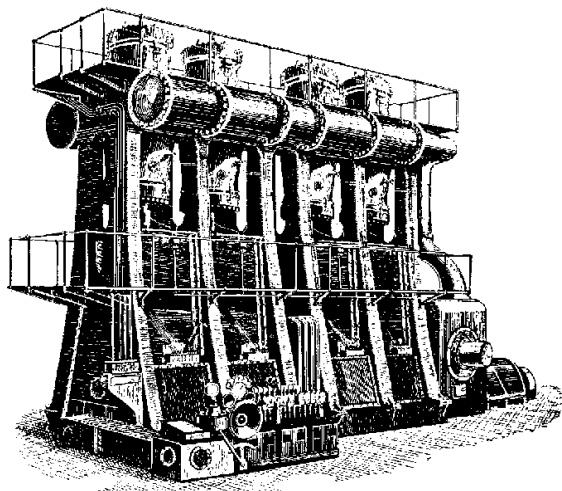


С. В. ГАВРИЛОВ

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

История развития



Государственный комитет Российской Федерации по рыболовству
Камчатский государственный технический университет
Кафедра судовых энергетических установок

С. В. ГАВРИЛОВ

СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

История развития

Рекомендовано Дальневосточным региональным учебно-методическим центром Министерства образования Российской Федерации в качестве учебного пособия для студентов вузов региона специальности 240500 «Эксплуатация судовых энергетических установок»

Петропавловск-Камчатский
2003

ББК 39.455.1

Г12

УДК 629.12–8(09)

Рецензенты:

канд. техн. наук, профессор Б. И. Олейников,

канд. техн. наук, профессор Ю. К. Тимофеев,

кафедра «Двигатели внутреннего сгорания» Хабаровского государственного технического университета (докт. техн. наук, профессор В. А. Лашко, докт. техн. наук, профессор Г. Б. Горелик)

Гаврилов С. В. Судовые энергетические установки. История развития. — Петропавловск-Камчатский, 2003. — 383 с., ил.

Рассмотрены основные исторические этапы развития судового энергетического оборудования за период с момента создания первых тепловых двигателей до настоящего времени. Освещены вопросы совершенствования конструкции и тепловых схем паровых машин, главных и вспомогательных котлов, паротурбинных установок, двигателей внутреннего сгорания и газотурбинных установок, вспомогательных механизмов. Показаны заслуги и приоритет отечественных ученых и инженеров в развитии различных образцов судовой техники.

Книга предназначена для курсантов и студентов морских специальностей, судовых специалистов, любителей истории науки и техники.

Табл. 21, ил. 238, библиогр. 97 назв., прилож. 5.

*Уважение к минувшему — вот черта,
отличающая образованность от дикости.
А. С. Пушкин*

ПРЕДИСЛОВИЕ

В начале ноября 1815 г. в российской столице произошло знаменательное событие: в пассажирский рейс по маршруту Санкт-Петербург — Кронштадт отправилось судно, снабженное механической установкой. Это плавание положило начало отечественному судоходству с использованием паровых поршневых машин — первого в истории человечества типа теплоэнергетических установок.

Большая часть трехвековой истории российского флота, как военного, так и гражданского, приходится на период, в течение которого возникли и активно развивались корабли и суда, оборудованные различными видами энергетических установок (ЭУ). За это время отечественному флоту суждено было стать колыбелью ряда замечательных научных идей и конструктивных разработок, часть из которых широко используется и поныне. Заметным вкладом в историю техники стало создание российскими специалистами первых теплоходов и электроходов, танкеров, гражданских судов с ядерными ЭУ, широкое внедрение на судах жидкого топлива, двигателей внутреннего сгорания, постройка крупных морских ледоколов, начало использования радиосвязи и другие достижения.

В настоящее время наиболее распространенным типом ЭУ рыбопромысловых и транспортных судов являются дизельные двигатели внутреннего сгорания (ДВС). Основными причинами их широкого использования на флоте стали наиболее высокие среди всех типов тепловых машин топливная экономичность и надежность, срок службы и маневренные качества; хорошая приспособленность для технического использования, обслуживания и ремонта.

ДВС исторически являются вторым (после паровых поршневых машин) типом теплоэнергетических установок, созданных человечеством в ходе технического прогресса. Их первые несовершенные образцы появились практически одновременно со своими прототипами — паровыми машинами. Реальную конкуренцию пароэнергетическим установкам ДВС смогли составить только к концу XIX в.

Памятной вехой в истории отечественной теплотехники и промышленности является 1899 г., когда в Санкт-Петербурге на заводе

«Людвиг Нобель» был создан первый отечественный дизель. Россия является пионером в использовании дизелей на судах. Постройка отечественных теплоходов началась в 1904 г. В период, предшествующий первой мировой войне 1914—1918 гг., российские ученые и конструкторы решили основные проблемы, стоявшие на пути превращения дизелей в надежный и экономичный тип судовых ЭУ. В течение последующих десятилетий формировались конструктивные формы, характерные для современных судовых дизелей. К настоящему времени их конструкция достигла высокой степени совершенства, а эффективный КПД вырос более чем вдвое (от 25 % у первых машин до 50—52 % у современных крейцкопфных малооборотных сверхдлинноходовых установок). Это позволяет предположить, что дизели в ближайшем будущем останутся вне конкуренции среди существующих ныне типов ЭУ судов гражданского назначения.

Газовые турбины являются четвертым и последним по времени создания типом теплоэнергетических установок. Первые надежные газотурбинные установки (ГТУ), пригодные к длительной эксплуатации, появились в конце 1940-х гг. Они обладают рядом достоинств, отличающих их от других тепловых машин. К их преимуществам перед паровыми турбинами относятся отсутствие громоздкого котельного оборудования, меньшие удельный вес, габариты, эксплуатационные расходы и трудоемкость обслуживания. По сравнению с ДВС ГТУ имеют более простую конструкцию, обусловленную наличием в них подвижных частей, совершающих только вращательное движение; они характеризуются меньшими габаритами, массой и расходами на смазку.

Главным недостатком ГТУ является их заметно более низкая, чем у ДВС, экономичность. Это обстоятельство сдерживает их использование на наземном и морском транспорте. В перспективе, после создания доступных материалов, способных длительное время работать в условиях высоких температур и механических нагрузок, следует ожидать заметного увеличения экономичности газовых турбин и расширения области их применения.

Наша страна стала первой, применившей газотурбинные установки на крупных кораблях военно-морского флота, на десятилетие обойдя в этой области ведущие морские державы мира. Отечественный газотурбоход «Парижская коммуна» стал первым в мире транспортным судном, оборудованным ГТУ длительного срока службы.

Судовая энергетика отражает достигнутый обществом уровень развития, так как она аккумулирует в себе технический прогресс в

различных областях науки, технологии и машиностроения. Развитие судовых ЭУ представляет собой непрерывный процесс поиска экономичных, безопасных, надежных источников и потребителей тепловой, механической и электрической энергии. Современный уровень судовой техники достигнут благодаря «естественному отбору», протекавшему среди ее разнообразных конструктивных форм. Одни механизмы и устройства в ходе эволюции ЭУ вытеснялись более совершенными, другие, оказавшиеся самыми эффективными, — постепенно улучшались и в измененном виде сохранились до настоящего времени.

Взгляд на историю судовых ЭУ с высоты современных знаний позволяет полнее оценить вклад предшествующих поколений ученых и инженеров в развитие техники и технологии судостроения, их интуицию в этих областях. Историко-технический анализ судовой техники помогает выявить основные тенденции в ее развитии, дать оценку современного состояния и определить перспективные направления, по которым будет происходить дальнейшее совершенствование технических средств, применяемых на флоте.

Настоящая книга, не претендующая на полноту изложения, предназначена для курсантов и студентов морских специальностей вузов и техникумов. Она может быть интересна для судовых специалистов и любителей истории техники. В книге в хронологической последовательности прослеживаются основные исторические этапы развития различных типов судовых ЭУ: поршневых паровых машин, паро- и газотурбинных установок, паровых котлов, двигателей внутреннего сгорания, вспомогательных механизмов и устройств. Эволюция технических средств иллюстрируется примерами выполнения конкретных конструкций, как зарубежного, так и отечественного производства.

Основные сведения исторического и технического характера, часть иллюстративного материала, вошедшие в издание, почерпнуты из отечественной и иностранной периодической, научной, научно-популярной, справочной и учебной литературы, выходящей в течение 1913—1997 гг.

Следует отметить, что данные, сообщаемые различными источниками по истории техники применительно к конкретным событиям, могут носить противоречивый характер, как в части хронологии и трактовки событий, так и в отношении технических и эксплуатационных показателей рассматриваемых конструкций.

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

ВМФ	— военно-морской флот
ВО	— воздухоохладитель
ВП	— воздухоподогреватель
ВРШ	— винт регулируемого шага
ВТО	— высокотемпературное охлаждение
ВТЭ	— водотопливная эмульсия
ГК	— главный котел
ГТУ	— газотурбинная установка
ДВС	— двигатель внутреннего сгорания
К	— конденсатор пара
КВД	— компрессор высокого давления
КН	— конденсатный насос
КНД	— компрессор низкого давления
КПД	— коэффициент полезного действия
КС	— камера сгорания
КШМ	— кривошипно-шатунный механизм
МОД	— малооборотный дизель
ОПП	— основной пароперегреватель
ПП	— пароперегреватель
ППП	— промежуточный пароперегреватель
ППВ	— подогреватель питательной воды
ПН	— питательный насос
ПТУ	— паротурбинная установка
СОД	— среднеоборотный дизель
СППГ	— свободно-поршневой генератор газа
СЭУ	— судовая энергетическая установка
ТВД	— турбина высокого давления
ТСД	— турбина среднего давления
ТНД	— турбина низкого давления
ТЗХ	— турбина заднего хода
ТНА	— турбонаддувочный агрегат
ТЗА	— турбозубчатый агрегат
ТУК	— теплоутилизационный контур
ТЭА	— турбоэлектрический агрегат
ТЯ	— теплый ящик
УК	— утилизационный котел
ЦВД	— цилиндр высокого давления
ЦМД	— цилиндр малого давления
ЦНД	— цилиндр низкого давления
ЦСД	— цилиндр среднего давления
ЦПГ	— цилиндропоршневая группа
Э	— эжектор
ЭК	— экономайзер

ГЛАВА 1. ПЕРВЫЕ СУДА С ПАРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ

Первые пароэнергетические установки: пароатмосферные машины Папена, Севере, Ньюкомена. Паровые двигатели Ползунова и Уатта. Универсальный двигатель, его основные черты. Три характерных этапа развития пароэнергетических установок в XVIII в.

Начало использования паровых машин на судах. Работы Хулла, Перье, д'Оксирона, Саймингтона, Фитча, Стивенса. Пароходы Фултона. Особенности первых судовых пароэнергетических установок. Первый отечественный пароход. Характеристики российских морских и речных паровых судов первой половины XIX в. Типы судовых движителей, их особенности. Направления развития основных элементов судовых пароэнергетических установок во второй половине XIX в. Типовая схема энергетической установки морского судна конца XIX в.

1.1. СОЗДАНИЕ ПАРОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

В истории человечества период, пришедшийся на XVII и XVIII столетия, оказался временем существенного ускорения развития науки и техники. Интенсивное развитие промышленности и торговли потребовало создания мощных, экономичных и удобных для использования источников энергии. Традиционные гидравлические и ветровые двигатели, которые люди использовали с незапамятных времен, не могли больше обеспечить растущих энергетических потребностей общества. Их применение сдерживалось необходимостью привязывать потребители энергии к водоемам и учитывать переменный характер ветров.

Быстрое развитие промышленности поставило на передний план научных исследований проблему разработки *универсального*, то есть не зависящего от природной стихии источника энергии. По мере развития естественных наук стало очевидным, что его создание является реальной задачей, которая может быть решена благодаря развитию науки о тепле и совершенствованию производительных сил. Универсальный источник энергии появился во второй половине XVIII в. Его возникновению предшествовали многократные, порой драматические, попытки использовать для совершения механической работы тепловые физические свойства водяного пара и силу атмосферного давления.

В 1601 г. итальянский ученый Д. Порта обнаружил, что при конденсации водяного пара в закрытом сосуде возникает вакуум. В 1643 г. его соотечественник Э. Торричелли доказал существование атмосферного давления. Его сила в системе «поршень-цилиндр» впервые была использована в опыте, который в 1654 г. провел талантливый физик и экспериментатор Отто фон Герике. Он соединил при помощи клапана поршневой насос и большой шар, из которого предварительно откачали воздух. К поднятому в цилиндре насоса поршню привязали перекинутый через блок трос, удерживаемый двумя десятками человек. После быстрого открытия клапана в полость шара устремился воздух, увлекая за собой поршень. Последний мгновенно втянулся внутрь насоса, подняв повисших на тросе людей.

Этот опыт со всей очевидностью показал, что для получения в поршневой машине полезной работы следует каким-то образом вначале поднять поршень в цилиндре, а затем создать под ним вакуум. После этого атмосферное давление, действуя на поршень, опустит его и произведет работу. В результате ряда последующих экспериментов, выполненных выдающимися учеными, выяснилось, что наиболее подходящей средой для поднятия поршня является водяной пар. Сочетание поршня и цилиндра легло в основу первых тепловых двигателей, появившихся в конце XVII в. Машины, использовавшие силы давления пара и атмосферного воздуха, получили название *пароатмосферных*.

Двигатели, работавшие на водяном паре, впервые в античные времена пытались создать выдающиеся инженеры древности — Архимед и Герон Александрийский. Известно, что над проблемой использования энергии пара в период Возрождения трудился великий Леонардо да Винчи. Однако достигнутые к тому времени знания и уровень развития техники не позволили ему создать машину, пригодную для практического использования. До ее появления было сделано несколько более или менее удачных попыток применить для получения полезной работы энергию водяного пара.

Одной из первых среди них стала постройка в 1690 г. французским физиком Дени Папеном двигателя, показанного на рис. 1.1а. В его цилиндре 1 размещался поршень 2, соединенный тросом с нагрузкой 3. В поршне имелось отверстие, перекрытое клапаном в виде стержня 4. На дно цилиндра наливалась вода, после чего поршень опускался до ее уровня. Воздух из цилиндра при этом вытеснялся через открытое отверстие в поршне, которое после удаления воздуха закрывалось. Цилиндр нагревался, вода превращалась в пар, давление которого под-

нимало поршень в верхнее положение, в котором он удерживался стопором 5. После этого цилиндр снаружи охлаждался водой, пар в нем конденсировался и поршень под действием атмосферного давления (при отданном стопоре) опускался, совершая работу.

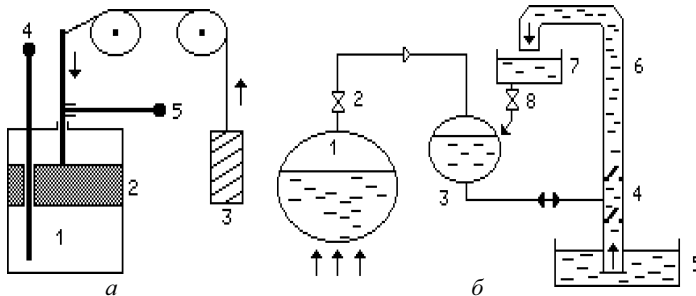


Рис. 1.1. Паровые двигатели Д. Папена и Т. Севери

Практическая ценность двигателя Папена была мала, так как поршень в нем не мог делать более одного хода в минуту. Тем не менее, его создание показало возможность реализации принципа работы пароатмосферной машины. В этом устройстве осуществлялись все процессы, протекающие в современных пароэнергетических установках: нагрев и испарение воды, расширение пара и его конденсация. Но в наше время они реализуются в различных объектах: паровом котле, паровой турбине и конденсаторе пара. В рассмотренном же двигателе они последовательно протекали в одном рабочем цилиндре, что и определяло его низкое быстродействие и малую экономичность.

В следующем двигателе, построенном в 1707 г., Папен разделил паровой котел и рабочий цилиндр, в котором пар давил на поршень сверху. Последний, перемещаясь, вытеснял перекачиваемую воду из цилиндра через отверстие в его днище. Отработавший пар выпускался в атмосферу, то есть конденсировался вне устройств. Новый двигатель установили на судно, оборудованное гребными колесами. Они приводились в движение падающей водой, удаляемой из цилиндра. В ходе испытаний судна, проходивших в Германии на р. Фульда, произошел взрыв, в результате которого погибло несколько человек [86]. Судно Папена применения не нашло и было разрушено, а сам изобретатель вскоре скончался.

Кроме создания первого реально действовавшего парового двигателя, Папен вошел в историю техники также как изобретатель сосуда для варки под давлением (автоклава) и предохранительного клапана — устройства, которым оборудованы все современные паровые котлы.

Он одним из первых предложил преобразовывать возвратно-поступательное движение перемещавшегося в цилиндре поршня во вращение вала, с которого отбиралась полезная работа, при помощи зубчатой рейки и шестерен.

Очередную, более удачную, попытку использовать энергию водяного пара в 1698 г. предпринял английский шахтовладелец Томас Севери. Установка, названная им «Друг рудокопа», предназначалась для удаления грунтовой воды из шахт, а также работе на водокачке. Схема ее действия показана на рис. 1.1б. Водяной пар из котла 1 через клапан 2 поступал в сосуд 3 и вытеснял из него воду через верхний клапан клапанной коробки 4 в емкость 7. После удаления всей воды из сосуда 3, подача пара в него прекращалась, а его поверхность охлаждалась водой, подаваемой через клапан 8. В сосуде образовывался вакуум, перекачиваемая вода всасывалась в него через трубопровод 6 и нижний клапан клапанной коробки. После этого цикл повторялся.

Широкого применения установки Севери не нашли, в первую очередь, из-за крайне низкой экономичности. Их КПД не превышал 0,3 %, а удельный расход угля, сжигаемого в паровом котле, достигал громадной величины — 100 кг/(кВт·ч). Впоследствии установки Севери усовершенствовал Деагюлье, предложивший охлаждать пар впрыскиванием воды в полость сосуда. Это увеличило скорость конденсации и привело к росту производительности насоса.

Машина Севери стала первой пароэнергетической установкой, появившейся в России. В 1718 г. выписанный Петром I из Англии «огневой насос» этого типа, сферический котел которого вмещал до шести бочек воды, был применен для подачи воды к фонтанам Летнего сада Санкт-Петербурга [19].

Более удачной оказалась конструкция водонасосной установки, предложенная соотечественником Севери — Томасом Ньюкоменом. Ее схема, реализованная в 1705 г.

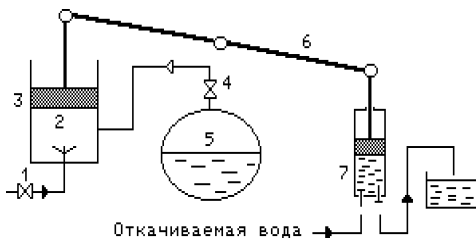


Рис. 1.2. Установка Т. Ньюкомена

(по другим данным в 1712 г.), приведена на рис. 1.2. Она работала следующим образом. Пар из котла 5 через клапан 4 поступал в цилиндр 2 и поднимал поршень 3. При помощи балансира 6 от поршня приводился в

движение водяной насос 7. Когда паровой поршень 3 занимал верхнее положение, подача пара в цилиндр прекращалась. В этот момент открывался клапан 1, подводивший в цилиндр охлаждающую воду. В результате конденсации пара под поршнем создавалось разрежение. Под действием атмосферного давления он опускался, поднимая поршень насоса 7. Образующийся конденсат удалялся из парового цилиндра по специальной трубе, затем цикл повторялся.

Установки Ньюкомена оказались значительно экономичнее предшественниц, созданных Севери. Их КПД достигал 1 %, а удельный расход топлива был втрое ниже. Они применялись в европейских странах в течение длительного периода. Последнюю машину этого типа в Англии разобрали только в 1934 г. [35]. Мощность установок, обычно не превышавшая 7,5—10 кВт, существенно увеличилась после усовершенствований, внесенных в их конструкцию Дж. Смитом. Он предложил снабжать машину паром от нескольких котлов и ввел регулирование момента подачи воды в цилиндр. Машина Смита, приобретенная для нужд Кронштадского порта, начавшая работать в 1777 г., имела мощность 56,6 кВт. Длина ее парового цилиндра, пар для которого вырабатывался в трех котлах, превышала три метра [29].

Все рассмотренные выше пароэнергетические установки не совершали вращательного движения и работали исключительно в качестве насосов. Непосредственно приводить в действие механизмы они не могли и поэтому универсальными двигателями не являлись. Ввиду недостаточного быстродействия, больших габаритов и низкой экономичности для применения на транспорте они не подходили. Расширить область применения паровых двигателей удалось во второй половине XVIII в. Это стало возможным благодаря объединению в одной конструкции нескольких паровых цилиндров, а также в результате применения различных передаточных механизмов, преобразовывавших поступательное движение поршня во вращение вала отбора мощности.

Идею суммировать мощность нескольких цилиндров в 1725 г. высказал немецкий инженер Я. Лейпольд. Он предложил удвоить число цилиндров в установке Ньюкомена и подавать пар в них последовательно. Практически реализовал эту идею в 1765 г. русский изобретатель И. И. Ползунов. Машина, построенная Ползуновым, впервые предназначалась не для работы в качестве насосной установки, а для непосредственного привода заводских механизмов (воздуходувных мехов). Однако его двигатель также не являлся универсальным, так как не мог производить вращательного движения.

И. И. Ползунов служил механиком на уральских Колывано-Воскресенских заводах. В апреле 1763 г. он подал начальнику заводов докладную записку, в которой приводилась конструкция оригинальной паровой машины. В отличие от установки Ньюкомена, она была двухцилиндровым двигателем непрерывного действия. В 1764 г. Ползунов закончил проект второй машины, мощность которой превосходила первую почти в двадцать раз, и вскоре в Барнауле началось ее изготовление. К 20 мая 1765 г. основные части устройства были готовы, после чего изобретатель приступил к его сборке. Из-за отсутствия подходящей производственной базы на заводе, кроме самой машины, Ползунову пришлось проектировать и строить оборудование для изготовления ее деталей. К середине декабря 1765 г. сооружение машины было закончено. Однако изобретатель не дожид до испытаний и начала промышленной эксплуатации своего детища — 16 мая 1766 г. он скончался.

Через неделю после смерти Ползунова его ученики приступили к испытанию установки, а 7 августа 1766 г. началась ее эксплуатация. 10 ноября этого же года в паровом котле обнаружилась течь, и машину остановили. Вот как описывал случившееся очевидец: «Во время весьма порядочного и непрерывного действия оказалась за разгорением под котлом кирпичных сводов из одного котла не малая водяная течь, так что оною имеющийся под котлом огонь загасило, чего ради принуждены оную машину, купно с плавильными печами, остановить» [29]. После этой, в общем-то незначительной, аварии машину забросили, а в 1780 г. ее разобрали.

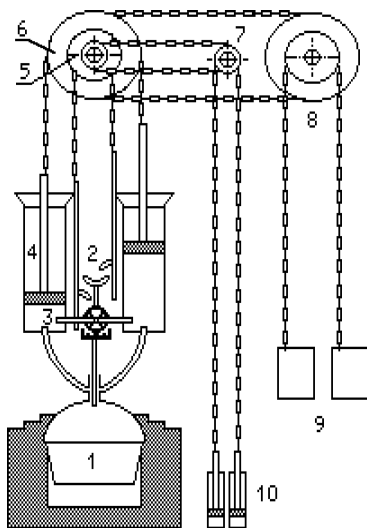


Рис. 1.3. Машина И. И. Ползунова

Схема первой машины Ползунова представлена на рис. 1.3. Пар от котла 1 должен был поочередно подаваться в рабочие цилиндры 4 и поднимать их поршни в верхнее положение. Затем в цилиндры через устройство 3 впрыскивалась вода, вызывавшая конденсацию пара. Под действием атмосферного давления поршни опускались, приводя в действие посредством цепной пере-

Схема первой машины Ползунова представлена на рис. 1.3. Пар от котла 1 должен был поочередно подаваться в рабочие цилиндры 4 и поднимать их поршни в верхнее положение. Затем в цилиндры через устройство 3 впрыскивалась вода, вызывавшая конденсацию пара. Под действием атмосферного давления поршни опускались, приводя в действие посредством цепной пере-

дачи шкив отбора мощности 6, с которым цепями соединялись шкивы 5, 7 и 8. Они управляли действием пароводораспределительного устройства 2, работой питательного насоса парового котла 10 и приводили в действие воздушные мехи 9, нагнетавшие воздух в плавильную печь. Вторая, осуществленная на практике, машина Ползунова отличалась от первой габаритами, мощностью и использованием вместо шкивов балансира. Мощность этого механизма достигала 23,5 кВт, его рабочий цилиндр имел диаметр 810, ход поршня составлял 2 560 мм. Поршни в цилиндрах уплотнялись при помощи прикрепленной к ним пробковой коры. Высота машины достигала 11 м, на ее постройку израсходовали 25 т железа и меди, более 2 т свинца и олова. Объем котла диаметром 3,5 м составлял 16 м³ [29, 35].

В ходе создания машины Ползунов не только практически реализовал принцип суммирования на одном валу мощности двух цилиндров, но и разработал конструкцию автоматического регулятора питания, поддерживавшего в паровом котле постоянный уровень воды. Он применил в своей установке подогрев питательной воды — принцип, ныне широко использующийся в теплоэнергетике.

После Ползунова строительство паровых машин в России возобновилось в 1790 г. на Олонецких заводах. Позже к их выпуску приступил промышленник Карл Берд на своем петербургском заводе.

Универсальный паровой двигатель, нашедший широкое применение в конце XVIII в. и на протяжении всего XIX в., названного «веком пара», создал английский изобретатель Джеймс Уатт. Уатт работал университетским механиком в Глазго. В 1763 г. ему предстояло выполнить ремонт модели машины Ньюкомена, использовавшейся в качестве наглядного пособия при обучении студентов.

В ходе работы Уатт обратил внимание на ее крайне низкую экономичность. Он предположил, что причиной этого является необходимость периодического охлаждения цилиндра для конденсации пара под поршнем, а затем его повторного нагрева до первоначальной температуры. Уатт решил отработавший пар превращать в воду вне цилиндра в отдельном устройстве (конденсаторе). В этом заключалось первое принципиальное отличие его машины от предшествующих тепловых двигателей. Второе отличие состояло в использовании вокруг рабочего цилиндра паровой рубашки, уменьшавшей конденсацию пара из-за его охлаждения о стенки цилиндра.

Внедрение названных конструктивных решений позволило Уатту резко увеличить экономичность своего двигателя, схема работы

которого представлена на рис. 1.4а. Пар из котла 1 через клапан 2 поступал в рабочий цилиндр 4, окруженный паровой рубашкой 3. В цилиндре, открытом сверху, размещался поршень, соединенный с балансиром 5. Балансир приводил в действие водяной насос 7. Отработавший в цилиндре пар отводился в конденсатор 6, охлаждаемый водой.

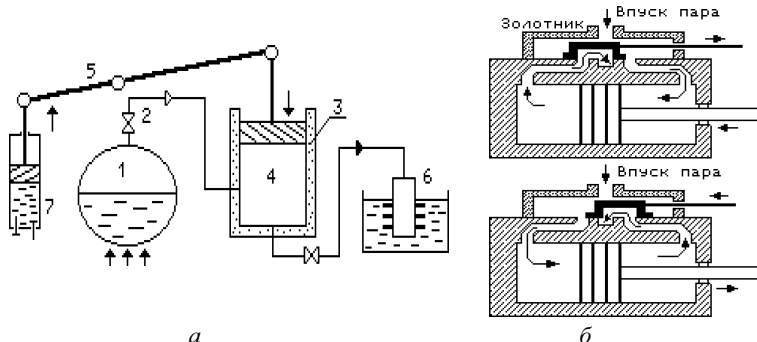


Рис. 1.4. Паровые машины Дж. Уатта

Рассмотренная машина Уатта с отдельным конденсатором пара, как и все предшествующие ей установки, была *одинарного действия*: только один ход поршня был рабочим — вниз под действием атмосферного давления. Второй ход поршня был холостым — он как бы «взводился» для совершения последующей работы [35, 36]. Как и другие двигатели, она не совершала вращательного движения. Уатт работал над усовершенствованием своего детища на протяжении пяти лет — с 1763 по 1768 гг. В следующем 1769 г. он получил на него патент. Промышленное производство этих машин началось на заводе бирмингемского промышленника М. Болтона в 1775 г.

В последующие годы Уатт продолжал улучшать свой двигатель. В 1782 г. он получил патент на машину, в которой оба хода поршня были рабочими, рис. 1.4б. В ней пар попеременно подавался в полости цилиндра, расположенные с разных сторон поршня. Такие устройства получили название *машин двойного действия*.

В новом изобретении Уатта поступательное движение поршня преобразовывалось во вращение выходного вала с помощью оригинального механизма, названного «солнечно-планетарной передачей». Использование в паровых машинах хорошо известного кривошипно-шатунного механизма (КШМ) ограничивалось патентом, полученным в 1780 г. Дж. Пикардом. Уатт стал применять КШМ позднее, когда истек срок патентных ограничений [29, 87].

Отныне вращение вала отбора мощности можно было передавать различным механизмам. Эпоха применения паровой машины исключительно в качестве насосной установки закончилась: теперь она действительно стала универсальным двигателем.

После создания универсального двигателя на повестку дня встал вопрос его использования в качестве ЭУ транспортных средств. Сам Уатт, по мнению К. Маркса, «сомневался в применимости паровой машины в морском судоходстве» [29]. Одной из причин этого было то обстоятельство, что из-за низкого давления пара для получения достаточной мощности машина должна была обладать большими размерами и массой. Давление пара в установках Уатта не превышало 0,15 МПа.

Уатт вошел в историю техники не только как изобретатель универсального двигателя, но как создатель автоматического регулятора частоты вращения и механического индикатора, служившего для определения давления пара в цилиндре. В его честь получила название современная единица измерения мощности ЭУ — *Ватт*.

Дальнейшее совершенствование паровой машины шло в направлении повышения начальных параметров пара и увеличения экономичности. В 1781 г. патент на паровую машину высокого давления с двукратным расширением пара получил Дж. Горнблюуэр, который не смог осуществить свой проект. В 1802 г. установку высокого давления запатентовал американский изобретатель Оливер Эванс. Машины Эванса имели значительно более низкие массу и габариты, чем двигатели Уатта, и были хорошо приспособлены для установки на транспортные средства [35]. Давление пара в них достигало величины 0,6—1,0 МПа. Вскоре началось их промышленное производство.

Период становления пароэнергетических установок длился примерно девяносто лет (1690—1782 гг.). На его протяжении выделяются несколько характерных этапов [39]:

- создание установок единичного назначения, в которых паровой двигатель конструктивно сливался с исполнительным механизмом специального назначения (насосом);

- возникновение установок узкого назначения, двигатель которых был отделен от механизмов, но еще не являлся обособленным техническим объектом (паровой молот, воздуходувка);

- появление универсального двигателя, то есть обособленной машины, предназначенной для размещения на транспортных средствах и способной обслуживать потребности промышленности.

Универсальный паровой двигатель отличался важным свойством — способностью совершать работу непрерывно. Это достигалось различными способами:

— *аккумуляцией*, при котором часть работы, совершаемой во время рабочего хода поршня, передавалась промежуточному энергоносителю с тем, чтобы затем быть отданной потребителю во время холостого хода. Энергия могла накапливаться в различных формах: в потенциальной (в виде поднятого груза), кинетической (вращающийся маховик), а также комбинированной потенциально-кинетической;

— *суммированием работы* двух и более цилиндров (предложения Я. Лейпольда и И. И. Ползунова) или разных полостей одного и того же цилиндра (машина двойного действия Уатта).

Сразу же после создания универсального парового двигателя стали предприниматься попытки использовать его на транспорте, и в первую очередь — в судоходстве. Благодаря значительным размерам судовых корпусов, размещение на них громоздких паровых двигателей и котлов не встречало больших затруднений.

1.2. ПОЯВЛЕНИЕ ПАРОВОДА

Первые практические попытки постройки паровых судов предприняли Д. Папен в Германии в 1707 г. и Дж. Хулл в Англии в 1736 г. В отличие от неудачного опыта Папена, судно Хулла, оборудованное пароатмосферной машиной Ньюкомена, оказалось более надежным, рис. 1.5. На нем вертикально расположенный цилиндр машины 1 соединялся с осью гребного колеса 3 при помощи канатной передачи с двумя шкивами. В качестве накопителя энергии в этой установке применялся массивный груз 2, то есть в ней осуществлялось потенциальное аккумулярование.

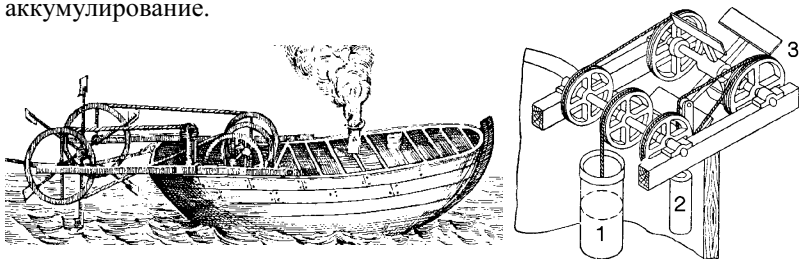


Рис. 1.5. Судно Хулла и его двигатель

В 1737 г. Хулл опубликовал книгу о своем судне с пространном названием «Описание и чертежи вновь изобретенной машины для буксировки судов в гавани и из гаваней, портов или рек против ветра, прилива или в штилевую погоду». Он построил несколько подобных судов, использовавшихся в качестве буксиров [86]. Однако вскоре выяснилось, что использование пароатмосферных машин в качестве судовых двигателей является делом весьма затруднительным из-за присущих им недостатков.

С целью разработки надежных механизмов, приводящих судно в движение, Парижская Академия наук в 1753 г. объявила специальный конкурс. В нем приняли участие известные ученые, а победителем оказался Д. Бернулли, доказавший, что никакие существовавшие в то время устройства не могли быть успешно использованы в качестве судовой энергетической установки [46].

Однако этот неутешительный вывод вскоре опровергли работы, выполненные французскими же изобретателями, построившими суда, приводимые в движение энергией пара. В течение 1771—1775 гг. над созданием паровых катеров работали д'Оксирон и Перье. Артиллерийский офицер д'Оксирон в 1771 г. разработал проект парового судна, постройка которого была начата в 1772 г. Его снабдили двухцилиндровой пароатмосферной машиной, изготовленной с помощью английских специалистов. Во время испытаний, проведенных в 1773 г., судно затонуло из-за аварии. В опытах д'Оксирона принимал участие Перье, позже самостоятельно работавший над созданием пароходов. В 1775 г. он построил судно, которое испытывалось на р. Сене с различными типами движителей. Недостаточная мощность пароатмосферной машины не позволила Перье получить удовлетворительные результаты.

Одним из тех, кто впервые применил только что появившуюся машину Уатта на судне, стал француз Клод де Жоффруа д'Аббан. Его судно «Пироскаф», оборудованное машиной двойного действия с горизонтально расположенным цилиндром и гребными колесами, в 1783 г. испытывалось на р. Соне вблизи Лиона. В его деревянном корпусе длиной 45,3, шириной 4,8, осадкой 0,8 м и водоизмещением 182 т размещалась машина с двумя цилиндрами диаметром 673 и ходом поршней 1 950 мм. Она через оригинальный реечно-храповый механизм вращала два бортовых колеса диаметром по 4 м. Во время испытаний судно в течение четверти часа двигалось против течения, а затем вышло из строя. Позже «Пироскаф» совершил еще несколько рейсов, однако они не вызвали интереса французского правительства.

«Пироскаф» не был первым судном д'Аббана — еще в 1778 г. он испытывал на р. Ду паровую лодку длиной 13,1 м [74]. Лодка имела машину с двумя наклонными цилиндрами, приводившую в движение бортовые гребные колеса.

В Англии проблемой использования пара для движения судна занимались У. Саймингтон и П. Миллер. Саймингтон в 1787 г. получил патент на судовую машину с отдельным конденсатором пара, имевшую два цилиндра диаметром 102 и ходом поршня 229 мм. Наличие конденсатора не позволило использовать ее на практике, так как она попадала под действие патента, ранее полученного Дж. Уаттом. Первым судном Саймингтона и Миллера стала лодка с гребными колесами, размещенными в корпусе. Ее построили в 1788 г. Гребные колеса приводились от машины Уатта посредством цепной передачи. Скорость хода судна достигала 5 узлов.

В 1789 г. изобретатели создали второе судно, оборудованное машиной мощностью 8,8 кВт. Его конструкция оказалась неудачной. В 1802 г. Саймингтон построил паровой буксирный катер с машиной двойного действия мощностью 7,5 кВт. В качестве движителя на катере применили одно гребное колесо, расположенное за кормой. Оно приводилось непосредственно от шатуна машины, то есть Саймингтон на своем пароходе реализовал прямую передачу мощности.

Энергетическая установка судна Саймингтона показана на рис. 1.6. Она состояла из горизонтальной прямодействующей машины двойного действия 1, КШМ 2 и приводимого им гребного колеса 3.

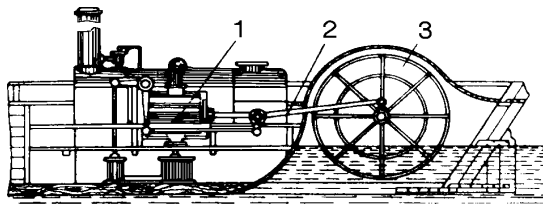


Рис. 1.6. Энергетическая установка парохода «Шарлотта Дандас»

Пар для машины производился в одном огнетрубном котле. Отработавший пар удалялся в конденсатор. Судно длиной 17,5 м носило название «Шарлотта Дандас». Во время испытаний при сильном встречном ветре оно отбуксировало по каналу две баржи на расстояние 18 миль за шесть часов. Однако из-за возникших среди обывателей опасений, что создаваемые гребным колесом волны размоют берега канала, пароход поставили на прикол.

Испытания «Шарлотты Дандас», среди прочих зрителей, наблюдал американец Роберт Фултон, позже ставший создателем первых по настоящему надежных пароходов, нашедших широкое практическое применение [3, 35, 86, 87].

Активные работы по созданию пароходов велись в Соединенных Штатах Америки. Первым американским пароходом считается лодка, построенная механиком Вильямом Генри в 1763 г. в штате Пенсильвания. На ней он установил машину собственной конструкции, приводившую в действие гребные колеса. После гибели этой лодки Генри построил еще одно судно [74].

В 1784 г. в США практически одновременно появились проекты пароходов, разработанные Джеймсом Рамсеем и Джоном Фитчем. Рамсей создал судно, оборудованное водометным двигателем. В качестве двигателя на нем использовалась пароатмосферная машина оригинальной конструкции. Она была образована двумя вертикально расположенными цилиндрами — верхним паровым и нижним водяным меньшего диаметра. Поршни, размещенные в цилиндрах, были связаны общим штоком. Пар от котла поступал в подпоршневое пространство парового цилиндра и поднимал его в верхнее положение. При этом в водяной цилиндр всасывалась вода. После этого в подпоршневое пространство парового цилиндра впрыскивалась вода, вызывавшая конденсацию в нем пара. Атмосферное давление, действуя на паровой поршень сверху, перемещало его вниз, при этом из водяного цилиндра с силой выбрасывалась вода, приводившая судно в движение [74].

Судно Рамсея испытывалось в 1787 г. на р. Потомак близ Шеперстоуна. В поисках средств, требующихся для продолжения работ, Рамсей уехал в Англию. Построенная им здесь паровая лодка «Колумбия Мейд» также была оборудована водометом. Она могла развивать скорость около четырех узлов. Это детище Рамсея также не нашло применения. После его смерти чертежи и проекты паровых судов достались американцу Р. Фултону.

Часовщик Джон Фитч в течение 1787—1788 гг. построил три судна, каждое из которых он оснастил различными типами двигателей. Одно из них было оборудовано оригинальным двигателем в виде бесконечной цепи плиц, напоминающей тракторную гусеницу. Второе — «Персеверанс», — испытанное в августе 1787 г. на р. Делавер, приводилось в ход системой из шести пар шарнирно соединенных весел.

Первые два парохода оказались неэкономичными, имели низкую надежность и скорость. Третье судно, получившее название

«Эксперимент», рис. 1.7, было снабжено машиной с цилиндром диаметром 550 мм, обеспечивавшей ему скорость хода 6,5 узлов. Движителем на нем служили три весла в виде утиных лап, расположенных на корме. «Эксперимент» некоторое время совершал регулярные рейсы. В 1796 г. Фитч приступил к постройке своего четвертого парохода, снабженного гребным винтом. Отсутствие средств и понимания современников не дали ему возможность закончить работу. В 1798 г. жизнь изобретателя оборвалась [87].

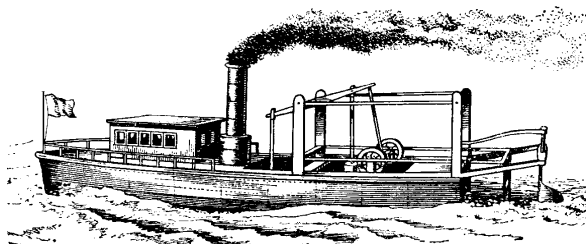


Рис. 1.7. Пароход «Эксперимент»

Разработкой проектов пароходов в США также занимался Джон Стивенс. Его первые работы относятся к 1789 г. В 1802 г. он построил лодку длиной 7,6 м с двухлопастным гребным винтом, выполненным из железа. Винт приводился оригинальным ротативным паровым двигателем (с вращающимся поршнем) [74]. Через два года Стивенс построил еще одну лодку, названную «Литтл Юлиана». Она имела длину 7,6 м и была снабжена двумя гребными винтами. Винты имели по четыре лопасти и вращались в противоположных направлениях. Их приводила в действие через повышающую зубчатую передачу с раздвоением мощности одноцилиндровая паровая машина. Она работала на паре с давлением 0,35 МПа, производимом водотрубным котлом с поверхностью нагрева 7,5 м². Скорость лодки на испытаниях достигла восьми узлов. «Литтл Юлиану» долгое время считали первым судном с механическим двигателем, снабженным гребным винтом.

На построенном после 1804 г. пароходе «Феникс» Стивенс вновь одним из первых применил водотрубный паровой котел, поверхность нагрева которого состояла из ста водогрейных трубок диаметром 51 при длине 445 мм. Пароход длиной 31,4 м был оборудован одноцилиндровой машиной с диаметром цилиндра 254 и ходом поршня 610 мм, вращавшей гребной винт. В 1807 г. «Феникс» совершил несколько рейсов. Он вошел в историю как первое судно с механическим

ким двигателем, совершившее морской переход — рейс из Нью-Йорка в Филадельфию, состоявшийся в июне 1809 г. [3].

Создателем первого надежного парового судна, приспособленного к длительной эксплуатации, стал американец Роберт Фултон. Он критически оценил опыт своих предшественников и существенно улучшил конструкцию парохода. Для снижения требуемой мощности двигателя изобретатель провел серию опытов по определению оптимальных размеров корпуса судна, а также исследовал возможность использования на нем различных движителей. Таким образом, Фултон стал первым, проанализировавшим при создании судна работу его пропульсивного комплекса (то есть, взаимодействие корпуса, двигателя и движителя). Этот путь в судостроении позже стал общепринятым.

Впервые построить паровое судно Фултон пытался во время своего пребывания в Англии в 1796 г., однако поддержки здесь он не нашел. Изобретатель переехал во Францию, где пытался соорудить подводную лодку, снабженную гребным винтом, приводимым в действие ручным приводом. Два ее образца оказались неудачными, и французское правительство свернуло финансирование дальнейших работ. После этого Фултон, материально поддерживаемый американским послом во Франции Р. Ливингстоном, приступил к созданию своего первого парохода, который был закончен в 1803 г. Во время испытаний, проведенных на реке Сене, он развил при движении против течения реки скорость хода около трех узлов. Изобретатель предложил свое судно императору Франции Наполеону Бонапарту, готовившемуся к вторжению в Англию, но получил отказ.

В 1806 г. Фултон уехал в Америку и приступил здесь к постройке нового парохода. Он получил двадцатилетнюю привилегию на право организации в штате Нью-Йорк пароходства, при условии, что за два года создаст судно, способное двигаться против течения р. Гудзон со скоростью не ниже 3,5 узлов. Судно, соответствующее этим требованиям, было построено в 1807 г.

Пароход водоизмещением 160 т, получивший название «Клермонт», имел машину, произведенную в Англии на заводе М. Болтона. Ее мощность составляла около 13 кВт. Диаметр парового цилиндра был равен 610, ход поршня — 1 220 мм. Энергетическая установка судна показана на рис. 1.8.

Испытания, проведенные на р. Гудзон, прошли успешно. Через несколько дней, в августе 1807 г., «Клермонт» совершил свой первый рейс от Нью-Йорка до Олбани. Плавание продолжалось 32 часа и проходило со средней скоростью около пяти узлов.

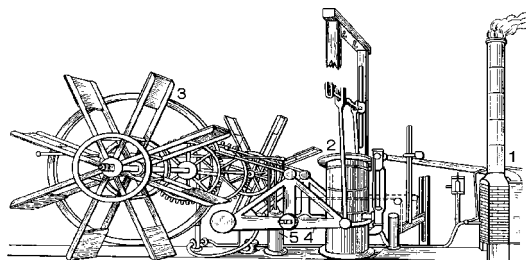


Рис. 1.8. Энергетическая установка парохода «Клермонт»:
1 — паровой котел; 2 — цилиндр паровой машины; 3 — гребное колесо; 4 —
балансир; 5 — насос

После успешных пробных рейсов «Клермонта», прослужившего до 1814 г., Фултон построил еще несколько пароходов. В 1808 г. он создал «Кэптэн», а в течение последующих двух лет вдвое большие, чем «Клермонт», суда — «Колесница Нептуна» и «Раритан». Его последним детищем стал первый в мире боевой паровой корабль — плавучая батарея «Демологос», строительство которой закончилось в 1815 г. На испытаниях, проходивших без скончавшегося к этому времени Фултона, корабль развил скорость выше 5 узлов [11, 36, 87].

В Европе паровые суда получили признание позже, чем в Америке. Первый речной пароход в Англии в 1812 г. построил Генри Белл. Его устройство повторяло конструкцию судна Саймингтона. Пароход, названный «Кометой», совершал рейсы между Грингоком и Глазго. Его деревянный корпус имел длину 12,2 и ширину 3,43 м, одноцилиндровая машина развивала мощность около 3 кВт. Двигатель установили на левом борту судна, паровой котел берегового типа — на правом. Максимальная скорость «Кометы» составляла 6,7 узла.

Пароходы получили широкое признание после 1815 г. С этого времени их число стало быстро расти. Так, в 1822 г. в Англии насчитывалось около 150 пароходов, а в США — 300. К 1827 г. количество паровых судов в обеих странах возросло до 300 и 900.

ЭУ первых пароходов были несовершенны. Они отличались крайне низкой экономичностью. КПД первых судовых паровых машин не превышал 3 %. Надежность механизмов также оставляла желать лучшего. Если поломка машины в большинстве случаев не приводила к серьезным последствиям, так как суда оснащались парусным вооружением, то авария котла могла сопровождаться гибелью людей и даже самого парохода. Так, за период 1816—1838 гг. погибло 260 американских речных пароходов, из них 99 — в результате взрыва котлов. Количество жертв

аварий при этом достигло 300 чел. В 1840 г. в британском коммерческом флоте, насчитывавшем около 900 пароходов с общей мощностью машин свыше 66 000 кВт, произошло 23 взрыва котлов, вызвавших гибель 77 моряков.

Конструкция пароходов быстро совершенствовалась. Законодательницей мод в европейском пароходостроении стала Англия, в то время наиболее развитая в промышленном отношении страна мира. В 1822 г. здесь был построен первый речной пароход с железным корпусом «Аарон Мэнби» длиной 36 м с мощностью машины 59 кВт. Скорость его хода достигала 9 узлов. Первый морской железный пароход «Рейнбоу» вошел в строй в 1837 г., через два года был построен металлический военный корабль «Немезис» водоизмещением 600 т [11].

Серьезным барьером, стоявшим на пути паровых судов, была Атлантика. Первым пароходом, пересекшим Атлантический океан, является американская «Саванна», которая в 1819 г. совершила переход по маршруту Нью-Йорк — Ливерпуль — Санкт-Петербург. Судно имело одноцилиндровую машину, работавшую на паре с давлением 0,12 МПа и развивавшую частоту вращения гребного вала 16 об/мин. Диаметр ее цилиндра был равен 1 035, ход поршня составлял 1 530 мм [2]. Она приводила в действие гребные колеса со складывающимися плитами, рис. 1.9. Продолжительность движения судна под паровой машиной в этом рейсе составляла всего 85 часов из 27,5 суток перехода. 22 мая, день выхода «Саванны» из Нью-Йорка, в США отмечается как праздник мореплавания.

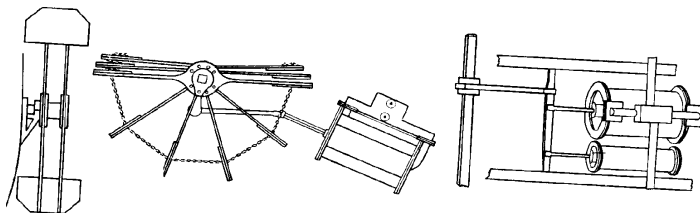


Рис. 1.9. Гребные колеса и машина парохода «Саванна»

Переход через Атлантику в Европу с периодическим использованием паровой машины в 1827 г. совершил пароход «Кюрасао» водоизмещением 438 т с машиной мощностью 74 кВт. Впервые при непрерывной работе машин Атлантический океан, двигаясь из Европы в Америку, в 1838 г. пересекли английские пароходы «Сириус» и «Грейт Вестерн». Рейс «Сириуса», имевшего длину 63,4 м и мощность машины 236 кВт, длился немногим более 18 суток.

Об экономичности пароэнергетических установок первых трансатлантиков можно судить по тому факту, что упомянутый выше «Сириус» за время своего рейса израсходовал 440 т угля при полной грузоподъемности судна 703 т [87].

1.3. НАЧАЛО ПАРОВОГО СУДОХОДСТВА В РОССИИ

В ноябре 1813 г. Р. Фултон обратился к русскому правительству с просьбой предоставить ему сроком на двадцать лет монопольное право «на устройство пароводного сообщения». Он намеревался через три года после его получения открыть линию между Петербургом и Кронштадтом. Несмотря на то, что 10 декабря 1815 г. император Александр I подписал указ о выдаче Фултону привилегии сроком на пятнадцать лет, появление и развитие паровых судов в нашей стране шло самообытным путем. Этому способствовала смерть Фултона, последовавшая в этом же году.

Первым российским судном с пароэнергетической установкой стал построенный в 1811 г. на Ижорском заводе несамоходный паровой дноуглубительный снаряд, рис. 1.10. Машина этого первого судна технического флота, приводившая в действие землечерпалку, развивала мощность 11 кВт.

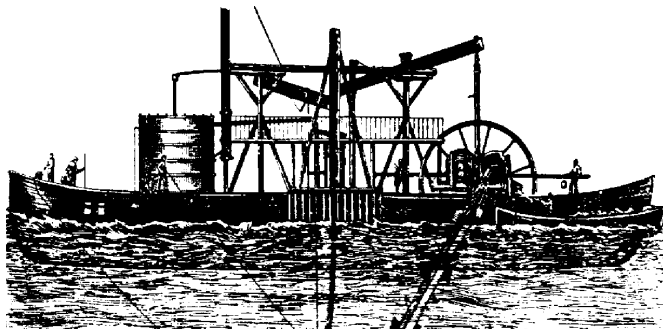


Рис. 1.10. Паровая землечерпалка Ижорского завода

Работы по использованию паровой машины в качестве главного судового двигателя в России начались одновременно, но самостоятельно, в Санкт-Петербурге и на Урале. Первый русский пароход был создан в 1815 г. на петербургском заводе Карла Берда. Его постройка заключалась в том, что на деревянное судно небольших размеров установили балансирную машину, котел и бортовые гребные колеса.

Пароход имел длину 19,7, ширину 4,9 и высоту бортов 2,6 м. Стоявшая на нем машина Уатта мощностью 3 кВт, вращавшаяся с частотой 40 об/мин, приводила в действие гребные колеса диаметром 2,44 м. Каждое колесо имело шесть лопастей длиной 1,22 м, закрепленные на спицах. Железная труба диаметром около 0,3 и высотой 7,5 м при попутном ветре использовалась для подъема паруса.

Вот какое описание ЭУ судна приводилось в 1815 г. в еженедельнике «Дух журналов» в статье «Паровой бот на Неве». «Вода в котел поступает через небольшую трубу с помощью насоса с приводом от той же машины. От котла проведена труба, обвитая веревками, через которую скопившийся пар проходит в машину, где за счет силы своей упругости движет большой шток, а он, безостановочно поднимаясь и опускаясь, точно как в насосе, поворачивает большой железный рычаг, посредством которого вращаются два чугунных колеса — по одному с каждого борта. Колесо имеет диаметр 8 футов, ширину 14 дюймов и оно погружается в воду на 9 дюймов. Эти колеса обращаются сорок раз в минуту и передвигают бот за час на 9 и 1/2 версты в стоячей воде... Действие машины этого парового бота равно силе шестнадцати лошадей, тянущих одновременно...» [62].

В конце статьи делался вывод о том, что «ни для какого государства Европы использование паровых ботов не представляет такой выгоды, как для России, ибо наше внутреннее судоходство превосходит судоходство всех других государств Европы вместе взятых...».

Осенью 1815 г. судно прошло испытания на Неве, а 3 ноября 1815 г. оно совершило переход из Петербурга в Кронштадт. Исторический рейс, положивший начало паровому судоходству в России, длился 5 часов 20 минут и проходил со средней скоростью пять узлов.

Русское слово «пароход», заменившее английское название «стим-бот», впервые появилось в газете, описывавшей этот рейс. Ее написал известный морской офицер П. И. Рикорд, который позднее, в 1817—1822 гг., занимал должность начальника Камчатской области [2].

Опыт, полученный в процессе создания и испытаний первого парохода, Карл Берд использовал при постройке следующего судна. Его спустили на воду в 1816 г. Пароход имел длину 18,3 и осадку 0,6 м, его машина развивала мощность 11,8 кВт.

9 июля 1817 г. Берд получил от русского правительства привилегию, дававшую ему на десятилетний срок право строительства пароходов. Ее действие охватывало Финский залив, Черное, Азовское, Каспийское моря и все реки России [65].

Первый русский речной пароход появился в 1816 г. на р. Каме. Судно было построено на частном Пожвинском чугунолитейном и железоделательном заводе. В следующем году это предприятие построило еще два парохода. На одном из них были установлены две одноцилиндровые машины, работавшие на один вал, рис. 1.11.

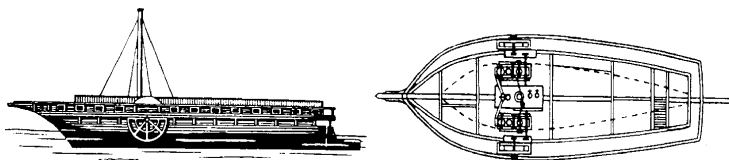


Рис. 1.11. Речной пароход постройки 1816 г.

Вал через зубчатую передачу вращал два бортовых гребных колеса. Общая мощность машин составляла 26,5 кВт. Сочетание двух агрегатов облегчало их пуск в ход при любом положении кривошипов и позволило освободиться от использования громоздкого и тяжелого маховика. Такое конструктивное решение стало важным достижением на пути создания специальной судовой паровой машины. В 1835 г. петербургская «Коммерческая газета» писала по этому поводу: «Самое значительное улучшение и устройство — употребление двух паровых машин на судно — было сделано прежде всего в России в 1816 г.» [65]. Проект судна разработал инженер П. Г. Соболевский.

В 1819 г. Пожвинский завод начал работы над двумя пароэнергетическими установками, предназначенными для очередного парохода. Судно было построено в 1821 г. и эксплуатировалось на р. Каме и на р. Волге. Пароход стал прообразом пассажирского лайнера: на нем впервые были оборудованы утепленные в корпус носовая и кормовая рубки, не имевшие отопления и санитарных систем.

В 1817—1824 гг. строительством пароходов на Волге и Каме занимались мастера П. К. и И. Г. Казанцевы, Д. Вешняков, Истомин и Шестаков. Все созданные ими суда имели паровые машины и котлы отечественного производства. Всего за первые пять лет с начала пароходостроения в России (1815—1819 гг.) появилось 18 подобных судов.

Первым военным пароходом отечественной постройки считается «Скорый», спущенный на воду Ижорской верфью и сданный Балтийскому флоту в 1818 г. ЭУ этого посыльного судна, рис. 1.12, состояла из двухтопочного медного котла 1, имевшего 89 колосников, дымовой

трубы, выполненной в виде мачты, двух паровых машин 2, чугунного конденсатора смешительного типа и мокровоздушного насоса. Паровые машины вращали гребные колеса 3 диаметром 3,15 м.

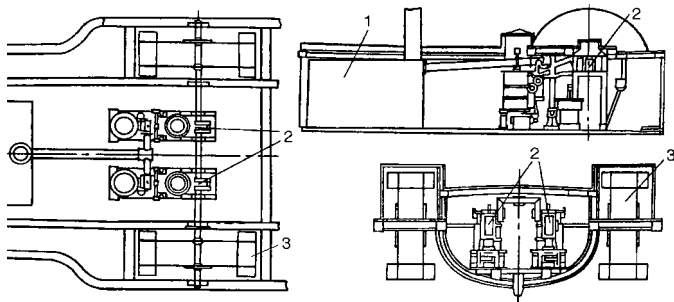


Рис. 1.12. Энергетическая установка парохода «Скорый»

Эксплуатировали и ремонтировали ЭУ двое заводских мастеровых. В течение 1819—1823 гг. ее преследовали частые поломки. В 1823 г. котлы, отапливавшиеся дровами, переоборудовали для сжигания каменного угля. Для этого в них заменили топочные колосники. После списания парохода его механизмы использовали для второго судна с таким же названием, построенного в 1839 г. и плававшего до 1858 г. Таким образом, ЭУ «Скорого» продемонстрировала завидное долголетие, прослужив, в общей сложности, около сорока лет [22].

Через десять лет после постройки «Скорого» в состав Балтийского флота вошел пароход «Ижора», вооруженный восемью карронадами, предназначенными для производства салютов.

На Черноморском флоте первым вооруженным пароходом стал «Метеор», построенный на Николаевской верфи по проекту корабельного мастера И. С. Разумовского.

Впервые пассажирский рейс парового судна на Черном море состоялся 4 июля 1827 г. Он проходил по маршруту Одесса — Херсон. Плавание совершил пароход «Надежда» водоизмещением 111 т, длиной 19,8 и шириной 4,9 м, оборудованный двумя каютами с четырьмя и восемь спальными местами. Стоимость проезда в каюте составляла 15, на палубе — 3 руб.

Первый беломорский пароход «Легкий» проходил испытания в Архангельске с августа 1825 г. по май 1826 г. Он предназначался для буксировки крупных кораблей. Его скорость достигала восьми узлов. Вторым пароходом на Белом море стал «Спешный», построенный корабельным мастером В. А. Ершовым.

В 1830 г. русское Морское ведомство решило приобрести большой военный колесный пароход с водоизмещением 823 т. Судно, названное «Геркулес», было вооружено 28 пушками. Две его главные машины мощностью по 74 кВт каждая изготовил Ижорский завод. Корпус парохода строился на Охтинской верфи. 21 сентября 1832 г., после достройки и оснащения, «Геркулес» вышел из Кронштадта на ходовые испытания в Финский залив. Его скорость во время пробного рейса превышала восемь узлов, мореходные качества оказались высокими. Вслед за «Геркулесом» был построен пароходофрегат «Богатырь» водоизмещением 1 342 т. Он прошел испытания летом 1838 г.

Первым в российском военно-морском флоте кораблем с двигателем в виде гребного винта стал фрегат «Архимед», построенный под руководством И. А. Амосова на Охтинской верфи в 1848 г. Машины этого корабля, изготовленные в Англии, развивали суммарную мощность 221 кВт. Пар для них вырабатывали четыре котла. Фрегат имел складную телескопическую дымовую трубу, убиравшуюся при ходе под парусами. Двигал корабль подъемный двухлопастный винт диаметром 4,6 м, вращавшийся с частотой до 47 об/мин. Время подъема винта составляло около одного часа. Вскоре после постройки «Архимед» разбился на камнях возле о. Борнхольм. Взамен него на Охтинской верфи заложили два новых фрегата аналогичной конструкции.

К началу 50-х гг. XIX в. в России насчитывалось 75 пароходов с суммарной мощностью ЭУ 3 600 кВт [82]. Их количество значительно уступало численности паровых флотов Англии, Франции и США. Правящие круги России осознали тот факт, что эпоха парусного флота подходит к концу, со значительным опозданием. Это явилось причиной неподготовленности русского военно-морского флота к разразившейся Крымской войне. Только в апреле 1853 г. состоялось высочайшее повеление «О том, что ввиду применения винтовых кораблей во флотах Англии и Франции, других, как с винтовым двигателем, в России не закладывать». Однако намечаемые к постройке паровые корабли к началу войны в строй введены не были. Их активное строительство началось уже в ходе войны в 1855 г. Под руководством корабельных инженеров А. Иващенко и Л. Шведе в течение 1855—1856 гг. на Охтинской верфи были созданы шесть винтовых корветов водоизмещением по 855 т. Мощность их машин составляла около 150 кВт. На испытаниях корветы развили скорость полного хода 13 узлов. Кроме них, на Балтике появилось значительное количество мелких боевых кораблей — паровых канонерских лодок.

Количественный рост парового флота потребовал развития отечественной горнорудной и обрабатывающей промышленности, железнодорожного транспорта. К существующим машиностроительным заводам стали быстро прибавляться новые: братьев Бромлей, Вихельта, Бухтеева в Москве, Металлический и Невский в Петербурге, Пермский в Мотовилихе и другие. Развитие отечественной промышленности стимулировалось принятыми в 1861 г. «Правилами для поощрения машиностроительного дела в России». Заводы стали получать крупные казенные заказы на производство оборудования, металла, постройку судов и кораблей. Параллельно развивалась сеть частных машино- и судостроительных предприятий. Так к началу 60-х гг. XIX в. были созданы предпосылки для быстрого роста отечественного пароходостроения.

1.4. РАЗВИТИЕ ПАРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК В XIX В.

Пароходы, пригодные к длительной эксплуатации, появились и достигли расцвета в течение одного столетия (1815—1915 гг.). Развитие паровых судов на протяжении этого периода происходило в направлении развития всех их элементов: корпуса, двигателей, паровых машин и котлов. В ходе технического прогресса совершенствовалась форма корпуса, снижалась его масса при одновременном увеличении прочности; возрастал КПД двигателей за счет применения гребных колес с поворотными плицами и последующим переходом к использованию гребных винтов; повышались параметры пара и улучшалась конструкция паровых машин.

Двигатели, являющиеся важной составной частью ЭУ, в течение XIX в. претерпели серьезные изменения. Наиболее часто на первых пароходах использовались *гребные колеса* с закрепленными на ступице спицами и двумя ободьями на концах, между которыми располагались неподвижные плицы. Позже для уменьшения ударов колес о поверхность воды предложили использовать подвижные плицы, положение которых выбиралось в зависимости от осадки судна.

Первым их применил в 1813 г. англичанин Бьюкенен. Наличие подвижных плиц облегчало работу колес, повышало их упор и скорость хода судна, однако изменение их положения было сопряжено с потерей времени и значительными трудовыми затратами. В российском флоте с 1853 г. нашли применение гребные колеса конструкции капитана 1-го

ранга Н. И. Белова. Они обеспечивали оптимальный угол атаки плит по отношению к воде (90°) при любом положении колес.

Колеса круглой формы, в 1829 г. усовершенствованные Галловеем, приняли форму правильного десятиугольника. Эта конструкция впоследствии получила название «колес Моргана», по имени владельца американской фирмы, организовавшей их производство. Реже на судах устанавливались колеса со складывающимися плитами.

Эволюция паровых ЭУ в течение XIX в. представлена в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Годы	Преобладающие типы машин, котлов и движителей	Давление пара, МПа	Расход угля, кг/(кВт·ч)
До 1830	Балансирные машины простого расширения, «сундучные» котлы, гребные колеса	0,12—0,15	2,0
1850-е	Машины простого расширения с КШМ, галерейные и коробчатые котлы, гребные колеса и винты	0,2—0,3	1,28
1860-е	Машины простого расширения и системы компаунд, огнетрубные котлы, гребные колеса и винты	0,3—0,4	1,15
1870-е	Машины двукратного расширения и системы компаунд, огнетрубные котлы, гребные винты	0,4—0,7	0,98
1880-е	Машины двукратного расширения системы компаунд, перегретый пар, огне- и водотрубные котлы, гребные винты	0,8—1,0	0,85
1890-е	Машины трех- и четырехкратного расширения, перегретый пар, огне- и водотрубные котлы, винты	1,2—1,5	0,82

Первоначально в конструкции гребных колес применялись плоские стальные плиты. К концу XIX в. стали преимущественно использовать вогнутые плиты, улучшавшие работу колес, повысившие их упор. КПД гребных колес за период с момента их появления и до конца XIX в. увеличился с 30—35 до 70—75 %.

Основными недостатками гребных колес являлись возможность поломки плит и громоздкость, затрудняющая размещение на судне. К ним добавлялись возможность повреждения колес боевых кораблей артиллерийским огнем противника и сложность расположения собственной артиллерии в средней части корпуса по бортам. Кроме этого, волнение моря вызывало резкое изменение нагрузки и частоты вра-

щения машин, вращавших колеса, а эффективность действия последних зависела от осадки судна.

Гребные колеса перестали устанавливать на кораблях военно-морских флотов с 60-х гг. XIX в. На морских транспортных и пассажирских судах они использовались до начала 90-х гг. XIX в., а на некоторых речных судах колеса сохранялись вплоть до конца 60-х гг. XX в.

Гребные винты как двигатели судов стали использоваться позднее колес, хотя одно из первых упоминаний о них относится к III в. до н. э. Автором этого изобретения являлся великий инженер античности — Архимед. Предложенную им конструкцию в виде шнека установили на лодке правителя Сиракуз.

В 1776 г. спиральный винт применили на подводной лодке «Черепаха», принимавшей участие в войне за независимость США. Это устройство, разработанное Дэвидом Бушнеллом, вращалось вручную [74].

В 1793 г. использовать гребной винт на судне предложил французский математик Поклон. Работы над созданием эффективного винта вели многие исследователи: Литтлтон в 1794 г., Чартер в 1800 г., Даллеруа в 1803 г., Стивенс в 1802—1804 гг., Рессель в 1812—1827 гг., Миллингтон в 1816 г., Делиста в 1823 г., Перкинс в 1825 г., Черч в 1829 г., Смит и Эриксон в 1836—1838 гг. Первую научную теорию гребного винта разработал в 1827 г. Традголд [21]. Некоторые ранние конструкции гребных винтов изображены на рис. 1.13.

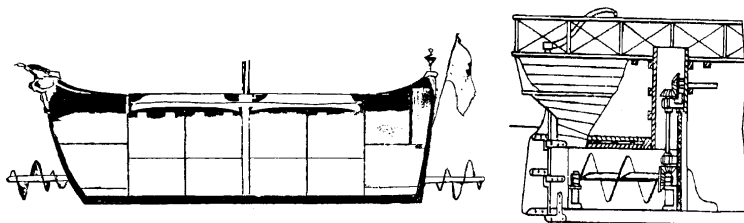


Рис. 1.13. Винты, установленные на судах Даллеруа и Смита

Одним из первых двухлопастный железный гребной винт на паровом судне в 1802 г. использовал Дж. Стивенс, установивший его на небольшой лодке. В 1804 г. он же успешно применил четырехлопастную конструкцию, внешне похожую на современные. В 1827 г. патент на спиральный винт из бронзы получил чешский изобретатель Иосиф Рессель. В 1829 г. он установил его на пароходе «Циветта».

В 1836 г. начали работать над своими конструкциями винтов англичанин Джон Смит и швед Ион Эриксон. Смит стал первым изобретателем,

винты которого получили широкое признание. В 1836 г. он запатентовал спиральную конструкцию с двумя витками, которую затем установили на катере «Фрэнсис Смит», рис. 1.13. Это устройство было изготовлено из дерева и приводилось во вращение через коническую зубчатую передачу от машины мощностью 45 кВт. На испытаниях, проведенных в 1837 г., катер достиг скорости в семь узлов.

Полученные удачные результаты подтолкнули британское Адмиралтейство к постройке более крупного судна, оборудованного винтом Смита. Им стал пароход «Архимед» с водоизмещением 237 т, который считается первым винтовым морским пароходом, рис. 1.14.

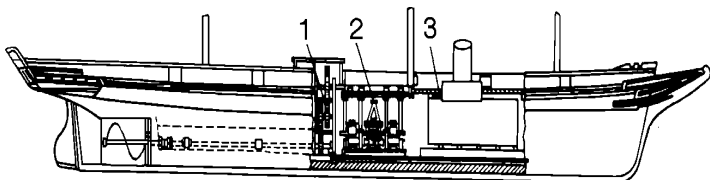


Рис. 1.14. Энергетическая установка «Архимеда»

Две тихоходные паровые машины 2 общей мощностью 66 кВт, снабжавшиеся насыщенным паром от котла 3, вращали через повышающую зубчатую передачу 1 винт в виде спирали диаметром 2,1 м. Во время испытаний «Архимед» развил скорость хода 10 узлов [87].

Одновременно со Смитом над созданием гребного винта работал Эриксон, который к 1838 г. разработал колесообразную конструкцию, показанную на рис. 1.15. Винт Эриксона установили на американском боевом корабле — пароходофрегате «Принстон».

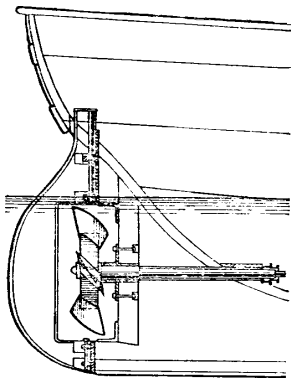


Рис. 1.15. Винт Эриксона

С целью выяснения преимущества гребного винта перед колесами был предпринят ряд испытаний судов, оборудованных различными типами движителей. В связи с этим в исторической и технической литературе обычно упоминают о нескольких классических испытаниях на «перетягивание» связанных кормами судов. Так, в октябре 1843 г. винтовой «Принстон» водоизмещением 950 т и скоростью хода 14 узлов, оборудованный быстроходной паровой машиной мощностью 294 кВт, победил в соревновании с английским колес-

ным пароходом «Грейт Вестерн», имевшим машину мощностью 552 кВт. На «Принстоне», в отличие от «Архимеда», была применена прямая передача мощности от машины к гребному винту Эриксона [11, 86].

В 1843 г. кормы двух английских судов — винтового «Раттлер» и колесного «Алекто» — были соединены тросом. «Раттлер» перетянул «Алекто» и стал буксировать его за собой со скоростью 2,5 узла. Оба судна имели водоизмещение 894 т и машины мощностью по 148 кВт. Кроме этого, были проведены испытания обоих судов в различных условиях плавания. Оказалось, что скорость хода винтового судна, в среднем, на 5—7 % выше, чем колесного [86].

В 1849 г. испытывались два английских парохода примерно одинакового водоизмещения — «Нигер» и «Базилиск» — с мощностью машин по 294 кВт. «Нигер» имел гребной винт, «Базилиск» — гребные колеса. При работе машин на полную мощность, пароходы, счаленные кормами, тянули друг друга в противоположных направлениях. Более высокое тяговое усилие показал «Нигер», который в течение часа буксировал за собой «Базилиск» со скоростью 1,47 узла. Так было доказано преимущество гребного винта перед колесом.

В России первые натурные испытания гребных винтов были выполнены в 1855 г. на канонерской лодке «Пострел». Они проводились для определения оптимального их типа, которым признали четырехлопастный винт Смита, позволивший кораблю развить скорость 9,5 узлов.

Спиральные и колесообразные гребные винты, оказавшиеся недостаточно эффективными, в 50—60-е гг. XIX в. начали заменять лопастными. Они состояли из ступицы и закрепленных на ней нескольких лопастей в виде крыльев специальной формы, образованных пересечением винтовых поверхностей. Двигатели этого типа применяются и в настоящее время.

В период 40—50-х гг. XIX в. широко использовались гребные винты, конструкция которых позволяла убирать их в специальный кормовой колодец при ходе судна под парусами. Этим достигалось снижение сопротивления его движению. Несколько позже, в 50—60-х гг. XIX в., стали применять устройства с поворотными лопастями, ставшие прообразом современных винтов регулируемого шага (ВРШ). При движении судна под парусами лопасти винта разворачивались вдоль оси гребного вала, при этом они оказывали минимальное сопротивление движению. Изменение положения лопастей (шага винта), кроме того, позволяло регулировать нагрузку главной машины.

Первую конструкцию такого типа предложил в 1843 г. англичанин Модслей. Использование винтов с поворотными лопастями позволило отказаться от оборудования на судах кормовых колодцев.

В развитии конструкций судовых *паровых машин* в течение XIX в. выделяются несколько основных этапов:

— создание безбалансирной машины, то есть переход к использованию для преобразования возвратно-поступательного движения поршней во вращательное вала отбора мощности КШМ;

— повышение параметров пара: вначале увеличение давления насыщенного, а в последующем — использование перегретого;

— применение последовательного двух-, трех- и четырехкратного расширения пара в цилиндрах, имеющих различные диаметры.

Отказ от использования громоздкого балансира уменьшил габариты и массу машины, сделал ее более удобной для размещения на судне, позволил увеличить частоту вращения гребного вала и улучшить маневренные качества.

Применение нескольких цилиндров в машинах простого расширения повысило плавность их работы и улучшило пусковые качества, позволило снизить размеры или совсем отказаться от установки громоздкого и тяжелого маховика.

Создание двухцилиндровой паровой машины двукратного расширения резко повысило экономичность пароэнергетических установок. Уже их первые образцы расходовали топлива на 25 % меньше, чем машины однократного расширения. Увеличение давления пара до 0,7 МПа снизило удельный расход топлива на 33 %. Машины двукратного расширения получили в России широкое распространение. К середине XIX в. было создано множество их различных конструкций.

В 60-х гг. XIX в. появились первые сдвоенные машины двукратного расширения (типа тандем). В них усилия от поршней цилиндров высокого и низкого давлений, расположенных на одной оси, передавались на общий шатун. Их преимущества подтолкнули владельцев ранее построенных пароходов, имевших машины однократного расширения, к переоборудованию их ЭУ. Его производили заменой одного из цилиндров машины однократного расширения на цилиндр большего или меньшего диаметра. Подобная модернизация стоила относительно недорого, но обеспечивала значительную экономию топлива и улучшение ходовых качеств судна [65].

Следующим этапом на пути совершенствования паровых машин стало создание машины трехкратного расширения. Накопленный опыт

эксплуатации и расчеты свидетельствовали о том, что расширение пара повышенного давления, распределенное на три ступени, позволит повысить глубину использования его энергии. Экономичность этих агрегатов на 10—15 % была выше, чем машин двукратного расширения.

С целью дальнейшего повышения экономичности парознергетических установок, в 1880—1890-х гг. были предприняты попытки использования машин четырехкратного расширения. Первую установку такого типа создал В. И. Калашников, установивший ее в 1884 г. на речной пароход «Феликс Фор». В следующем году он применил подобную машину на пароходе «Воля». Испытания этих судов показали, что ожидаемого увеличения экономичности по сравнению с машинами трехкратного расширения достигнуть не удалось, а конструкция ЭУ сильно усложнилась. В последующие годы установки четырехкратного расширения строились в ограниченном количестве [65].

В течение XIX в. судовые паровые машины прошли путь от одноцилиндровых двигателей низкого давления с однократным расширением пара и эффективным КПД, не превышавшим 2—3 %, до многоцилиндровых агрегатов трех- и четырехкратного расширения с КПД 14—15 %. Их мощность в течение века возросла многократно: от 2—5 кВт в его начале до 3 000—5 000 кВт и более к концу. Удельная мощность парознергетических установок (то есть мощность, приходящаяся на 1 т водоизмещения судна) выросла с 0,081 кВт/т у фултоновского «Клермонта» до 0,5—1,2 кВт/т у быстроходных транспортных и пассажирских судов постройки 1880—1890-х гг.

Самая мощная паровая машина первой половины XIX в. была установлена на английском пассажирском пароходе «Грейт Бритн», построенном в 1843 г. инженером И. К. Брунелем. Она имела мощность 1 103 кВт и вращала шестилопастный гребной винт диаметром 4,8 м, обеспечивая судну с водоизмещением 3 675 т скорость хода до 12 узлов. Энергия от машины, делавшей 18 об/мин, к гребному винту, вращавшемуся с частотой 55 об/мин, передавалась зубчатой цепью. Машина имела цилиндры диаметром 2 235 мм, ход ее поршней составлял 1 829 мм. Она обеспечивалась насыщенным паром с давлением 0,135 МПа от котлов галерейного типа. ЭУ парохода «Грейт Бритн» показана на рис. 1.16 [52].

В 1859 г. Брунель создал еще одно уникальное судно — пароход «Грейт Вестерн» с огромным для того времени водоизмещением, равным 33 000 т. Его оборудовали гребными бортовыми колесами

диаметром 17 м и винтами. Машинная установка невиданной ранее мощности (6 100 кВт) обеспечивала гигантскому пароходу скорость полного хода 14 узлов.

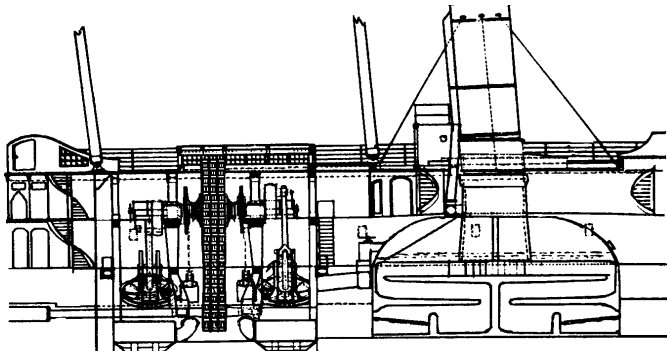


Рис. 1.16. ЭУ парохода «Грейт Бритн»

Конструкция судовых *паровых котлов* в течение XIX в. также претерпела кардинальные изменения. В период 1816—1830 гг. преимущественно строились котлы коробчатой формы с плоскими стенками, давление пара в которых не превышало 0,2 МПа. Позднее стали применяться полуцилиндрические котлы с обратным ходом газов и одной или несколькими топками в виде жаровых труб. Эти конструкции в 1870 г. вытеснили агрегаты с цилиндрической формой корпуса, применение которых позволило повысить рабочее давление пара вначале до 0,5—0,6 МПа, а затем довести его до 1,4—1,5 МПа.

В 70-х гг. XIX в. на транспортных судах появились более легкие и экономичные водотрубные котлы. Спустя десятилетие на них начали применять перегретый пар. На боевых кораблях он стал использоваться гораздо позже — только в XX в.

Рабочее давление пара в котлах в течение XIX в. возросло с 0,11 до 2—2,5 МПа, а их КПД увеличился за это время с 30 до 80—85 %, то есть в два с половиной раза.

К концу XIX в. — «века пара» — в основном сложилась типовая схема ЭУ морских транспортных судов. Суда этого периода характеризовались расположением машинных и котельных отделений в средней части корпуса; прямой передачей мощности на трех- или четырехлопастный гребной винт; применением в качестве главного двигателя одной поршневой машины (двойного или тройного расширения) с частотой вращения коленчатого вала 60—90 об/мин.