

ПОДСИСТЕМЫ СИСТЕМЫ «КОРАБЛЬ»

ПОДСИСТЕМА "МАНЕВРИРОВАНИЕ"

Основной задачей подсистемы «Маневрирование» является реализация такого мореходного качества корабля, как управляемость.

В соответствии управляемость судна обычно можно обеспечить самостоятельным действием:

руля, представляющего собой погруженное в воду крыло, размещенное в потоке за корпусом судна;

подруливающего устройства, расположенного в кормовой или в носовой, или в той и другой частях судна, которое представляет собой водомет, отбрасывающий струи в направлении, перпендикулярном к диаметральной плоскости судна, либо крыльчатые движители.

РУЛЕВОЕ УСТРОЙСТВО

Основными элементами рулевого устройства являются:

руль или насадка, непосредственно обеспечивающие управляемость судна;

петли, крепящие перо руля к корпусу судна;

баллер — вал, предназначенный для поворота руля (насадки);

замок, соединяющий перо руля (насадку) с баллером;

подшипники баллера, создающие опору баллера в корпусе судна;

румпель (или сектор) — рычаг, предназначенный для создания вращающего момента на баллере руля (может входить в состав рулевой машины);

основной рулевой привод, предназначенный для передачи усилия от рулевой машины к баллеру руля с целью его поворота (за исключением тех случаев, когда рулевая машина соединена непосредственно с баллером);

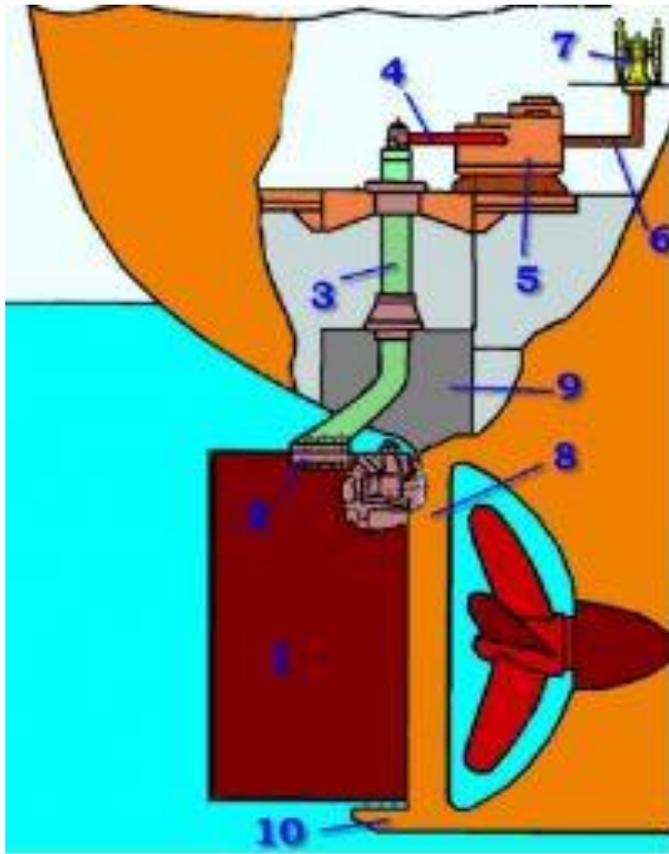
рулевая машина — механизм, состоящий из комплекса передач и двигателя, обеспечивающих создание усилия на баллере руля для его вращения;

привод управления рулевой машины, служащий для связи поста управления судна с пусковым механизмом рулевой машины;

запасной и аварийный рулевые приводы, используемые при выходе из строя основного рулевого привода;

рулевой тормоз — приспособление для неподвижного закрепления руля;

ограничители руля и румпеля (сектора), предназначенные для ограничения углов перекладки руля.



Рулевое устройство: 1 - перо руля; 2 - фланцевое соединение; 3 - баллер; 4 – рулевой привод; 5 - рулевая машина; 6 - рулевая передача; 7 - штурвал ручного управления; 8 - рудерпост; 9 - гельмпортовая труба; 10 - пятка ахтерштевня

Классификация рулевых устройств

Рулевые устройства могут быть классифицированы по нескольким признакам.

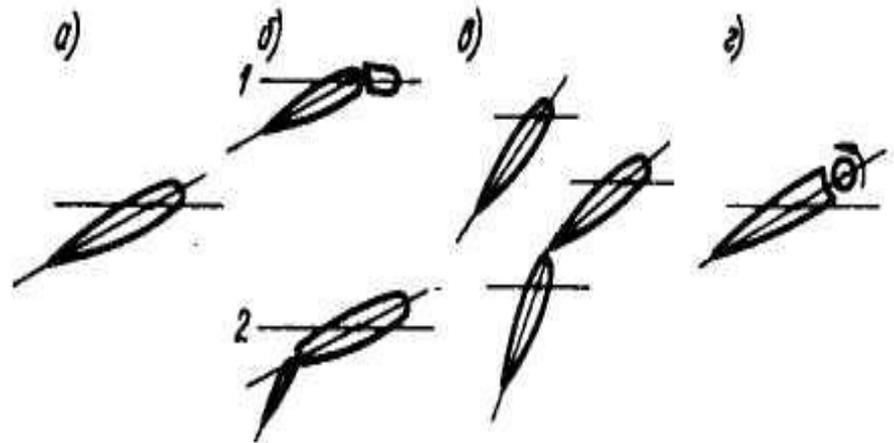
По структуре составляющих руль несущих поверхностей можно выделить следующие разновидности рулей:

- обыкновенные, состоящие из одного крыла с неизменяющейся в процессе перекладки формой профиля;
- рули с изменяющейся при перекладке геометрией крыла, т. е. рули с предкрылками (рули за рудерпостом) и с закрылками различных модификаций (рули Беккера и др.);
- многоперьевые системы рулей (рули Енкеля, фланкирующие рули переднего и заднего хода, рули ТЭР и др.);
- рули с ротором.

а — обыкновенный руль; б — рули с изменяющейся при перекладке геометрией крыла; в — многоперьевая система рулей; г — руль с ротором;

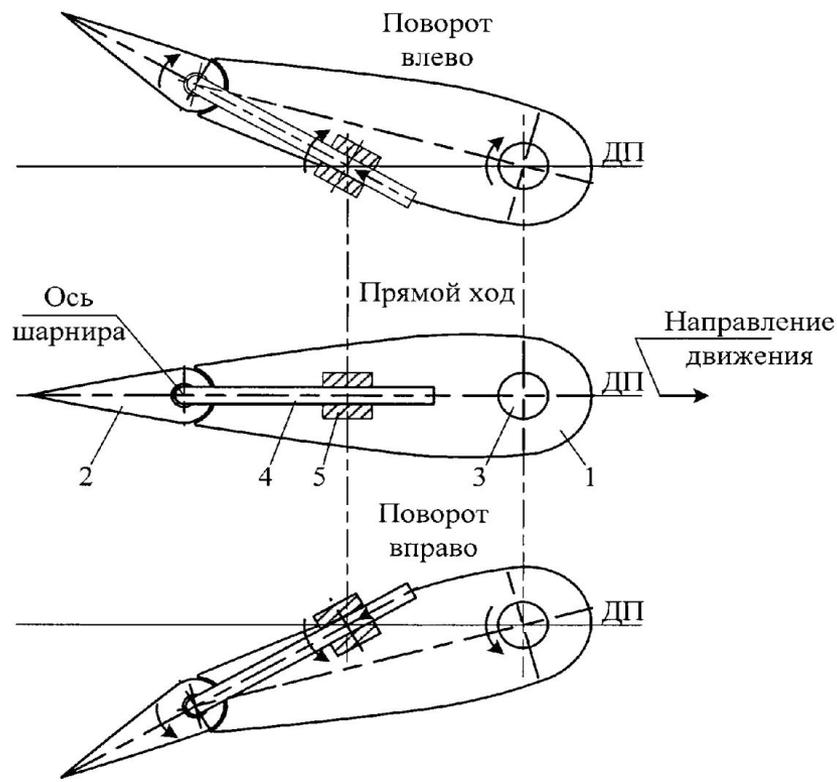
1 — руль с предкрылком (руль за рудерпостом);

2 — руль с закрылком (руль Беккера)

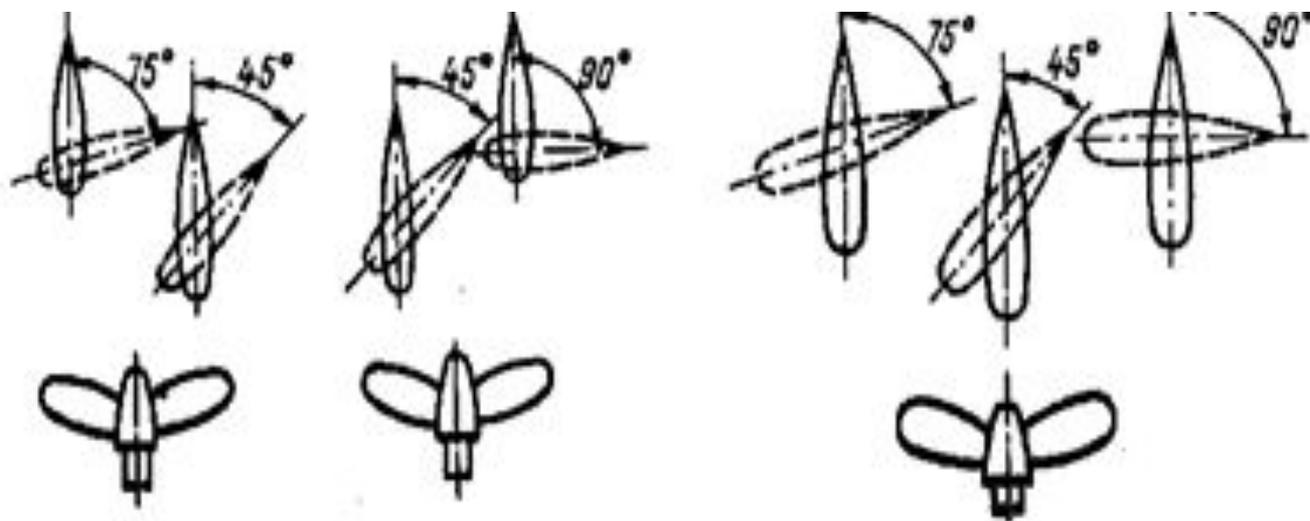


Классификация рулей по структуре несущих поверхностей

Руль с закрылком, или руль Беккера – это рулевой механизм, который состоит из главного руля и подвижного закрылка. Подвижный закрылок поворачивается вместе главным рулем для большего уклона руля. По сравнению с обычными судовыми рулями руль с закрылком имеет более высокую эффективность управления и лучшие гидродинамические свойства. Высокий показатель эффективности затрат и хорошая маневренность способствовали тому, что данная продукция широко применяется по всему миру. Легкий и высокопроизводительный руль Беккера требует минимальное количество топлива для максимальной скорости хода.



Недостаточная эффективность обыкновенного руля и ПН привела к появлению многоперьевых рулевых комплексов за открытыми гребными винтами или винтами в неподвижных насадках. Среди них следует отметить рулевые комплексы с дифференциальной перекладкой рулей (отклонение на разные углы) – двойные и тройные рули Енкеля, применяемые, в частности, на больших пассажирских судах ВП. В отличие от обычных рулей, максимальный угол отклонения которых не превышает 35° на каждый борт, рули Енкеля могут переключаться на значительные углы (вплоть до 90°). Применение рулей Енкеля позволяет существенно улучшить поворотливость судна. При перекладке рулей на борт судно может вращаться практически вокруг центра тяжести.



Многоперьевые рулевые комплексы: двойные (а) и тройные (б) рули Енкеля.

По **форме профиля** рули разделяются на пластинчатые и обтекаемые, т. е. имеющие авиационный профиль.



Классификация рулей по форме профиля

а — пластинчатый руль; б — обтекаемый руль

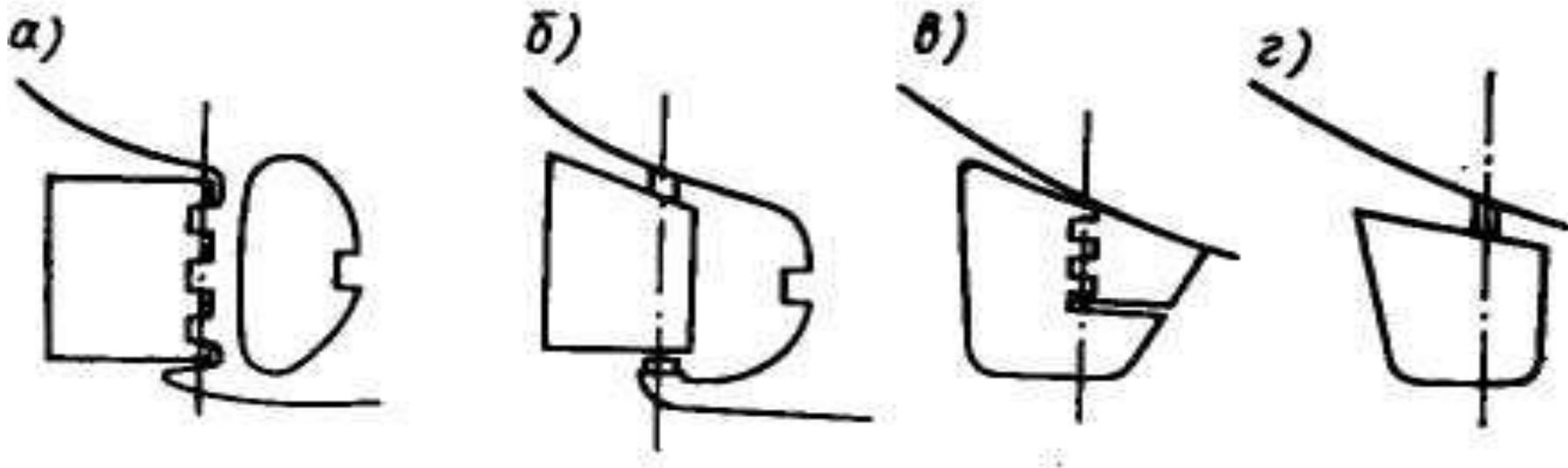
По способу установки на судне различают:

простые многоопорные рули, устанавливаемые обычно за рудерпостом, реже — непосредственно за дейдвудом судна;

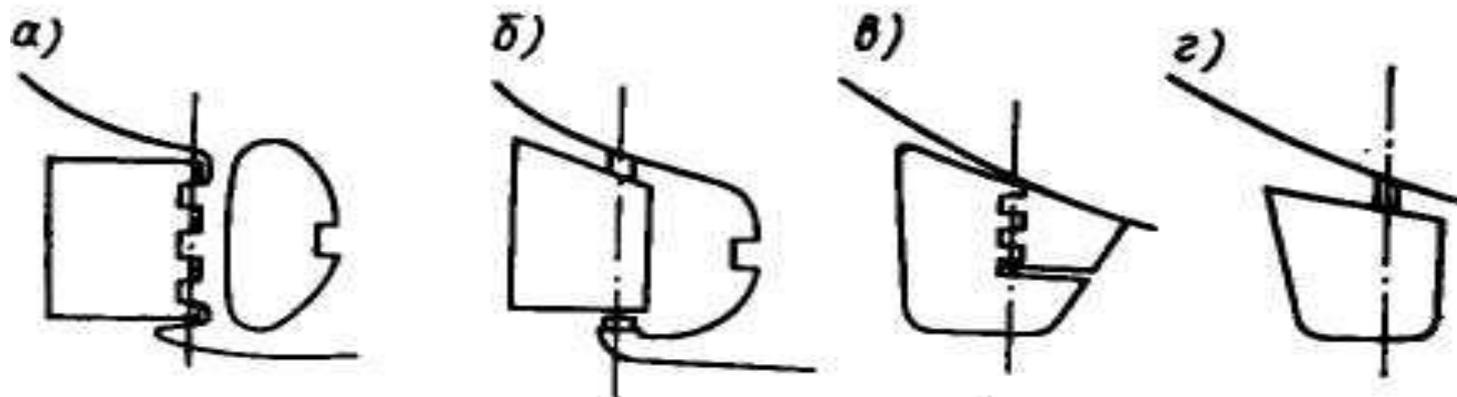
простые двухопорные рули, устанавливаемые обычно в окне ахтерштевня и опирающиеся на его пятку;

полуподвесные рули, навешиваемые на кронштейн или иногда на дейдвуд;

подвесные рули, не имеющие прямого контакта с корпусом судна.



Классификация рулей по способу установки на судне
а — простой многоопорный руль; б — простой двухопорный руль;
в — полуподвесной руль; г — подвесной руль



Классификация рулей по способу установки на судне

а — простой многоопорный руль; б — простой двухопорный руль;
в — полуподвесной руль; г — подвесной руль

По размещению площади руля относительно оси баллера различают следующие виды рулей:

- **небалансирные рули**, вся площадь которых размещена в корму от баллера, ось которого практически совпадает с носиком руля (**рис. а**);
- **балансирные рули**, у которых по всему размаху (высоте) руля часть площади размещена в нос от баллера, ось которого проходит на некотором расстоянии от носика руля (**рис. б, г**);
- **полубалансирные рули**, которые в верхней своей части являются небалансирными, а в нижней — балансирными (**рис. в**).

Наличие балансирной части позволяет уменьшить гидродинамический момент относительно оси баллера и следовательно уменьшить мощность рулевой машины. Очевидно, что способ установки руля на судне и положение оси баллера конструктивно связаны между собой.

Рулевые приводы и рулевые машины

Привод руля состоит из механизмов и устройств, предназначенных для перекладки руля на борт. В их число входят рулевая машина, рулевой привод, т. е. устройство для передачи вращающего момента от рулевой машины к баллеру, и привод управления рулевой машиной (рулевая передача).

По Правилам Регистра каждое морское судно должно иметь три привода, действующих независимо друг от друга на руль: **основной или главный, запасной и аварийный**.

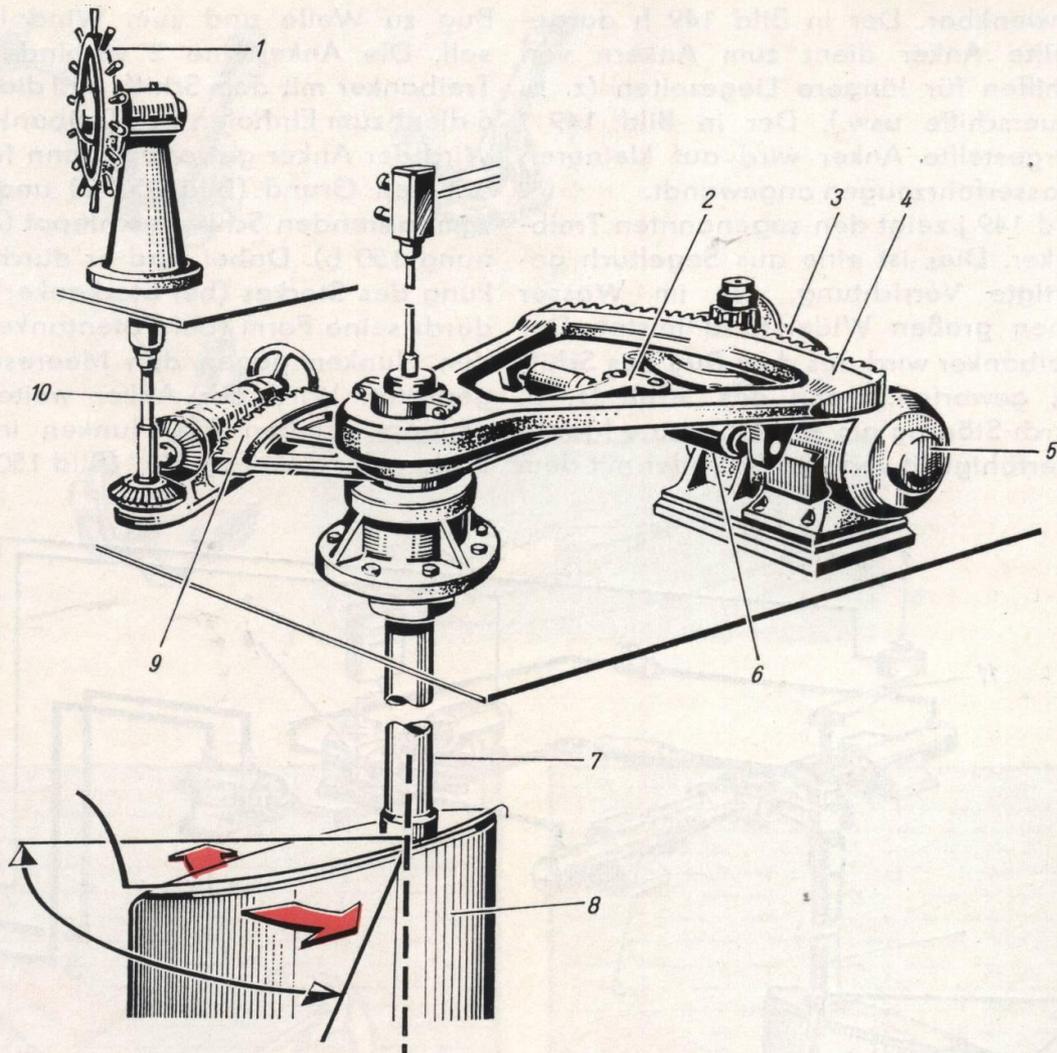
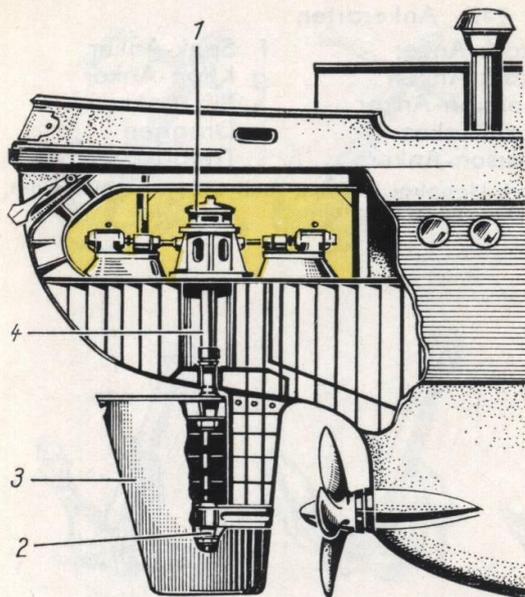
Обычно для основного привода применяют рулевые машины, а запасной и аварийный делают ручными, за исключением судов, у которых диаметр головы баллера руля больше 335 мм, а также пассажирских судов с диаметром головы баллера более 230 мм; для них требуется механический запасной привод. Рулевую машину обычно размещают в специальном **румпельном отделении**, поблизости от руля, а на малых судах и катерах — в посту управления судном.

В качестве приводов для рулевых машин используют ***электродвигатели, электрогидравлические, гидравлические*** и, реже, паровые машины. Наиболее распространены электрогидравлические машины. Мощность рулевой машины в основном рулевом приводе должна обеспечить на максимальном переднем ходу судна перекладку руля с 35° одного борта до 30° на другой борт не более чем за 28 с. На небольших судах допускается и ручной основной привод в тех случаях, если при выполнении изложенных выше условий усилие на рукоятке штурвала не превысит 160 кН (16 кгс), а число оборотов штурвала будет не более 25 за одну полную перекладку.

Главный рулевой привод должен обеспечивать перекладку полностью погруженного руля с 35° одного борта на 35° другого борта при максимальной скорости переднего хода, относящегося к этой осадке. Время перекладки руля с 35° одного борта на 30° другого борта не должно превышать 28 с.

Вспомогательный рулевой привод должен обеспечивать перекладку полностью погруженного руля с 15° одного борта на 15° другого борта не более чем за 60 с. При этом, скорость судна на переднем ходу должна быть равной половине максимальной скорости или 7 узлам, в зависимости от того, какое из значений больше.

Аварийный рулевой привод должен обеспечивать перекладку полностью погруженного руля или полностью погруженной поворотной насадкой с борта на борт при скорости переднего хода не менее 4 узлов.

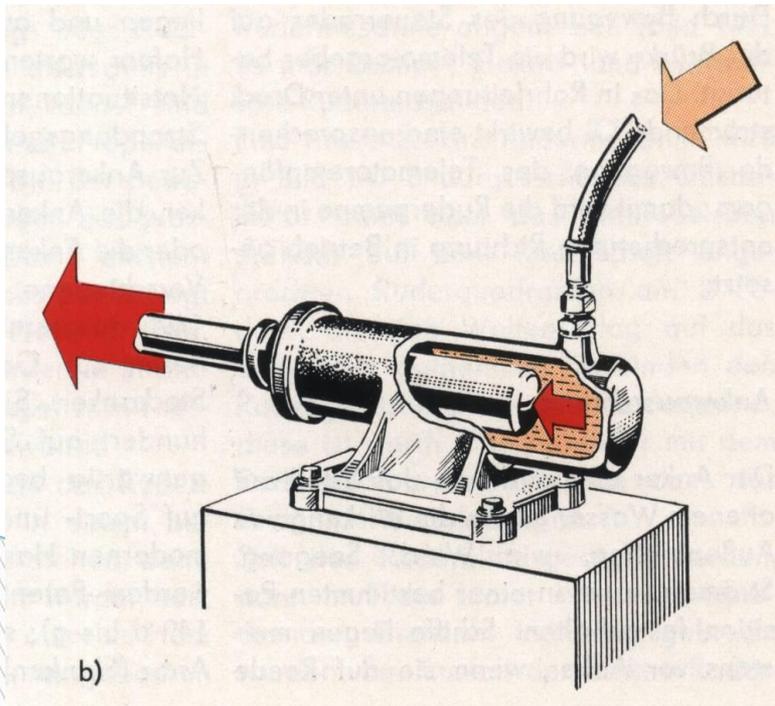
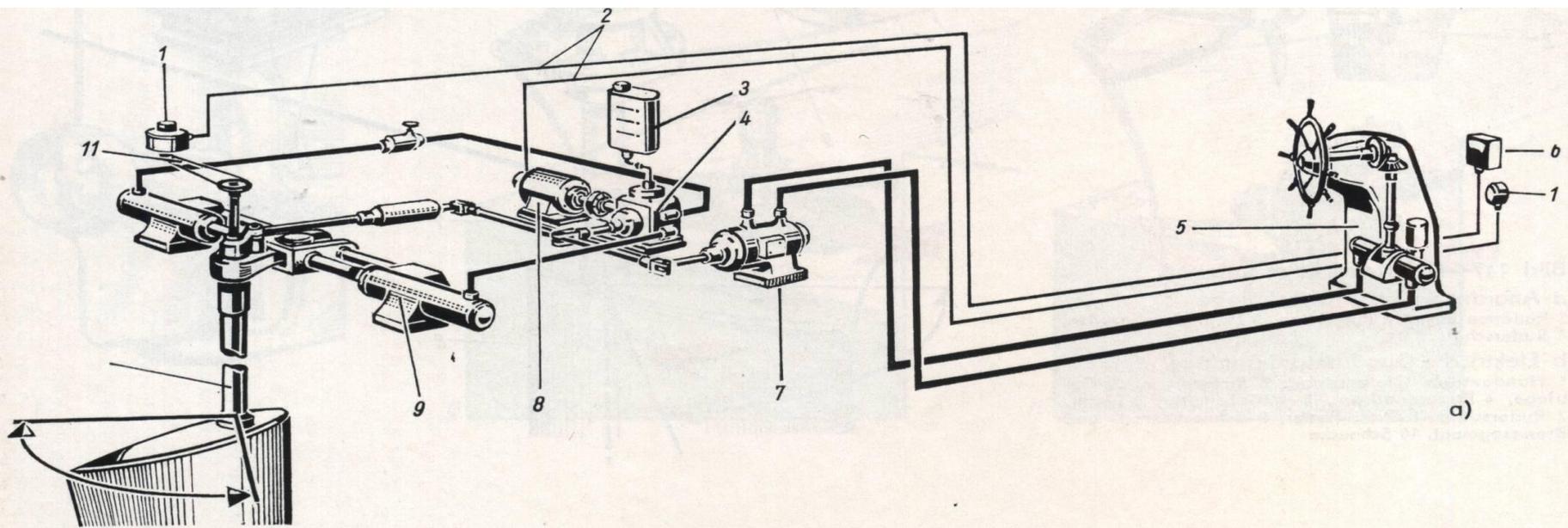


Рулевое устройство с электрическим приводом: а – расположение рулевого устройства.

1 – рулевая машина; 2 – рулевой штырь; 3 – полубалансирный руль; 4 – баллер руля.

б – секторная рулевая передача с электрическим приводом.

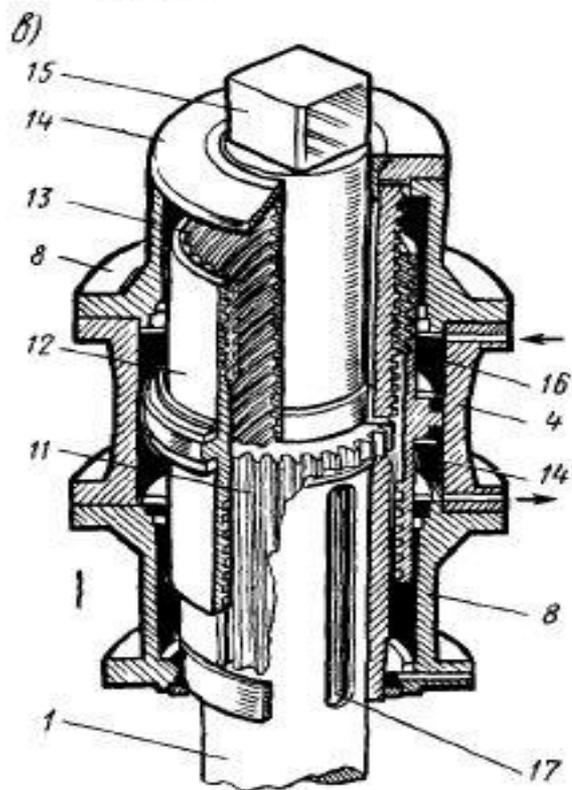
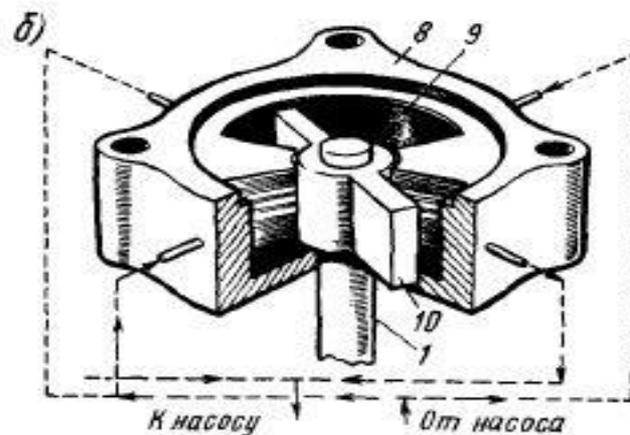
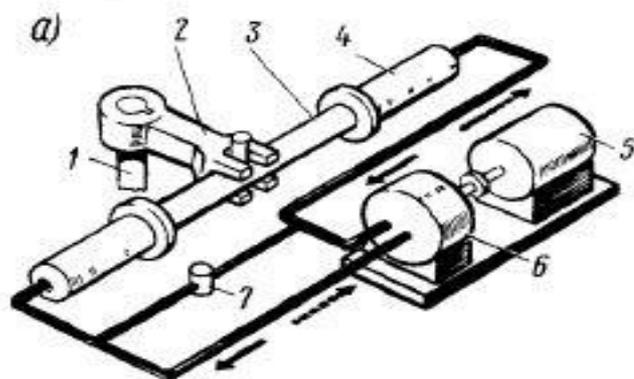
1 – ручной штурвальный привод (аварийный привод); 2 – румпель; 3 – редуктор; 4 – рулевой сектор; 5 – двигатель; 6 – пружина; 7 – баллер руля; 8 – профильный фигурный руль; 9 – сегмент червячного колеса и тормоза; 3 – червяк



Рулевое устройство с гидравлическим приводом:
a – схема гидропривода рулевого устройства типа *Атлас* с телемоторами; ***b*** – поршень гидравлической рулевой машины.

1 – подключение к бортовой сети; 2 – кабельные соединения; 3 – запасная канистра; 4 – рулевой насос; 5 – рулевая колонка с датчиком телемотора; 6 – индикаторный прибор; 7 – приёмник телемотора; 8 – двигатель; 9 – гидравлическая рулевая машина; 10 – баллер руля; 11 – датчик указателя положения руля

В настоящее время наибольшее распространение находят гидравлические приводы плунжерного, лопастного или винтового типов.

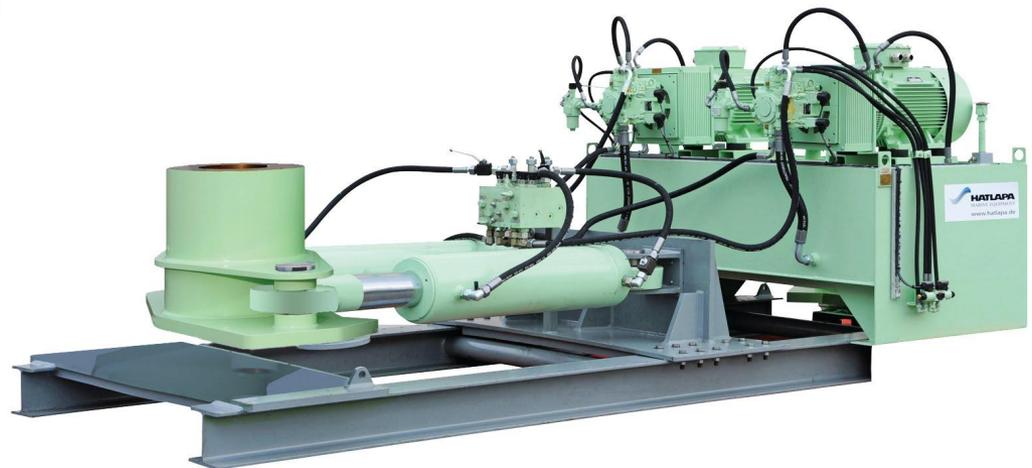
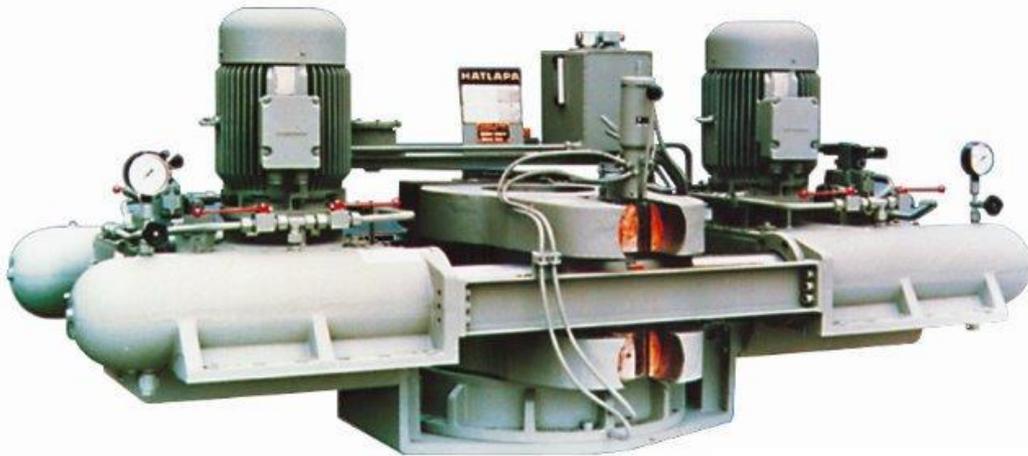


Гидравлические приводы
 а — плунжерный, б — лопастной, в — винтовой,
 1 — баллер, 2 — румпель, 3 — поршень плунжер,
 4 — цилиндр, 5 — электродвигатель, 6 — насос, 7 —
 предохранительный клапан, 8 — корпус, 9 — сек-
 торовидная камера, 10 — вращающийся поршень,
 11 — стакан с продольными канавками, 12 —
 кольцевой поршень, 13 — стакан с винтовыми
 канавками, 14 — крышка, 15 — квадратная голов-
 ка, 16 — рабочая полость, 17 — шпоночная канавка

1) Плунжерные

Рулевой механизм плунжерного типа подходит для всех видов судов с суммарным дедвейтом от порядка 500т до около 30000т.

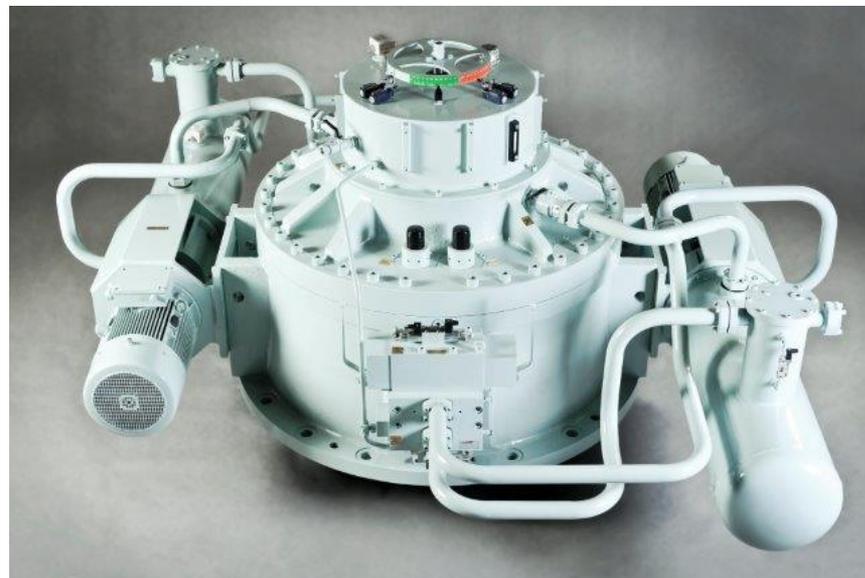
Рулевой механизм плунжерного типа имеет угол поворота рулевой лопасти до $2 \times 60^\circ$. Также есть исполнение с возможностью переключения на полную резервную систему с углом поворота $2 \times 45^\circ$.



2) Лопастные

Лопастной рулевой механизм подходит для всех видов судов с суммарным дедвейтом от 5000т до 1000000т.

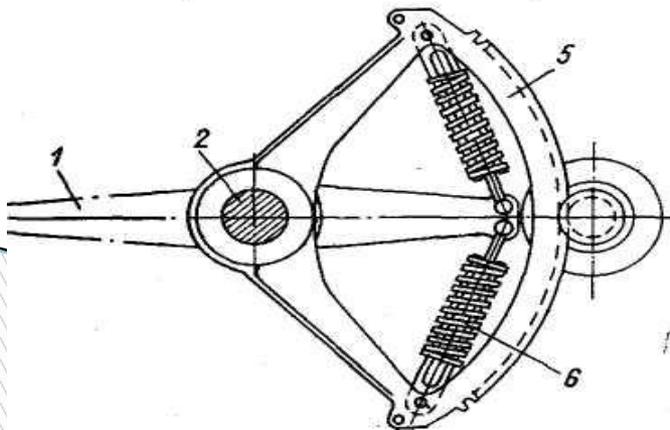
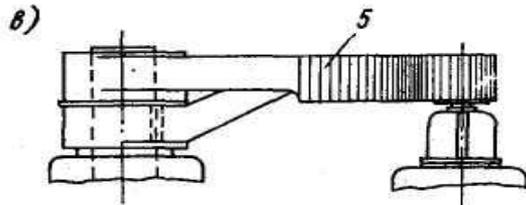
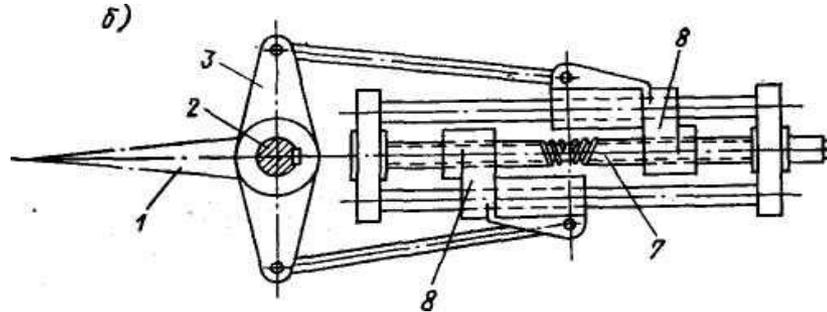
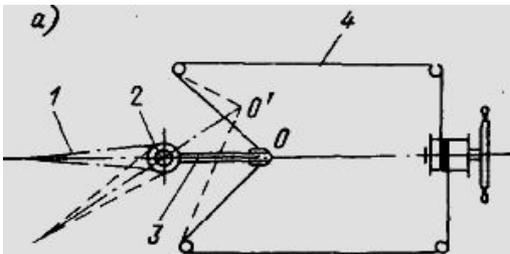
Лопастной рулевой механизм может оснащён возможностью полного резервирования и обеспечивает углы поворота рулевой лопасти до $2 \times 67^\circ$.



Передача на руль усилий, развиваемых в рулевой машине, осуществляется с помощью **рулевого привода** в виде тросов, цепей или гидравлической системы либо путём жёсткой кинематической связи между рулевой машиной и рулём (зубчатые секторы, винты и пр.).

Наиболее распространены приводы:

- румпельно- или секторно-штуртросовые;
- секторные с валиковой проводкой;
- винтовые;
- с рулевой машиной, непосредственно соединённой с баллером руля.



Рулевые приводы:

а — румпельный; б — винтовой;

в — секторный

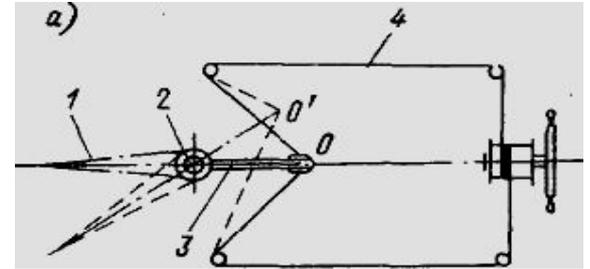
1 - перо руля; 2 - баллер; 3 - румпель;

4 - штуртрос; 5 - зубчатый сектор;

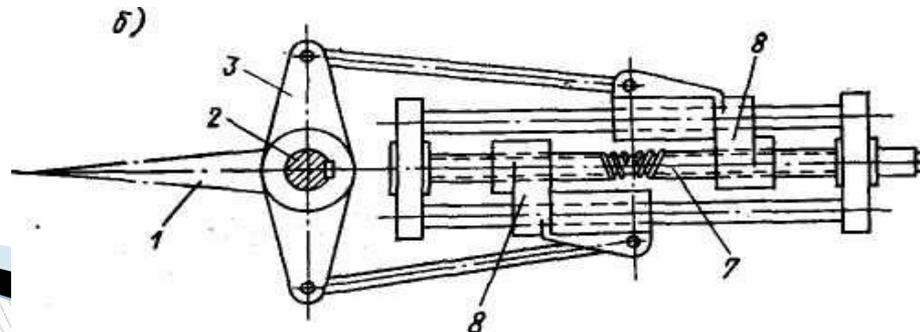
6 - пружинный амортизатор;

7 - винтовой шпindel; 8 - ползун

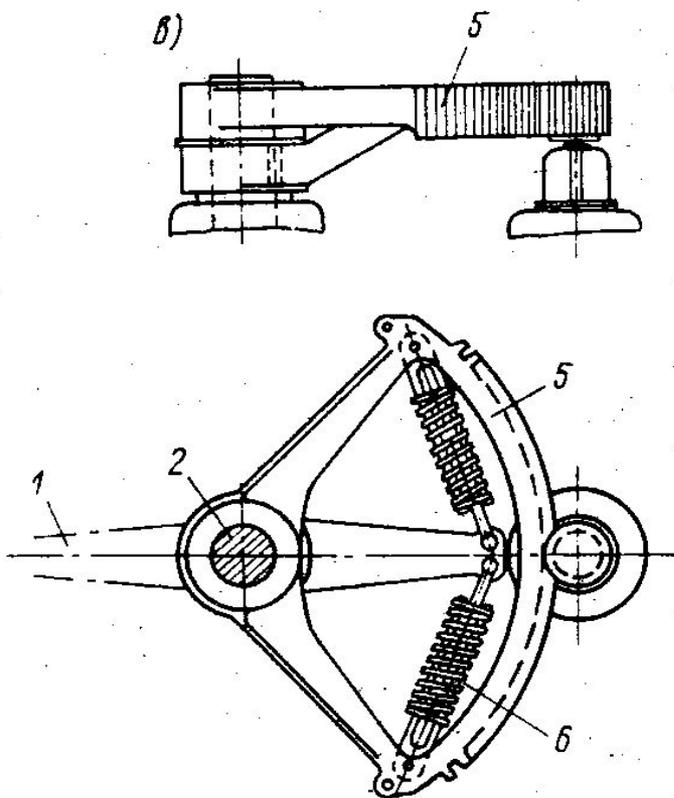
Румпельный привод представляет собой одноплечий рычаг — румпель, один конец которого соединён с верхним концом баллера, а другой — с тросом, цепью или гидросистемой, предназначенными для связи с рулевой машиной или постом управления (рис. а) Этот привод, называемый иногда продольно-румпельным, применяют на небольших судах, а также спортивных и несамоходных судах внутреннего плавания. В отличие от него поперечно-румпельный привод представляет собой румпель в виде двухплечего рычага. Они широко распространён на крупных судах, обслуживаемых четырёхплунжерными гидравлическими рулевыми машинами.



Винтовой привод обычно бывает запасным, его ставят непосредственно в румпельном отделении (рис.б) Вращение от штурвала передаётся винтовому шпинделю, имеющему по концам резьбу противоположных направлений. Перемещающиеся при вращении шпинделя ползуны с правой и левой резьбой через систему тяг воздействуют на плечи поперечного румпеля, насаженного на баллер руля. Винтовой привод компактен и позволяет снизить до необходимого предела усилия на штурвал благодаря возможному большому передаточному числу. Недостатком его является более низкий КПД из-за потерь при трении винтовой пары.



Секторный привод широко применяют при передаче усилий на руль от электрических рулевых машин (рис.в). В этом случае находящаяся в зацеплении с сектором шестерня вращается от электродвигателя. Для компенсации ударных нагрузок на руль в секторе устанавливают пружинные компенсаторы.



Привод управления рулевой машиной (рулевая передача) служит для передачи команд из рулевой рубки на рулевую машину, находящуюся обычно на большом расстоянии от мостика. На современных крупных судах наиболее распространены электрический и гидравлический приводы. Реже применяют тросовый или валиковый приводы.

Положение пера руля контролируется специальными указателями. Для обеспечения бесперебойной работы рулевого устройства пост управления машиной дублируют, располагая запасной пост в румпельном отделении или рядом с ним.

На малых судах, не имеющих рулевых машин, перекладка руля вручную при вращении штурвала выполняется с помощью **штуртросовой проводки**, состоящей из троса, прикреплённого с двух сторон к румпелю и проведённого через направляющие ролики от румпеля к штурвалу. Закреплённые на барабане штурвала штуртросы при вращении штурвала навиваются на барабан или сматываются с него, усилие передаётся на румпель, а затем на руль. Для устранения, возникающей при повороте румпеля, слабину штуртроса в схему вводят пружинные компенсаторы или ползуны, перемещающиеся вдоль румпеля.

Разновидностью ручного привода с секторной передачей усилия на баллер руля является **валиковая передача**. Она состоит из нескольких валиков, соединённых при помощи муфт и карданных шарниров, а в местах крутых изломов — коническими передачами. Вращение от штурвала через валиковую передачу сообщается шестерне, сцепленной с сектором руля. Валиковая передача обладает большим КПД, чем штуртросовая.

На крупных морских судах применяют электрогидравлические рулевые машины с насосами переменной производительности, с плунжерными или лопастными силовыми гидравлическими устройствами и следящей системой управления.

На малых и средних судах используют гидравлические и электрогидравлические рулевые машины с насосами постоянной производительности.

Для крупнотоннажных танкеров и атомных судов предусмотрена установка двух рулевых машин, способных действовать независимо друг от друга и удовлетворять каждая в отдельности требованиям для основной рулевой машины. При размещении рулевого устройства основное внимание обращается на обеспечение безопасности и надежности управления судном. Если главный и вспомогательный рулевые приводы находятся в помещении, полностью или частично расположенном ниже самой высокой грузовой ватерлинии, то должен быть

предусмотрен аварийный рулевой привод, который необходимо расположить выше палубы переборок.

Размеры румпельного отделения должны обеспечивать доступ экипажа для аварийного управления, а также возможность разборки и выгрузки рулевой машины.



Румпельное отделение

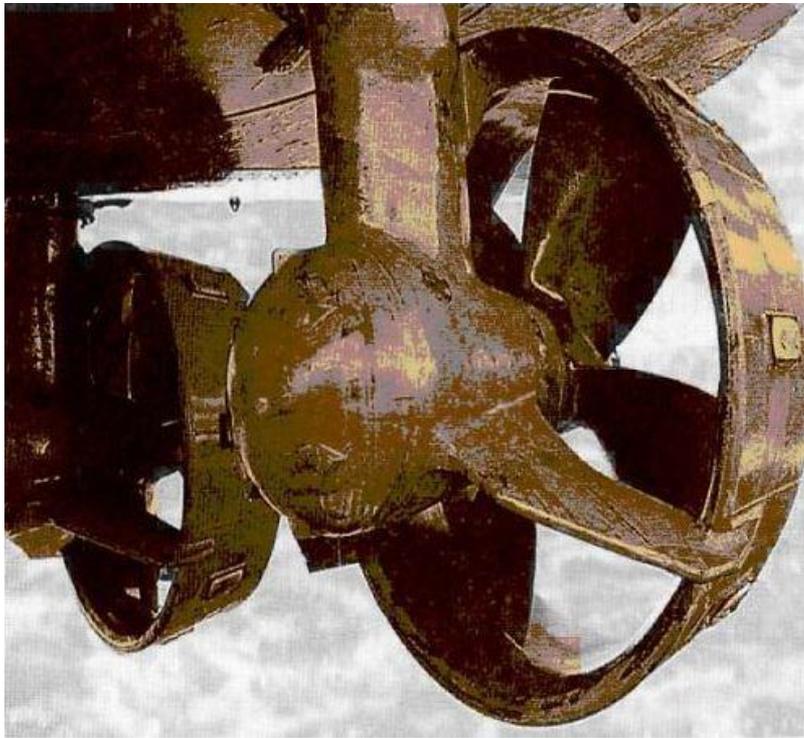
ПОДРУЛИВАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО

Для улучшения маневренности судна на малых ходах, когда обычное рулевое устройство недостаточно эффективно, особенно при швартовке судна у пирса и движении в узких местах (каналы, шхеры, ограниченный фарватер), устанавливают дополнительные средства управления: носовые рули, а также средства активного управления (САУ) — направляющие насадки, активные рули, подруливающие устройства и вспомогательные движительно-рулевые колонки (ВДРК).

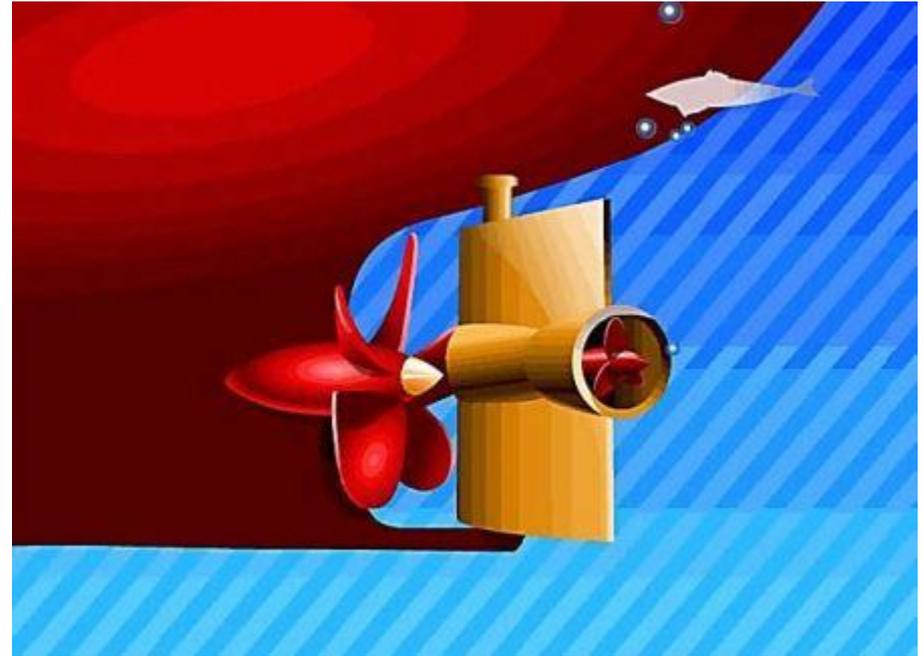
Носовой руль размещают в нижней части носовой оконечности. Его применяют на пароме так называемого челночного типа, т. е. плавающих попеременно носом и кормой. Широкого распространения не получил.



Активный руль — это небольшой гребной винт, установленный в пере обычного руля и приводимый в действие от электродвигателя, расположенного либо непосредственно вместе с ним в пере руля, либо в баллере.



Поворотная насадка



Активный руль

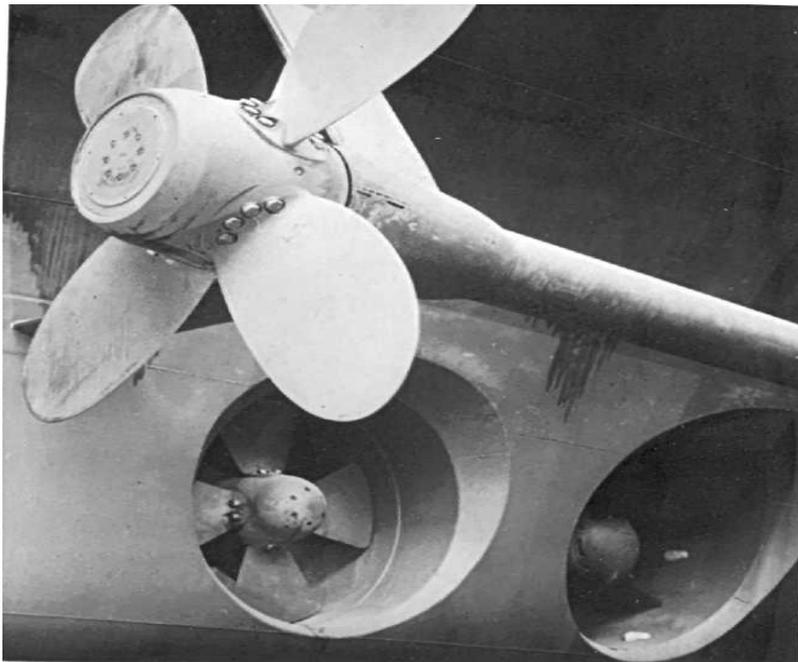
Поворотная насадка представляет собой кольцеобразное тело, укрепляемое на баллере, ось которого расположена в плоскости диска гребного винта.

В качестве подруливающие устройств (ПУ) могут использоваться также поворотные и выдвижные колонки. ПУ создают поперечную силу (тягу ПУ) путем засасывания забортной воды и выбрасывания ее в поперечном по отношению к ДП судна направлении.

К элементам ПУ относятся: движитель, канал, защитные решетки, закрытия канала, привод ПУ и двигатель.



Носовое подруливающие устройство



Кормовое подруливающее устройство

В последнее время получила распространение электродвижущая система **AZIPOD** (Azimuthing Electric Propulsion Drive), которая включает в себя дизель-генератор, электромотор и винт. Дизель-генератор, расположенный в машинном отделении судна, вырабатывает электроэнергию, которая по кабельным соединениям передается на электро-мотор. Электромотор, обеспечивающий вращение винта, расположен в специальной гондоле. Винт находится на горизонтальной оси, уменьшается количество механических передач. Винторулевая колонка имеет угол разворота до 360°, что значительно повышает управляемость судна.

Достоинства AZIPOD:

- экономия времени и средств при постройке;
- великолепная маневренность;
- уменьшается расход топлива на 10 - 20 %;
- уменьшается вибрация корпуса судна;
- из-за того, что диаметр гребного винта меньше - эффект кавитации снижен;
- отсутствует эффект резонанса гребного винта.



Один из примеров использования AZIPOD - танкер двойного действия, который на открытой воде движется как обычное судно, а во льдах движется кормой вперёд как ледокол. Для ледового плавания кормовая часть DAT оснащена ледовым подкреплением для ломки льда и AZIPOD.



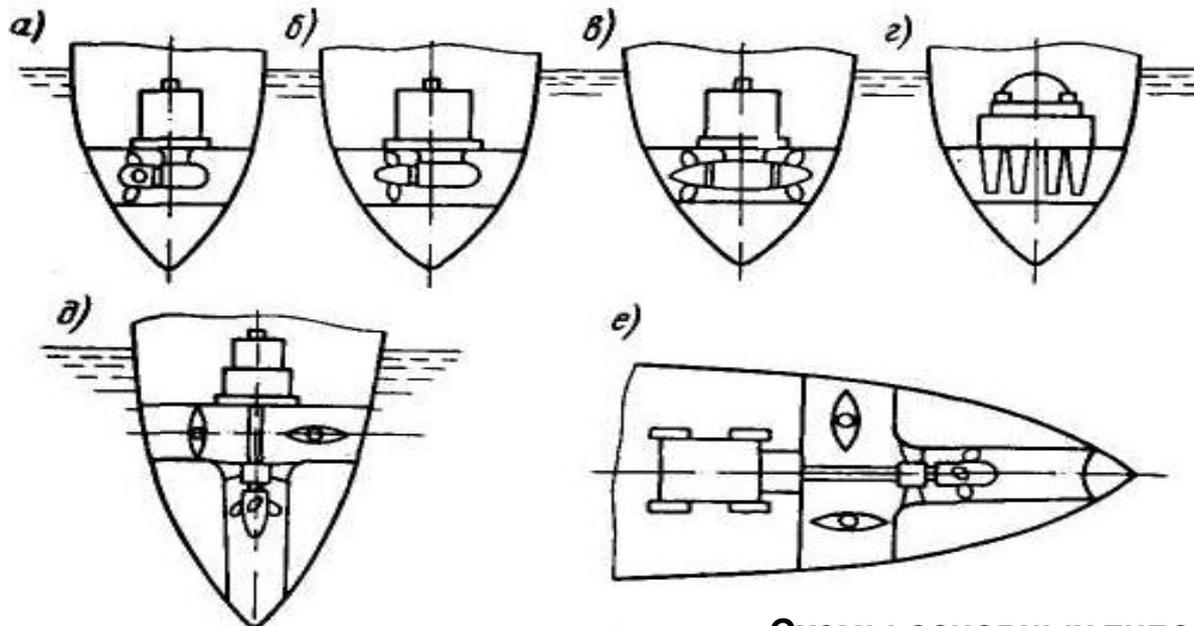
Танкер двойного действия – Double Acting Tanker (DAT) TEMPERA

Классификация подруливающих устройств

Общим конструктивным признаком всех типов ПУ является наличие поперечного канала в корпусе судна и встроенного в него импеллера или насоса.

Подруливающие устройства могут быть классифицированы следующим образом:

1. по месту расположения на судне различают носовые ПУ и кормовые ПУ (КПУ);
2. по числу каналов ПУ разделяются на одно- и двухканальные. Наиболее распространены одноканальные ПУ, которые предназначаются для работы на оба борта и имеют симметричную относительно ДП судна конструкцию (рис. а, б, в, г);
3. по характеру двигательного комплекса: с винтовым двигательным комплексом, с крыльчатым двигателем, с насосным двигателем;
4. по месту расположения привода: с приводом от двигателя, расположенного в корпусе судна или от водопогруженного двигателя;
5. по типу двигателя: электрические, гидравлические, с дизельным приводом.

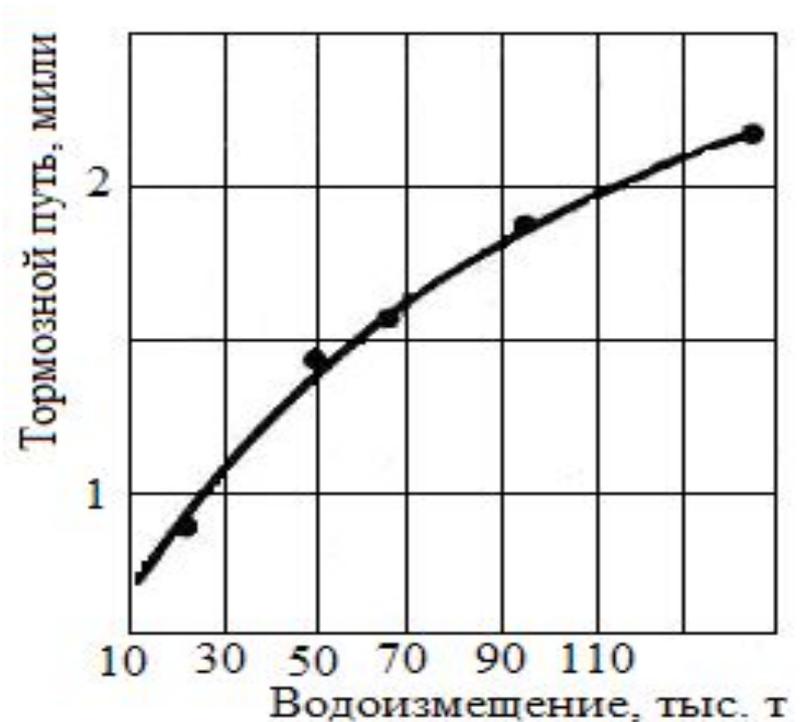


Схемы основных типов ПУ туннельного типа

СРЕДСТВА ТОРМОЖЕНИЯ

В случае угрозы навигационной аварии одним из способов ее предотвращения является маневр экстренного торможения судна. Активное торможение (путем реверса движителей или главного двигателя) не обеспечивает мгновенной остановки, тормозной путь достигает 3 км и более, а время торможения — 20 мин.

Изменение тормозного пути в зависимости от водоизмещения судна показано на рисунке..



Зависимость тормозного пути от водоизмещения

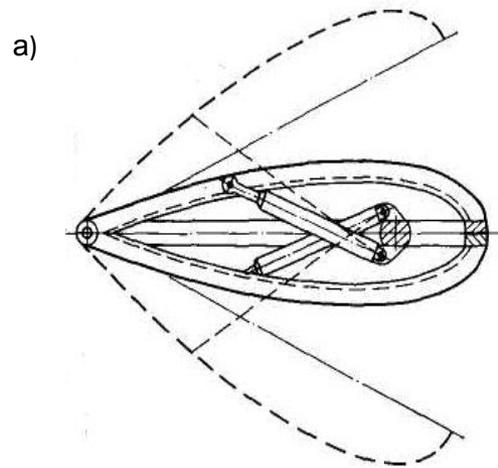
(точки — данные испытаний)

Для сокращения тормозного пути могут быть использованы специальные судовые устройства. В настоящее время актуальность применения тормозного устройства возросла в связи с увеличением размеров и скоростей судов, повышением интенсивности судоходства.

Наиболее перспективны тормозные устройства, основанные на принципе создания дополнительного сопротивления воды движению судна: **раскрывающиеся рули, тормозные закрылки и парашюты, пассивные каналы и другие.**

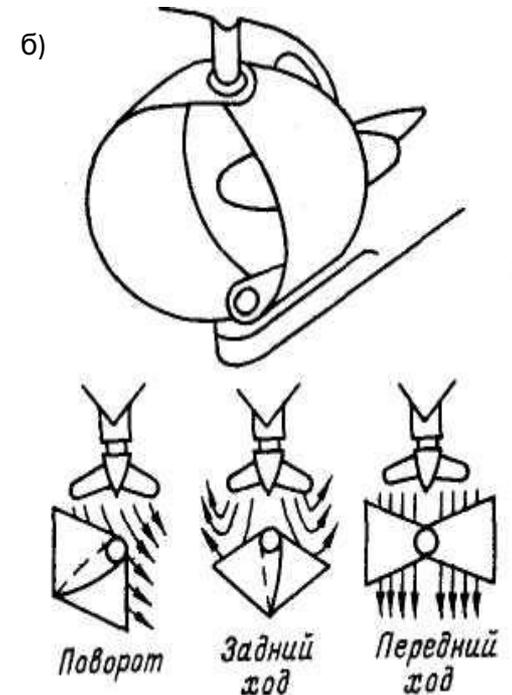
У раскрывающихся рулей перо состоит из обтекателя и 2 сложенных створок, соединенных шарнирно вдоль задней кромки пера (рис. а).

Для экстренного торможения створки раскрываются (оптимальный угол раскрытия — около 70°). В раскрытом положении руль создает большой тормозной эффект: тормозной путь крупного транспортного судна сокращается почти в два раза. Недостаток раскрывающихся рулей — большая конструктивная сложность. Такие рули эффективны и при малых ходах. Вариантом руля, предназначенным, в том числе, для обеспечения торможения судна, является руль Кичена (рис. б).



Судовые рули, обеспечивающие торможение

а) — с раскрывающимися створками; б) — руль Кичена



Тормозные закрылки представляют собой раскрывающиеся или выдвигающиеся перпендикулярно обшивке судна щитки (рис. а). Модельные испытания показали, что для судна водоизмещением 13721 т (длина 121,9 м) бортовые тормозные закрылки сокращают тормозной путь в 2,6 раза, а время торможения — более чем в 3 раза. Эффективность тормозных закрылков повышается на 10–12 % за счет снижения влияния пограничного слоя, если размещать их в носовой оконечности на расстоянии 0,1...0,25 длины судна от форштевня. Раскрывающиеся закрылки предпочтительнее выдвигающихся с точки зрения быстроты ввода их в действие (около 2...4 с). Тормозные закрылки эффективны как при свободном торможении, так и при активном.

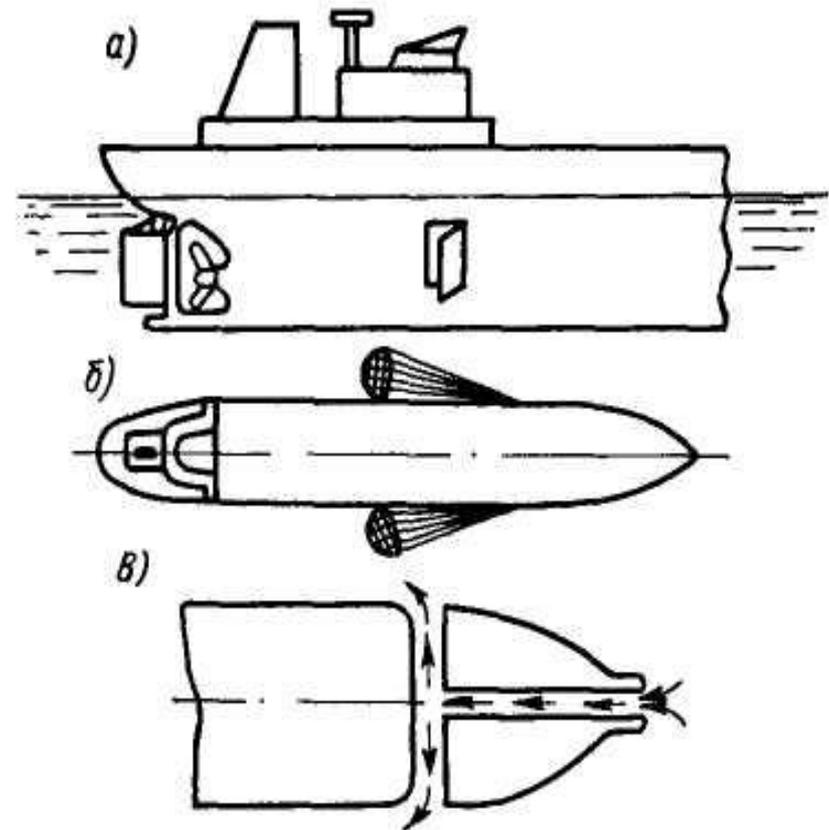


Схема тормозных устройств

а — с тормозными закрылками; б — с парашютами; в — со специальным каналом в носовой части судна

Тормозные парашюты (рис. б) по принципу действия и назначению аналогичны авиационным. Парашюты сбрасывают с бортов, а не с кормы во избежание наматывания тросов на винт. Испытание тормозных парашютов в Японии на танкере дедвейтом 50 тыс. т при скорости 10,5 узла показали, что 2 парашюта диаметром 3 м с каждого борта позволяют вдвое сократить тормозной путь и на 20 % — время торможения.

Пассивный канал (рис. в) — устройство, которое состоит из центрального канала, идущего от форштевня вдоль диаметральной плоскости и соединяющегося с поперечным каналом. При торможении судна вода через открытое носовое отверстие поступает в центральный канал, затем поворачивает на 90° и выходит через бортовые отверстия поперечного канала.

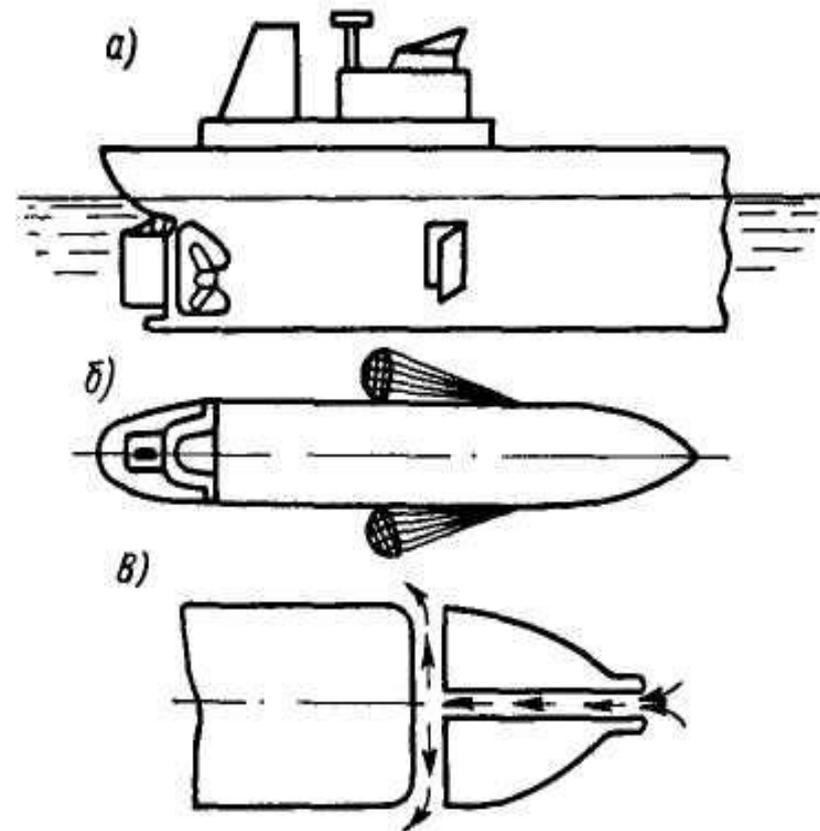
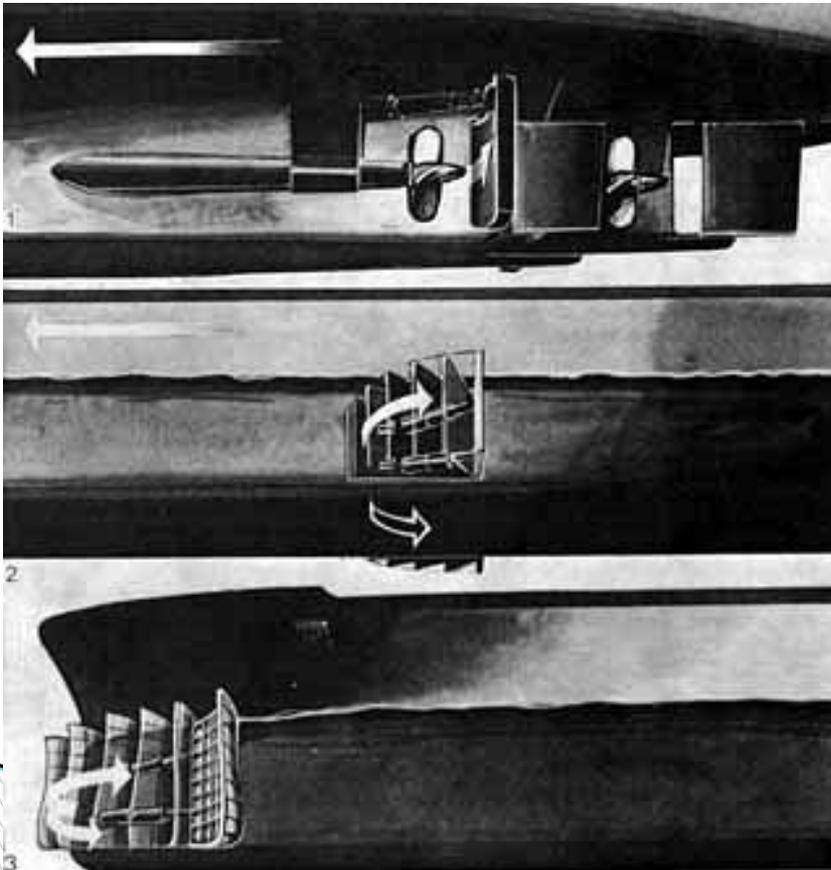


Схема тормозных устройств

а — с тормозными закрылками; б — с парашютами; в — со специальным каналом в носовой части судна

Для уменьшения тормозного пути на 30 % у танкера дедвейтом 150 тыс. т диаметрального центрального канала должен быть 8 м. Перечисленные виды тормозного устройства создают дополнительное сопротивление воды, пропорциональное квадрату скорости движения судна, поэтому они эффективны только в первый период торможения, когда скорость судна велика. Основным средством для полной остановки судна остается упор винта при работе двигателя на полный ход назад.



Средства торможения больших судов

- 1 — устройство, отбрасывающее струю от гребного винта в противоположном направлении;
- 2 — выдвижные тормозные закрылки в средней части судна;
- 3 — тормозные закрылки в носу