

## СУДОВЫЕ ДВИЖИТЕЛИ

Чтобы судно могло двигаться с постоянной скоростью, к нему нужно приложить движущую силу, равную силе сопротивления при этой скорости и противоположно направленную. В отдельных случаях эта сила создается буксированием, но чаще всего – специальными устройствами, которые называются судовыми движителями. В соответствии со сложившимися традициями термин «судовые движители», как и ряд других подобных, означает как указанные устройства, так и науку (раздел теории корабля), их изучающую. Судостроение на Земле существует уже несколько тысячелетий, но во времена парусных (и весельных) судов науки о ходкости судов не было. Скорость парусных судов зависела от скорости ветра, для гребных судов также не требовались какие-либо расчеты. Настоятельная необходимость выполнения расчетов ходкости возникла лишь тогда, когда на судах стали применяться механические двигатели (паровые машины).

По принципу действия движители разделяют на активные, к которым относят паруса, непосредственно преобразующие энергию ветра в поступательное движение судна, и реактивные — все остальные, так как создаваемое ими упорное давление получается в результате реакции масс воды, отбрасываемой в сторону, противоположную движению судна.

Видимо, первыми движителями, которые использовались на плотках и подобных им простейших плавсредствах, были шест и весло. Суда древности были преимущественно весельными, причем у крупнейших из них весла располагались в три ряда, их общее число достигало 300, длина – 15 м, на одном весле работало до 7 чел. Скорость таких судов была около 5 уз. Пика своего расцвета весельные суда достигли много веков назад. В настоящее время весла используются в качестве основного движителя лишь на спортивных судах, рабочих и спасательных шлюпках и других мелких судах.

Другим древним движителем был парус, иногда в комбинации с веслами. Парусные суда оказались более совершенными, они использовали энергию внешней среды – воздуха, не требуя размещения большого числа гребцов. Первые парусники могли двигаться по ветру, но по мере совершенствования парусного вооружения люди научились, двигаясь галсами, перемещаться в требуемом направлении, независимо от направления ветра. Наивысшего расцвета парусные суда достигли примерно в конце XIX в., их скорость при благоприятном ветре достигала 20 уз. Но появление и развитие механических установок на судах привело к постепенному переходу от парусных судов к пароходам. Парус сохранился на спортивных, учебных судах в качестве основного, на промысловых, некоторых исследовательских и т.п. судах – в качестве вспомогательного

двигателя. В последние десятилетия в мировом судостроении наблюдается рост интереса к парусам как основному или, чаще, дополнительному типу двигателей. Этот интерес обусловлен двумя главными причинами: возможностью экономии топлива при высоких ценах на него и экологической чистотой. Применение парусного вооружения позволяет значительно уменьшить мощность главного двигателя (дизеля) без существенной потери скорости. Достижения современной науки позволяют механизировать установку и уборку парусов, управление ими с целью получения наивысшей скорости хода в требуемом направлении, снизить массу при достаточной прочности и долговечности. В различных судостроительных странах, а также в России и Украине, выполнены разработки парусного вооружения судов, в том числе большого водоизмещения, однако о широком использовании парусов на транспортном флоте говорить преждевременно.

В глубокой древности, еще до нашей эры, было изобретено гребное колесо, которое приводилось во вращение животными (быками). Но колесные суда были вытеснены парусными. На новом уровне гребные колеса возродились в самом начале XIX в. (на судне «Клермонт» в 1802 г.; в России первым парусным судном считается построенная в 1815 г. «Елизавета»). Первые гребные колеса имели обод и неподвижные лопасти – плицы; КПД колес был сравнительно мал, глубина погружения – в несколько раз меньше диаметра. В 1829 г. было предложено колесо с поворотными плицами, что позволило повысить КПД и уменьшить диаметр колес; повышение оборотов двигателей (паровых машин) ведет к уменьшению их размеров.

**Гребное колесо** — вид двигателя, используемый с древних времен для приведения в движение судов.

Представляет собой большое колесо, снабженное лопастями (плицами), которые погружаются в воду.

Гребное колесо по конструкции аналогично водяному колесу, с той лишь разницей, что не вода приводит колесо в движение, а колесо используется для движения.

Существовало две основные разновидности гребных колёс:

- кормовые, расположенные за кормой судна;
- бортовые, попарно размещавшиеся с бортов корабля.

Роберт Фултон на плавбатарее «Demologos» применил оригинальное решение — спрятал колесо диаметром 5 метров между двумя полукорпусами, защищая его тем самым от артиллерийского огня. Хотя первый в мире паровой боевой корабль развивал среднюю скорость 5 узлов, а максимальную 7, он был закончен уже после окончания войны за независимость США и после смерти своего создателя.

Позднее, уже в годы Гражданской войны, федеральным правительством строились концептуально очень похожие речные броненосцы.

Гребные колёса, приводимые в движение с помощью паровых машин, были преобладающими двигательными установками в военном флоте в XIX веке. К концу века, гребные колеса были вытеснены более эффективными гребными винтами.



*Рис. 1. Пароход «Н. В. Гоголь» — старейшее (1911 г.)  
российское пассажирское судно, находящееся в эксплуатации (2014 г.)  
Двигатель — два бортовых колеса.*

### **Недостатки**

- Основная проблема при использовании гребного колеса — при сильной бортовой качке правое и левое гребное колесо попеременно полностью выходит из воды, судно рыскает, делая нормальное движение невозможным. Также на волнении колеса подвергались большим ударным нагрузкам, выведшим их из строя;
- Низкий коэффициент полезного действия — около 30 %; КПД гребного винта — до 70 %;
- —  
топлива), чем у винта;
- осадки судна;
- Применение гребных колес требовало размещения машины выше ватерлинии, что также уменьшало доступные полезные объёмы, а на флоте — увеличивало уязвимость машины;
- Бортовые колёса требовали больших обносов, увеличивавших габариты судна, уменьшавших полезную площадь палубы;
- Кормовые колёса менее эффективны гидродинамически, увеличивая сопротивление корпуса, из под которого они как бы откачивали воду.

Вместе с тем, гребные колёса, что было удобно для буксиров, а также позволяло им иметь меньшую осадку. Именно поэтому в СССР строительство речных колёсных буксиров (но

уже теплоходов, с дизельными двигателями) продолжалось до 1991 года (буксиры-толкачи серии БТК).

Проголочные водные велосипеды-катамараны приводятся в движение гребным колесом с педальным приводом.

Лопasti гребного колеса называются , как правило, изготавливаются из деревянных досок, с тем расчётом, чтобы при поломке их можно было легко отремонтировать.



Трансмиссия парохода с бортовыми гребными колёсами была очень простой: паровая машина непосредственно вращала вал с насаженными на него колёсами, не было необходимости применять редуктор.

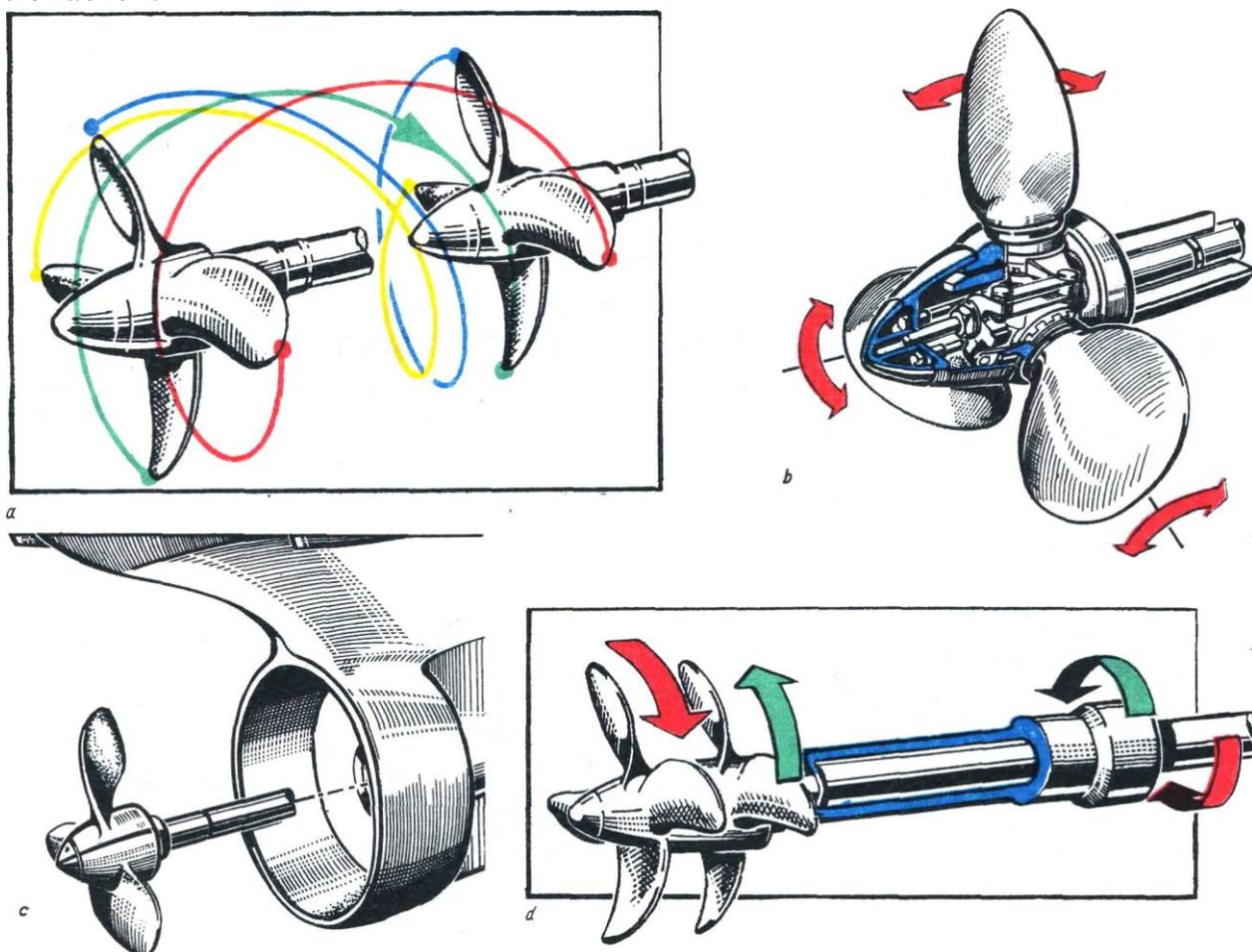
Наиболее распространенный, эффективный и сравнительно простой движитель – **гребной винт**.

Идея судового гребного винта в виде шнека, подобно применявшемуся в древности винту Архимеда (для перекачки жидкостей), впервые возникла у Леонардо да Винчи в XV в., но в ту пору она не нашла применения. В 1752 г. винт в виде двухзаходного червяка предложил Д. Бернулли, но КПД такого движителя оказался



невелик. Как указывают в литературе, случай помог усовершенствовать конструкцию винта: одно судно, оборудованное деревянным винтом, коснулось им грунта, значительная часть винта отломилась и всплыла, но, к удивлению экипажа судна, оно увеличило ход. С тех пор было предложено множество усовершенствований винтов. Менялись их размеры, формы контура и сечений лопастей и другие характеристики. Некоторые усовершенствования продолжают появляться до сих пор.

В зависимости от конструкции их подразделяют на два типа: цельные винты (ступица с лопастями изготавливается совместно) и винты со съемными лопастями, применяемые на судах, плавающих во льдах. Такие винты называются винтами фиксированного шага, а винты, имеющие механизмы, поворачивающие лопасти в ступице и изменяющие шаг винта, называются винтами регулируемого шага. Шагом винта называется путь в направлении оси, который проходит любая точка поверхности винта за один его оборот. Гребные винты фиксированного шага — ВФШ изготавливают цельными (одной деталью), литыми, сварными или штампованными, и они состоят из следующих основных элементов: ступицы, представляющей собой втулку, насаживаемую на конус шейки гребного вала, и лопастей (от 3 до 6), радиально расположенных на ступице. Нижняя часть лопасти, соединяющая ее со ступицей, называется корнем лопасти; верхняя часть — вершиной или концом; поверхность лопасти, обращенная в сторону корпуса судна, носит название засасывающей поверхности, обратная поверхность — нагнетающей, которая в большинстве случаев представляет собой правильную винтовую поверхность. Пересечение этих двух поверхностей образует кромки лопастей.



*Рис. 2. Гребные винты: а — гребной винт с неподвижными лопастями; б — винт регулируемого шага; с — гребной винт в насадке; д — соосные гребные винты.*

Диаметром гребного винта  $D$  называется диаметр окружности, описанной вершиной лопасти. Диаметр винта может достигать 9 м, а масса — 50 т. Гребные винты регулируемого шага имеют меньший диаметр.

Характерной величиной гребного винта является шаг (рис. 2,а). Его теоретическое значение, т. е. без учета скольжения, зависит от угла атаки лопасти гребного винта.

Для достижения хорошего взаимодействия между главным двигателем и гребным винтом необходимо, чтобы параметры и особенно шаг винта имели определенные значения. Оптимальное взаимодействие будет достигнуто лишь при определенном состоянии нагрузки судна и при определенных погодных условиях (ветер, волнение и т. д.). Если эти значения отклоняются от заданных, то взаимодействие двигателя и гребного винта не приносит результата, заложенного в проекте. На практике это означает, что взаимодействие двигателя и относящегося к нему гребного винта будет наиболее эффективным, например, при полной нагрузке судна и при хорошей погоде.

Применяют гребные винты правого и левого вращения, их различают по общим правилам: если винт завинчивается вращением по часовой стрелке, то он называется винтом правого вращения, а если против часовой стрелки — винтом левого вращения. При вращении винта его лопасти отбрасывают массы воды в одну из сторон. Реакция этой воды воспринимается нагнетающей поверхностью лопасти, создающей упор винта, который через ступицу и гребной вал передается на упорный подшипник, преобразуясь в силу, движущую судно.

На судах, работающих в изменяющихся условиях, таких как буксиры или рыболовные суда (свободный ход, ход с тралом), движитель должен быть приспособлен к соответствующим условиям работы. Вместе с тем стало бы возможным одновременное использование полной мощности приводного двигателя при различных состояниях его нагрузки.

Лопастей винта фиксированного шага отлиты вместе со ступицей или прочно привинчены к ней (см. рис. 2,а).

Изменять шаг можно на гребных винтах регулируемого шага — ВРШ (рис. 2,б). Гребной винт регулируемого шага (ВРШ) имеет конструкцию, обеспечивающую поворот лопастей в ступице во время работы винта на ходу судна из поста управления, расположенного в рубке. При повороте лопастей, осуществляемом механизмом по многообразным кинематическим схемам, изменяется шаг винта, отчего изменяется и величина создаваемого им упора, увеличивающего или уменьшающего скорость хода, и направление движения судна, при этом число оборотов, мощность главной машины и направление ее вращения остаются неизменными. Использование винтов регулируемого шага допускает применение на судах нереверсивных главных машин с упрощенной системой обслуживания, что сокращает износ их цилиндров примерно на 30—40% (возникающий у реверсивных машин от частого изменения режима работы и направления вращения), позволяет полнее использовать мощность машин и поддерживать высокое значение к. п. д.

винта. Суда с ВРШ обладают гораздо более высокими маневренными качествами, чем суда с ВФШ. Суда с ВРШ обладают гораздо более высокими маневренными качествами, чем суда с ВФШ.

Вначале ВРШ применяли только на буксирах, рыболовных и специальных судах, и только позднее их начали устанавливать на судах торгового флота. За счет установки ВРШ достигаются большая экономичность энергетических установок, возможность использования полной мощности двигателя при различной нагрузке, а также возможность применения нереверсивных ДВС или паровых турбин без турбин заднего хода. К преимуществам следует также отнести и возможность осуществления заднего хода при полной мощности двигателя.

Иногда на судах (особенно на судах речного флота) гребной винт устанавливают в насадке (см. рис. 2,с). Такая конструкция позволяет улучшить условия работы гребного винта и повысить КПД.

Преобладающее число судов имеет только один гребной винт, устанавливаемый в диаметральной плоскости судна. Встречаются также двухвинтовые суда, которые приводятся в движение либо от двух малооборотных, либо от четырех среднеоборотных дизелей, причем в последнем случае один гребной винт приводится в движение двумя двигателями. В редких случаях строятся трехвинтовые суда, например торпедные катера, на которых два бортовых движителя, приводятся в движение от высокооборотных дизелей через редукторную передачу, а средний гребной винт — от газовой турбины. Некоторые большие пассажирские суда и боевые корабли, например авианосцы, снабжаются четырьмя симметрично расположенными гребными винтами.

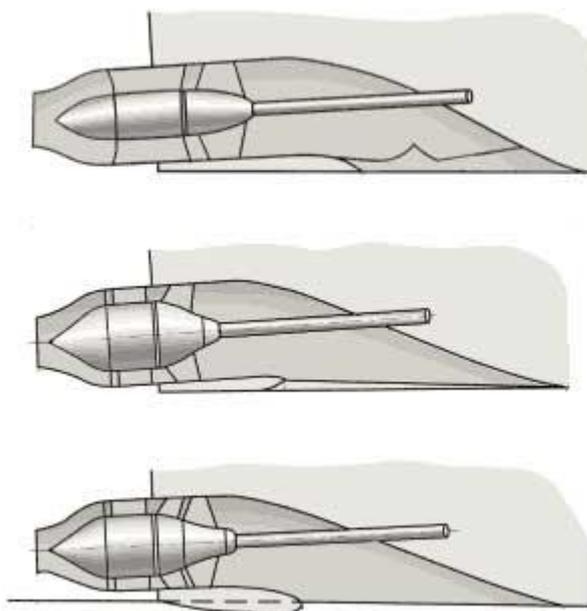
В условиях постоянно растущих мощностей главных двигателей требуются гребные винты очень больших диаметров, что приводит к технологическим и производственным трудностям. Чтобы противодействовать этому и улучшить КПД, пытаются устанавливать движители, вращающиеся в противоположных направлениях (см. рис. 2,d). В этом случае необходимы сложные устройства, такие как полые гребные валы и специальные редукторные передачи.

В середине XVII в. появились первые **водомерные движители**. Водомерный движитель представляет собой систему водопроточных каналов (в частном случае — один канал), расположенных внутри корпуса судна, по которым перемещается забортная вода с помощью специального насоса, чаще всего осевого (винт в трубе). С помощью заслонок поток воды направляется в те или иные каналы (в случае одного канала изменяется направление движения струи, выходящей из канала в корме), что позволяет изменять направление движения судна. К характерным особенностям водомерных движителей можно отнести хорошую защищенность рабочего органа (расположенного в канале внутри корпуса; входное отверстие канала снабжено решеткой, которая препятствует попаданию крупных предметов в канал) и прекрасные маневренные качества (возможность двигаться

передним и задним ходом, разворачиваться почти на месте благодаря соответствующей установке заслонок). Но эти движители отличаются большой массой (в которую входит система водопроточных каналов с водой внутри корпуса), занимают большой объем, затрудняя размещение полезного груза, обладают сравнительно невысоким КПД. Строго говоря, КПД водометного движителя – понятие достаточно условное, поскольку упор такого движителя создается на корпусе и не всегда удается точно разделить силы сопротивления и упора. Грубо ориентировочно, КПД обычного водометного движителя может составлять примерно 30 %. Долгое время водометные движители мало применялись на судах. Считалось, что область их применения ограничивается сравнительно тихоходными судами, плавающими на мелководном или засоренном фарватере (например, такие суда использовались на лесосплаве). Но примерно с середины XX в. их популярность стала возрастать. Этому способствовали два обстоятельства. Во-первых, вместо развитой системы водопроточных каналов было предложено устраивать один короткий канал в кормовой оконечности судна, обеспечивая управление судном с помощью заслонок, отклоняющих струю движителя в нужную сторону.

Во-вторых, было показано, что КПД водометного движителя на быстроходных судах может достигать 60 % и более, тогда как у обычных гребных винтов в этих условиях он может снижаться из-за кавитации. Сравнительно недавно был предложен своеобразный водометный движитель для подводных лодок, торпед и других плавучих объектов, имеющих кормовую оконечность в форме тела вращения. Этот движитель представляет собой ряд лопастей,

Проточная часть водометных движителей:

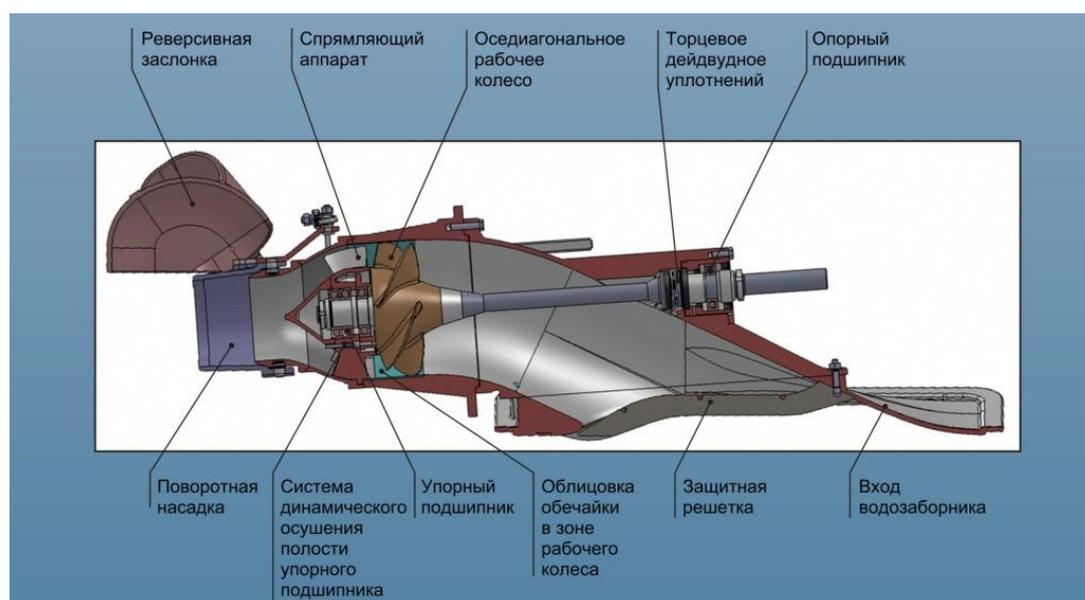


вращающихся вместе с кольцом, установленным заподлицо с наружной обшивкой. Снаружи установлено кольцо типа направляющей насадки; от гребного винта в насадке эта конструкция отличается тем, что винт в насадке располагается за пределами корпуса.

Современные водометные движители делают трех типов: с выбросом водяной струи в воду, в атмосферу и с полуподводным выбросом. Гребной винт работает как насос, засасывающий воду в канал через трубу, проходящую в днище корпуса впереди винта. Для защиты от попадания на винт посторонних предметов в начале канала укрепляется защитная решетка.

Для уменьшения потерь от закручивания гребным винтом водного потока и повышения к. п. д. движителя за винтом устанавливается контрпропеллер. Направление хода судна изменяется переключкой реверс-руля. Отсутствие всяких выступающих частей в подводной части судна обеспечивает ему большую проходимость на мелководье, в узкостях и на засоренных фарватерах. Для судна с таким движителем не являются препятствием даже плавающие предметы, через которые оно свободно переходит. Перечисленные преимущества водометного движителя сделали его применение особенно удобным на речных судах, в первую очередь на лесосплаве. В последние годы водометные движители стали применяться и на быстроходных судах, таких, как суда на подводных крыльях, развивающие скорость хода до 95 км/час. Использование современных паровых и газовых турбин позволяет успешно применить водометные движители на крупных морских судах, где по расчетам пропульсивный к. п. д. может достичь около 83%, что на 11% выше пропульсивного коэффициента гребного винта, запроектированного для того же судна.

К недостаткам судов с этим движителем следует отнести потери судном грузоподъемности на величину веса прокачиваемой воды и потери объема внутренних помещений, занимаемого каналом.



*Рис. 3. Схема водометного движителя*

Около 1930 г. были предложены **крыльчатые движители**. Эти движители состоят из барабана, установленного внутри корпуса заподлицо с днищем и имеющего вертикальную или почти вертикальную ось вращения с вертикально расположенными на нем 6—8 лопастями мечевидной, обтекаемой формы, поворачивающимися вокруг своих осей маятниковым рычагом, управляемым из рулевой рубки. При вращении барабана лопасти совершают колебательные движения, в результате чего создается упор, направление которого может быть произвольным, а величина — изменяться от нуля до максимального значения. Крыльчатый движитель одновременно

является прекрасным средством управления. Судно, оборудованное двумя крыльчатыми движителями, расположенными в оконечностях, может двигаться передним или задним ходом, лагом, разворачиваться на месте. Но такой движитель сравнительно сложный и громоздкий, требует наличия протяженного участка плоского днища в районе установки, неудобен подвод мощности к нему, при скоростях свыше 20 уз возникает кавитация. К. п. д. крыльчатого движителя почти равен к. п. д. гребного винта, но крыльчатый движитель значительно сложнее по конструкции. Выступающие лопасти часто ломаются. Однако в последнее время этот движитель находит все более широкое применение, обеспечивая судам хорошую маневренность, позволяющую им свободно работать в узкостях.

Крыльчатый движитель в основном используется на портовых буксирах и лоцманских судах, а также на судах портовой службы. Мощность подобных установок невелика: максимально она составляет 2200 кВт.

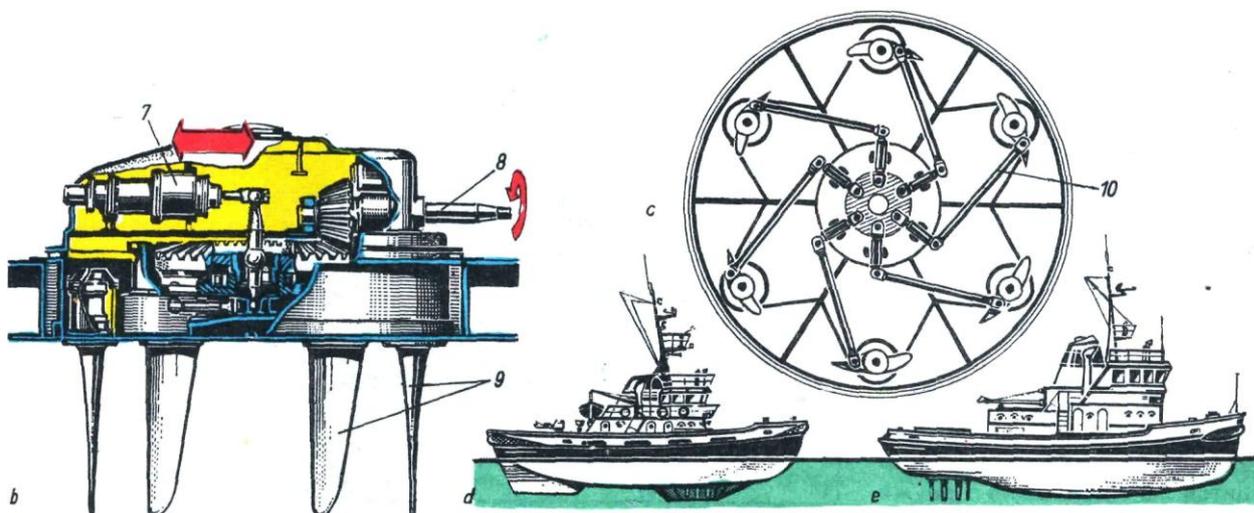


Рис. 4. Крыльчатый движитель: а — принцип действия; б — движитель Фойта-Шнейдера (вид сбоку); с — движитель Фойта Шнейдера (вид сверху); д — буксир с движителем Фойта-Шнейдера в носовой части судна; е — буксир с движителем Фойта-Шнейдера в кормовой части судна.

В начале XX в. появились башенные движители («**роторы Флеттнера**») в виде цилиндрических башен с вертикальной осью вращения, которые приводились во вращение маломощными двигателями, установленными под верхней палубой. Принцип работы ротора Флеттнера основан на эффекте Магнуса, который заключается в появлении подъемной силы на цилиндре, вращающемся в потоке жидкости или газа. Величину этой силы можно рассчитать по формуле Жуковского:  $P v = \rho \Gamma l, 8$  где  $\rho$  — плотность среды (воздуха);  $v$  — скорость набегающего потока (ветра);  $\Gamma$  — циркуляция скорости на контуре профиля (цилиндра), в данном случае равная произведению длины окружности ротора на линейную скорость его поверхности;  $l$  — длина (высота ротора). Упор ротора направлен перпендикулярно скорости ветра. Эти движители эффективнее парусов

(мощность двигателя в десятки раз меньше мощности, «извлекаемой из воздуха»), но не могут убираться, чем представляют опасность при сильном ветре.



*Рис. 5. На палубе E-Ship 1 установлены четыре 27-метровых ротора Флеттнера*