровая установка производит ровно столько пара, сколько его требуется главным турбогенераторам для выработки тока необходимого напряжения и силы. Этот режим наиболее экономичен и устойчив.

Операторам, управляющим атомной энергетической установкой, постоянно приходится следить за показаниями многочисленных контрольно-измерительных приборов. Едва ли они справились с этим, если бы не помощь электронно-вычислительной техники. ЭВМ ледокола автоматически обрабатывает и обобщает показания многочисленных датчиков контрольно-измерительных приборов, установленных в самых труднодоступных уголках энергетической установки. Непрерывно идет сбор и обработка информации о работе механизмов и устройств, о состоянии атомной паровой и гребной электрической установок. Причем вся эта информация сразу же высвечивается на пультах и цифровых табло, расположенных на ходовом мостике, в ЦПУ, а также на запасном пункте управления ледоколом в кормовой части судна.

В случае какого-либо недопустимого отклонения от нормального режима работы ЭВМ вырабатывает предупредительные звуковой и световой сигналы. Если оператор на них не реагирует, ЭВМ посылает импульс в систему аварийной защиты и механизм автоматически снижает обороты или даже совсем останавливается.

С помощью вызывных клавишей оператор может запрашивать у ЭВМ сведения о работе того или иного механизма, и на контрольном табло моментально появляется ответ. Такая ЭВМ, работающая вместе с другими средствами автоматизации и контроля, позволяет управлять всей атомной паровой и гребной электрической установкой лишь двум операторам, причем обход и осмотр механизмов производится только периодически, раз за вахту, или же при появлении сигнала о каких-то ненормальностях в их работе.

3. АТОМНЫЕ СТРАЖИ РОДИНЫ

С начала 50-х годов в соответствии с решением ЦК КПСС в нашей стране широко развернулись работы по созданию могучего океанского ракетно-ядерного флота. Темпы этих работ соответствовали важности поставленной задачи. В конце пятидесятых годов началось строительство первой атомной подводной лодки. Вскоре с лодки впервые стартовала баллистическая ракета, а затем такой старт был произведен из-под воды.

Командир первой советской атомной подводной лодки «Ленинский комсомол» Герой Советского Союза контр-адмирал Л. Г. Осипенко вспоминал об исторических первых минутах хода на атомной энергии: «Лодка отошла от пирса, используя электродвигатели. Наконец главнокомандующий ВМФ Адмирал Флота Советского Союза Сергей Георгиевич Горшков... дал команду перейти на «штатный» ход от реактора.

Главный теоретик — известный академик, обладавший тонким чувством юмора, — негромко сказал: «Ну, с легким паром!» И до того стало легко и необычно! Не было слышно так хорошо знакомого всем подводникам старых поколений стука дизелей, не чувствовалось вибрации корпуса. Скорость все нарастала и нарастала, а вместе с ней увеличивался и бурун у китобразного носа... Атомный флот нашей страны стал реальностью».

Вскоре в ВМФ СССР появились атомные подводные ракетоносцы с ядерными боеприпасами. Энерговооруженность современной подводной лодки по сравнению с довоенной увеличилась в 100 раз, глубина погружения — более чем в пять раз, а скорость подводного хода в три-четыре раза. Причем с такой скоростью они могли идти не часы, а многие сутки.

В соответствии с основными стратегическими задачами, которые поставлены перед Советским ВМФ, атомные ракетные подводные лодки являются его главной ударной силой. В ответ на создание американскими империалистами морской ракетной системы «Трайидент», включающей в себя атомные ракетные подводные лодки типа «Огайо» * с баллистическими ракетами «Трайидент-1» на борту, в Советском Союзе создана аналогичная система «Тайфун».

Советский народ создал могучий атомный подводный флот, который надежно защищает морские рубежи Страны Советов. Наш атомный подводный флот включает атомные подводные лодки, 62 из которых оснащены 940 пусковыми установками для баллистических ракет с 2000 ядерных зарядов. Атомные стражи Родины всегда в боевой готовности, они могут отразить любой удар империалистических поджигателей войны.

Подо льдами к полюсу. Всей стране известны героические дела комсомольско-молодежного экипажа первого нашего подводного атомохода «Ленинский комсомол» (рис. 34). Моряки этой подводной лодки летом 1962 г. первыми водрузили Государственный флаг СССР на льду в районе Северного полюса. Об обстоятельствах этого исторического похода рассказал Герой Советского Союза контр-адмирал Л. М. Жильцов, командовавший в то время лодкой.

Он вспоминал, что задолго до плавания к полюсу «Ленинский комсомол» совершал ряд походов под арктическими льдами в различных районах Северного Ледовитого океана. Подводная лодка побывала в таких районах, куда раньше моряки никогда не проникали.

* Подводная лодка «Огайо» имеет надводное водоизмещение 16 600 т, подводное 18 700 т, длину 170,7 м, ширину 12,8 м. Мощность главной атомной энергетической установки 44 000 кВт (60 000 л. с.), скорость подводного хода 25 узлов, рабочая глубина погружения 400 м, вооружение: 24 баллистические ракеты «Трайидент-1» с дальностью стрельбы 8000 км, 4 торпедных аппарата.

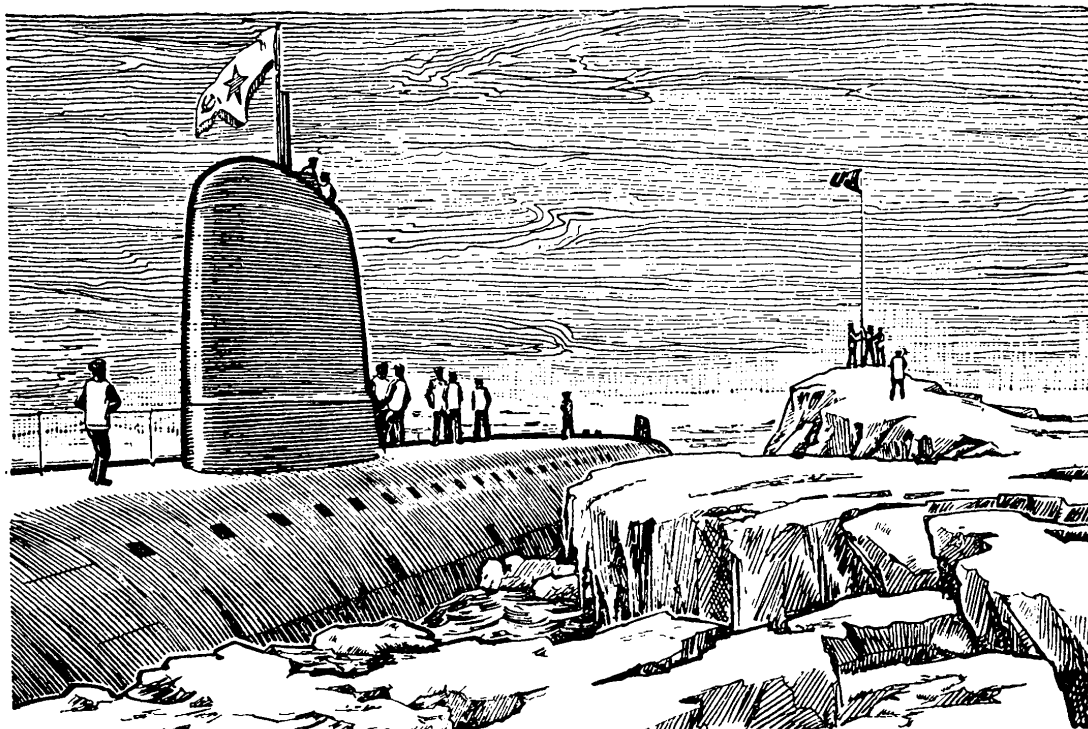


Рис. 34. Атомная подводная лодка «Ленинский комсомол» в районе Северного полюса

Во время этих походов осваивались особенности подледной навигации, проверялась работа многочисленных приборов, установленных для обнаружения подводной части ледовых айсбергов, полыней и разводий во льдах, для определения толщины льдов.

Опыт накапливался ценой больших усилий всего экипажа. Несмотря на успешное проведение ряда подледных плаваний, к походу на Северный полюс экипаж готовился особенно тщательно. К этому времени он полностью состоял из коммунистов и комсомольцев. Четверо из каждых пяти моряков были специалисты 1-го и 2-го класса.

Особое внимание пришлось уделить подготовке атомной энергетической установки и навигационных приборов, предназначенных для плавания в самых северных районах планеты.

Весь экипаж жил одним стремлением — образцово, в сжатые сроки подготовиться к походу. Каждый офицер, мичман, старшина и матрос проявлял при подготовке инициативу, энергию и настойчивость. После тщательной практической проверки готовности атомохода поступило

разрешение на выход. Руководителем похода был опытный подводник, в то время еще контр-адмирал А. И. Петелин.

Подводная лодка с большой скоростью шла на Север. В отсеках четко сменялись походные вахты, проводились тренировки, осмотры оружия и технических средств. За кажущейся будничной обстановкой угадывались большое напряжение и повышенная бдительность.

В центральный пост поступил доклад, что резко возросла температура подшипника электродвигателя, обеспечивавшего работу ответственной системы. По предложению капитан-лейтенанта-инженера А. Шурыгина несмотря на сложность разборки и монтажа подшипник был заменен в кратчайшие сроки. После этого электродвигатель работал весь поход без отказа. Этот случай подтвердил высокую практическую выучку и бдительность экипажа.

Подводная лодка у кромки льда. Началось подледное плавание. Включены приборы обнаружения льдов, определения их толщины и направления дрейфа. На экране телевизоров видны сплошные ледяные поля, только изредка их пересекают узкие трещины и разводья. По совету контр-адмирала Петелина был введен не предусмотренный никаким расписанием пост наблюдения за льдами, который моряки называли постом «вверхсмотрящего» (аналогично впередсмотрящему на надводном корабле).

После первого всплытия в полынье на расстоянии 360 миль от полюса лодка взяла курс на Северный полюс. 17 июля в 6.50 по московскому времени в отсеках раздалось дружное матросское «Ура!». Экипаж «Ленинского комсомола» выполнил необычайно сложную и ответственную задачу, поставленную перед ним Коммунистической партией и Советским правительством.

Плавание продолжалось, проводились учения, тренировки, испытания приборов и устройств, определенные планом похода. Лодка вновь повернула к полюсу уже из западного полушария. Недалеко от него корабельные эхолетомеры показали наличие небольшого разводья.

Лодка всплыла, осторожно подняли перископ. Оказалось, что более трети кормовой надстройки находится под льдом, в то время как по носу виднелось всего несколько десятков метров чистой воды. Лодка самым малым ходом продвинулась вперед, корма вышла из-под льда, а нос уперся в кромку льдины.

Экипаж установил на льду Государственный флаг СССР, строй подводников замер, а затем перевозданная тишина полюса взорвалась раскатистым «Ура!». На лед один за другим спускались моряки экипажа. Всем хотелось побывать на вершине нашей планеты.

Четыре часа продолжалось знакомство подводников с приполюсными льдами. Моряки фотографировались у торосов и рядом с Государственным флагом СССР. Очень эффектным вышел снимок большой ледяной глыбы, оказавшейся при всплытии на надстройке. На полюс пришла радиограмма командования Северного флота с поздравлением экипажа по случаю успешного выполнения ответственного задания.

Но вот подана команда: «Убрать сходню». Весь экипаж на корабле, задраен рубочный люк, лодка на ровном киле без хода погружается в холодную пучину океана. Теперь курс на юг. На обратном пути атомоход еще раз всплыл во льдах. И на этот раз сложный и опасный маневр был выполнен отлично.

Радостно встретила родная база покорителей полюса. На причале множество людей с цветами. Оркестр играет торжественный марш в честь славного экипажа, прошедшего под паковыми многолетними льдами тысячи миль и покорившего полюс.

В тот же день отличившимся морякам вручили правительственные награды. Руководителю похода контр-адмиралу А. И. Петелину, командиру атомохода капитану 2 ранга Л. М. Жильцову и командиру электромеханической боевой части лодки, руководившему обслуживанием атомной энергетической установки, капитану 2 ранга инженеру Р. А. Тимофееву указом Президиума Верховного Совета СССР от 20 июля 1962 г. было присвоено высокое звание Героя Советского Союза.

Наследники боевой славы. После похода прославленному экипажу «Ленинского комсомола» было вручено переходящее Красное знамя ЦК ВЛКСМ. Так через 20 лет была восстановлена традиция вручения знамени лучшему подводному экипажу. В 1942 г. право получить это знамя завоевал героический экипаж гвардейской подлодки «М-171».

Бережно хранит и развивает славные боевые традиции подводников-североморцев нынешнее поколение военных моряков. Ратный труд и боевой подвиг в годы Великой Отечественной войны экипажа «малютки» — под-

водной лодки «М-106» «Ленинский комсомол» — достойно продолжили комсомольцы атомохода Краснознаменного Северного флота «Ленинский комсомол».

Советские подводники продолжили освоение арктических глубин. В сентябре 1963 г. атомоход под командованием Героя Советского Союза капитана 2 ранга Ю. А. Сысоева совершил очередной поход под толщей арктических льдов и впервые в истории точно всплыл на Северном полюсе.

Через некоторое время атомная подводная лодка под командованием капитана 1 ранга А. П. Михайловского, ныне Героя Советского Союза, адмирала, командующего Краснознаменным Северным флотом, пересекла Баренцево море, обогнула самую северную точку Новой Земли мыс Желания и вошла в Карское море. Лодка всплыла вблизи дрейфующей станции «Северный полюс». После встречи с полярниками плавание продолжалось, и атомоход прибыл на Краснознаменный Тихоокеанский флот. Там североморцы передали шкатулку с заполярной землей и адрес, в котором говорилось: «Эту землю сурового заполярного края, обильно политую кровью лучших воинов прославленного Краснознаменного Северного флота, пронесенную через глубины морей Ледовитого океана, подводники-североморцы дарят подводникам-тихоокеанцам в знак боевой дружбы во славу нашей Родины».

А в феврале — марте 1966 г. группа атомных подводных лодок под командованием Героя Советского Союза вице-адмирала А. И. Сорокина, совершая первое в истории групповое кругосветное плавание, прошла проливом Дрейка между Антарктидой и Южной Америкой, где нередко появление гигантских антарктических айсбергов — плавающих ледяных островов, оторвавшихся от материкового антарктического ледника. Акустики, штурманы и механики блестяще обеспечили безопасность плавания лодок в этом сложном для подводной навигации районе.

Во время кругосветного плавания наши атомные подводные лодки за полтора месяца, ни разу не всплывая, прошли около 25 тыс. миль, полностью выполнив учебные задачи по повышению морской и тактической подготовки экипажей, а также исследовательские работы по изучению океана.

Это плавание еще раз подтвердило высокие боевые и эксплуатационные качества советских атомных подводных лодок. Все их механизмы, устройства и приборы, включая

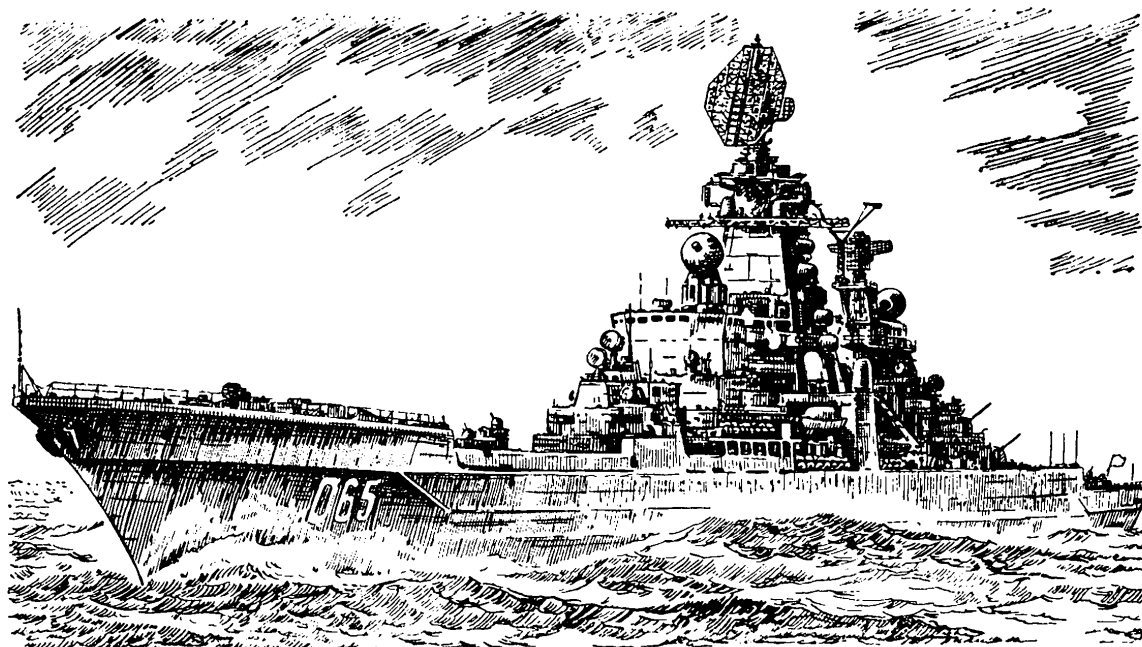


Рис. 35. Атомный ракетный крейсер «Киров»

атомную энергетическую установку, действовали безотказно. Всему миру стало ясно, что для советских атомных подводных лодок не существует недоступных уголков в Мировом океане.

В последние годы атомный флот Страны Советов пополнился еще одним достойным представителем, вошел в строй атомный ракетный крейсер «Киров» (рис. 35).

На новом крейсере в числе передовых воинов многие офицеры, мичманы, старшины и матросы электромеханической боевой части, которые обслуживают ядерные реакторы, парогенераторы, главные турбозубчатые агрегаты и электрогенераторы. Не раз после проведения в море учений, на которых проверялась боевая выучка экипажа, его способность противостоять противнику в морском бою, и возвращения корабля в базу командир корабля особо подчеркивал образцовую работу электромеханической боевой части.

В марте 1983 г. крейсер посетил Маршал Советского Союза Дмитрий Федорович Устинов. Он выступил перед личным составом в клубе корабля, побеседовал с офицерами и выразил твердую уверенность в том, что моряки «Кирова», так же как и всего Краснознаменного Северного флота, тесно сплоченные вокруг родной Коммунистической партии, верные военным заветам великого Ленина, с честью и достоинством выполняют задачи, поставленные XXVI съездом КПСС перед Советскими Вооруженными Силами.

4. ВОКРУГ РЕАКТОРА

Человек в отсеке атомохода. Дизель-аккумуляторные подводные лодки довоенной постройки могли находиться под водой ограниченное время. Затем они непременно всплывали, чтобы зарядить аккумуляторы, провентилировать отсеки, пополнить запасы сжатого воздуха. В походе подводники жили в трудных условиях, в крайне ограниченном количестве выдавалась пресная вода для умывания, да и условия мытья были самые примитивные.

И тем не менее советские подводники добились рекордного времени пребывания лодок в море. В 1936 г. тихоокеанская средняя подводная лодка «Щ-117» пробыла в море 40 суток — в 2,5 раза больше, чем предусматривалось проектом. За это выдающееся по тем временам достижение весь ее экипаж был награжден орденами. Затем «Щ-123» находилась в плавании 55 суток, а «Щ-113» побила все рекорды автономности, пробив в походе 102 суток.

Сейчас благодаря использованию атомной энергии время нахождения подводной лодки под водой практически не ограничено. Тем важнее обеспечить для экипажа нормальные условия работы и отдыха. Потребность моряков в пресной воде для питья и бытовых нужд удовлетворяется за счет работы водоопреснительных установок, обрабатывающих забортную воду. И теперь на атомоходах после смены с вахты операторы энергетической установки имеют возможность принять горячий пресный душ. Об этом только мечтали подводники на довоенных «щуках» и «малютках».

Самочувствие каждого члена экипажа атомохода в значительной степени зависит от того, какова температура и влажность воздуха в отсеках, где он находится на вахте, а после смены с вахты отдыхает. А ведь все составные части атомной энергетической установки (реактор, паровые турбины, паропроводы, электромашины и электроаппаратура), а также средства радиосвязи, гидроакустики, штурманские приборы выделяют при работе значительное количество тепла.

Для того чтобы температура воздуха в отсеках оставалась в пределах, приемлемых для длительного нахождения человека, необходимо во время плавания охлаждать

воздух и отводить излишнее тепло за борт. Этой цели служат холодильные установки.

Размещение экипажа на современных атомных подводных лодках не только значительно более удобное, чем на лодках довоенной постройки, но большая площадь жилых помещений позволяет даже создать определенный комфорт.

Служба на атомоходах связана с большим умственным и нервным напряжением при довольно ограниченных физических нагрузках. Это при длительном пребывании лодки в море может неблагоприятно влиять на нервную систему моряков и способствовать появлению у них признаков гиподинамии. Флотские медики знают об этом и стремятся не допустить нежелательных изменений в организме подводников: лодки оборудуются малогабаритными спортивными снарядами, тренажерами, для компенсации отсутствия должной нагрузки на отдельные группы мышц подводников разрабатываются комплексы физических упражнений.

Психологическую обстановку улучшает соответствующая окраска помещений и расстановка предметов, окружающих подводников, на боевом посту таким образом, чтобы создавалось впечатление большего пространства. Обычно помещения окрашиваются в светлые тона, для отделки оборудования отсеков применяются такие материалы, как стеклоткани с художественной вышивкой, металл, керамика, мозаичные плитки.

Медицинские помещения и оборудование позволяют обеспечить любую необходимую медицинскую помощь во время длительных походов. Короче говоря, при создании атомных подводных лодок продумана каждая мелочь и созданы все необходимые условия для длительного пребывания экипажа на борту, для сохранения его работоспособности и бодрости в период многомесячного плавания под водой.

Корабельная электростанция. На атомоходе очень много потребителей электроэнергии. Не говоря уже о разнообразных насосах, преобразователях, вентиляторах, приборах, входящих в состав атомной энергетической установки; электрический ток необходим для работы систем оружия, радиосвязи, гидроакустики и навигационных приборов. Каков же должен быть источник электропитания, чтобы полностью обеспечить все эти потребности?

На ледоколе «Леонид Брежнев» для этих целей установлены пять вспомогательных турбогенераторов мощностью по 2000 кВт каждый, резервный дизель-генератор мощностью 1000 кВт и два аварийных мощностью по 200 кВт каждый. Таким образом, суммарная мощность всех электростанций судна равна 11 400 кВт, что вполне достаточно для электроснабжения целого города с населением 30...40 тыс. человек.

Во время работы атомной паровой установки вспомогательные турбогенераторы получают пар от главных парогенераторов. Если же на стоянке ядерные реакторы выводятся из действия, то пар вырабатывают два вспомогательных автоматизированных водотрубных котла с мазутным отоплением. В случае необходимости для электроснабжения может использоваться и резервный дизель-генератор.

Значительно облегчает работу оператора по электроснабжению ледокола автоматика. С ростом нагрузки в помощь действующим она пускает еще один турбогенератор и подключает его в параллельную работу, в случае исчезновения электропитания от вспомогательных турбогенераторов автоматически же запускается и подключается в работу резервный дизель-генератор.

Несмотря на то что все переключения электроснабжения можно проводить вручную прямо со щита, установленного в ЦПУ, автоматизированная система управления генераторами и распределения электроэнергии по ледоколу осуществляет работу механизмов без всякого вмешательства людей. Операторы только периодически обходят и осматривают помещение электростанций и главных распределительных щитов.

В обеспечении электропитанием атомных ледоколов и боевых кораблей ВМФ есть и много общего. Обычно на кораблях вспомогательные турбо- и дизель-генераторы, дающие питание многочисленным электромашинам и электроустройствам систем оружия, навигации и связи, располагаются в двух отдельных помещениях (часто это носовое и кормовое машинные отделения). Такое разделение необходимо из соображений живучести. При выходе из строя кормовых турбогенераторов носовые будут подавать ток в корабельную сеть, и наоборот.

Отработавший пар от турбогенераторов вместе с паром от главных турбин на стоянке поступает во вспомогательные конденсаторы, а на ходу — в главные. Мощность

турбогенераторов на современных кораблях чрезвычайно велика.

Помимо турбогенераторов на кораблях устанавливают резервные дизель-генераторы, обеспечивающие электроэнергией боевые потребители при неработающей котлотурбинной установке или при боевых повреждениях паровых котлов и турбогенераторов. Они размещаются в отдельных помещениях, чтобы уменьшить вероятность одновременного вывода из строя в бою турбогенераторов и дизель-генераторов. На кораблях в зависимости от их класса находится 2...6 турбогенераторов и 1...4 дизель-генератора.

На кораблях с дизельной энергетической установкой источниками электроэнергии являются только дизель-генераторы, которые подразделяются на основные и стояночные. Основные предназначены для работы в море, на ходу корабля и стоят в машинных отделениях рядом с главными дизелями или в отдельном генераторном отсеке. Стояночные же, имеющие меньшую мощность, чем основные, размещены обычно в помещении надстройки на верхней палубе.

На кораблях с газотурбинной энергетической установкой в качестве основных источников электроэнергии используют газотурбогенераторы, а в качестве дополнительных — дизель-генераторы.

Электрический ток от генераторных щитов сначала направляется на главные распределительные щиты, а уже оттуда по отдельным кабелям — фидерам поступает к электродвигателям и к другим электроустройствам.

Сама корабельная электростанция может располагаться в одном или нескольких помещениях. Обычно на кораблях малого водоизмещения генераторы и главные распределительные щиты находятся в одном помещении. В этом случае отдельных генераторных щитов нет, и ток от генераторов поступает прямо на одну из секций главного распределительного щита.

На крейсерах же и других крупных кораблях главные распределительные щиты размещают в отдельных помещениях, и тогда рядом с носовыми и кормовыми генераторами устанавливают отдельные генераторные щиты.

Отдельное размещение главных распределительных щитов облегчает уход за ними и устраняет вредное влияние на них влаги и масляных паров, выделяющихся при работе генераторов и других механизмов.

Все потребители электрического тока на корабле подразделяются на две группы: потребители боевого значения и потребители, обеспечивающие бытовые нужды экипажа. К первым относятся те, которые принимают участие в движении и управлении кораблем, в обеспечении энергией оружия и борьбе за живучесть. Так как в бою они должны питаться бесперебойно, то ток к ним подводится от обеих электростанций: носовой и кормовой. Одна линия питания считается основной, а другая резервной. И если основная обеспечивается кабелем правого борта, то в качестве резервной может использоваться кабель от второй электростанции, проложенный по левому борту.

На современных кораблях широко используется автоматическое переключение подачи питания с основной линии на резервную. Обычно оно предусматривается для наиболее ответственных потребителей, таких как приборы управления стрельбой, приборы управления кораблем, штурманские приборы и другие устройства. К потребителям же, обеспечивающим бытовые нужды экипажа (электроплиты для приготовления еды, электросамовары, стиральные машины), питание обычно подводится от одной из электростанций.

Главные распределительные щиты состоят из нескольких панелей, на которых установлены электроизмерительные приборы, рубильники, называемые автоматами, и переключатели. По приборам можно контролировать напряжение, частоту и силу тока, вырабатываемого каждым генератором, определить количество электроэнергии, потребляемой важнейшими корабельными установками.

Автоматы же подают электропитание от генераторов на шины главного распределительного щита и направляют электроэнергию на каждый кабель-фидер. От главных распределительных щитов питается кабельная сеть основного освещения. Но кроме него в помещениях установлены светильники аварийного освещения, питающиеся от аккумуляторных батарей. Аварийное освещение включается в работу автоматически при исчезновении питания с обоих бортов.

В составе электромеханических боевых частей есть подразделения электриков. Именно они обслуживают генераторы, распределительные щиты, кабели, двигатели, электроустройства, аккумуляторные батареи, звонки, ре-

вуны и телефоны. И все это сложное электрохозяйство должно быть в постоянной готовности к действию.

Командир электромеханической боевой части должен быть уверен в том, что электрики даже при выходе из строя автоматических устройств сумеют в бою произвести все необходимые переключения и обеспечат электроэнергией боевые потребители в самой сложной обстановке, когда часть электротехнического оборудования повреждена или вышла из строя.



Заключение. Вот и закончилось путешествие по отсекам корабля, где установлены главные двигатели, вспомогательные механизмы, системы и устройства. Конечно, оно было коротким. Состоялось только первое знакомство с основными принципами работы энергетических установок, сделан первый шаг по дороге овладения электромеханической специальностью. Но этот первый шаг может стать для тебя, молодой читатель, и началом большого жизненного пути.

Защита Родины — священный долг каждого советского гражданина. Стать сильным, ловким и закаленным человеком — это хорошо, это необходимо будущему защитнику Родины. Но это еще полдела. Уже со школьной скамьи овладевать техническими знаниями по одной из военно-морских специальностей — вот что необходимо для будущего военного моряка.

Благородна мечта посвятить свою жизнь морю и защите морских рубежей Отчизны, покорить моря и океаны нашей голубой планеты. Но эта мечта не погаснет, не исчезнет неосуществленной только тогда, когда ты начнешь воплощать ее в жизнь уже сейчас, в молодые годы, учась в клубах юных моряков, в морских школах ДОСААФ, занимаясь военно-техническими видами спорта, связанными с морем и водной стихией. Значит, твой будущий жизненный путь зависит от тебя самого. Дерзай — и ты достигнешь многого!

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Глава 1. Паровая турбина на корабле	5
1. От игрушки Герона до корабельной турбины	5
2. Современный паровой котел	21
3. Кое-что о работе турбины	37
4. Становление отечественного корабельного турбостроения	52
Глава 2. Газовая турбина побеждает!	63
1. Почему газ в турбине лучше пара	63
2. А что происходит до газовой турбины?	74
3. О газовой турбине подробно	85
4. Газовая турбина и автоматика	90
Глава 3. Корабельный дизель	97
1. Становление отечественного дизеля	97
2. Многообразное семейство	111
3. Близкое знакомство с дизелем	115
4. Пути совершенствования дизелей	132
Глава 4. Атом на корабельной службе	140
1. Атом движет корабль	140
2. Зачем атомному ледоколу гребные электродвигатели?	149
3. Атомные стражи Родины	155
4. Вокруг реактора	162

МИХАИЛ ИСААКОВИЧ ЦИПОРУХА

РАССКАЗЫ О КОРАБЕЛЬНОЙ ЭНЕРГЕТИКЕ

Редактор Л. И. Карнозов
Обложка художника Ю. И. Сотникова
Художественный редактор Т. А. Хитрова
Технический редактор С. А. Бирюкова
Корректор И. С. Судзиловская

ИБ № 1749

Сдано в набор 25.04.84. Подписано в печать 21.02.85. Г-81909. Формат 84×108^{1/32}. Бумага типографская № 2. Гарнитура журнальная рубленая. Печать высокая. Усл. п. л. 8,82. Усл. кр.-отт. 9,13. Уч.-изд. л. 9,32. Тираж 36 000 экз. Заказ № 404. Цена 30 к.

Ордена «Знак Почета» Издательство ДОСААФ. СССР. 129110, Москва, Олимпийский просп., 22.

Белоцерковская книжная фабрика. 256400, г. Белая Церковь, ул. К. Маркса, 4.