

Рулевые машины

Рулевые машины делятся на ручные, электрические и гидравлические. Рулевые машины с механической передачей от электродвигателя принято называть *электрическими*, а машины с гидравлическими передачами от электродвигателя – *гидравлическими*.

По конструктивному исполнению и типу приводов различают следующие виды рулевых машин.

1. Ручные рулевые машины:

- с секторно-румпельным приводом;
- с румпельным приводом.

2. Электрические рулевые машины:

- с секторно-румпельным приводом;
- с винтовым приводом.

3. Гидравлические рулевые машины:

- плунжерного (поршневого) типа;
- лопастного типа.

Рулевые машины с ручным приводом

На небольших судах (катера, яхты, несамоходные баржи и пр.) перекладка руля осуществляется вручную с применением механических рулевых машин. Это выполняется с помощью штуртросовой проводки, состоящей из троса или цепей. Штуртросовый привод (рис. 4.8) выполняют с румпелем или сектором.

Привод (рис. 4.8а) состоит из румпеля 2, неподвижно насаженного на баллер 1. К свободному концу "А" румпеля присоединен тросовый штуртрос 4, идущий от румпеля через направляющие блоки 3 левого борта к барабану 5 ручного штурвала или приводу рулевой машины откуда через блоки правого борта снова к румпелю. В приводе имеются поддерживающие каточки 6.

Недостатком такого рулевого привода является неизбежная слабина в штуртросе, что обусловлено кинематикой движения свободного конца румпеля в точке "А". Это приводит к неточной перекладке руля из-за мертвого хода барабана при выборе слабины. Кроме того, при слабине в штуртросе возможны опасные рывки от ударов волн о перо руля.

Отмеченного конструктивного недостатка не имеет штуртросовый привод с сектором (рис. 4.8б). Насаженный на баллер сектор 1 имеет обод с двумя ручьями для размещения штуртросов. Отрезок штуртроса, закрепленный слева у сектора 1 (в точке 2), направляется по своему ручью на правый борт судна, а отрезок, закрепленный справа (в точке 3), – на левый борт. На судах в штуртросовую проводку включают буферные пружины, предохраняющие рулевую машину от ударного действия волны. В процессе работы рулевая машина, поочередно подтягивая одну ветвь штуртроса и одновременно освобождая другую, поворачивает сектор, а вместе с ним и руль в требуемом направлении. Существенным недостатком штуртросового привода являются большие потери на трение в направляющих деталях проводки.

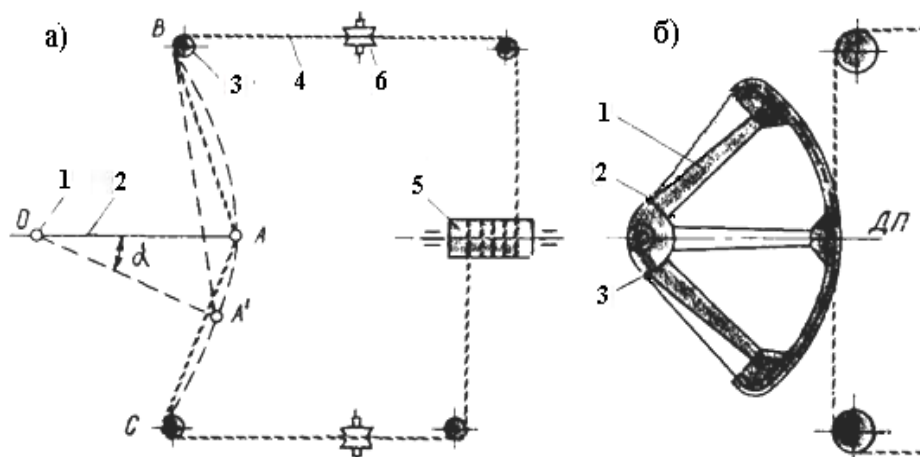


Рис. 4.8. Схемы штуртросовых приводов:
 а) с румпелем: 1 – баллер, 2 – румпель, 3 – направляющие блоки левого борта,
 4 – цепной штуртрос, 5 – барабан рулевой машины или ручного штурвала;
 6 – каточки; б) с сектором: 1 – сектор, насаженный на баллер

Более совершенным и надежным, чем штуртросовый, является валиковый привод (рис. 4.9).

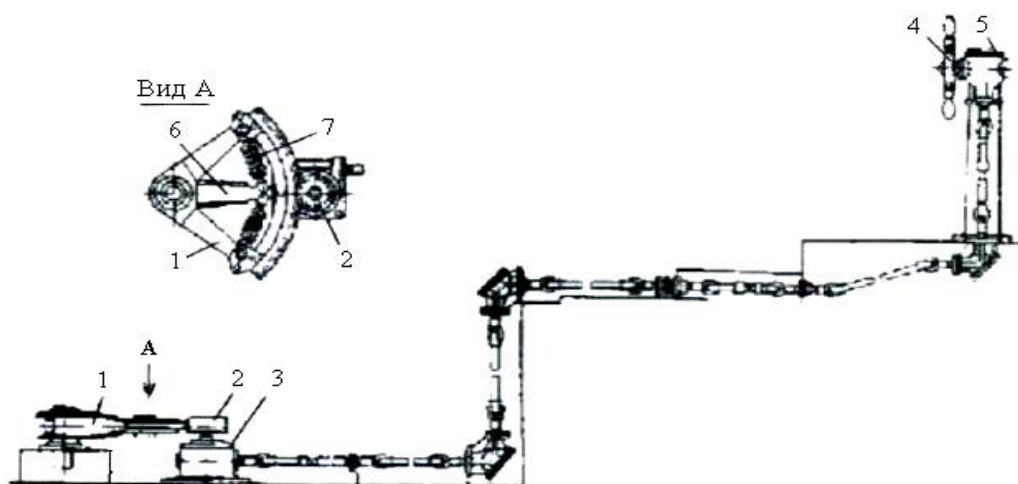


Рис. 4.9. Схема валикового привода:
 1 – зубчатый сектор; 2 – шестерня; 3 – редуктор рулевой машины;
 4 – штурвал; 5 – колонка; 6 – румпель; 7 – пружина.

Его применяют в качестве основного и запасного на катерах, буксирах и других самоходных и несамоходных судах внутреннего плавания с моментом на баллере до 4 кН·м.

Валиковый ручной рулевой привод состоит из колонки 5 со штурвалом 4, от которого вращение через систему угловых конических передач, валиков, муфт и других деталей передается червячному редуктору 3 рулевой машины (редуктор выполняется с горизонтально расположенным червячным колесом). На валу колеса над редуктором устанавливается шестерня 2, зацепляющаяся с зубчатым венцом сектора 1, передающего через румпель 6 крутящий момент на баллер руля.

Сектор насаживается на баллер руля свободно, а с румпелем, сидящим на баллере на шпонке, соединяется с помощью пружин 7. При нормальной нагрузке пружины не должны деформироваться, работая всегда на сжатие.

Электрические рулевые машины

Электрические рулевые машины обычно разделяются по способу передачи усилий от электродвигателя к баллеру руля на винтовые, секторные, винтозубчатые.

До конца 50-х годов двадцатого столетия на речных и морских судах имели широкое применение секторные электрические рулевые машины с моментом на баллере до 150 кН·м (с главным электрическим и вспомогательным электрическим или ручным приводом, имеющим отдельные редукторы).

Однако в связи с развитием гидравлического привода, обладающего более высокой эффективностью, область распространения электрических рулевых машин постепенно ограничивалась и производство их для морских и речных судов прекращено. Однако на многих судах внутреннего и смешанного плавания электрические рулевые машины до сего времени находятся в эксплуатации.

Гидравлические рулевые машины

Гидравлические рулевые машины получили широкое распространение на судах новейшей постройки. Их преимущества следующие: возможность получения больших крутящих моментов; малые масса и габариты на единицу мощности; плавное и бесшумное изменение скорости в широких пределах; высокий КПД.

Гидравлические рулевые машины состоят из гидравлического рулевого привода (рис. 4.7б, в, г), блока питания, системы трубопроводов питания привода и системы управления.

Блоком питания гидравлической рулевой машины служат электроприводные насосные агрегаты, состоящие из *реверсивных роторно-поршневых насосов* с регулируемой подачей, либо *аксиально-поршневых насосов* с нерегулируемой подачей или *шестеренных насосов* с золотниковым распределительным устройством, причем последние используются при моменте на баллере рулевого органа не более 40 кН·м. Блоки питания у крупных рулевых машин дублируются.

Каждую гидравлическую рулевую машину снабжают насосом, подающим под необходимым давлением рабочую жидкость (минеральное масло) в ее исполнительную часть, осуществляющую перекладку рулевого органа.

При реверсе потоков в гидролиниях (гидравлической системе), соединяющих насосы с рулевым гидравлическим приводом, происходит изменение направления перекладки руля.

Система управления с золотниковым распределением рабочей жидкости или с насосами переменной подачи может быть гидравлической, электрической или электрогидравлической. Система управления бывает простой, следящей и автоматической.

4.7.3.1. Рулевые машины с плунжерным приводом. Принцип действия и устройство гидравлической плунжерной рулевой машины можно понять из рис. 4.10. В цилиндры 10, установленные на фундаменте, входят плунжеры 14. Они подвижно связаны с румпелем 13 посредством каретки и траверсы, обеспечивающих поворот румпеля относительно плунжеров и необходимые возвратно-поступательные перемещения, возникающие при его повороте.

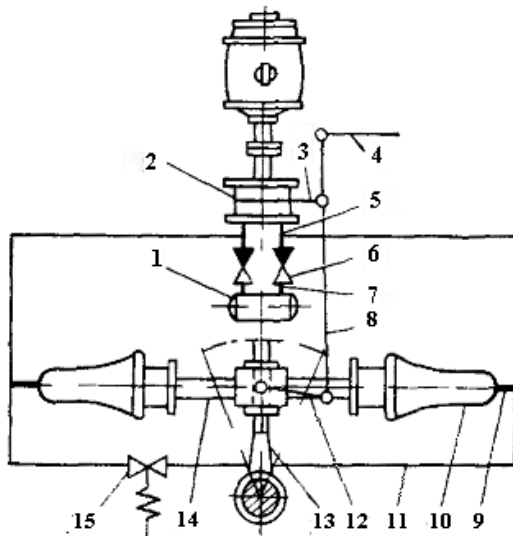


Рис. 4.10. Принципиальная схема двухцилиндровой плунжерной рулевой машины

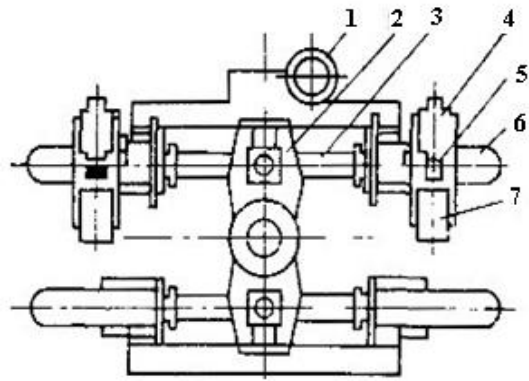


Рис. 4.11. Схема компоновки четырехцилиндровой рулевой машины P15:

- 1 – штурвал местного управления;
- 2 – румпель; 3 – плунжер; 4 – главный насос; 5 – соединительная муфта;
- 6 – цилиндр; 7 – электродвигатель

Радиально-поршневой насос 2 переменной подачи попеременно нагнетает жидкость в левый или правый цилиндр по трубопроводам 5, перемещая плунжеры и поворачивая баллер на требуемый угол перекладки руля. Насосом управляют с поста управления посредством тяги 4. Она соединена с рычагом 8, в свою очередь соединенным тягой 3 с направляющей статора, служащей для изменения хода поршней радиально-поршневого насоса 2. Другим концом рычаг 8 связан тягой 12 с румпелем. Эта система тяг и рычагов выполняет функции серводвигателя, обеспечивающего автоматическое прекращение перекладки руля после того, как штурвальный перестанет смещать тягу 4.

Рассмотрим, как это происходит. Допустим, что штурвальный переместил тягу 4 вправо от нейтрального положения и насос начал подавать жидкость в правый цилиндр. При этом плунжер начнет перемещаться влево и потянет за собой тягу 12, что при неподвижной тяге 4 приведет к смещению направляющей статора насоса влево и к возврату ее в исходное положение, соответствующее нулевой подаче.

В машине предусмотрен предохранительный клапан 15, обеспечивающий перепуск жидкости по трубопроводам 9 и 11 из одного цилиндра в другой. При недопустимом для прочности машины и трубопроводов повышении давления вследствие ударов руля о грунт или другие предметы клапан срабатывает, и рулевой орган отклоняется от заданного положения. При этом происходит перемещение рычага 8 и тяг 12 и 3 серводвигателя, насос автоматически начнет подавать жидкость в соответствующий цилиндр, и рулевой орган возвращается в исходное положение. Бак 1 служит для восполнения внешних утечек рабочей жидкости, для него предусмотрены невозвратные клапаны 6, соединенные с баком трубами 7.

Основным типом рулевых машин, применяемых на современных отечественных промысловых и транспортных судах, является серийно изготавливаемые электрогидравлические плунжерные машины типизированного ряда "Р". Их изготавливают с двумя соосными исполнительными цилиндрами (машины Р01 – Р14), развивающими момент на баллере от 6,3 до 100 кН·м (рис. 4.10), и с четырьмя попарно соосными цилиндрами исполнительной части с приводом на один рулевой орган (машины Р15) с моментом на баллере, равным 160 кН·м. В последнем типе привода на баллер насаживается двуплечий румпель для сочленения с обеими парами плунжеров (рис. 4.11).

Небольшие рулевые машины, развивающие момент на баллере до 40 кН·м, снабжают простыми и дешевыми насосами постоянной подачи: основным электроприводным шестеренным и запасным аксиально-поршневым насосом в штурвальной колонке.

Наибольшее давление, создаваемое в однорулевых машинах с моментом на баллере до 40 кН·м, составляет при работе основным приводом 7,0 МПа, в двух рулевых – 10 МПа, при запасном приводе – 2,5 МПа, а в машинах, развивающих момент на баллере 63 кН·м и выше, – 10 МПа.

4.7.3.2. Рулевая машина с поршневым приводом. Гидравлическая рулевая машина со следящим управлением и поршневым приводом баллера (рис. 4.12) устанавливалась на судах типа «Астрахань», «Художник Сарьян» и др. судостроительной верфью «ФЕБ Клемент Готвальд-Верк» (ГДР). В одном из вариантов машина имеет номинальный крутящий момент на баллере 314 кН·м, угол перекладки руля $\pm 35^\circ$ (на упоре – $36,5^\circ$). Рабочее давление масла в цилиндрах 12,8 МПа, в системе управления 1,6 МПа.

Румпель 1 рулевой машины поворачивается усилием, создаваемым в гидроцилиндрах 7 двустороннего действия давлением масла, действующего на поршни и штоки 22, соединенные с румпелем с помощью головки 24 и пальца 25. От румпеля 1 вращение передается баллеру 2. Другой конец гидроцилиндров подвижно крепится к массивной опоре 10, установленной на фундаментах и воспринимающей реактивное усилие при перекладке руля. Шарнирные сферические подшипники 16 установлены для поворота цилиндров при перекладке руля и компенсации небольших вертикальных перемещений баллера. Угол перекладки руля ограничивается упором 3.

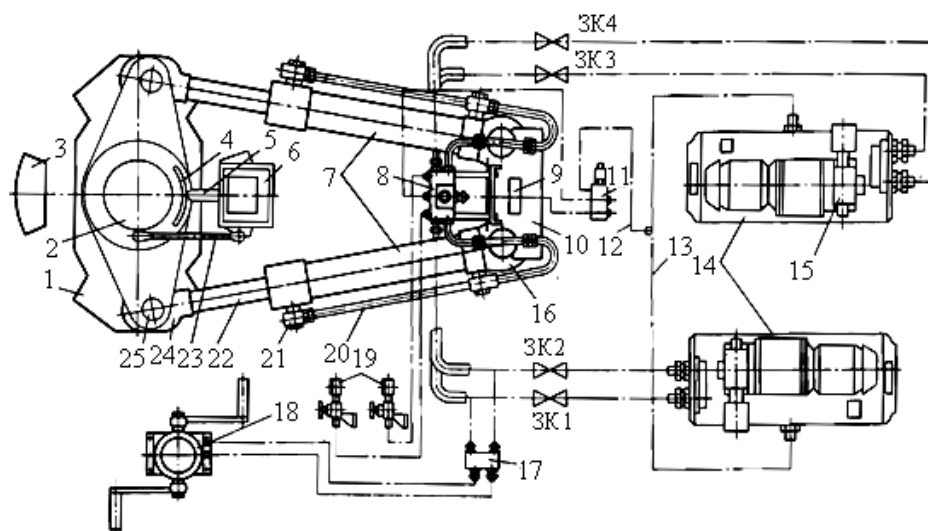


Рис. 4.12. Рулевая машина с поршневым приводом

Шлангами высокого давления 20 крышки цилиндров через штуцера 21 соединяются с блоком клапанов 8, установленным на опоре. Здесь же укреплена табличка 9 с указаниями по управлению рулевой машиной. На баллере установлена шкала 4, показывающая фактическое положение руля относительно неподвижной стрелки 5. Датчик положения руля 6 посредством шарнирных тяг 23 соединен с баллером. При перекладке руля от него поступает электрический сигнал в систему управления.

Работу рулевой машины обеспечивают два насосных агрегата 14, установленных на маслобаках. Насосный агрегат включает приводной электродвигатель, радиально-поршневой насос и навесной шестеренный насос системы управления и подпитки. На корпусе насоса установлены исполнительный механизм, гидроусилитель и блок гидроарматуры 15, соединенный со всасывающим и нагнетательным патрубками насоса.

Маслобак внутренней перегородкой делится на полости слива и всасывания. Между полостями в приборной панели установлен магнитный фильтр. Здесь же установлены указатель уровня, поплавковый выключатель, сигнализирующий о минимальном уровне масла, термометр и патрубок с сетчатым фильтром для заливки масла.

Оба маслобака сообщаются между собой и с предохранительными клапанами 11, трубопроводами 12 и 13.

Аварийный привод представляет собой поршневой насос 18 с качающимся блоком цилиндров или одновинтовой насос с редуктором, устанавливаемый на открытой палубе. Его трубопроводы соединяются с блоком клапанов 8 через гидрозамок 17. Давление в гидролиниях контролируется по манометрам 19. Запорные клапаны ЗК1-ЗК2 и ЗК3-ЗК4 служат для разобщения рулевой машины и насосных агрегатов при ремонте.

4.7.3.3. Рулевые машины лопастного типа. Среди гидравлических рулевых машин особое место занимают машины лопастного типа. Их выпускают многие зарубежные фирмы. Мы ограничимся рассмотрением лопастного гидравлического привода отечественной конструкции, являющегося исполнительной частью электрогидравлической рулевой машины РЭГ ОВИМУ-7, установленной на многих советских морских судах (рис. 4.13).

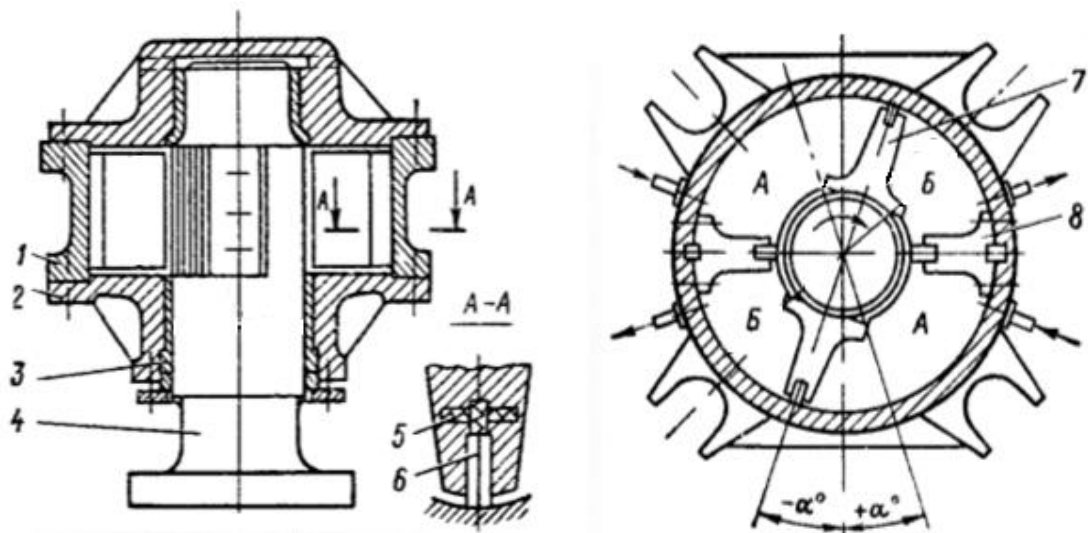


Рис. 4.13. Лопастной рулевой привод

Ротор 4 с закрепленными на нем двумя лопастями 7 размещается внутри цилиндра 1, к которому крепятся две неподвижные лопасти 8. Цилиндр с обеих сторон закрывается крышками 2. Выходной конец ротора уплотняется сальником 3. Ротор жестко крепится фланцем к баллеру руля, а цилиндр удерживается от вращения четырьмя штырями, входящими в его проушины и соединенными с палубой. Для смягчения резких динамических нагрузок на руль на штырях предусмотрена эластичная облицовка.

Принцип действия привода заключается в следующем. Ротор 4 привода поворачивается по часовой стрелке при подаче рабочей жидкости в полости "А", а полости "Б" при этом будут сливными. Противоположное поворачивание ротора достигается подачей рабочей жидкости в полости "Б".

Для достижения высокого объемного КПД внутренние зазоры привода выполняют минимальными. Кроме того, в пазах лопастей устанавливаются с точной подгонкой металлические уплотнительные сдвоенные пластины 6, поджимаемые давлением жидкости к уплотняемым поверхностям. Невозвратные клапаны 5 служат для подачи рабочей жидкости из нагнетательной полости под пластины 6 при любом направлении вращения ротора. Рулевой привод рассчитан на работу при номинальном давлении жидкости 3,5 МПа, крутящий момент при этом давлении составляет 70 кН·м. Длительный опыт эксплуатации этих машин показал их надежную работу.

На транспортных судах устанавливаются лопастные ГРМ фирмы «Фриденбю» (Норвегия) и фирмы «АЕГ Шиффбау» (ФРГ). В последних крутящий момент достигает 5 МН·м при рабочих давлениях 6,5–9,0 МПа. В машинах используются 2-3 подвижные лопасти.

Достоинством лопастных ГРМ являются малые габаритные размеры и более высокий КПД. Вместе с тем для замены уплотнений необходима полная разборка машины.

4.8. Приводы (системы) управления рулевыми машинами

Современные рулевые машины устанавливают непосредственно у головы баллера в румпельном отделении, а для пусков и управления ими на расстоянии применяются специальные устройства – приводы управления рулевыми машинами, называемые телепередачами, или телемоторами.

Действие системы управления заключается в передаче управляющего сигнала с поста управления рулевой машиной к органам управления насосом или золотниковым распределителем.

В зависимости от способа передачи сигнала приводы управления бывают гидравлические, электрические и электрогидравлические (рис. 4.14).

Для обеспечения бесперебойной работы рулевого устройства *пост управления рулевой машиной дублируют*, располагая запасной пост в румпельном отделении или рядом с ним.

В гидравлической системе управления (рис. 4.14а), при вращении штурвала 4 в ту или другую сторону, насос управления 3, расположенный в колонке управления 2, нагнетает масло в соответствующую полость управления золотникового распределителя 5, переключая его. Распределитель пропускает основной поток от насоса 1 к рулевому двигателю 6 в направлении, соответствующем стороне перекладки руля.

В электрической системе управления (рис. 4.14б) поворот штурвала 4 преобразуется в переменное напряжение сельсина С. Усилитель У усиливает сигнал, который поступает на исполнительный двигатель ИД. Редуктор Р понижает частоту вращения и передает выходной сигнал органу управления насосом 7. Знак управляющего сигнала соответствует стороне вращения штурвала 4, а абсолютное значение сигнала пропорционально углу поворота штурвала.

Если выходное усилие редуктора Р оказывается недостаточным для воздействия на управляющий орган насоса 7, применяется *электрогидравлическая система управления* (рис. 4.14в), в которой выходной сигнал редуктора Р усиливается гидроусилителем ГУ, использующим для этой цели энергию давления масла, подводимого к гидроусилителю от насоса системы управления 11. Исполнительный двигатель ИД и редуктор Р образуют узел, называемый исполнительным механизмом. Выходное звено редуктора может иметь линейное или угловое перемещение. В первом случае исполнительный механизм называется "прибор ИМ-2", во втором – "прибор ИМ-1".

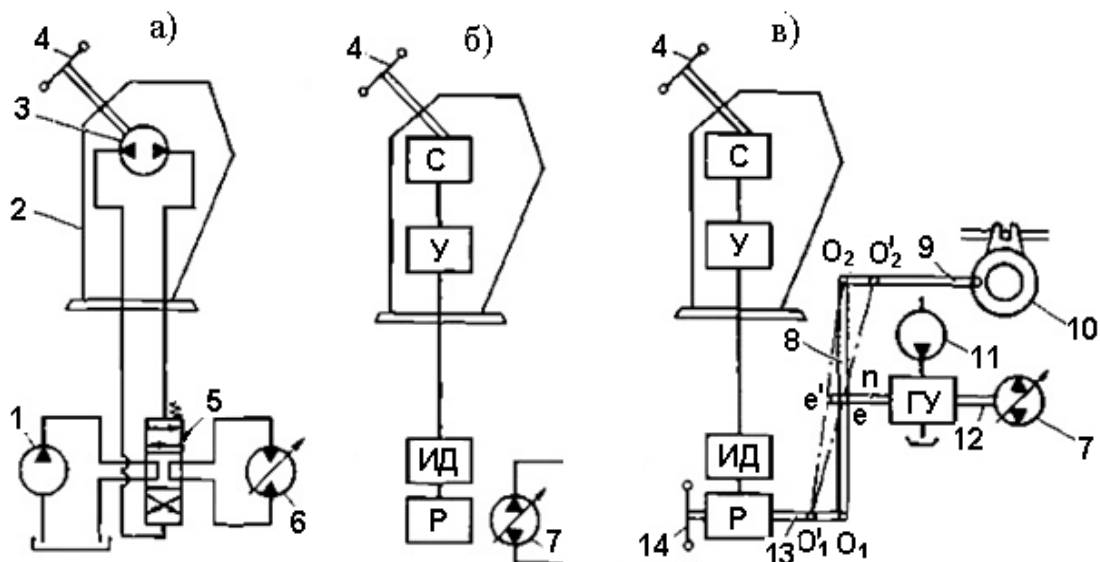


Рис. 4.14. Принципиальные схемы приводов управления рулевой машиной:

- а) гидравлический; б) электрический; в) электрогидравлический;
 1 – насос; 2 – колонка управления; 3 – насос управления; 4 – штурвал;
 5 – золотниковый распределитель; 6 – рулевой двигатель; 7 – управляющий орган насоса; 8 – дифференциальный рычаг; 9 – тяга обратной связи;
 10 – баллер; 11 – насос системы управления; 12 – тяга гидроусилителя;
 13 – тяга управления; 14 – маховик местного поста управления.
 С – сельсин; У – усилитель; Р – редуктор; ИД – исполнительный двигатель; ГУ – гидроусилитель

Система управления может действовать в режимах "простой", "следящий" или "автомат".

В режиме "простой" (см. рис. 4.14а) при повороте штурвала 4 начинается перекладка руля. Как только рулевой по показанию аксиометра установит, что руль достиг заданного угла перекладки, он возвращает штурвал в исходное положение, прекращая работу насоса 3 и дальнейшую перекладку руля.

В режиме "следящий" поворотом штурвала 4 (рис. 4.14в) рулевой задает сигнал на направление и значение угла перекладки, при достижении которого механизм обратной связи прекращает перекладку руля без участия рулевого.

Поворот штурвала и связанное с ним изменение выхода тяги управления 13 редуктора влево приведут к повороту дифференциального рычага 8 вокруг точки "O₂", смещению точки "O₁" в точку "O₁'", а точки "e" – в "e'". При этом гидроусилитель ГУ через тягу 12 воздействует на управляющий орган насоса 7, подача которого вызовет поворот баллера 10 по часовой стрелке. Тяга обратной связи 9 при повороте баллера будет перемещать относительно центра "O₁'" верхний конец дифференциального рычага 8 из точки "O₂" вправо до тех пор, пока тяга 12 гидроусилителя не достигнет положения "e", соответствующего нулевой подаче насоса 7. Обратная связь баллера с насосом в приведенном примере является механической. В

большинстве ЭГРМ используется электрическая обратная связь с помощью сельсинов.

В режиме "автомат" система управления, реагируя на сигналы гирокомпа, автоматически удерживает судно на заданном курсе.

При выходе из строя дистанционного поста управления, находящегося в рулевой рубке, переходят на местный (резервный) пост управления в румпельном отделении, с которого маховиком 14 (рис. 4.14в) непосредственно воздействуют на исполнительный механизм.

4.9. Требования, предъявляемые к приводам руля

По правилам морского Регистра каждое морское судно должно иметь три привода, действующих независимо друг от друга на руль: основной, вспомогательный и аварийный. Рулевое устройство с поворотной насадкой должно иметь два привода: главный и вспомогательный.

- Мощность рулевой машины в основном рулевом приводе должна обеспечить перекладку руля с 35° одного борта, до 35° на другой борт не более чем за 28 секунд.
- Вспомогательный рулевой привод должен обеспечивать маневрирование судна с перекладкой полностью погруженного руля (насадки) с борта на борт при скорости переднего хода, равной $1/2$ максимальной скорости судна, но не менее 7 узлов; при этом время перекладки руля (насадки) с 15° одного борта на 15° другого борта не должно превышать 60 с.
- Конструкция приводов должна обеспечивать переход с основного рулевого привода на вспомогательный за время не более 2 мин.
- Рулевое устройство должно иметь тормоз или иное приспособление, обеспечивающее удержание руля в любом положении. На рулевом приводе должна быть шкала для определения действительного положения руля с ценой деления не более 1° .
- Рулевое устройство должно иметь ограничители поворота руля. Один из них при достижении максимального угла, не превышающего угол $\alpha = 36^\circ$, выключает рулевую машину.
- Если главный и вспомогательный приводы находятся в помещении, расположенном ниже ватерлинии, предусматривается аварийный привод, располагаемый выше палубы переборок. Этот привод должен обеспечивать перекладку руля при скорости переднего хода не менее 4 узлов.

Правила морского Регистра предписывают установку двух или более главных приводов на всех атомных судах, пассажирских, нефтеналивных и ряде других судов водоизмещением более 10 тыс. т. В этом случае установка вспомогательного привода не требуется. Практически два главных привода устанавливаются на большинстве судов морского плавания.