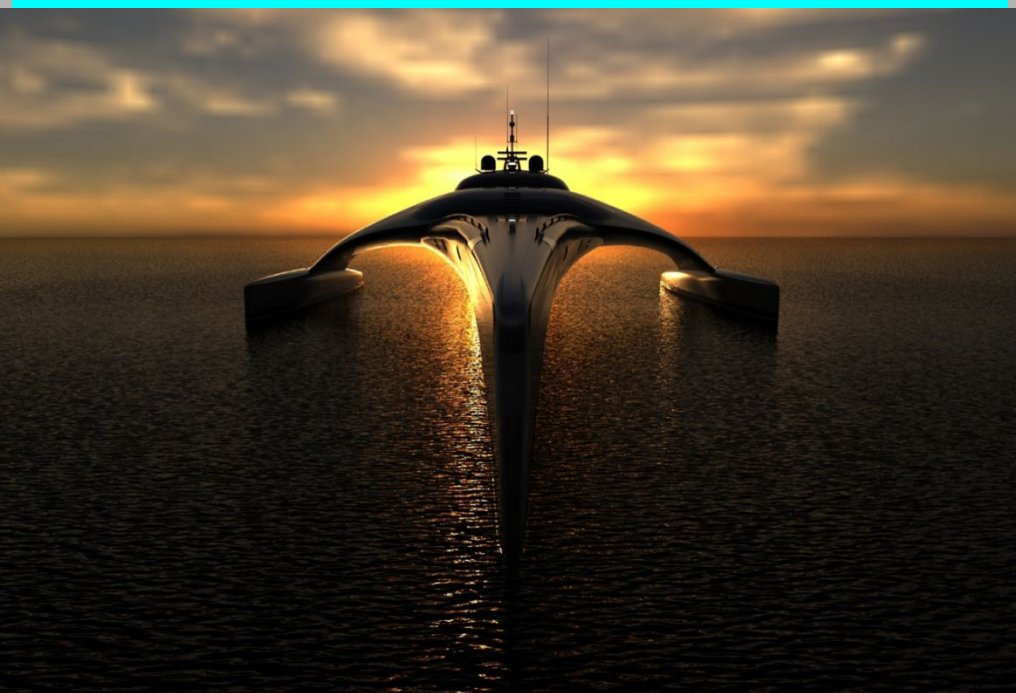


# Маневренность (Управляемость корабля)



## Maneuverability / Маневренность

***Маневренность судна – способность судна быстро изменять направление и скорость движения. Количественно оценивается максимально достижимой скоростью изменения указанных параметров движения.***



## ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

- **Маневрирование** – изменение направления движения судна и его скорости с помощью руля, движителей, подруливающих устройств и другого в целях обеспечения безопасности мореплавания или решения эксплуатационных задач (швартовка, постановка на якорь, проход узкостей и т.п.)
- **Маневренность** определяется такими качествами судна, как скорость, ходкость, управляемость, устойчивость на курсе и поворотливость, а также инерционными характеристиками судна.
- Маневренность судна не является постоянной. Изменение ее происходит под влиянием различных факторов (загрузки, крена, дифферента, ветра и т. д.), которые надлежит учитывать судоводителям при управлении судном.
- Под **ходкостью** понимается способность судна преодолевать сопротивление окружающей среды и перемещаться с требуемой скоростью при наименьшей затрате мощности главных машин.
- **Скорость** судна — одна из важнейших характеристик маневренных элементов судна. Скоростью судна считается та скорость, с которой оно перемещается относительно воды.
- **Управляемость** — способность судна двигаться по заданной траектории, т.е. удерживать заданное направление движения или изменять его под действием управляющих устройств. Главными управляющими устройствами на судне являются средства управления рулем, средства управления движителем, средства активного управления.
- Управляемость объединяет два свойства: устойчивость на курсе и поворотливость.
- **Устойчивость на курсе** — это способность судна сохранять направление прямолинейного движения.
- **Поворотливость** — способность судна изменять направление движения и описывать траекторию заданной кривизны.

**Устойчивость на курсе и поворотливость** находятся в противоречии друг с другом. Чем более устойчиво прямолинейное движение судна, тем труднее его повернуть, т.е. ухудшается поворотливость. Но с другой стороны, улучшение поворотливости судна затрудняет его движение в постоянном направлении: в этом случае удержание судна на курсе связано с напряженной работой рулевого или авторулевого и частой переключкой руля. При проектировании судов стремятся найти оптимальное сочетание **этих свойств.**

**Управляемость судна** в основном определяется взаимным расположением трех точек: центра тяжести (**ЦТ**), центра приложения всех сил сопротивления движению (**Р**) и центра приложения движущих сил. Если центр тяжести при определенном состоянии загрузки судна остается неподвижным, то центр приложения сил сопротивления не имеет постоянного местоположения. В зависимости от движения судна суммарный вектор сил сопротивления водной и воздушной сред изменяется, и точка его приложения к судну обычно перемещается вдоль диаметральной плоскости.

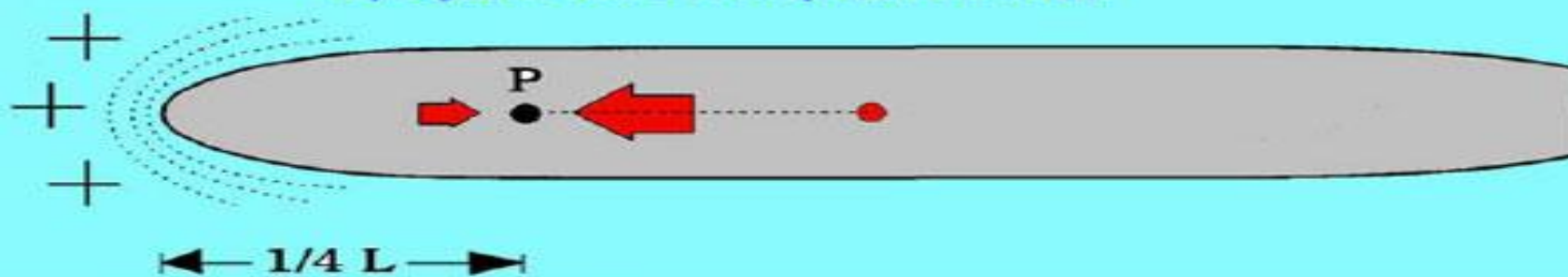
## Расположение центра сопротивления судна

При поворотах судно разворачивается вокруг вертикальной оси (центра вращения), проходящей через центр сил сопротивления (P).

а) Судно не имеет ход



б) Судно имеет передний ход



в) Судно имеет задний ход



## Силы и моменты, действующие на судно.

- Все силы, действующие на судно, разделяются на три группы:
  - движущие;
  - внешние;
  - реактивные.
- К *движущим* силам относятся силы, создаваемые средствами управления: тяга винта, боковая сила руля, силы, создаваемые средствами активного управления.
- К *внешним* силам относятся силы давления ветра, волнения моря, давления течения.
- К *реактивным* силам относятся силы, возникающие в результате движения судна под действием движущих и внешних сил. Они разделяются на *инерционные* — обусловленные инертностью судна и присоединенных масс воды и возникающие только при наличии ускорений. Направление действия инерционных сил всегда противоположно действующему ускорению. *Неинерционные* силы обусловлены вязкостью воды и воздуха и являются гидродинамическими и аэродинамическими силами.

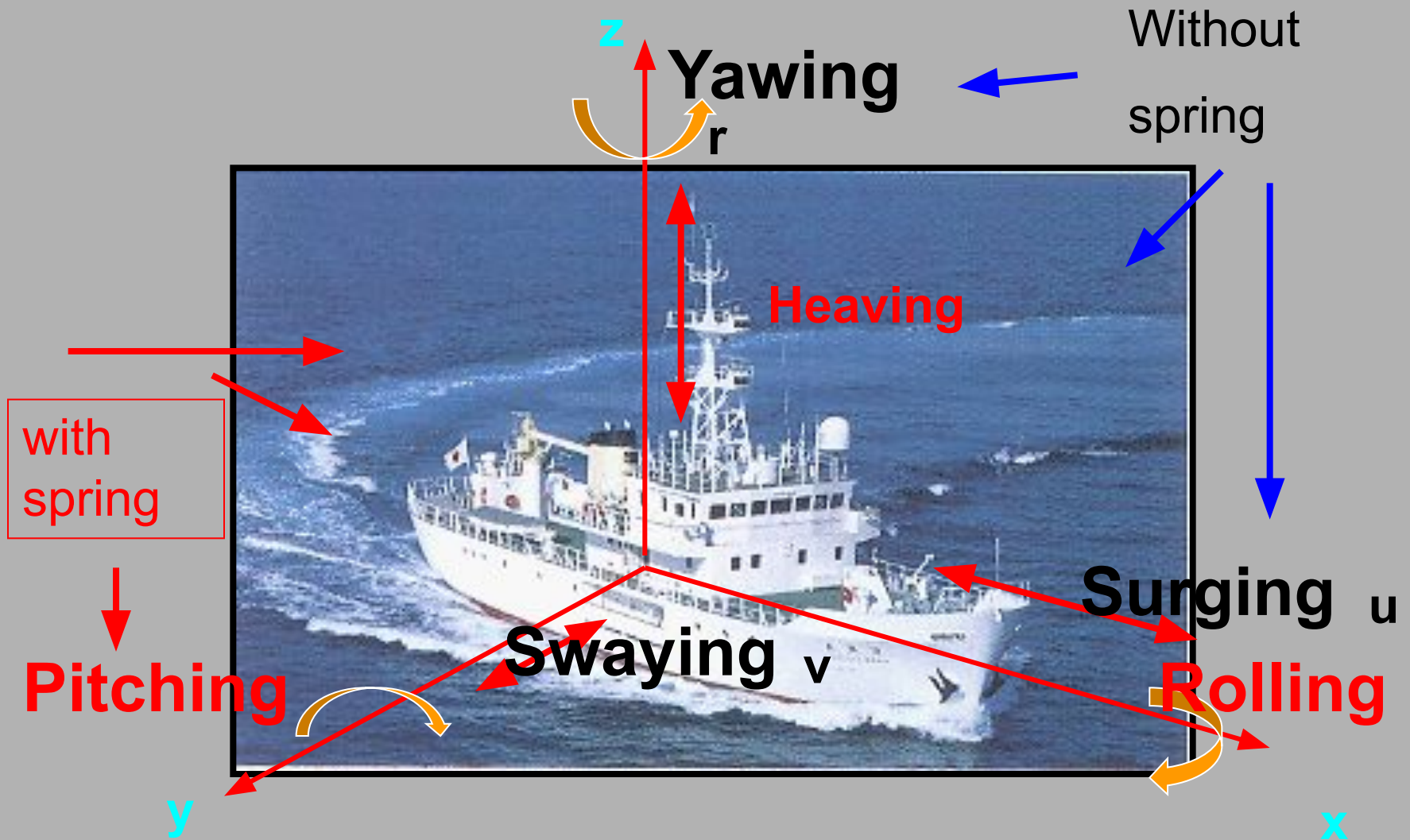
## Силы и моменты, действующие на судно.

- **Тяга винта и сопротивление движению судна.** Чтобы судно двигалось с определенной скоростью, к нему необходимо приложить движущую силу, преодолевающую сопротивление движению. Полезная мощность, необходимая для преодоления сопротивления, определяется формулой

$$N_n = RV,$$

- где  $R$  — сила сопротивления;  $V$  — скорость движения.
- **Движущая сила** создается работающим винтом, который, как и всякий механизм, часть энергии тратит непроизводительно.
- Отношение полезной мощности к затрачиваемой называется **пропульсивным коэффициентом** комплекса корпус - движитель. Пропульсивный коэффициент характеризует потребность судна в энергии, необходимой для поддержания заданной скорости движения.
- **Максимальная тяга** винта развивается в швартовном режиме (в случае, когда судно стоит на швартовых, а его машине дали полный передний ход). Эта сила примерно на 10 % больше тяги винта в режиме полного хода. Сила тяги винта при работе на задний ход для различных судов составляет примерно 70—80 % от тяги винта в режиме полного хода.

Повторим терминологию \ Names of Ship's Motion





## **Maneuverability / Маневренность**

**Если ЦТ располагается впереди центра сил сопротивления, то судно устойчиво на курсе и, наоборот, если ЦТ располагается позади центра сил сопротивления, то судно неустойчиво на курсе и более подвержено рысканию. Расположение центра приложения движущих сил зависит от режима работы двигателей, положения руля, воздействия ветра, течения и т. п. В зависимости от расположения указанных трех точек, при движении судна могут произойти сопутствующие явления: крен, дифферент, поперечное смещение.**

**В результате взаимодействия обтекающих масс воды и ветра на корпус, винт и руль даже при спокойном море и слабом ветре судно не остается постоянно на заданном курсе, а отклоняется от него.**

# Силы и моменты, действующие на судно.

По своей природе реактивные силы и моменты разделяются на инерционные и неинерционные.

Инерционные силы и моменты обусловлены инертностью судна и присоединенных масс жидкости. Эти силы возникают только при наличии ускорений — линейного, углового, центростремительного.

Инерционная сила всегда направлена в сторону, противоположную ускорению. При равномерном прямолинейном движении судна инерционные силы не возникают.

Неинерционные силы и их моменты обусловлены вязкостью забортной воды, следовательно, являются гидродинамическими силами и моментами. При рассмотрении задач управляемости обычно, как уже отмечалось в п. 1.1, используется связанная с судном подвижная система координат с началом в ц. т. Положительное направление осей:  $X$  — в нос;  $Y$  — в сторону правого борта;  $Z$  — вниз. Положительный отсчет углов принимается по часовой стрелке, однако, с оговорками в отношении угла перекаладки руля, угла дрейфа и курсового угла ветра.

# Уравнения движения судна

За положительное направление перекладки руля принимают перекладку, вызывающую циркуляцию по часовой стрелке, т. е. перекладку на правый борт (перо руля при этом разворачивается против часовой стрелки).

За положительный угол дрейфа принимается такой, при котором поток воды набегает со стороны левого борта и, следовательно, создает положительную поперечную гидродинамическую силу на корпусе. Такой угол дрейфа возникает на правой циркуляции судна.

Общий случай движения судна описывается системой из трех дифференциальных уравнений движения: двух уравнений сил — по продольной  $X$  и поперечной  $Y$  осям и уравнения моментов вокруг вертикальной оси  $Z$ .

# Уравнения движения судна

Эта система в несколько упрощенном варианте имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} (m + \lambda_{11}) \frac{dV_x}{dt} + (m + \lambda_{22}) V_y \omega &= -R_x - P_{px} + P_e - A_x \\ (m + \lambda_{22}) \frac{dV_y}{dt} + (m + \lambda_{11}) V_x \omega &= -R_y - P_{py} + A_y \\ (J + \lambda_{66}) \frac{d\omega}{dt} &= M_R + M_P + M_A \end{aligned} \right\}, \quad (1.1)$$

где  $m$  — масса судна;  
 $\lambda_{11}$  — присоединенная масса при движении по оси  $X$ ;  
 $\lambda_{22}$  — присоединенная масса при движении по оси  $Y$ ;  
 $V_x$  — проекция скорости судна на ось  $X$ ;  
 $V_y$  — проекция скорости судна на ось  $Y$ ;  
 $\omega$  — угловая скорость судна;  
 $J$  — момент инерции судна относительно оси  $Z$ ;  
 $\lambda_{66}$  — момент инерции присоединенных масс относительно оси  $Z$ ;

$R_x$  — продольная гидродинамическая сила на корпусе;  
 $R_y$  — поперечная гидродинамическая сила на корпусе;  
 $P_e$  — полезная сила упора гребного винта;  
 $P_{px}$  — продольная сила давления воды на руль;  
 $P_{py}$  — поперечная сила руля;  
 $A_x$  — продольная аэродинамическая сила;  
 $A_y$  — поперечная аэродинамическая сила;  
 $M_R$  — момент гидродинамической силы на корпусе;  
 $M_P$  — момент поперечной силы руля;  
 $M_A$  — момент аэродинамической силы.

В левых частях системы (1.1) стоят инерционные силы и моменты: в первых двух уравнениях — соответствующие проекции силы инерции и центробежной силы, а в третьем уравнении — инерционный момент относительно вертикальной оси. В правых частях стоят неинерционные силы и моменты, записанные в общем виде. Все неинерционные силы и моменты, входящие в систему (1.1), выражаются нелинейными зависимостями от поступательной и угловой скоростей, поэтому данная система не может быть проинтегрирована до конца при строгой постановке. Однако система в принципе может решаться численными методами с помощью ЭВМ для моделирования движения судна при маневрировании. Решение же в конечном виде возможно только для частных случаев движения и при некоторых упрощающих допущениях.

# Уравнения движения судна

Так, первое уравнение системы (1.1) характеризует движение судна по оси  $X$  при разгоне и торможении, поэтому его решения позволяют оценивать инерционно-тормозные характеристики судов. Решения второго уравнения, описывающего закономерности поперечного смещения, позволяют получить зависимости для дрейфа судна на циркуляции и под влиянием ветра. Третье уравнение, характеризующее угловое движение используется при оценке управляемости судов.

В последующих главах при более подробном рассмотрении указанных характеристик судов мы будем обращаться к соответствующим уравнениям системы (1.1).

## Устойчивость на курсе \ Directional Stability

*В результате взаимодействия обтекающих масс воды и ветра на корпус, винт и руль даже при спокойном море и слабом ветре судно не остается постоянно на заданном курсе, а отклоняется от него.*

*Отклонение судна от курса при прямом положении руля называется **рыскливостью**. Если ЦТ располагается впереди центра сил сопротивления, то судно устойчиво на курсе и, наоборот, если ЦТ располагается позади центра сил сопротивления, то судно неустойчиво на курсе и более подвержено рысканию. Расположение центра приложения движущих сил зависит от режима работы двигателей, положения руля, воздействия ветра, течения и т. п. В зависимости от расположения указанных трех точек, при движении судна могут произойти сопутствующие явления: крен, дифферент, поперечное смещение.*

# МАНЕВРЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДНА

- К основным маневренным характеристикам судна относятся:
  - **скорость судна при выполнении маневра;**
  - **элементы циркуляции;**
  - **путь и время торможения судна.**

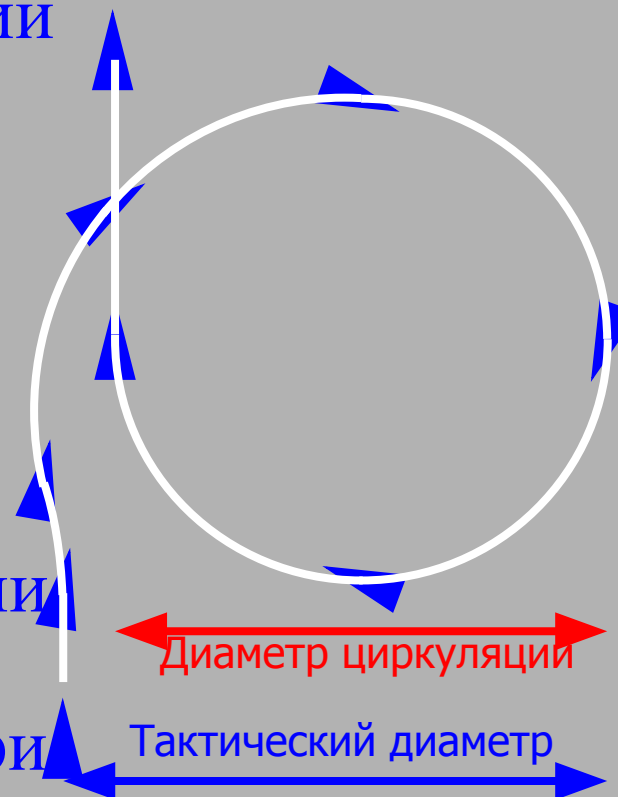
Эти характеристики определяются по результатам натуральных маневренных испытаний судна после его постройки (сдаточных испытаний). Для уточнения маневренных характеристик в процессе эксплуатации судна при различных внешних условиях, состоянии корпуса и видах загрузки периодически проводятся маневренные испытания силами экипажа.

За начало маневра циркуляции принимается момент начала перекладки руля, за начало торможения — момент передачи команды по машинному телеграфу. Окончанием маневра циркуляции является поворот на  $360^\circ$ , активного торможения — полная остановка судна, пассивного торможения — доклад рулевого о невозможности удержания судна на курсе.



# Поворотливость судна

- *Циркуляцией* называют траекторию, описываемую ЦТ судна, при движении с отклоненным на постоянный угол рулем. Циркуляция характеризуется линейной и угловой скоростями, радиусом кривизны и углом дрейфа. Угол между вектором линейной скорости судна и ДП называют *углом дрейфа*). Эти характеристики не остаются постоянными на протяжении всего маневра.
- Циркуляцию принято разбивать на три периода: **маневренный, эволюционный и установившийся**



# Поворотливость судна

- **Маневренный период** – период, в течение которого происходит перекладка руля на определенный угол. С момента начала перекладки руля судно начинает дрейфовать в сторону, противоположную перекладке руля, и одновременно начинает разворачиваться в сторону перекладки руля. В этот период траектория движения ЦТ судна из прямолинейной превращается в криволинейную с центром кривизны со стороны борта, противоположного стороне кладки руля; происходит падение скорости движения судна.

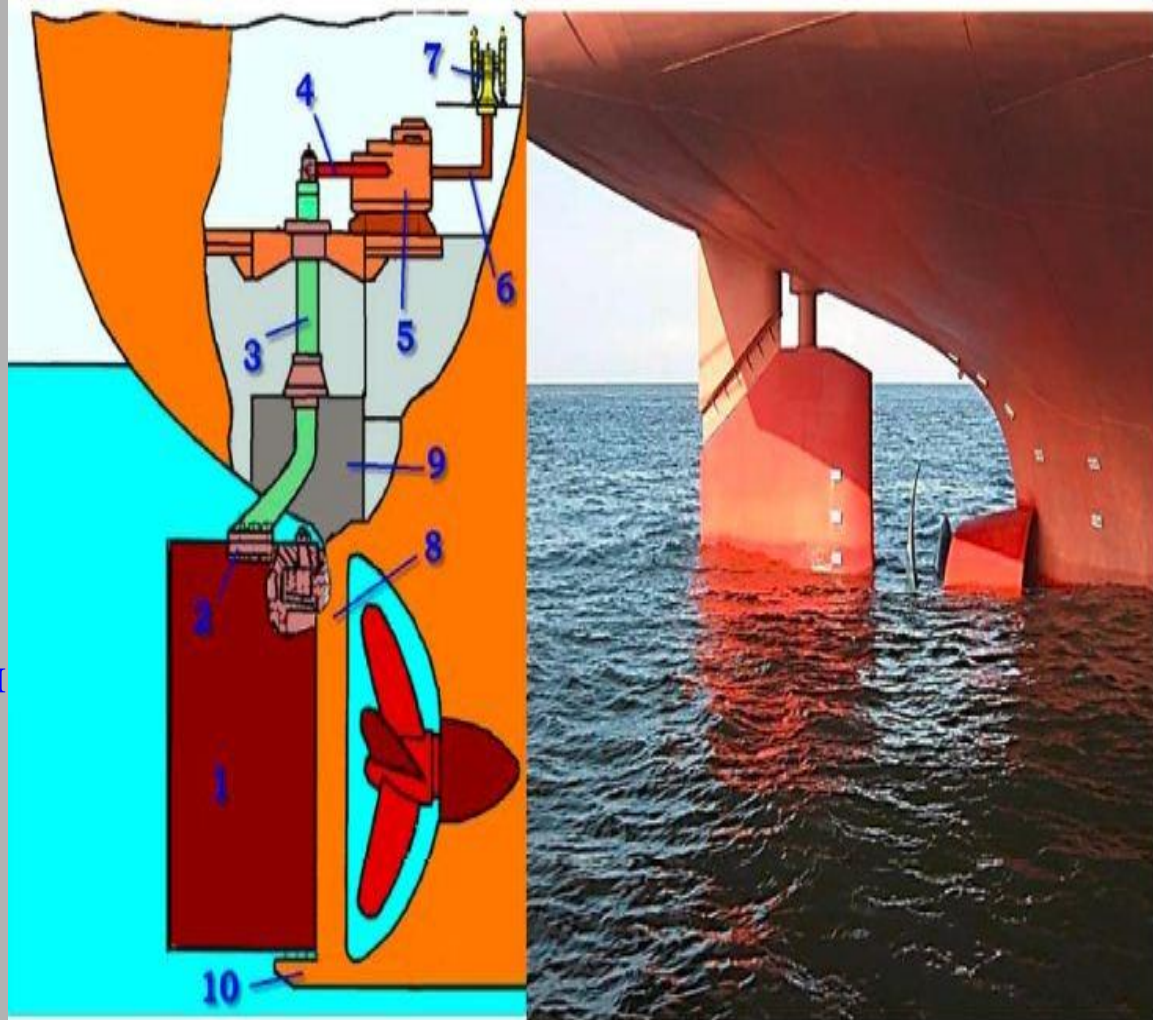
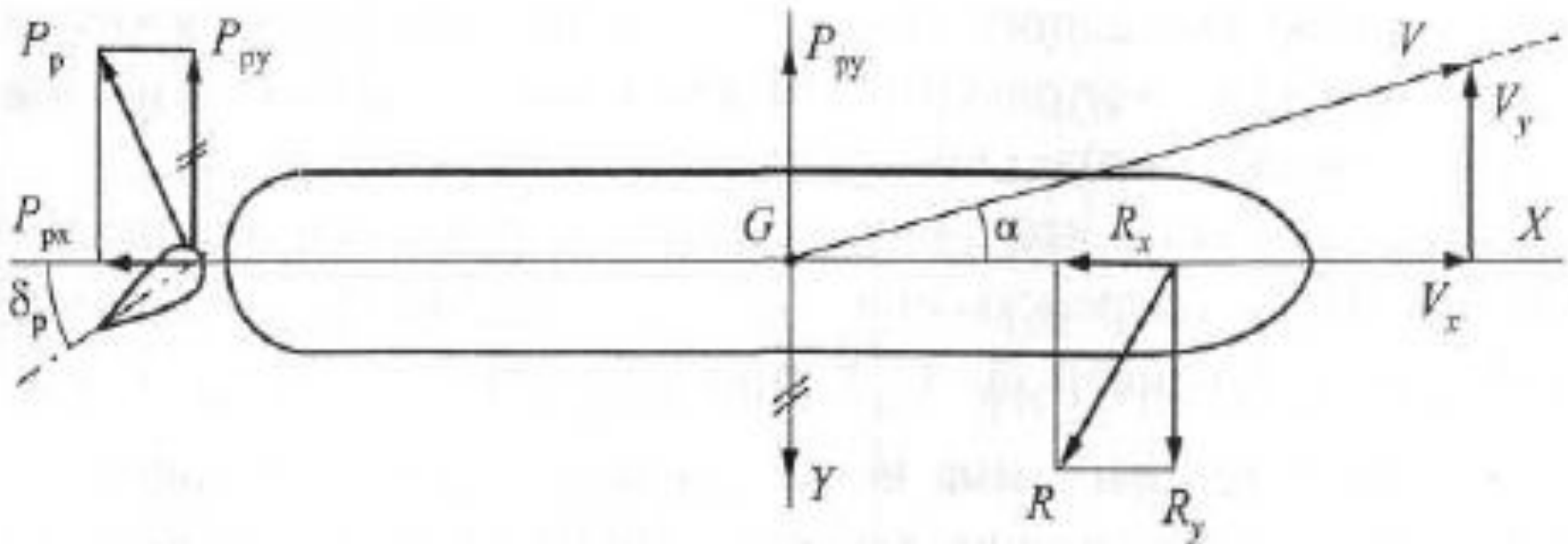


Рис. 6.1. Рулевое устройство

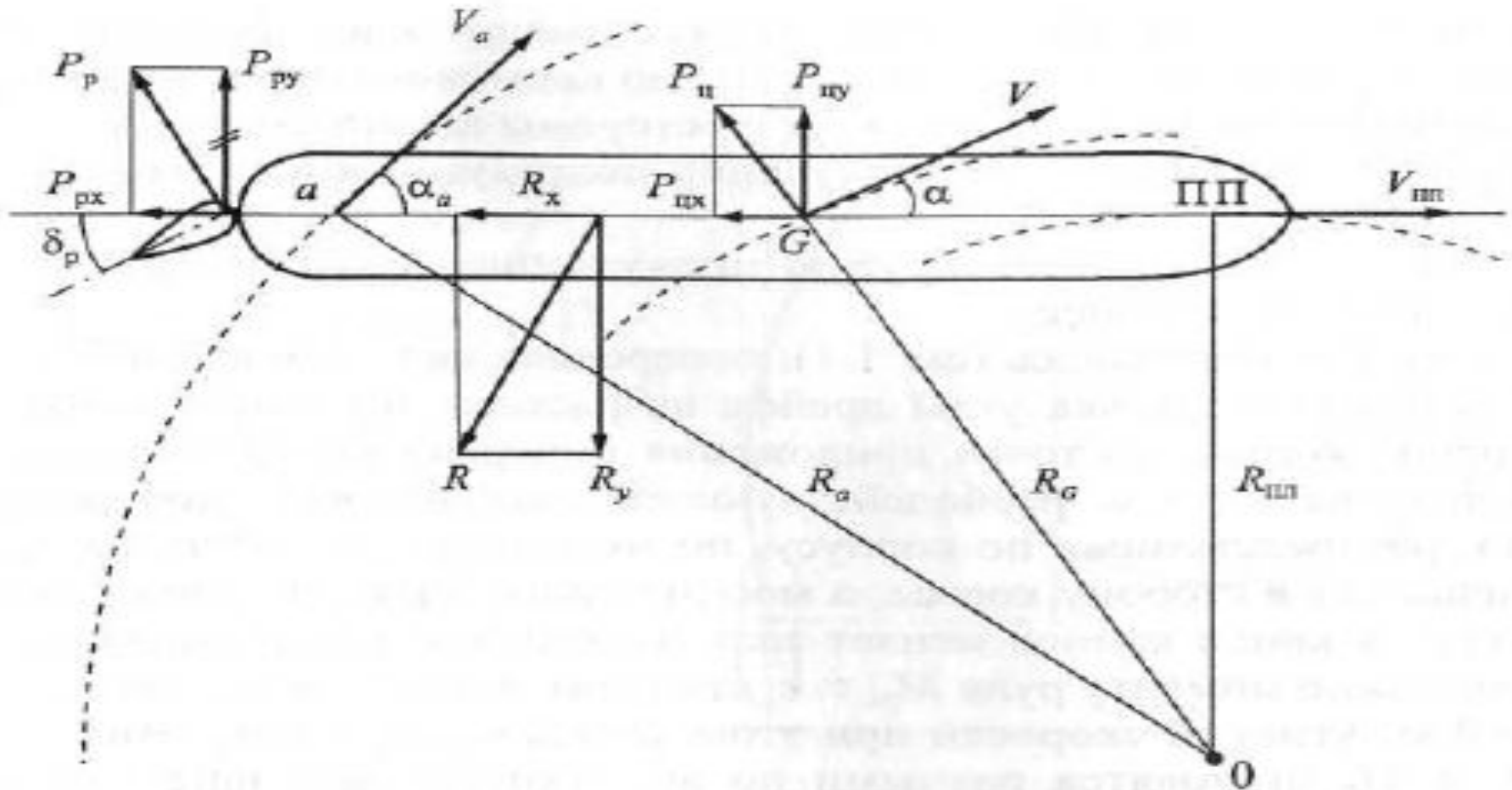
1 – перо руля; 2 – фланцевое соединение; 3 – баллер; 4 – рулевой привод; 5 – рулевая машина; 6 – рулевая передача; 7 – штурвал ручного управления; 8 – рудерпост; 9 – гельмпорт; 10 – пятка ахтерштевня

# ЦИРКУЛЯЦИЯ



Силы, действующие на судно с переложенным рулем в начальной стадии циркуляции

# ЦИРКУЛЯЦИЯ



1

Силы, действующие на судно при криволинейном движении на развитой стадии циркуляции

# Поворотливость судна

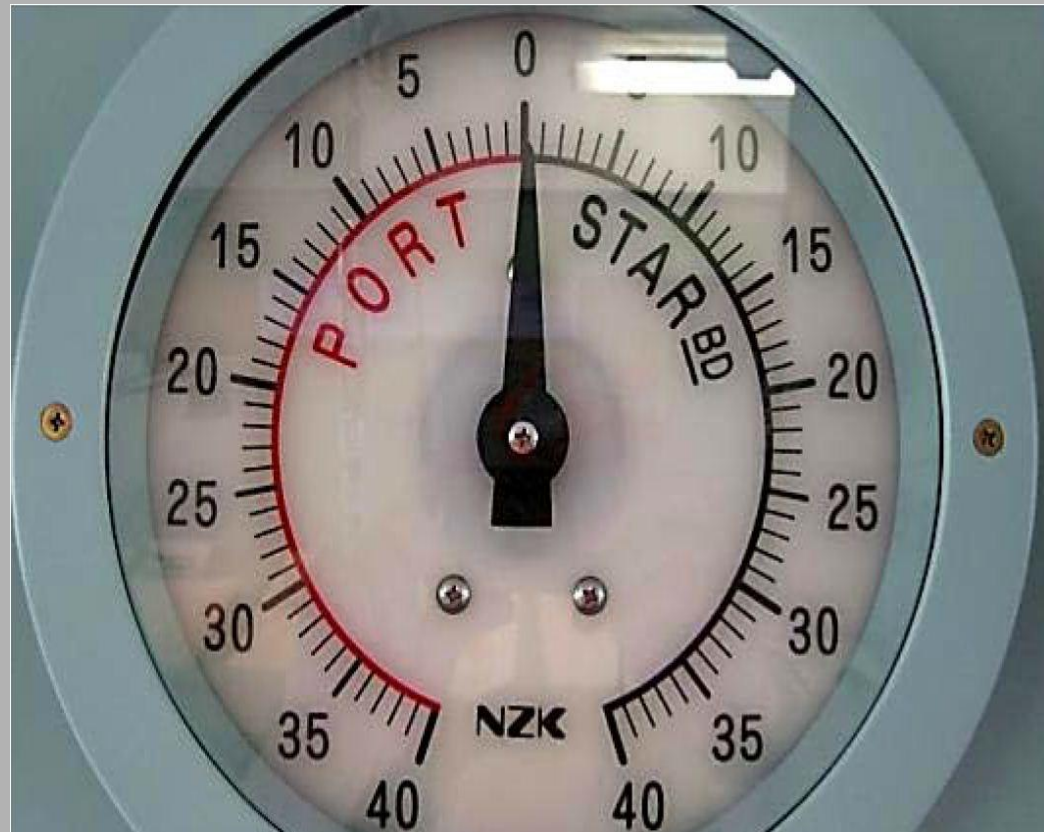
- **Эволюционный период** – период, начинающийся с момента окончания перекладки руля и продолжающийся до момента окончания изменения угла дрейфа, линейной и угловой скорости. Этот период характеризуется дальнейшим снижением скорости (до 30 – 50%), изменением крена на внешний борт и резким выносом кормы на внешнюю сторону.

два оборота штурвала - один градус поворота руля



# Поворотливость судна

- **Период установившийся циркуляции** – период, начинающийся по окончании эволюционного, характеризуется равновесием действующих на судно сил: упора винта, гидродинамических сил на руле и корпусе, центробежной силы. Траектория движения ЦТ судна превращается в траекторию правильной окружности или близкой к ней.

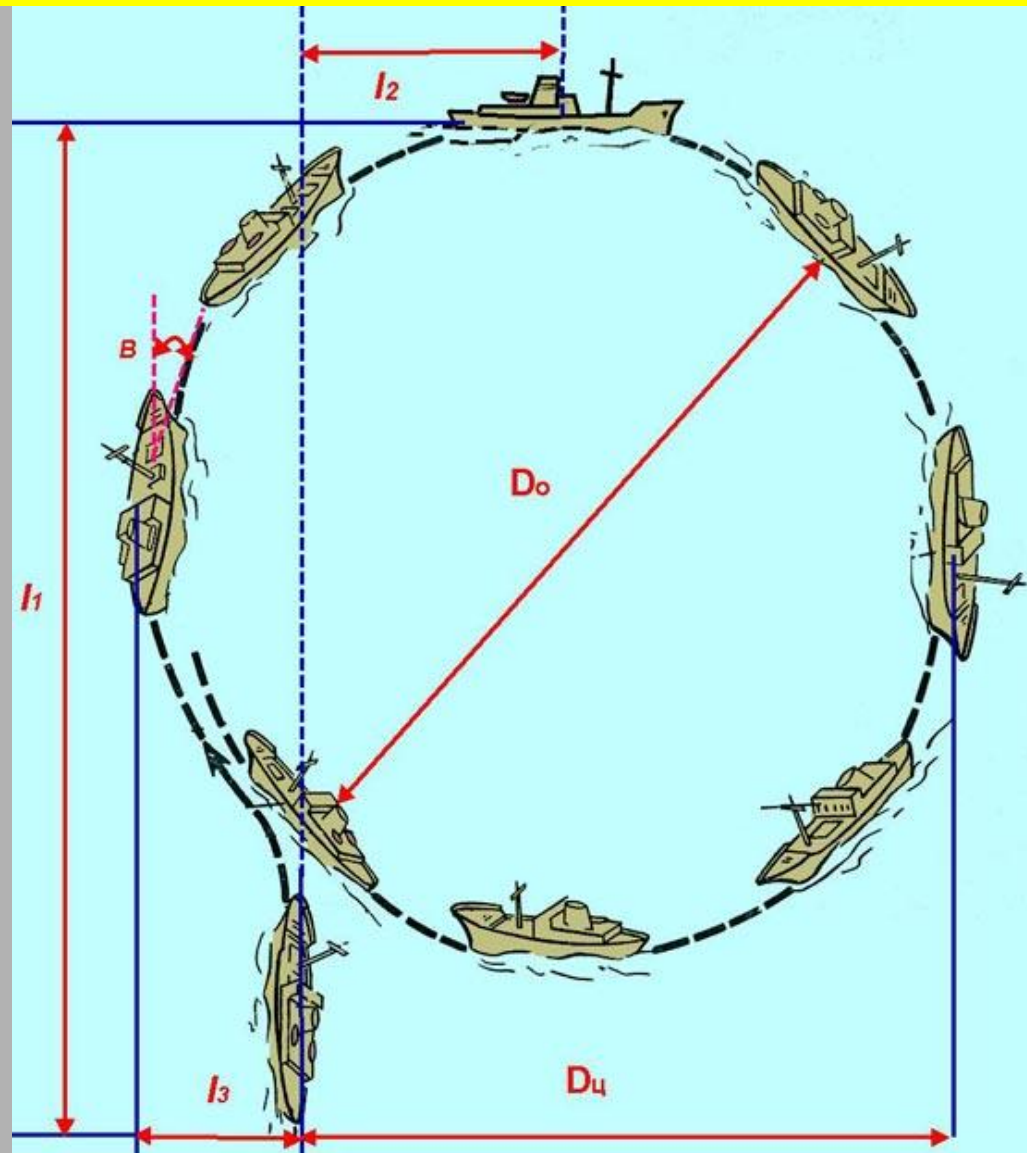


*Индикатор аксиометра – прибора, указывающего положение пера руля относительно ДП судна*

# Траектория судна на циркуляции

**$D_0$**  – диаметр установившейся циркуляции – расстояние между диаметрально противоположными плоскостями судна на двух последовательных курсах, отличающихся на  $180^\circ$  при установившемся движении;

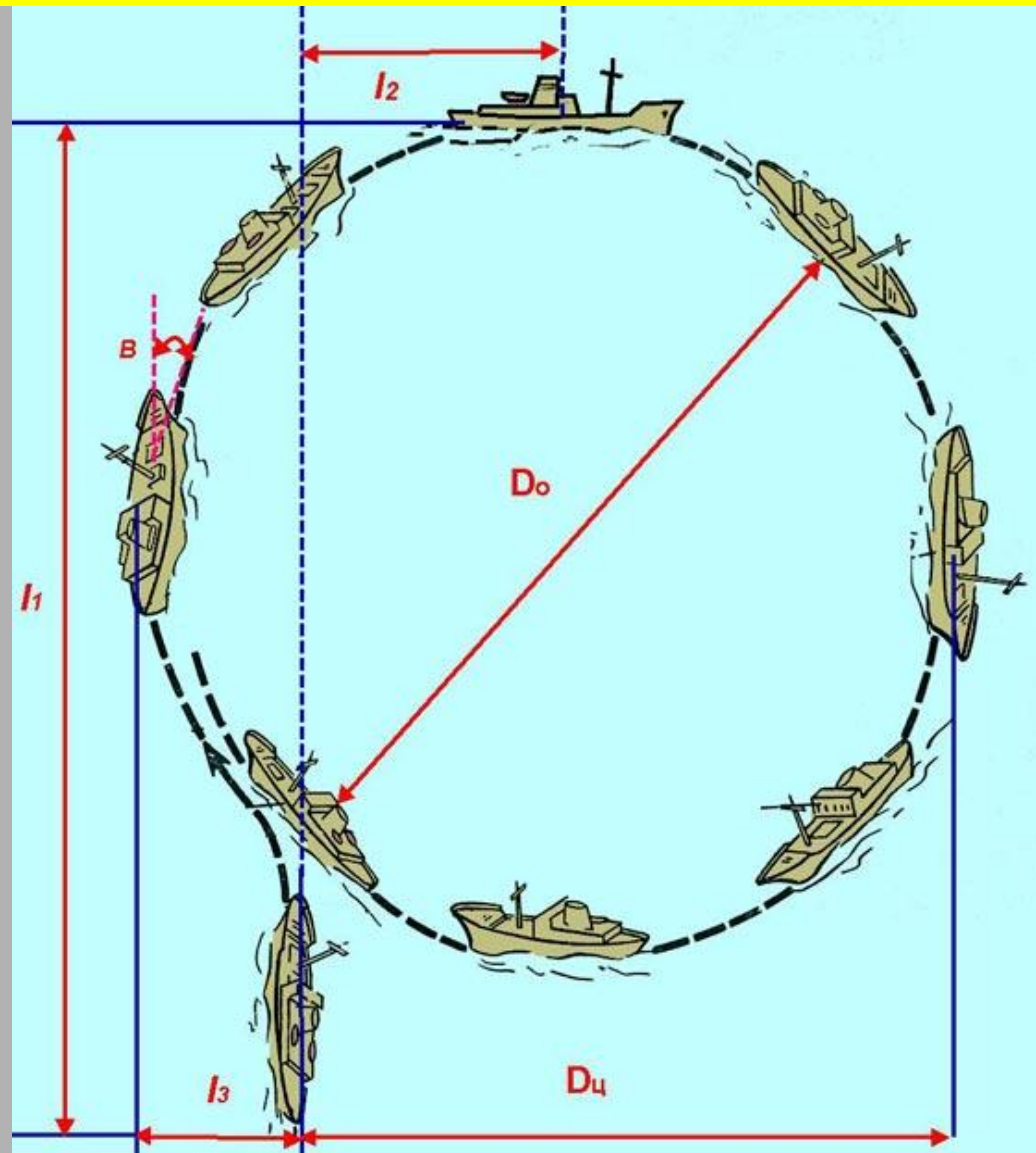
**$D_{ц}$**  – тактический диаметр циркуляции – расстояние между положениями ДП судна до начала поворота и в момент изменения курса на  $180^\circ$ ;



# Траектория судна на циркуляции

**$l_1$**  – *выдвиг* – расстояние между положениями ЦТ судна перед выходом на циркуляцию до точки циркуляции, в которой курс судна изменяется на  $90^\circ$ ;

**$l_2$**  – *прямое смещение* – расстояние от первоначального положения ЦТ судна до положения его после поворота на  $90^\circ$ , измеренное по нормали к первоначальному направлению движения судна;

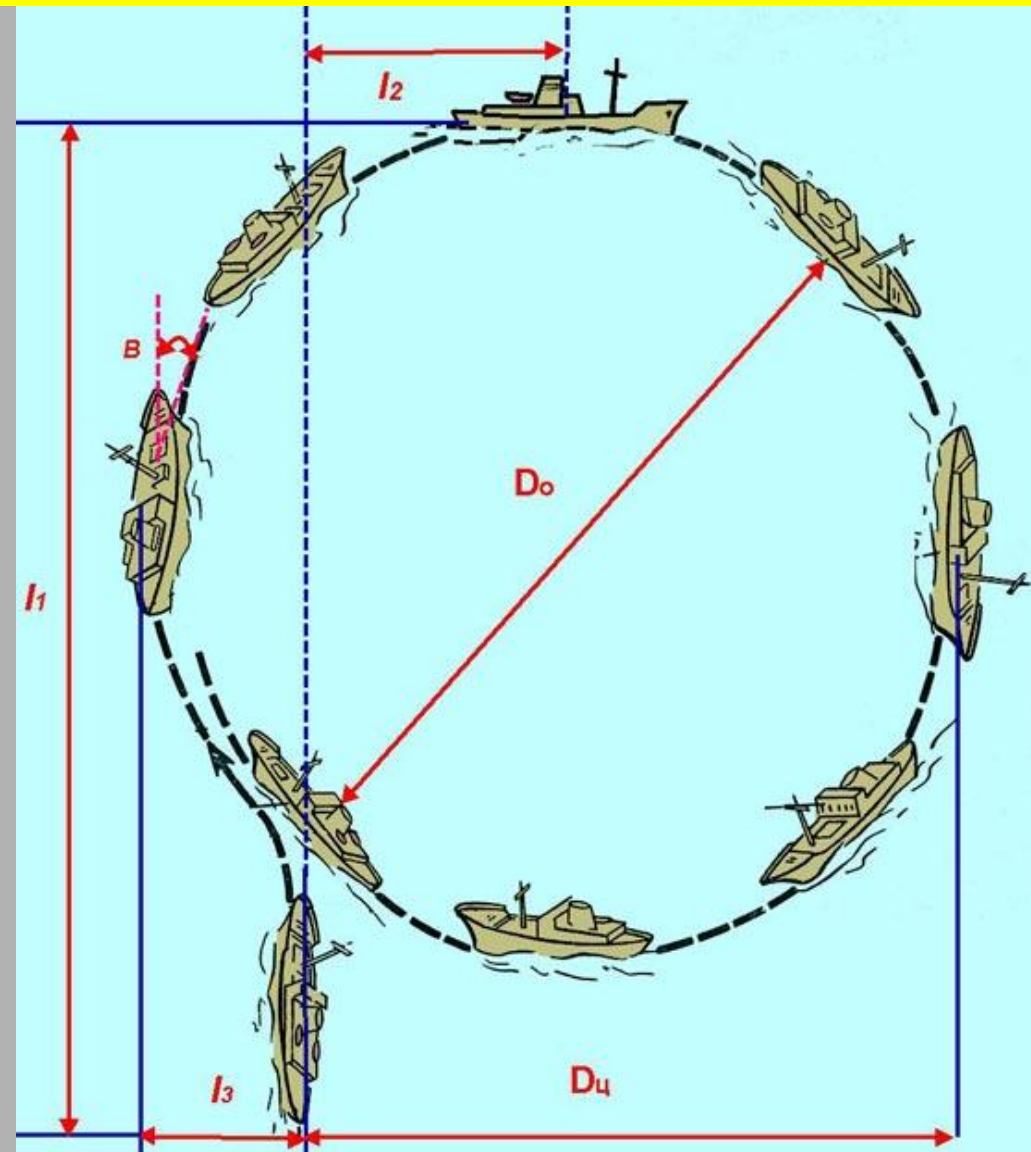




# Траектория судна на циркуляции

**$l_3$**  – *обратное смещение* – наибольшее смещение ЦТ судна в результате дрейфа в направлении, обратном стороне перекладки руля (обратное смещение обычно не превышает ширины судна  $B$ , а на некоторых судах отсутствует совсем);

**$T_{ц}$**  – *период циркуляции* – время поворота судна на  $360^\circ$ .



# Траектория судна на циркуляции

- Перечисленные выше характеристики циркуляции у морских транспортных судов среднего тоннажа при полной перекладке руля на борт можно выразить в долях длины судна и через диаметр установившейся циркуляции следующими соотношениями:
- $D_0 = (3 \div 6)L$ ;  $D_{ц} = (0,9 \div 1,2)D_0$ ;  $l_1 = (0,6 \div 1,2)D_0$ ;
- $l_2 = (0,5 \div 0,6)D_0$ ;  $l_3 = (0,05 \div 0,1)D_0$ ;  $T_{ц} = \pi D_0 / V_{ц}$ .
- Обычно величины  $D_0$ ;  $D_{ц}$ ;  $l_1$ ;  $l_2$ ;  $l_3$  выражаются в относительном виде (делят на длину судна  $L$ ) – легче сравнивать поворотливость различных судов. Чем меньше безразмерное отношение, тем лучше поворотливость.
- Скорость на циркуляции для крупнотоннажных судов снижается с перекладкой руля на борт на 30%, а при повороте на  $180^\circ$  – вдвое.

# Влияние различных факторов на поворотливость судна

## Конструктивные факторы

**Отношение длины к ширине судна ( $L/B$ ).** Чем больше это отношение, тем хуже поворотливость судна. Это связано с относительным увеличением сил сопротивления боковому перемещению судна. Поэтому широкие и короткие суда обладают лучшей поворотливостью, чем длинные и узкие.

**Отношение осадки к длине судна ( $T/L$ ).** При увеличении отношения поворотливость судна несколько ухудшается, т. е. судно в полном грузу будет обладать худшей поворотливостью, чем в балласте.

**Отношение ширины к осадке ( $B/T$ ).** Рост этого отношения приводит к существенному улучшению поворотливости. Суда широкие и мелкосидящие более поворотливы, чем суда с большой осадкой и узкие.

**Коэффициент общей полноты ( $\delta$ ).** С увеличением коэффициента  $\delta$  поворотливость улучшается, т. е. чем полнее обводы судна, тем лучше его поворотливость.

**Форма кормы (площадь кормового дейдвуда и полнота кормы).** Особенно сильное влияние на поворотливость судна оказывает площадь кормового дейдвуда. Поэтому даже небольшое ее увеличение приводит к резкому возрастанию диаметра циркуляции при всех углах перекадки руля. Увеличение полноты кормы способствует улучшению поворотливости судна.

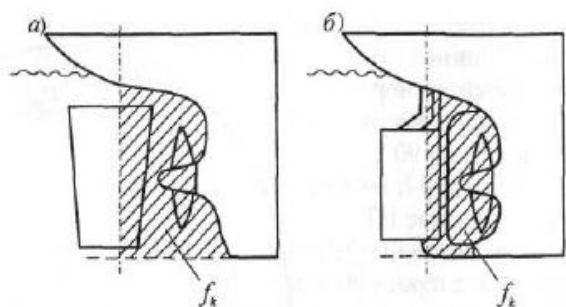


Рис. 1.8. К определению площади кормового подреза:

- а) корма с подвесным или полуподвесным рулем;
- б) корма с рулем расположенным за рудерпостом

Площадь  $f_k$  (рис. 1.8) ограничивается кормовым перпендикуляром, линией киля (базовой линией) и контуром кормы (на рис. 1.8 заштрихована). В качестве критерия подреза кормы можно использовать коэффициент  $\sigma_k$ :

$$\sigma_k = 1 - \frac{f_k}{Ld}, \quad (1.6)$$

где  $d$  — средняя осадка, м.

Параметр  $\sigma_k$  является коэффициентом полноты площади ДП.

Форма носовых образований судна значительно меньше влияет на поворотливость, чем форма кормы. Как правило, влияние формы носа проявляется только при наличии значительного носового подзора (например, у ледоколов), что обуславливает некоторое возрастание диаметра циркуляции судна.

**Размеры и конфигурация руля.** Увеличение площади руля, так же как и другие изменения формы руля, оказывает двойное влияние на поворотливость. Практические расчеты показывают, что увеличение площади руля ведет к уменьшению диаметра циркуляции при больших углах перекладки руля и к увеличению его при малых углах перекладки.

**Размещение руля.** Размещение руля относительно винтов значительно влияет на поворотливость судна. Расположение руля в винтовой струе благодаря увеличению скорости его обтекания способствует росту эффективности руля и отражается на поворотливости судна так же, как увеличение площади руля. Влияние винтовой струи сказывается тем больше, чем большая площадь руля попадает в поток от винта. При перекладке руля более чем на  $45^\circ$  эффективность его действия на поворотливость судна резко уменьшается (рис.).

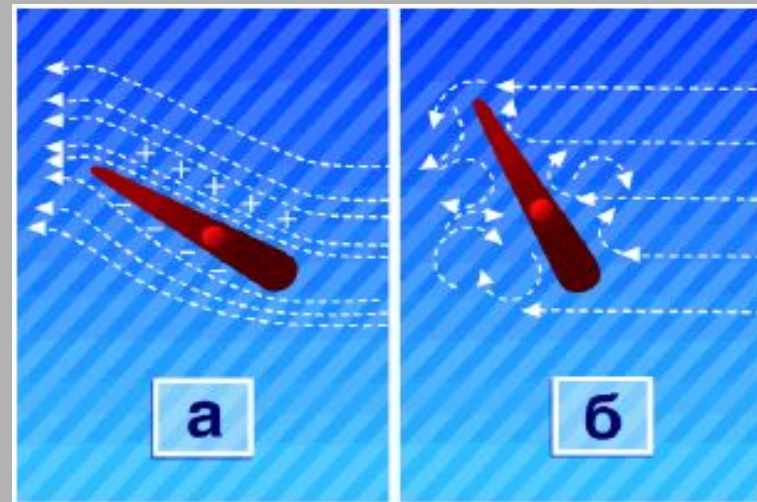


Рис.. Влияние угла перекладки руля на поворотливость судна:  
а – угол перекладки до  $45^\circ$ , б – угол перекладки более  $45^\circ$

# Инерционные свойства судна

*Путь и время маневра, связанного с неравномерным движением, называют инерционными характеристиками судна.*

Инерционные характеристики определяются *временем, дистанцией*, проходимой судном за это время и *скоростью хода* через фиксированные промежутки времени и включают в себя следующие маневры:

- движение судна по инерции – свободное торможение;
- разгон судна до заданной скорости;
- активное торможение;
- подтормаживание.

# Инерционные свойства судна

- **Инерция судна и присоединенных масс воды.**
- Равенство сил сопротивления среды движению судна и тяги винта определяет равномерное поступательное движение судна. При изменении частоты вращения винта это равенство сил нарушается. С увеличением тяги скорость судна возрастает, с уменьшением - падает. Изменение скорости происходит продолжительное время, до тех пор, пока не будет преодолена инерция судна и силы тяги винта и сопротивления не уравниются вновь. Мерой инерции является масса. Однако инерция судна, движущегося в водной среде, зависит не только от массы самого судна. Корпус судна вовлекает в движение прилегающие к нему частицы воды, на что тратится дополнительная энергия. В результате, чтобы придать судну некоторую скорость потребуется более длительная работа силовой установки. При торможении необходимо погасить не только кинетическую энергию, накопленную судном, но и энергию вовлеченных в движение частиц воды. Такое взаимодействие частиц воды с корпусом аналогично увеличению массы судна. Эта добавочная масса (присоединенная масса воды) у транспортных судов составляет от 5 до 10 % от их водоизмещения при продольном движении судна и примерно 80% от водоизмещения при поперечном перемещении.

## Силы, действующие на судно при прямолинейном движении

При отсутствии ветра и прямом положении руля первое дифференциальное уравнение движения судна можно представить в виде:

$$M_x \frac{dV}{dt} = -R \pm P_e$$

где  $M_x$  - масса судна с учетом присоединенной массы воды.

Равномерное движение: ускорений нет, поэтому инерционная сила  $M_x dV/dt=0$ . На судно действуют две равные и противоположно направленные силы: сила сопротивления воды и сила тяги винта.

При изменении силы тяги винта нарушается равенство сил тяги винта и сопротивления движения судна; это вызывает появление инерционных сил, появляется ускорение и судно начинает двигаться ускоренно или замедленно. Инерционные силы направлены против ускорения, т.е. препятствуют изменению скорости движения.

**При увеличении силы тяги** на судно действует 3 силы:

сила тяги винта - вперед, сила сопротивления - назад, сила инерции - назад.

**При уменьшении силы тяги** : сила тяги - вперед; сила сопротивления - назад; сила инерции - вперед

**При маневре стоп**: сила сопротивления - назад; сила инерции - вперед;

**При реверсе**: а) до остановки судна: сила сопротивления - назад; сила тяги - назад; сила инерции – вперед.

б) после остановки и начале движения назад: сила сопротивления - вперед; сила тяги - назад; сила инерции - вперед.

**Примечание:** вперед - направление к носу судна; назад - направление к корме судна

## ИЗМЕНЕНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ СУДНА

Для изменения скорости движения судна приходится изменять частоту вращения винта (винтов), а иногда и изменять направление вращения, т. е. выполнять реверсирование. Способ выполнения этих операции зависит от типа пропульсивного комплекса двигатель — движитель.

Наибольшее распространение на морских судах в качестве главных двигателей имеют: двигатели внутреннего сгорания (ДВС), турбозубчатые агрегаты (ТЗА) и гребные электродвигатели (ГЭД). В качестве движителей используются ВФШ и ВРШ, образующие пропульсивные комплексы: ДВС-ВФШ, ТЗА-ВФШ, ГЭД-ВФШ, а также любой двигатель-ВРШ.



## РЕВЕРСИРОВАНИЕ ДВС-ВФШ

**Реверсирование ДВС-ВФШ.** Если на теплоходе установлен ДВС, напрямую связанный с гребным валом, то чтобы выполнить реверс, сначала закрывается подача топлива на ДВС. Затем, когда обороты снизятся, из пусковых баллонов в цилиндры подается воздух, проворачивающий двигатель в обратном направлении, после этого впрыскивается топливо, которое в результате сжатия воспламеняется и происходит запуск двигателя на топливе.

На большинстве теплоходов характерен замедленный реверс при торможении с полного переднего хода. Это объясняется тем, что давление контрвоздуха, подаваемого при реверсе в цилиндры, оказывается недостаточным для преодоления момента, приложенного к винту со стороны набегающего потока воды. Для большинства ДВС уверенный реверс возможен лишь тогда, когда обороты переднего хода вращающегося в турбинном режиме винта (после прекращения подачи топлива) снизятся до значения 25–35 % от оборотов полного переднего хода, что соответствует снижению скорости судна примерно до значения 60–70 % от скорости полного переднего хода. При этом судно длительное время движется по инерции и успевает пройти значительный путь, нередко намного превышающий путь, проходимый судном после запуска двигателя на задний ход.

## РЕВЕРСИРОВАНИЕ ТЗА-ВФШ

**Реверсирование ТЗА-ВФШ.** На турбоходах при торможении используется турбина заднего хода, мощность которой составляет примерно 50 % мощности турбины переднего хода (обе турбины имеют общий вал). Для выполнения реверса с помощью маневрового клапана перекрывается пар на сопла турбины переднего хода и открывается на сопла заднего хода.

Необходимо учитывать, что ротор турбины вращается с частотой порядка нескольких тысяч оборотов в минуту, поэтому его остановка с помощью контрпара, подаваемого на лопатки турбины заднего хода, не может быть выполнена мгновенно. Тем не менее реверс турбины с полного переднего хода выполняется значительно быстрее, чем на теплоходах, обычно не более чем за 1 мин, но упор винта на заднем ходу сравнительно невелик. Благодаря указанным свойствам тормозные пути турбоходов при торможении с полного переднего хода обычно бывают того же порядка, что и на теплоходах при прочих равных условиях. Однако при малых начальных скоростях тормозные характеристики турбоходов из-за малой мощности турбины заднего хода значительно хуже, чем у теплоходов.

## РЕВЕРСИРОВАНИЕ ГЭД-ВФШ

Реверсирование ГЭД-ВФШ. Существуют различные типы электроприводов на постоянном и переменном токе. Судовые энергетические установки электроходов обычно состоят из нескольких дизель- или турбогенераторов, питающих гребные электродвигатели, что позволяет оперативно варьировать мощностями в зависимости от конкретных условий работы судна. Особенно удобны электроприводы на многовинтовых ледоколах и других судах специального назначения, условия работы которых изменяются в широких пределах.

Реверсирование электродвигателей осуществляется коммутацией питающего напряжения. Тормозные характеристики электроходов обычно несколько лучше, чем теплоходов.

## РЕВЕРСИРОВАНИЕ ВРШ

**Реверсирование ВРШ.** Изменение направления упора ВРШ происходит в результате поворота лопастей винта без изменения направления вращения двигателя и без снижения частоты вращения.

Эффективность ВРШ при торможении существенно зависит от скорости срабатывания привода поворота лопастей. Механизмы поворота лопастей современных ВРШ, управляемые с мостика, позволяют изменить шаг винта с полного переднего на полный задний ход за 5–10 с, что обеспечивает резкое уменьшение тормозного пути. Суда с такими приводами обладают наилучшими реверсивными характеристиками.

Винт в направляющей насадке по сравнению с аналогичным винтом без насадки при одинаковой частоте вращения создает силу упора при торможении приблизительно на 15 % меньше.

## ТОРМОЖЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ ЯКОРЕЙ

Торможение с использованием якорей, протаскиваемых по грунту. Если движение судна происходит в районе с небольшими глубинами (подходы к портам, фарватеры, каналы и т. п.), то в случае возникновения аварийной ситуации, требующей экстренного торможения, наряду с реверсированием двигателя на полный задний ход могут быть использованы для сокращения тормозного пути судовые якоря. В этом случае одновременно с командой о реверсировании двигателя подается команда об отдаче якоря или обоих якорей с указанием количества смычек, которое должно быть вытравлено в воду, после чего задержано ленточным стопором.

Дополнительный эффект от использования якорей при торможении зависит от их держащей силы, которая в свою очередь зависит от веса якоря, характера грунта и длины вытравленной якорной цепи.

## ТОРМОЖЕНИЕ СУДНА

**Торможение судна.** Тормозные характеристики судна, под которыми подразумеваются время и путь торможения в зависимости от начальной скорости, имеют важное значение для обеспечения безопасности мореплавания.

Торможение бывает пассивным и активным.

Пассивное торможение выполняется при остановленном двигателе только за счет сопротивления воды.

Активное торможение обеспечивается за счет реверсирования главного двигателя, после чего создается сила упора винта назад.

Реверс главного двигателя не может быть выполнен мгновенно, поэтому активному торможению всегда предшествует участок пассивного.

В общем случае процесс торможения принято делить на три периода.

## ТОРМОЖЕНИЕ СУДНА

Первый период — прохождение команды продолжается от момента подачи команды по машинному телеграфу до момента закрытия топлива на ДВС, пара на ТЗА или выключения питания ГЭД. Первый период длится недолго, примерно 5 с.

Второй период — пассивное торможение длится с момента прекращения подачи топлива (пара) на двигатель до момента реверса.

Третий период — активное торможение длится с момента реверса до момента полной остановки судна или снижения скорости до какого-то заданного значения.

Полное время  $T$  и полный тормозной путь  $S$  определяются как суммы соответствующих элементов по трем периодам:

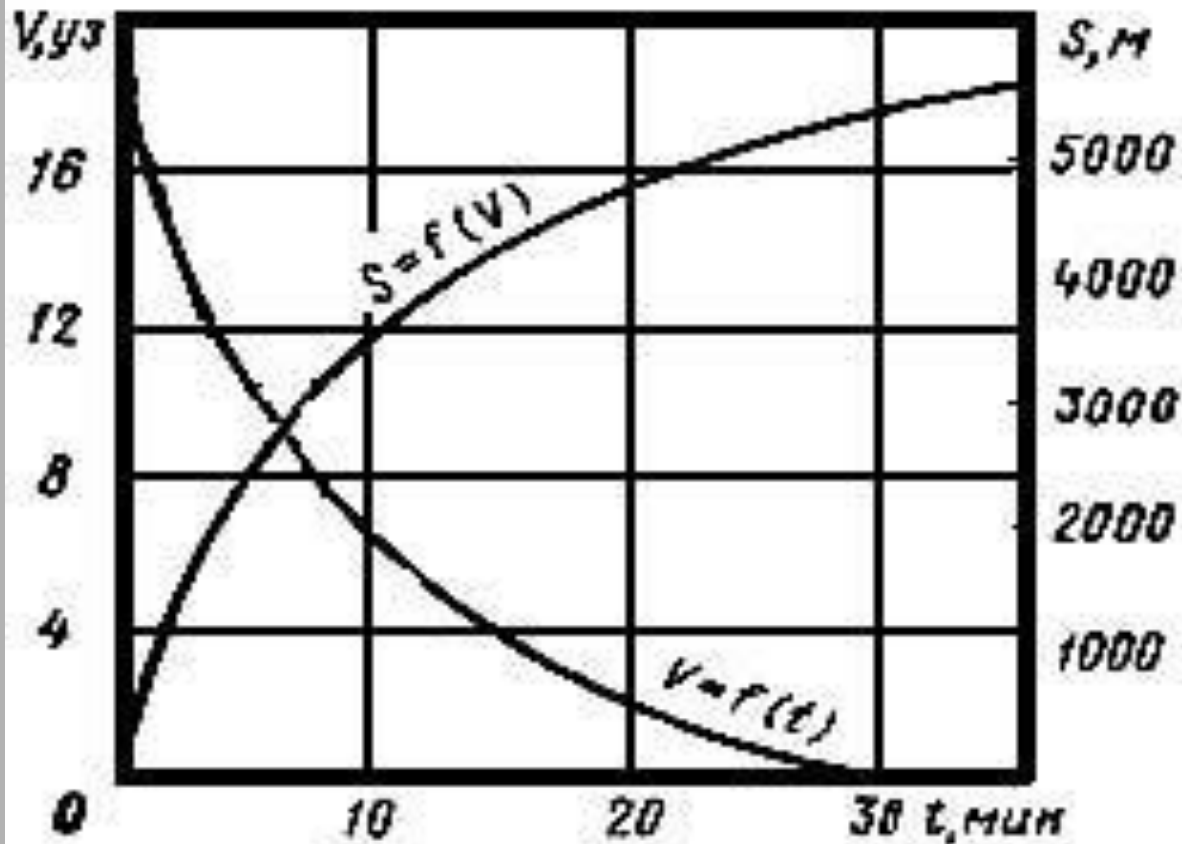
$$\left. \begin{aligned} T &= t^I + t^{II} + t^{III} \\ S &= s^I + s^{II} + s^{III} \end{aligned} \right\}, \quad (2.16)$$

где римскими цифрами в индексах указаны периоды торможения.

На судах с ВРШ началом третьего периода можно считать момент прохождения лопастями нулевого положения.

# Свободное (Пассивное) торможение

- Двигатель работает до момента прекращения подачи топлива в цилиндры, затем двигатель останавливается, а винт продолжает вращаться (свободное вращение), оказывая дополнительное сопротивление движению судна.

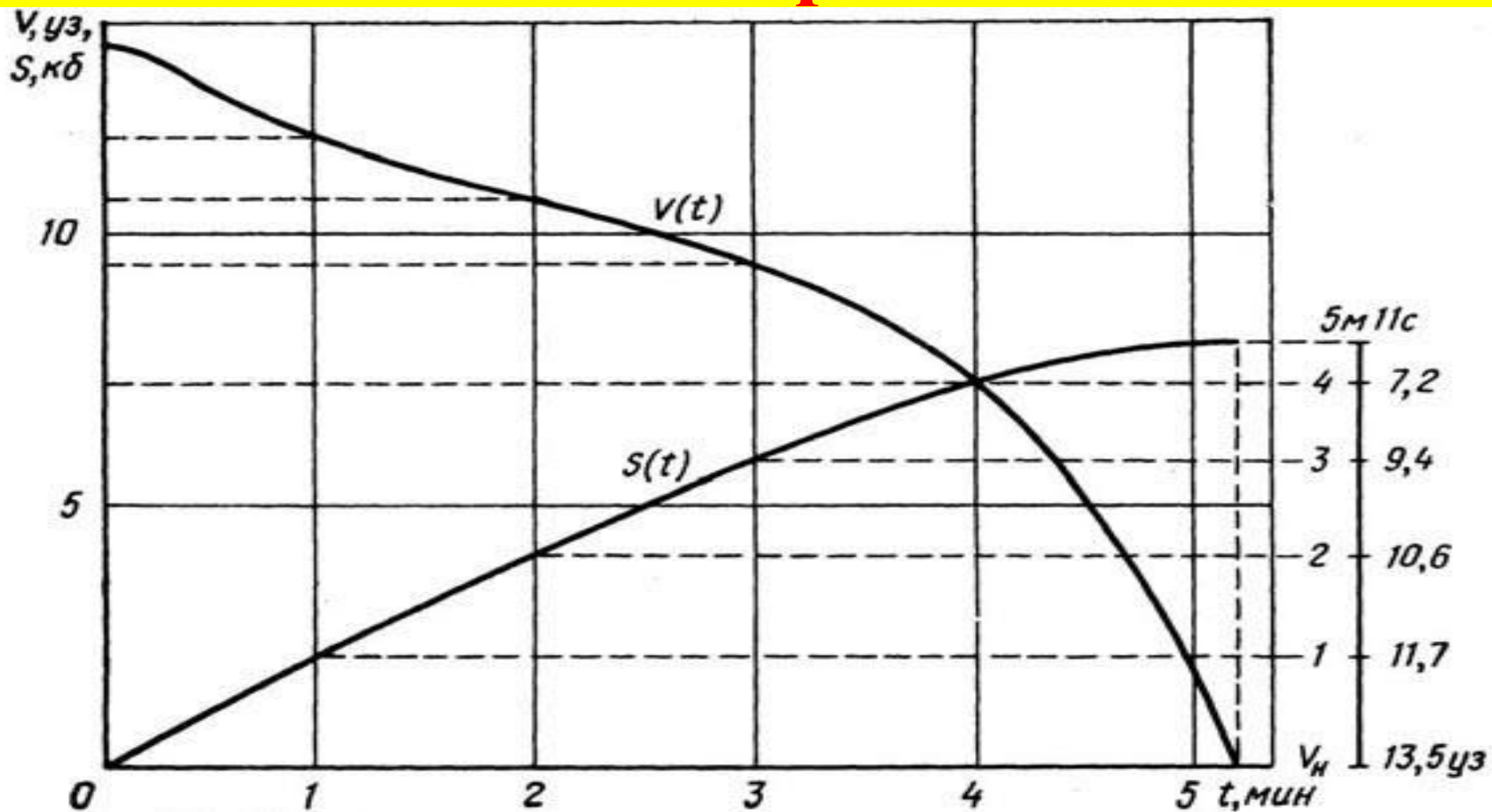


Инерционные характеристики судна при пассивном торможении



- **Активное торможение** – это торможение при помощи реверсирования двигателя. Первоначально телеграф устанавливают в положение «Стоп», и только после того, как обороты двигателя упадут на 40–50%, ручку телеграфа переводят в положение «Полный задний ход». Окончание маневра – остановка судна относительно воды.
- Процесс активного торможения судна условно можно разделить на 3 периода:
  - *первый период* ( $t_1$ ) – от момента начала маневра до момента остановки двигателя ( $t_1 \approx 7-8$  сек);
  - *второй период* ( $t_2$ ) – от момента остановки двигателя до пуска его на задний ход;
  - *третий период* ( $t_3$ ) – от момента пуска ГД на задний ход до остановки судна или до приобретения установившейся скорости заднего хода.
- Движение судна в первые два периода можно рассматривать как свободное (пассивное) торможение.

# Активное торможение



*Инерционные характеристики судна  
при активном торможении*

## ТОРМОЖЕНИЕ СУДНА

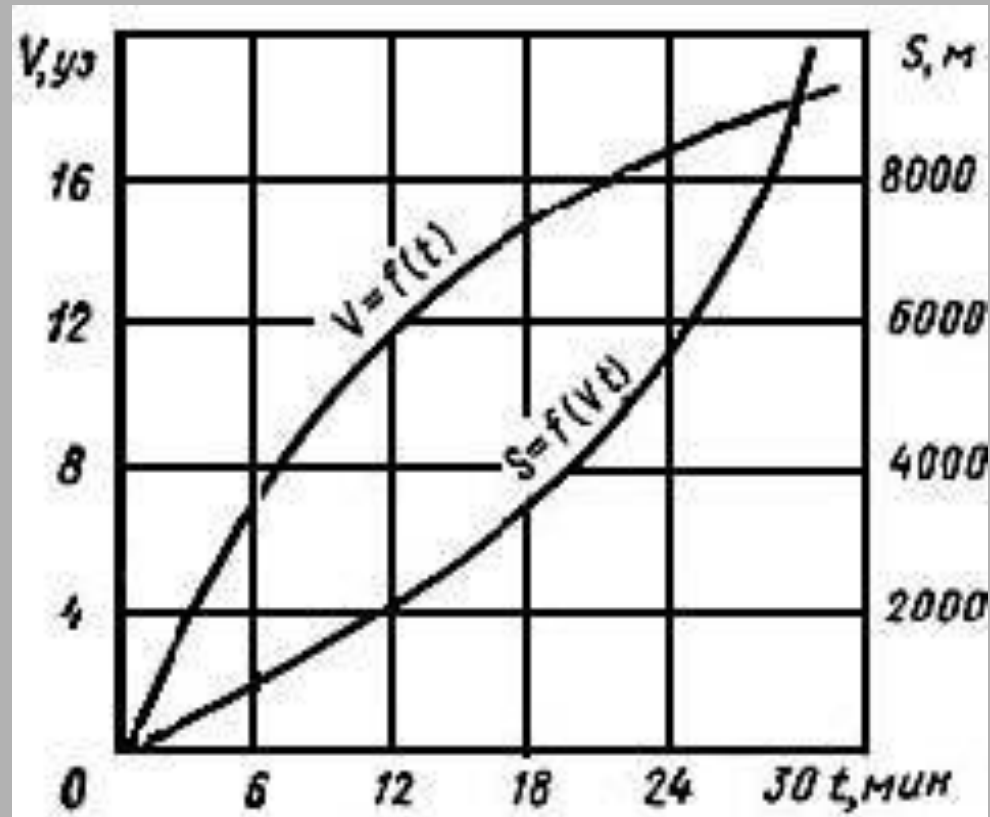
Обработка результатов натурных испытаний, выполненных на различных судах, позволила получить следующие выводы.

1. Характер снижения скорости при пассивном торможении, выражаемый экспериментальными графиками  $V(t)$ , вполне удовлетворительно согласуется с квадратичной зависимостью силы сопротивления от скорости.

2. Оценка графиков  $V(t)$  для активного торможения показывает, что эффективная сила упора винта после реверсирования от начального значения, близкого нулю, возрастает постепенно и достигает некоторого максимального значения к моменту остановки судна относительно воды.

# Разгон судна

Разгон судна осуществляется от нулевой скорости относительно воды до скорости, соответствующей заданному положению телеграфа.



Инерционные характеристики судна при разгоне

# Градация ходов

- *Самый малый передний ход (Dead slow ahead)* – минимальные устойчивые обороты, при которых двигатель не глохнет ( $\approx 25\%$  ППХ).
- *Малый передний ход (Slow ahead)* – обороты двигателя, устанавливаемые после диапазона критических оборотов, и соответствующая им скорость хода судна ( $\approx 50\%$  ППХ).
- *Средний передний ход (Half ahead)* – обороты двигателя, при которых обеспечивается половина мощности двигателя (подача топлива на середине), и соответствующая им скорость хода ( $\approx 75\%$  ППХ).
- *Полный передний маневренный ход (Full manoeuvring ahead)* – полные обороты двигателя при работе на легком топливе (дизельное топливо) в маневренном режиме ( $\approx 90\%$  ППХ).
- *Полный передний ход ходового режима (Full ahead for sea)* – номинальные (расчетные) полные обороты двигателя при работе на тяжелом топливе – мазут (наиболее благоприятный режим работы), при которых двигатель может работать «вечно» при должном техническом обслуживании, и соответствующая им скорость хода.
- *Самый полный передний ход (Emergency full ahead or Full ahead overall)* – кратковременный режим работы двигателя, который может быть применен в практике управления судном только в аварийных ситуациях.

# ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ПОВОРОТЛИВОСТЬ СУДНА

## Конструктивные факторы.

- **Отношение длины к ширине судна ( $L/B$ ).** Чем больше это отношение, тем хуже поворотливость судна. Это связано с относительным увеличением сил сопротивления боковому перемещению судна. Поэтому широкие и короткие суда обладают лучшей поворотливостью, чем длинные и узкие.
- **Отношение осадки к длине судна ( $T/L$ ).** При увеличении отношения поворотливость судна несколько ухудшается, т.е. судно в полном грузу будет обладать худшей поворотливостью, чем то же судно в балласте.
- **Отношение ширины к осадке ( $B/T$ ).** Рост этого отношения приводит к существенному улучшению поворотливости. Суда широкие и мелкосидящие более поворотливы, чем суда с большой осадкой и узкие.
- **Коэффициент общей полноты ( $\delta$ ).** С увеличением коэффициента  $\delta$  поворотливость улучшается, т.е. чем полнее обводы судна, тем лучше его поворотливость.
- **Форма кормы** (площадь кормового дейдвуда и полнота кормы). Особенно сильное влияние на поворотливость судна оказывает площадь кормового дейдвуда. Поэтому даже небольшое ее увеличение приводит к резкому возрастанию диаметра циркуляции при всех углах перекладки руля. Увеличение полноты кормы способствует улучшению поворотливости судна.

# ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ПОВОРОТЛИВОСТЬ СУДНА

## Конструктивные факторы.

- **Форма носовых образований** судна значительно меньше влияет на поворотливость, чем форма кормы. Как правило, влияние формы носа проявляется только при наличии значительного носового подзора (например, у ледоколов), что обуславливает некоторое возрастание диаметра циркуляции судна.
- **Размеры и конфигурация руля.** Увеличение площади руля, так же как и другие изменения формы руля, приводящие к росту его эффективности (например, увеличение относительного удлинения руля), оказывает двойное влияние на поворотливость. С одной стороны, увеличивается боковая сила, действующая на переложный руль, что приводит к улучшению поворотливости. С другой стороны, увеличиваются демпфирующие свойства руля, следовательно, поворотливость ухудшается. Практические расчеты показывают, что увеличение площади руля ведет к уменьшению диаметра циркуляции при больших углах перекладки руля и к увеличению его при малых углах перекладки.
- **Размещения руля.** Размещение руля относительно винтов значительно влияет на поворотливость судна. Расположение руля в винтовой струе благодаря увеличению скорости его обтекания способствует росту эффективности руля и отражается на поворотливости судна так же, как увеличение площади руля. Влияние винтовой струи сказывается тем больше, чем большая площадь руля попадает в поток от винта.

## ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ПОВОРОТЛИВОСТЬ СУДНА

- Выбор площади руля определяется требованиями к высокой поворотливости для военных кораблей и требованиями экономичности для гражданских... Жестких требований к площади рулей нет, но плохо не будет, если:

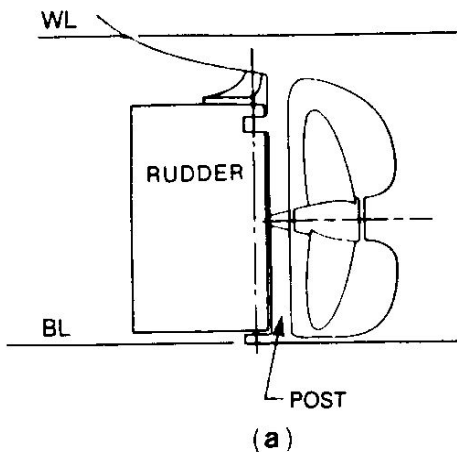
$$\text{площадь руля} = (0.017 - 0.025) * L_{pp} * T$$

*A cargo ship = 0.017,... a destroyer has about 0.025 ratio...*

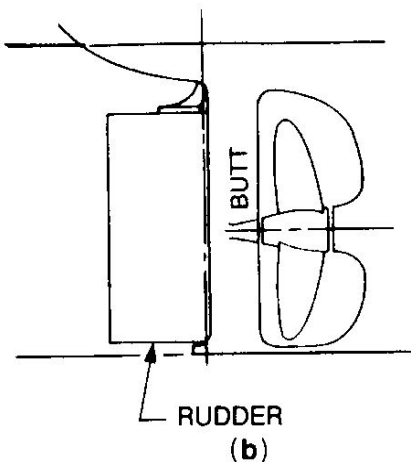


# Рули

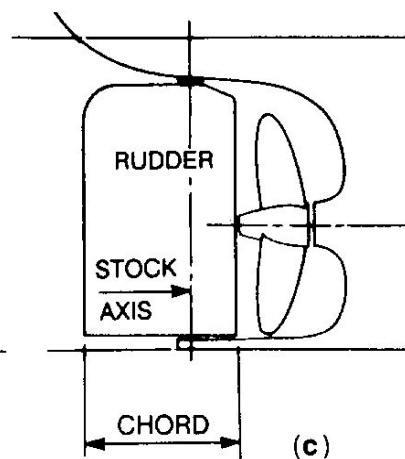
**SIMPLE TYPE; RUDDER POST**



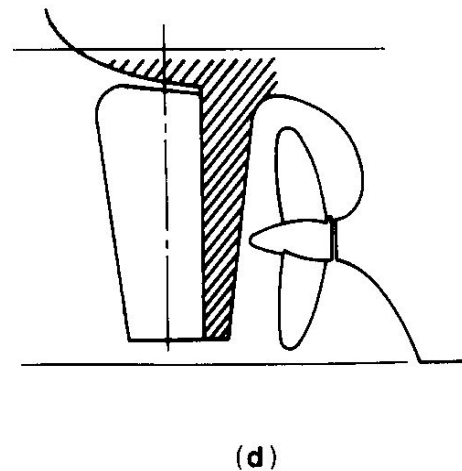
**COMPOUND; BUTT**



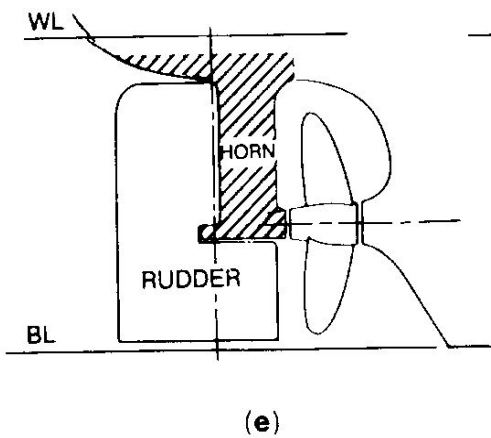
**SIMPLE; FULLY BALANCED**



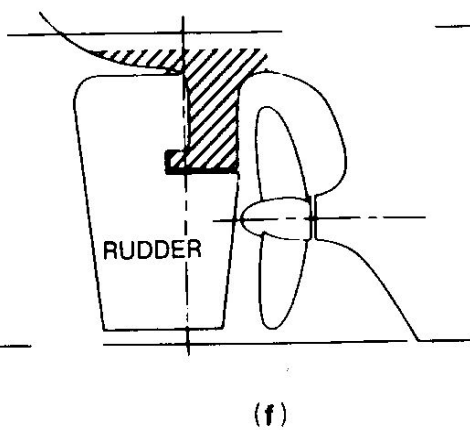
**BALANCED; WITH FIXED STRUCTURE**



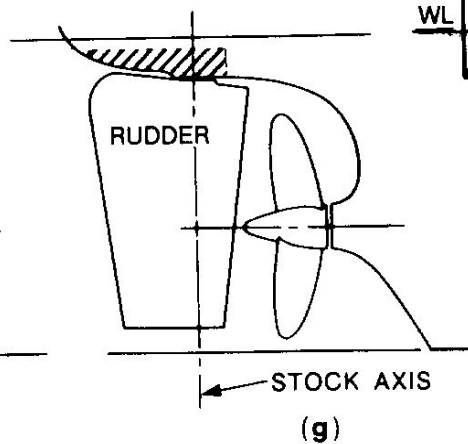
**BALANCED; UNDERHUNG; DEEP HORN**



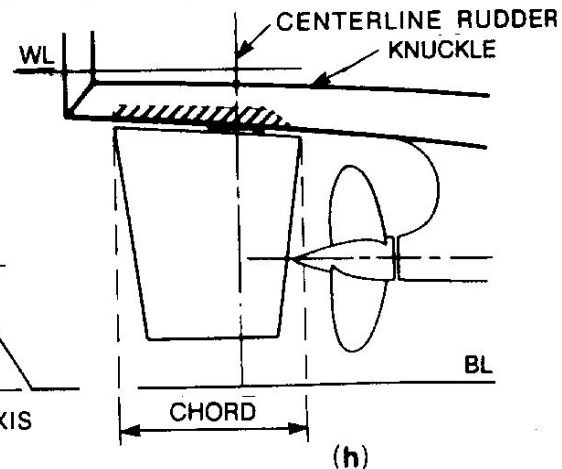
**UNDERHUNG; SHALLOW HORN**



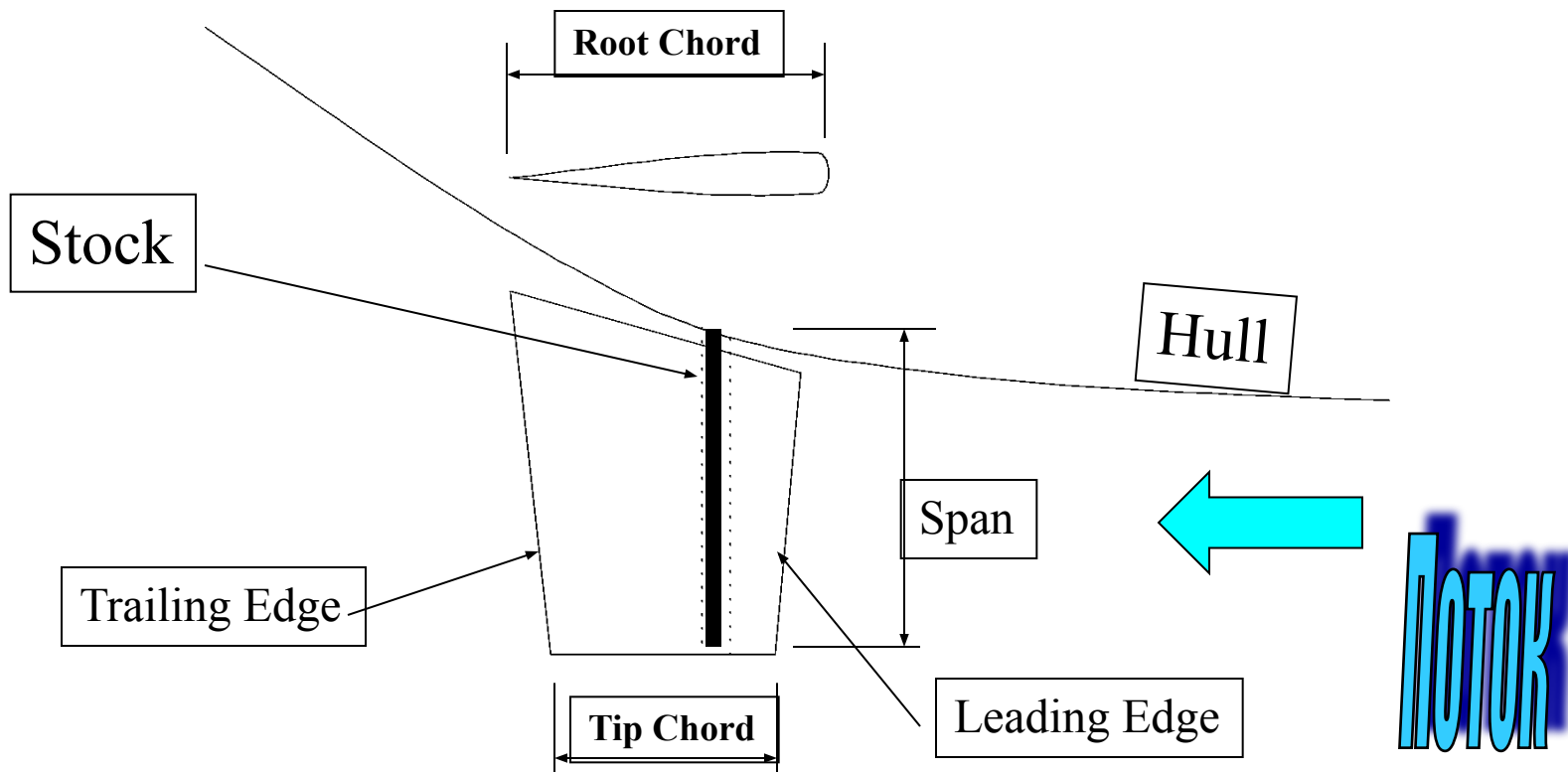
**SPADE; MERCHANT TYPE**



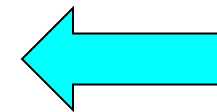
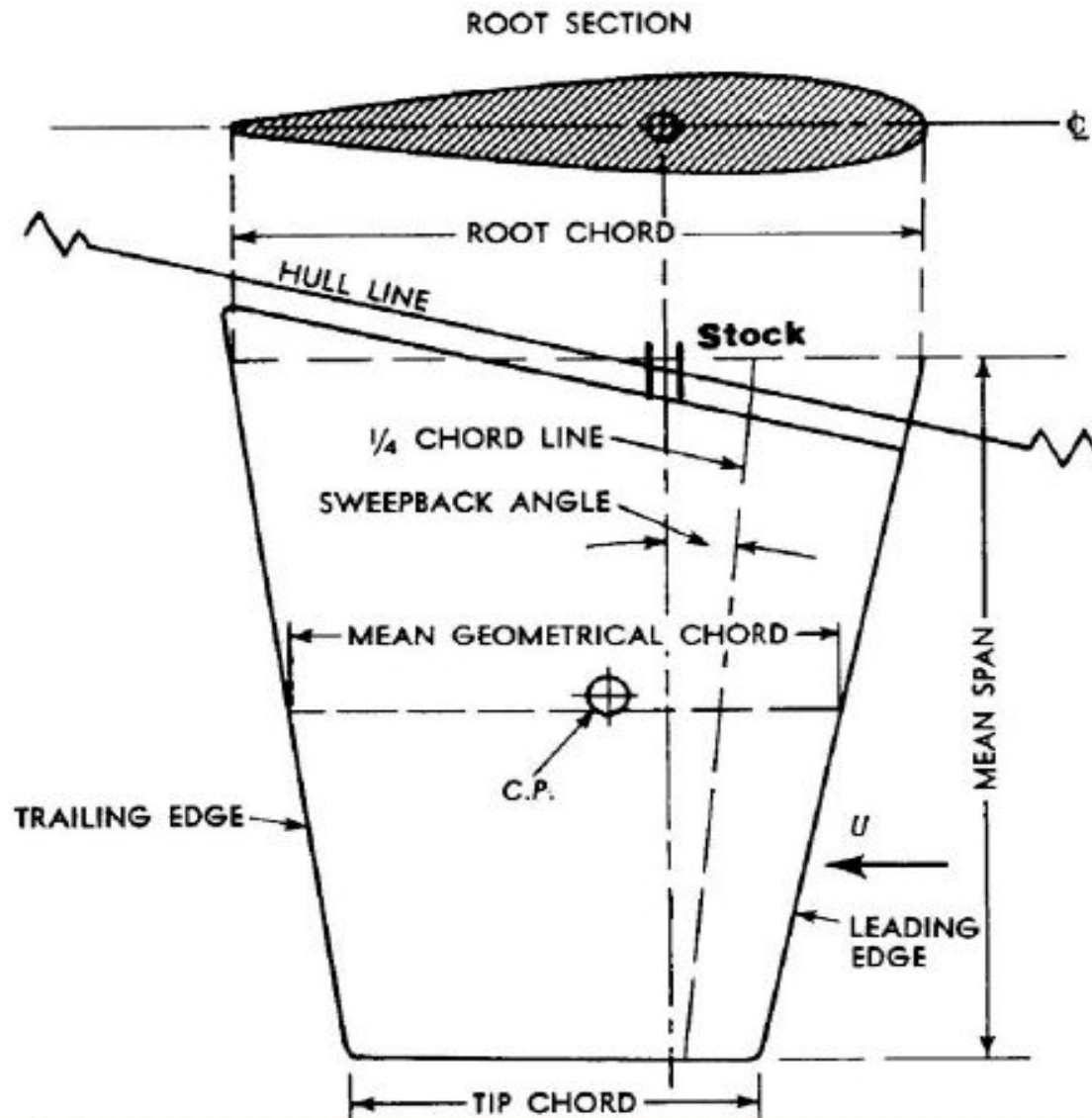
**SPADE; TRANSOM STERN**



# Рули



# Рули

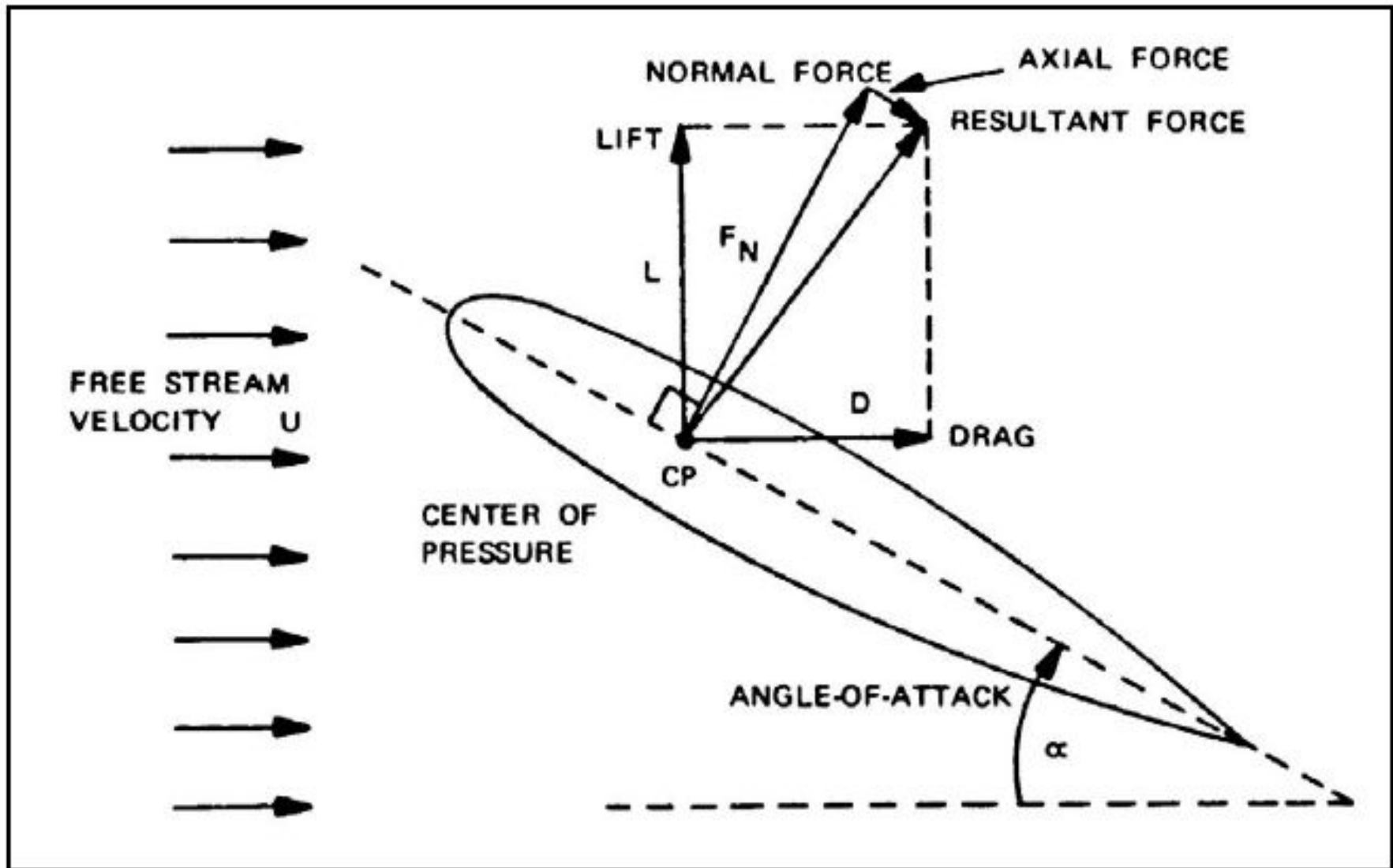


ПОТОК

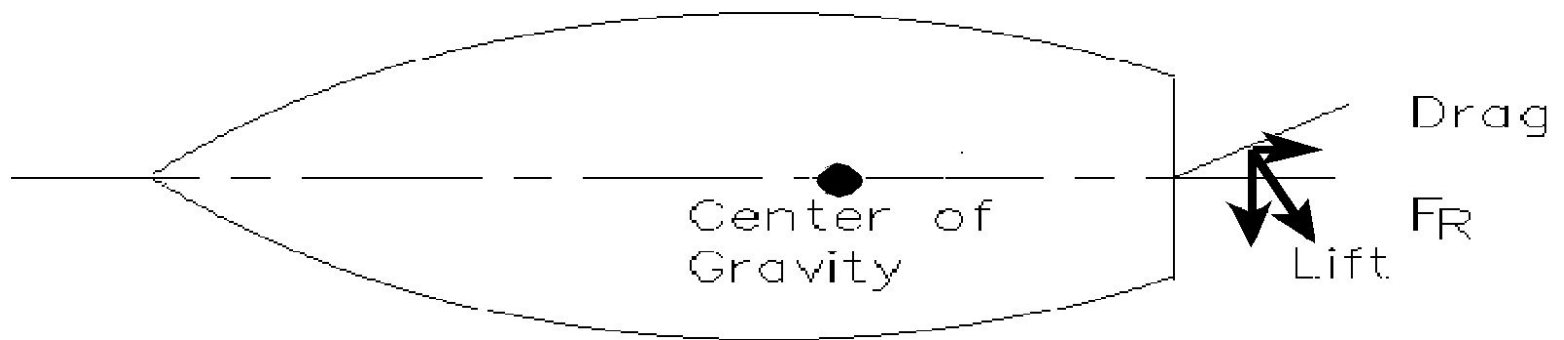
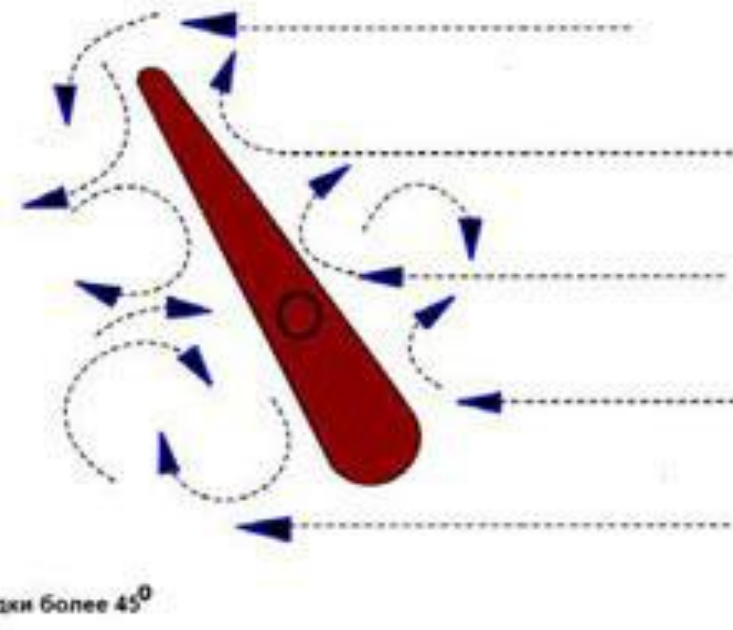
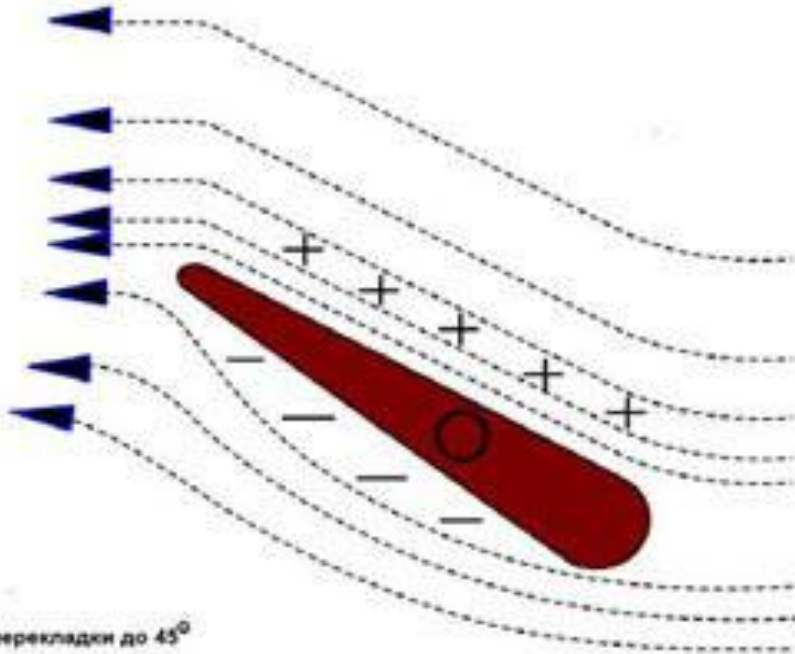
mechanica

er Term

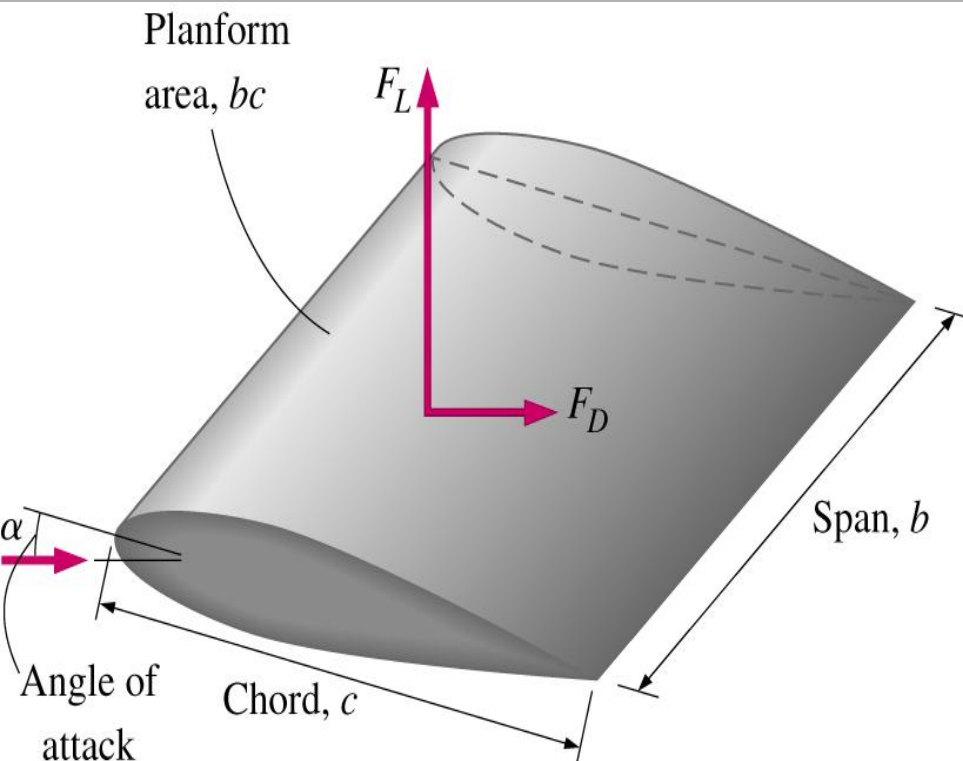
# Силы на руле



# Силы на руле



# Подъёмная сила на крыле



- Подъёмная сила (Lift) – проекция равнодействующей сил трения и давления на перпендикуляр к направлению движения.
- Коэффициент подъёмной силы:

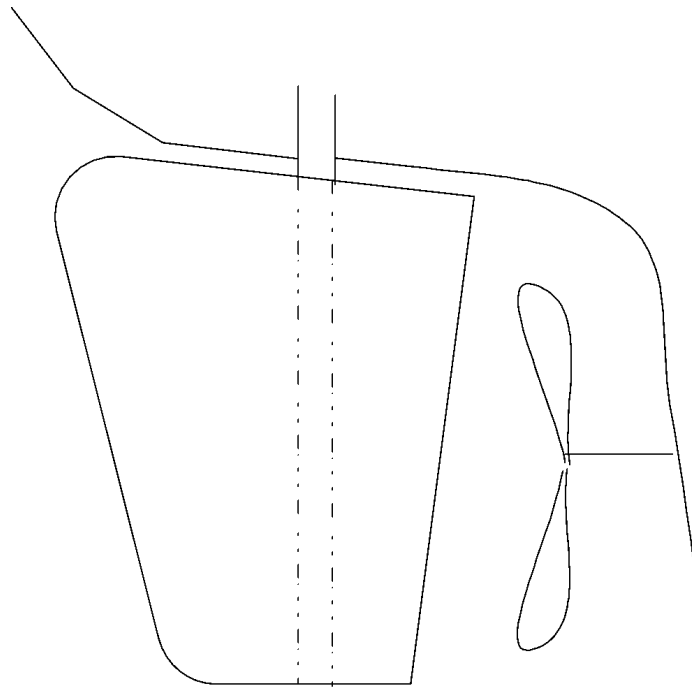
$$C_L = \frac{F_L}{\frac{1}{2}\rho V^2 A}$$

- $A=bc$  Площадь крыла в плане

# Типы рулей

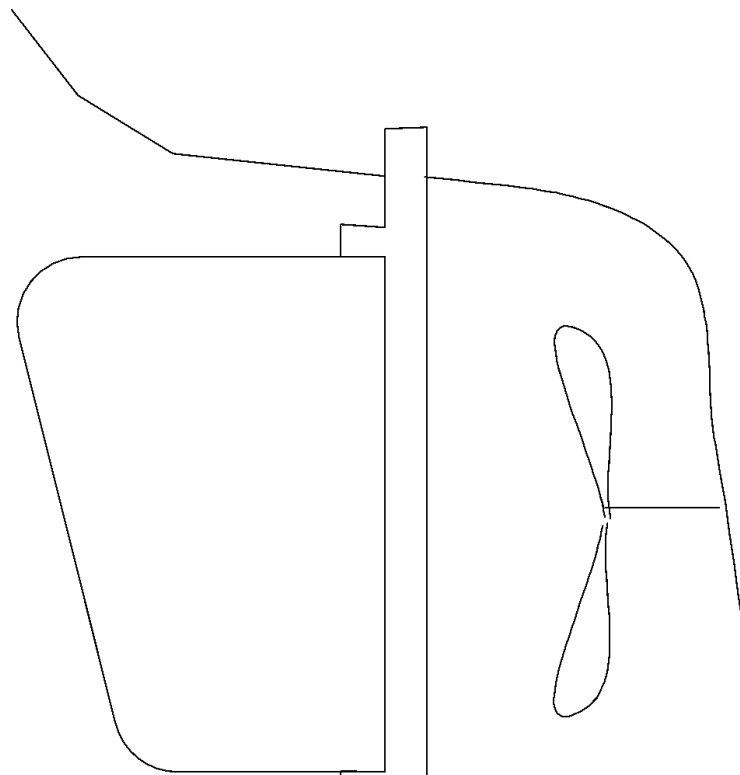
## 1. Балансирный руль \ Balanced Rudder

Баллер руля проходит через центр давления, поэтому поворот руля требует минимальных затрат



# Типы рулей

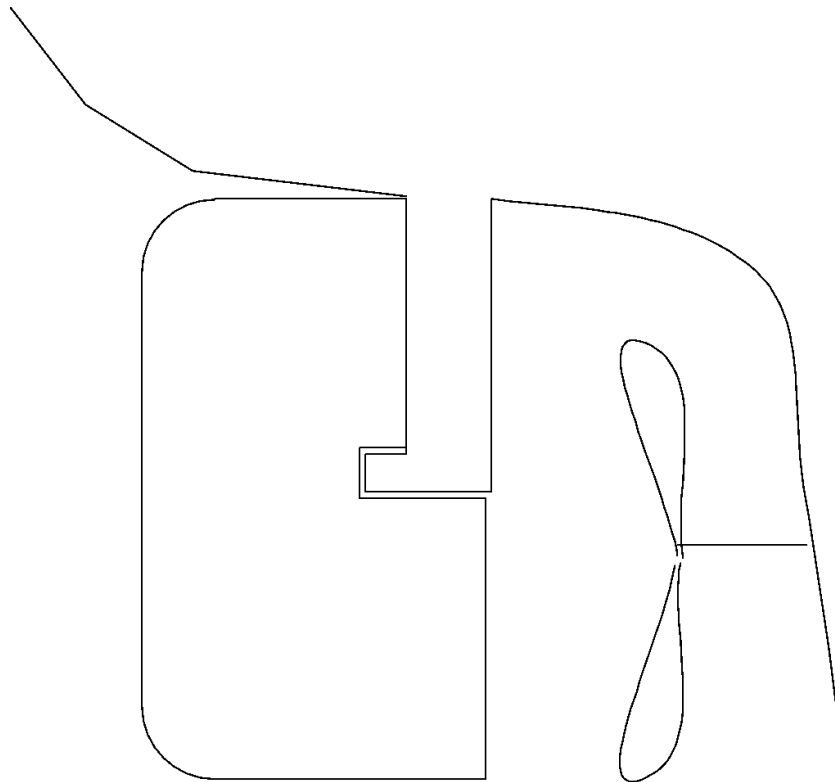
2. Небалансирный руль \ Unbalanced Rudder  
Баллер совпадает с передней кромкой руля

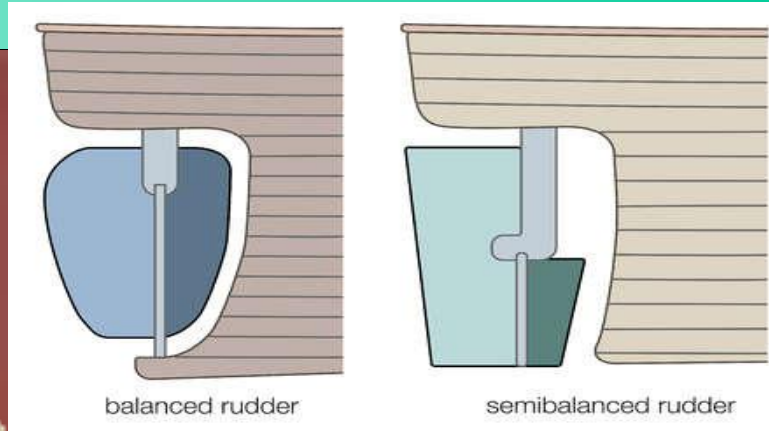




# Типы рулей

## 3. Полубалансирный руль \ Semi Balanced

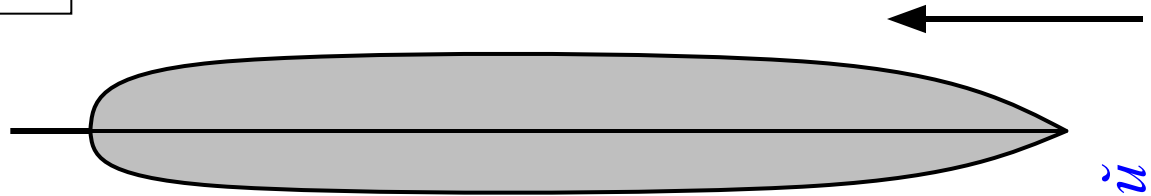




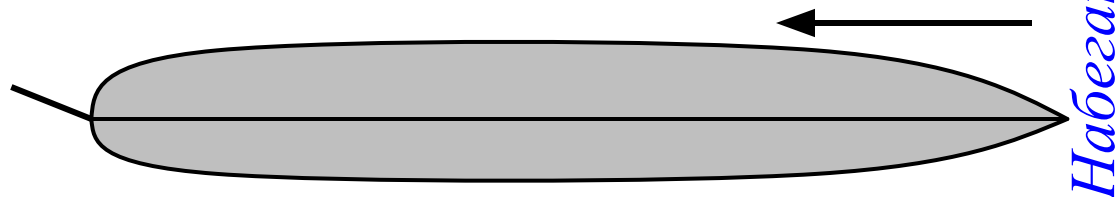
# Работа руля

Стадии маневрирования:

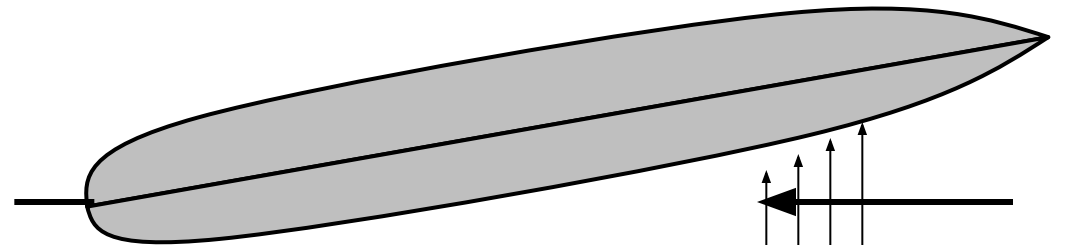
*Руль в ДП*



*Поворот руля*



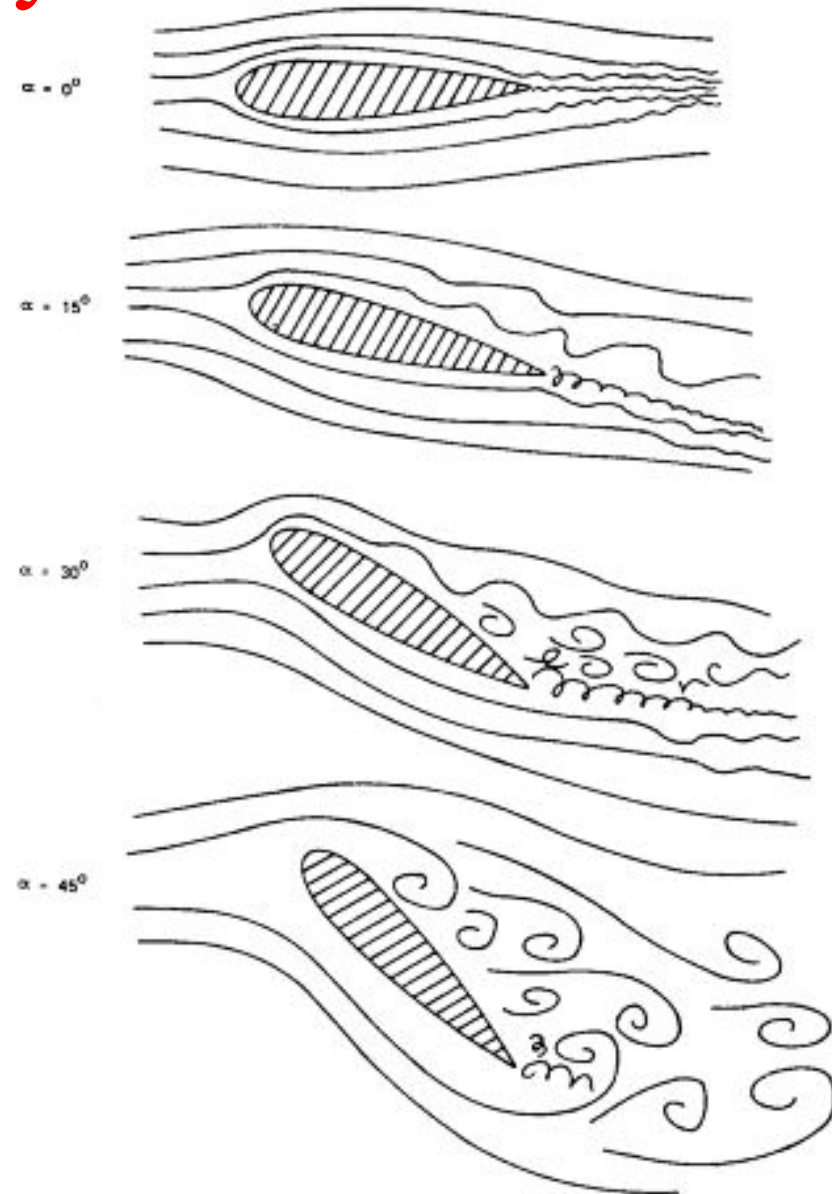
*Корабль поворачивается, появляется боковая сила на корпусе*



*Подъемная сила на корпусе*

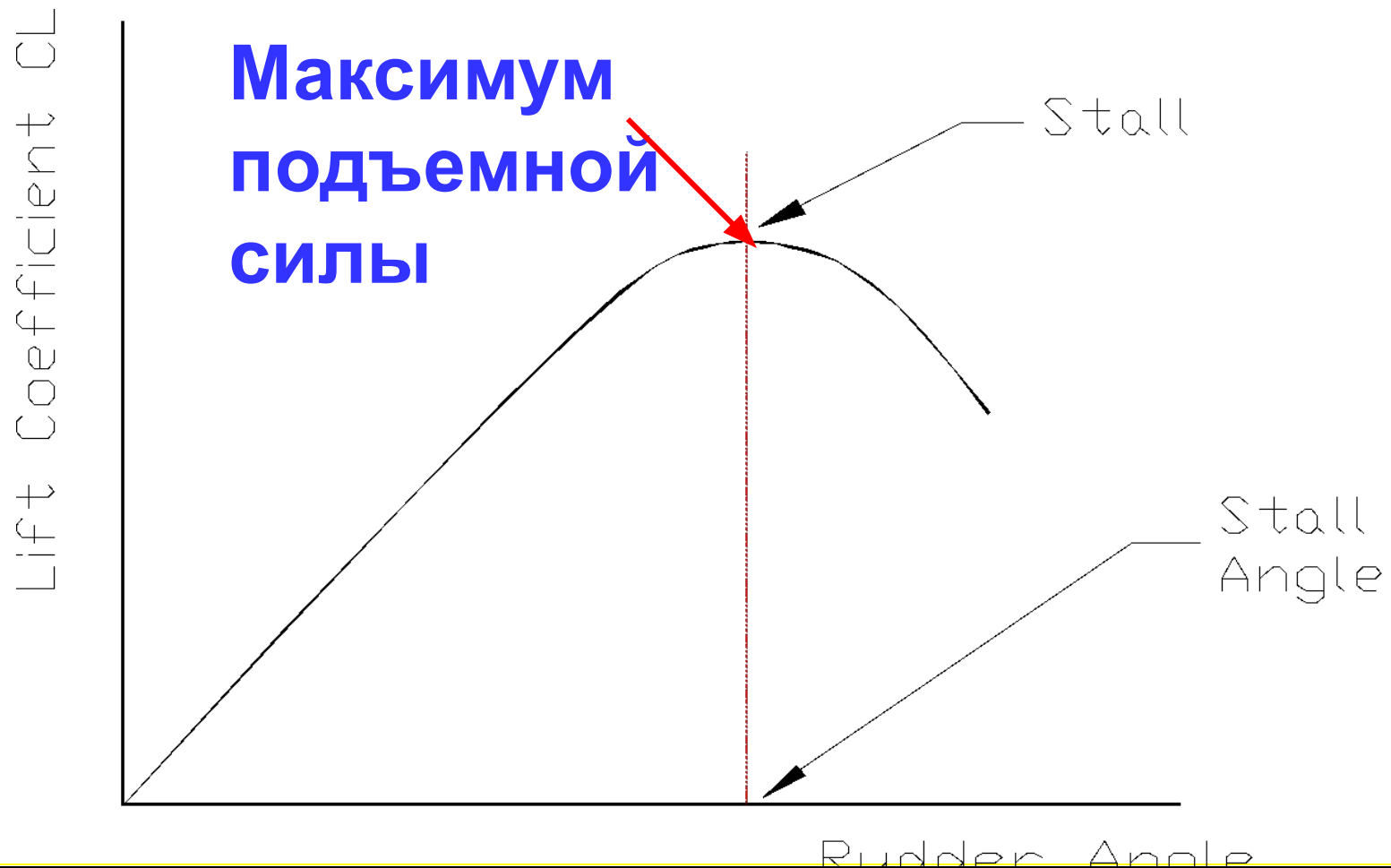
# Работа руля

- До некоторых углов поворота руль работает как крыло
- Около  $45^\circ$  руль перестает создавать подъемную силу и корабль становится неуправляемым
- Руль создает мощные турбулентные вихри и работает как тормоз
  - У многих судов стоят ограничители углов перекадки руля до  $35^\circ$



# Работа руля

- Углы перекладки  $\leq \pm 35$  или угла максимума.



# Маневренность на малых скоростях \\ Slow Speed Maneuverability



## СРЕДСТВА АКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СУДНОМ

Винторулевой комплекс морских судов, как правило, не обеспечивает их необходимую маневренность при движении на малых скоростях. Поэтому на многих судах для улучшения маневренных характеристик используются средства активного управления, которые позволяют создавать силу тяги в направлениях, отличных от направления диаметральной плоскости судна. К ним относятся: крыльчатые движители, активные рули, подруливающие устройства, поворотные винтовые колонки, отдельные поворотные насадки, водометные движители, а также другие средства активного управления.

**Недостатки**, присущие обычному винторулевому комплексу:

- потеря скорости хода судна при переключке руля, вызывающая значительные затраты мощности главных двигателей судна, что особенно проявляется для судов технического флота, буксиров и паромов;
- фактическая потеря управляемости судна на малых скоростях движения, отсутствии хода и при движении судна на заднем ходу, что является недопустимым по требованиям безопасности при швартовке, входе в шлюз и других аналогичных маневрах, выполняемых судном в условиях стесненной акватории;
- незащищенность и повреждения судовых рулей при эксплуатации на засоренном фарватере и на мелководной акватории (удары о плавающие предметы и лед, повреждения при посадке на мель, задевании о грунт, камни, затопленные конструкции).

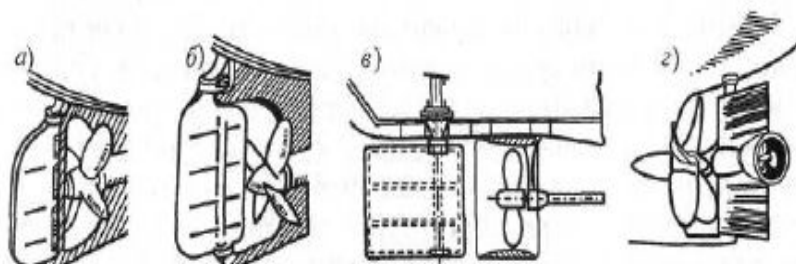
# СРЕДСТВА АКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СУДНОМ

- . Активный руль.
- . Роторный руль
- . Руль Беккера-Ястрема.
- . Фланкирующий руль.
- . Руль Шиллинга.
- . Двойные рули Шиллинга.
- . Раздельные поворотные насадки.
- . Тоннельное подруливающее устройство.
- . Главные винто-рулевые колонки:
  - Электродвижущая система AZIPOD.
  - Z-образная передача (угловая колонка) (Z-drive).
- 10. Выдвижное азимутальное подруливающее устройство
- 11. Водомётный движитель (водомёт).
- 12. Судовой крыльчатый движитель, (*Voith Schneider Propeller*).
- 13. Система Динамического Позиционирования



# АКТИВНЫЙ РУЛЬ

Наиболее широко применяемым средством управления является руль, который может быть разной конструкции. В качестве средства активного управления может быть представлен активный руль. Активный руль представляет собой особую конструкцию, состоящую из небольшого гребного винта вмонтированного в обтекаемом кожухе на задней кромке пера руля. Установка, приводящая в действие гребной винт активного руля может быть различных типов. В настоящее время чаще всего встречаются установки двух основных типов: штанговый механический привод от электродвигателя, установленного в румпельном отделении и установка электродвигателя непосредственно в обтекаемом кожухе на пере руля



а) небалансирный руль; б) балансирный руль;  
в) руль с неподвижной насадкой; г) активный руль



Активный руль

Активный руль может быть использован на судах любых размеров и любого назначения и в комбинации с любым видом двигателя. Особенно большую пользу он может принести на судах с одним гребным винтом. При плавании в открытом море активный руль улучшает управляемость судна и повышает его способность точно удерживаться на курсе в условиях бурного моря и сильного ветра и течения. При плавании в гаванях и узкостях, а также при частых швартовках, особенно в открытом море, активный руль, позволяющий разворачивать судно на обратный курс в пределах его собственной длины, может и должен найти еще большее применение.

**Преимущества:** помимо силы давления воды на перо, передаёт силу упора своего движителя, что позволяет обеспечить управляемость судна практически на месте.

**Недостатки:** 1. Повышение сопротивления движению судна, что особенно сильно проявляется в случае, когда винт застопорен, а в режиме свободного вращения винта резко возрастает его износ и сильно снижается его ресурс.

2. Усложнение и удорожание конструкции по сравнению с пассивным

# РОТОРНЫЙ РУЛЬ

Роторный руль представляет собой поворотное перо, перед которым расположен цилиндр, способный вращаться вокруг собственной оси, соосной с осью поворота основного пера. Лобовая часть этого цилиндра и основное перо образуют общий крыловой профиль.

Вращение цилиндра может осуществляться различными способами: с помощью гидравлических двигателей, механических и гибких передач, электродвигателей, расположенных в самом теле руля или корпусе судна.

Направление вращения цилиндра зависит от знака угла перекаладки пера руля, за исключением зоны углов  $\pm 10^\circ$ , внутри которой цилиндр остается неподвижным.

Благодаря вращению цилиндра, расположенного в носовой части руля, обтекание основного пера при углах перекаладки, больших  $35-40^\circ$ , происходит без срыва потока, как это бывает у рулей обычной конструкции. Вследствие этого роторные рули могут перекаладываться на углы  $70-80^\circ$ , при этом эффективность рулей увеличивается пропорционально углу перекаладки. Судно, на котором установлен роторный руль, может маневрировать практически на месте. Это свойство роторных рулей особенно важно для обеспечения маневрирования на малых скоростях хода (при маневрировании в портах, при швартовых операциях и др.), когда обычные рули работают плохо. На ходовых режимах, при которых не требуются большие перекаладки руля, эффект вращения цилиндра практически отсутствует. Цилиндр останавливают, и роторный руль работает как обычный.

Действие роторного руля (рис.) основано на эффекте, открытом в 1852 немецким учёным Г.Г.Магнусом (H.G.Magnus).

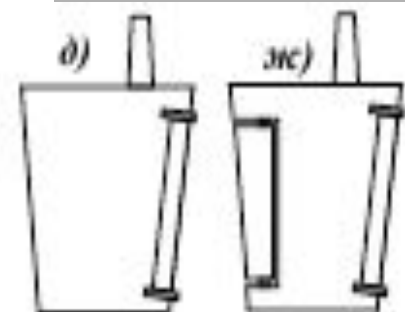
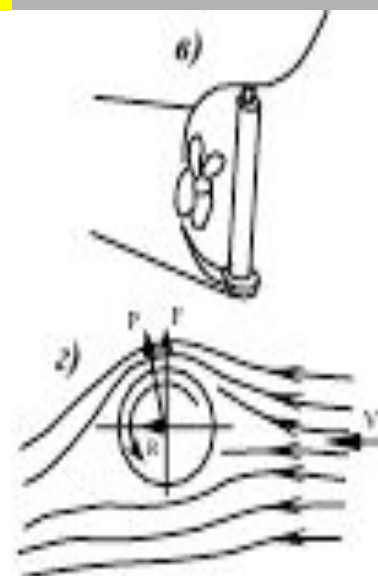
Эффект Магнуса - возникновение поперечной силы, действующей на тело, которое вращается в набегающем на него потоке жидкости или газа. Так, например, если вращающийся длинный круговой цилиндр (рис. 5.5,г) обтекается безвихревым потоком, направленным перпендикулярно его образующим, то вследствие вязкости жидкости скорость течения со стороны, где направление скорости потока и вращения цилиндра совпадают, увеличивается, а со стороны, где они противоположны, - уменьшается. В результате давление на первой стороне падает, а на другой стороне возрастает, то есть появляется поперечная сила  $I$ . Направлена она всегда от той стороны вращающегося тела, на которой направление вращения и направление потока противоположны, к той стороне, на которой эти направления совпадают. Сила сопротивления цилиндра движению потока обозначена на рисунке как  $R$ , а сумма  $F$  и  $R$  - как  $P$ . На некоторых судах роторный руль применяется как носовой подруливающий орган.

На американских морских буксирах получили некоторое распространение роторные и роторно-перьевые рули. Такой руль представляет собой вращающийся вертикальный круговой цилиндр диаметром  $0,15 \div 0,20$  хорды обычного руля. Гидродинамическое качество роторного руля (по американским данным) составляет  $5 \div 7$ . Для обычного руля при перекаладке с борта на борт  $1,2 \div 1,8$ . Руль эффективен при относительной скорости  $\pi dn < 4,0$ , где  $d$  - диаметр ротора;  $n$  - частота вращения винта,  $1/с$ ;  $v$  - скорость движения судна, м/с.

У роторно-перьевого руля вращающийся ротор диаметром примерно 10% хорды встраивают в носовую часть пера руля.

**Преимущества:** Наличие вращающегося ротора создает боковую силу даже на непореложеном руле порядка максимальной подъемной силы того же руля с неподвижным ротором. Максимальная боковая сила при вращении ротора повышается в 2,2 - 3,2 раза.

**Недостатки:** Усложнение конструкции.



# РУЛЬ БЕККЕРА-ЯСТРЕМА

Руль с закрылком на ППХ и ПСХ в большинстве случаев применяется без работы закрылка как обычный обтекаемый руль. На малых скоростях закрылок вводится в действие и его перекладка увеличивает боковую силу руля. В режиме экономии топлива для стабилизации курса в открытом море при невысокой степени волнения применяется только закрылок, а руль находится в ДП, увеличивая стабилизирующий эффект корпуса. Одним из видов рулей с закрылком является руль Беккера, предназначенный для тихоходных судов не очень большого тоннажа.

**Руль Беккера-Ястрема.** Руль Беккера-Ястрема состоит из трех частей: цилиндра, который при своем вращении способствует установлению ламинарного потока вдоль обеих сторон пера руля (предложено Ястремом), основного пера руля и закрылка, который разворачивается на угол, в два раза превышающий угол разворота пера руля. Благодаря такой конструкции можно направить поток от винта перпендикулярно ДП судна и тем самым резко сократить диаметр циркуляции судна.

**Роторно-перьевой руль** - это высокоэффективный орган управления, объединяющий перо руля и ротор в передней его части. Это нововведение препятствует завихрению потока на всасывающей стороне руля при больших его перекладках. Наилучшие результаты достигаются при малых скоростях хода. При больших скоростях ротор не используется, и роторно-перьевой руль работает как обычный.

**Роторно-перьевой руль с закрылком** объединяет преимущества роторно-перьевого руля и гидравлически связанного с ним закрылка: позволяет достичь высокую маневренность судна при низких скоростях хода. Эффект этого руля сравним с действием пропульсивного средства. При больших скоростях ротор и закрылок не применяют, и руль работает как обычный. В режиме экономии топлива при движении в открытом море для управления движением используется только закрылок, а руль находится в ДП.

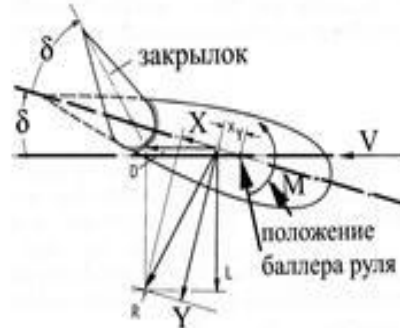
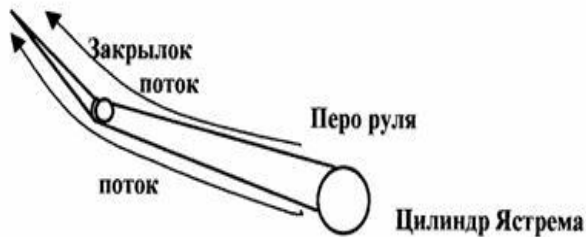
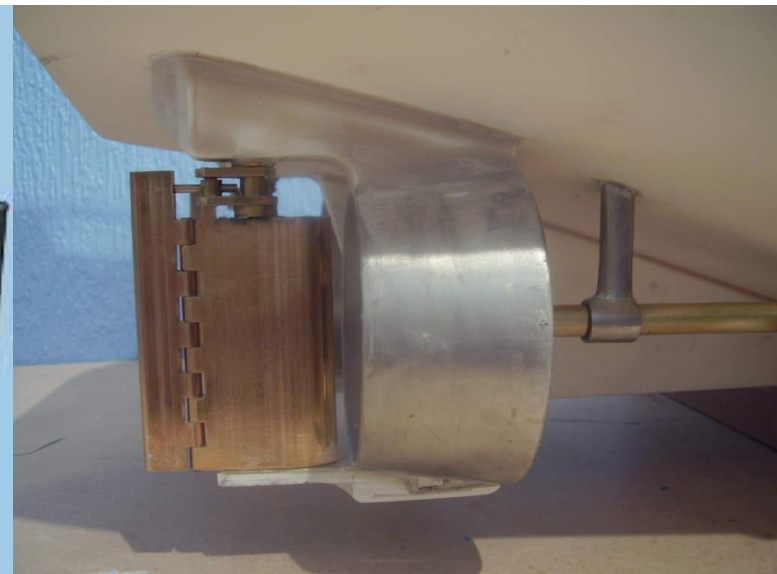
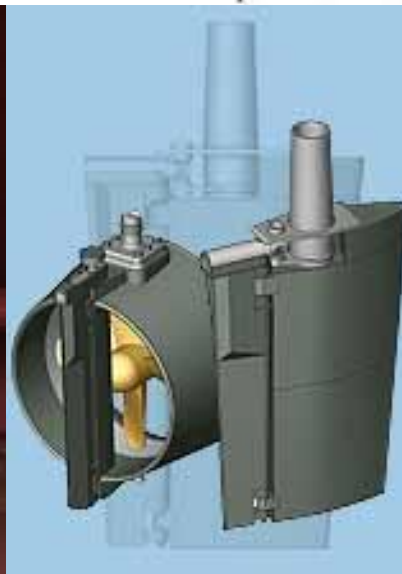
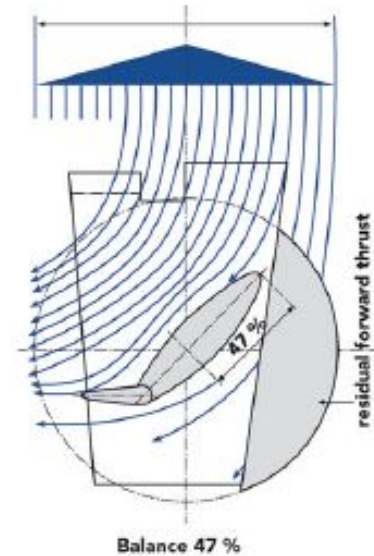
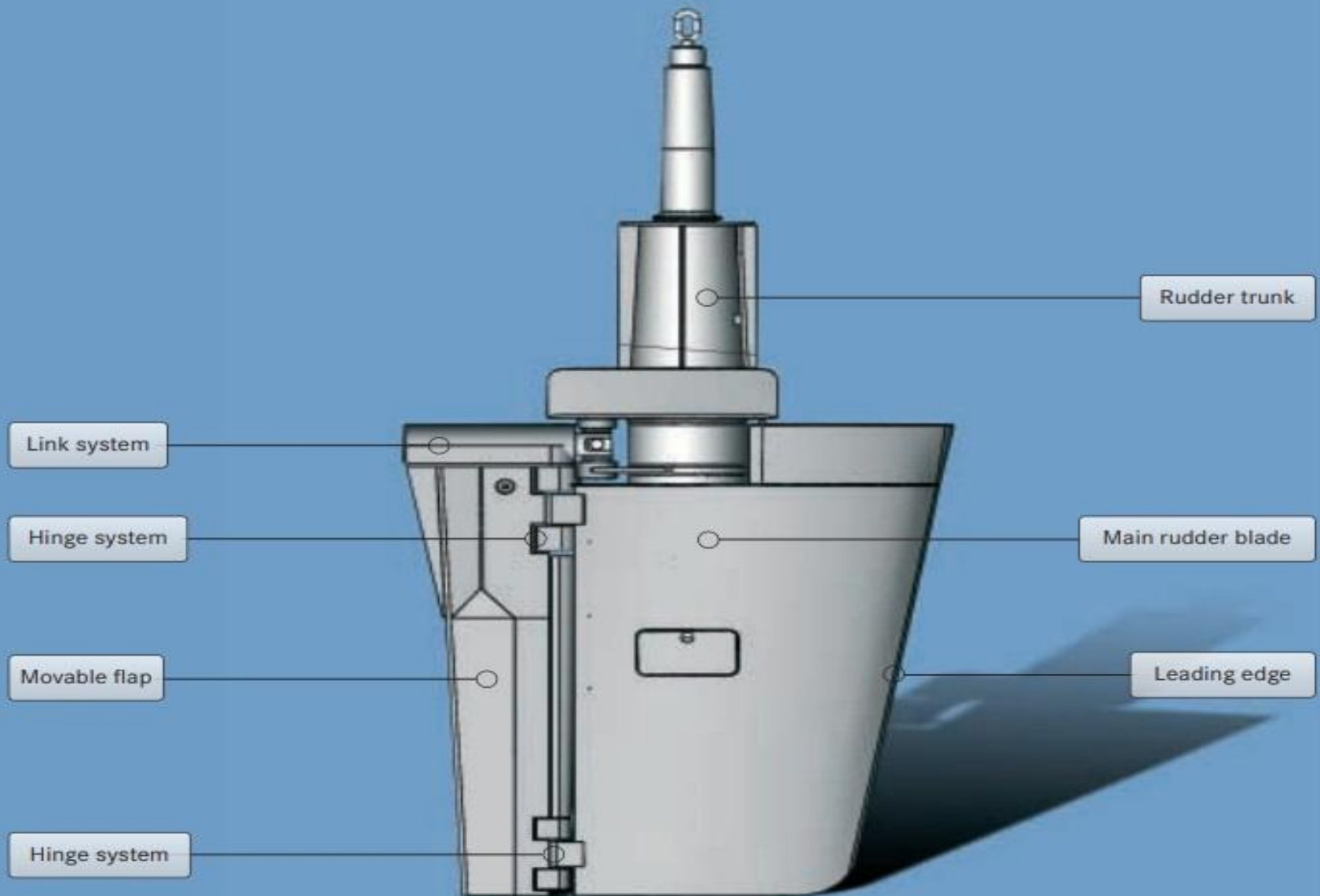


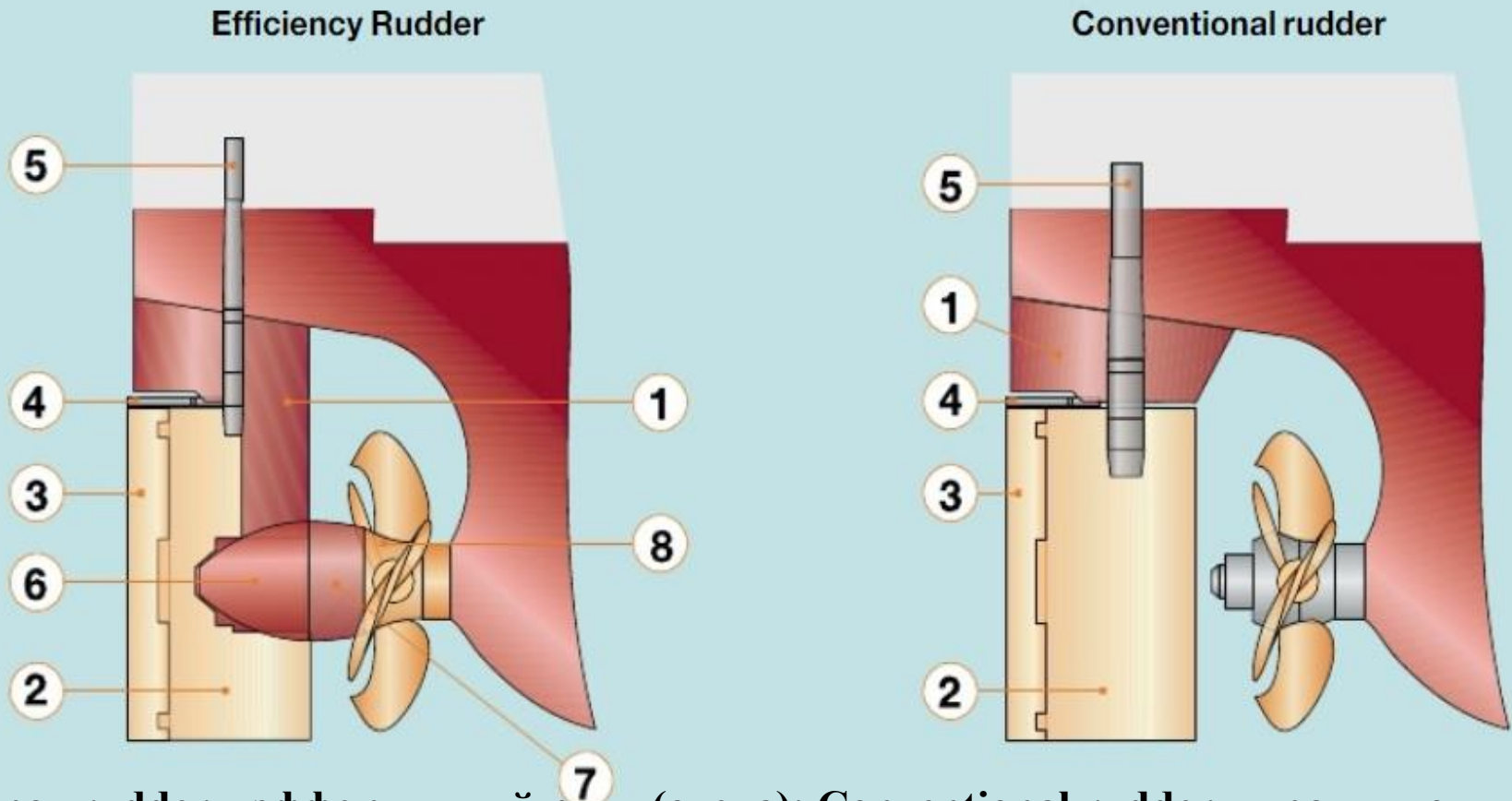
Схема работы руля Беккера.



# Руль с закрылком компании Bekker Marine System



# Сопоставление конструкции традиционного руля и эффективно работающего руля компании Wärtsilä.



Efficiency rudder – эффективный руль (слева); Conventional rudder – традиционный руль (справа); 1– кронштейн промежуточной опоры руля судна; 2 – перо руля; 3 – закрылок; 4 – механизм закрылка; 5 – баллер руля; 6 – обтекатель ;7 – вставка обтекателя ; 8 – ступица гребного винта.

# ФЛАНКИРУЮЩИЙ РУЛЬ

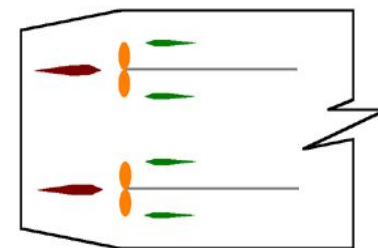
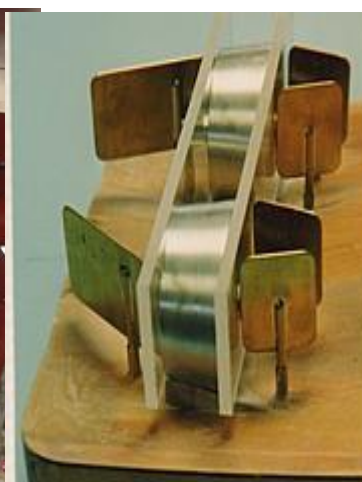
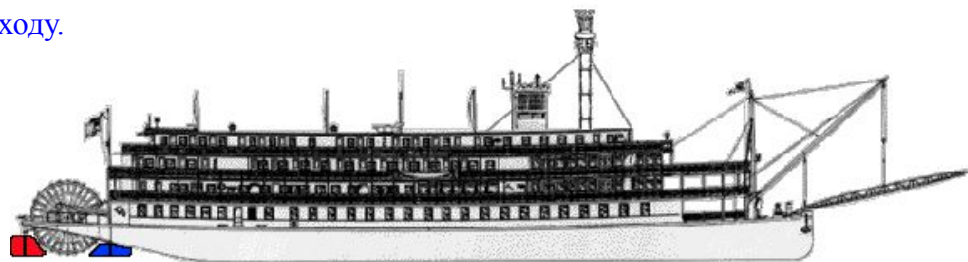
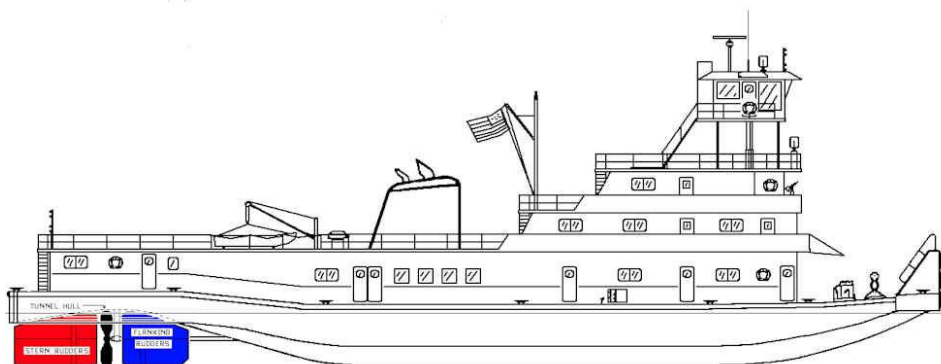
Для обеспечения управляемости на заднем ходу толкачи оборудуются рулями заднего хода (так называемыми фланкирующими), которые устанавливаются впереди гребных винтов с таким расчетом, чтобы поток воды, возникающий при работе винтов на задний ход, был направлен на эти рули.

Управляемость на заднем ходу обеспечивается установкой перед каждой насадкой двух фланкирующих рулей. В обычном состоянии фланкирующие рули располагаются под углом 50° к ДП, в соответствии со скосом потока перед насадкой.

Используются на судах внутреннего плавания.

**Преимущества:** обеспечивается управляемость на заднем ходу.

**Недостатки:** усложнение конструкции



Main Rudders    Propellers    Flanking Rudders

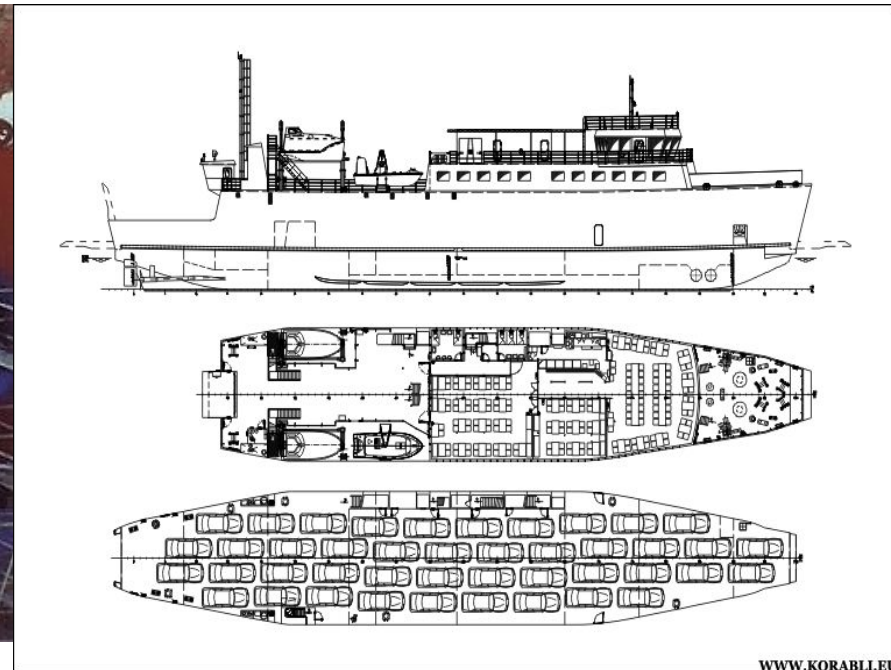
# НОСОВЫЕ РУЛИ

**Носовые рули.** Для улучшения поворотливости и уменьшения ширины ходовой полосы, занимаемой толкаемым составом или крупнотоннажным грузовым теплоходом при прохождении крутых поворотов, на реках находят применение носовые опускающиеся рули. Эти рули размещаются в сквозных нишах корпуса в носовой части передней баржи толкаемого состава или судна с санными обводами и составляют с ДП судна угол  $35-45^\circ$ . Подъем и опускание носовых рулей производятся с помощью специального дистанционно управляемого привода. В обычных условиях эксплуатации рули подняты, за пределы корпуса судна не выступают и их не используют. При движении по лимитирующему перекаату реки носовой руль того борта судна, в сторону которого осуществляется поворот, опускается и на нем возникает боковая сила, способствующая повороту судна или состава.

**Носовые рули - судовые рули,** устанавливаемые на паромах и некоторых других судах для повышения управляемости на заднем ходу. Носовые рули размещаются непосредственно за форштевнем в специальном окне корпуса судна. Форма пера носовых рулей соответствует обводам судна



Паром «Skåne» имеет нетипичную рулевую систему, состоящую из двух рулей - кормового и носового.



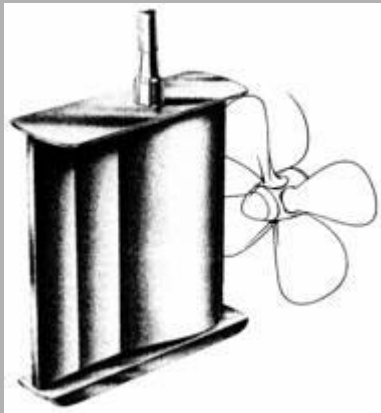
WWW.KORABLI.EU

**Паром «Николай Аксененко»**

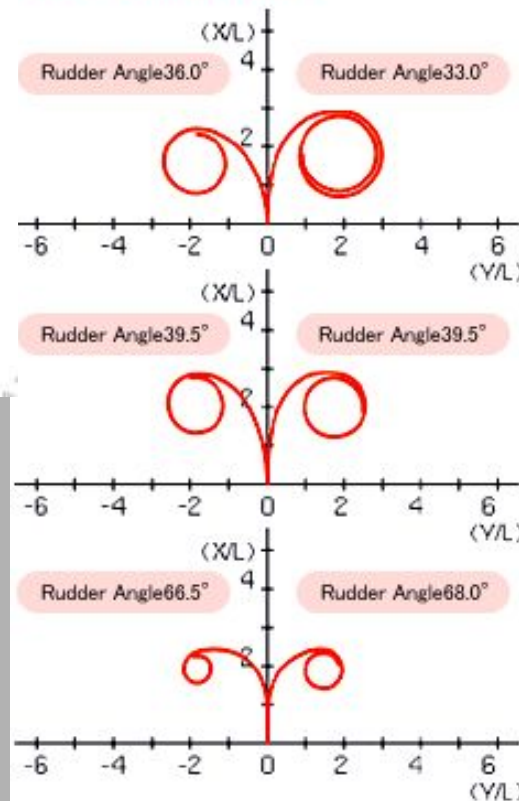
# РУЛЬ ШИЛЛИНГА

**Рули Шиллинга.** Перо руля особой конфигурации, улучшающей условия обтекания его потоком воды, располагается за винтом судна.

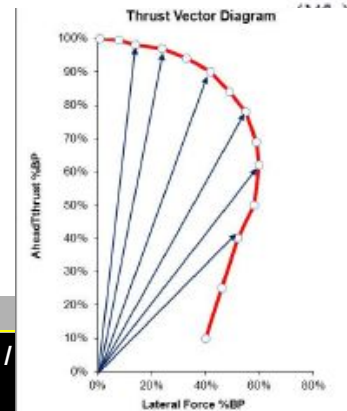
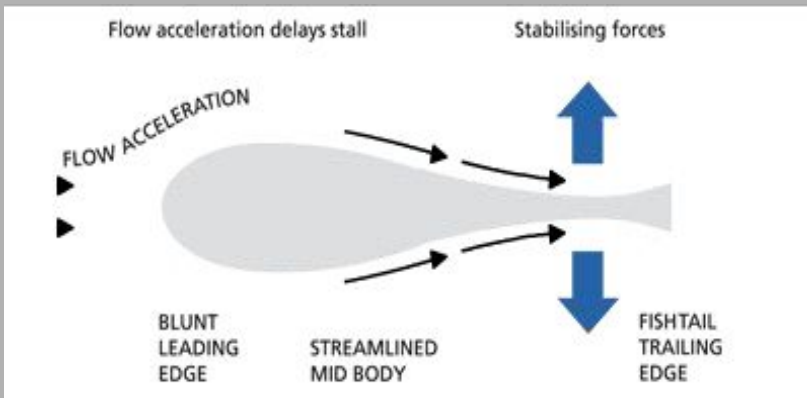
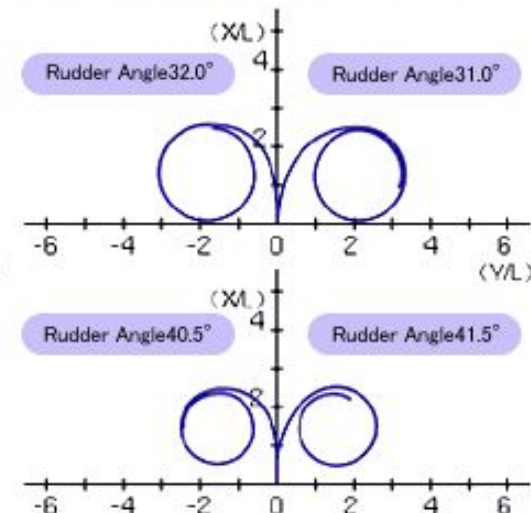
**Преимущества:** При маневрировании судна перо руля может перекадываться на  $70^\circ$ , что резко улучшает поворотливость судна, особенно при малой скорости движения. При руле, переложеном на  $75^\circ$ , практически 70-80% мощности двигателя идет на разворот судна и лишь 20-30% - на поступательное движение.



Mariner Schilling Rudder



Conventional Mariner Type Rudder





**Рули Шиллинга отличаются от обычных рулей формой профиля, для которой характерно наличие вогнутой поверхности пера руля и утолщенной задней кромки**

*Предложенная конструкция руля позволила увеличить его эффективность, затянуть отрыв в область больших углов перекладки и существенно улучшить поворотливость судна.*



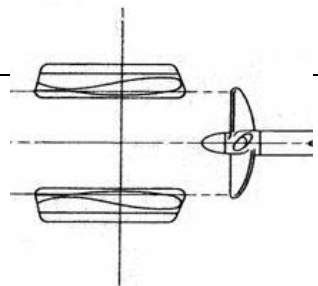
**Фотография кормовой оконечности двуххвального судна, оборудованного рулями Шиллинга.**

# ДВОЙНЫЕ РУЛИ ШИЛЛИНГА

**Двойные рули Шиллинга.** Два пера руля особой конфигурации, улучшающей условия обтекания их потоком воды, располагаются за винтом судна. При следовании судна полным ходом плоскости перьев располагаются параллельно друг другу и разворачиваются синхронно на  $35^\circ$ . При необходимости производства маневров перья рулей могут разворачиваться раздельно.. При сложном маневрировании судном управляет, как правило, сам капитан с помощью джойстика

**Преимущества:** резко улучшает управляемость судна, особенно на малых скоростях, поскольку изменяет направление потока вода от винта. Для экстренного торможения судна не нужно изменять направление вращения движителей. Два пера руля разворачиваются таким образом, что поток от винта меняет свое направление на  $180^\circ$

**Недостатки:** усложнение и удорожание конструкции.



Двойные рули Шиллинга.

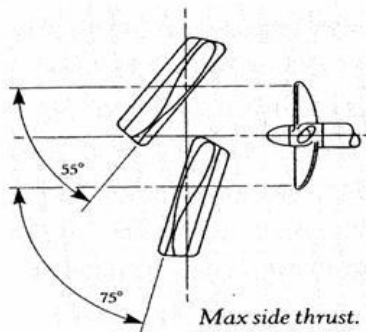
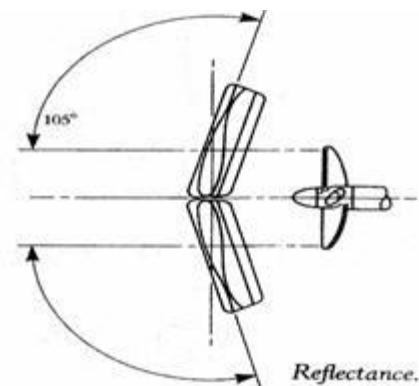


Схема расположения рулей Шиллинга на максимум боковой силы



Положение рулей Шиллинга при экстренном торможении.

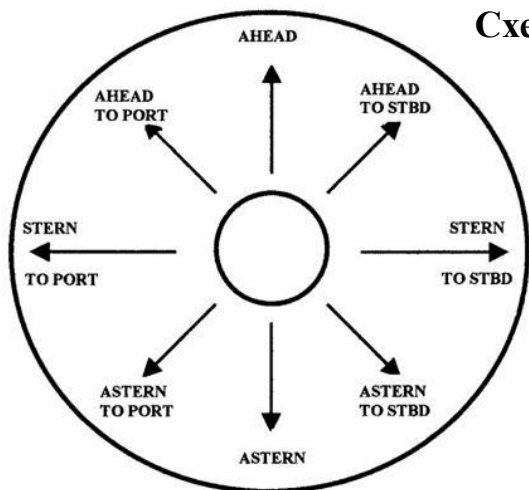


Схема пульта управления рулями Шиллинга.



# РАЗДЕЛЬНЫЕ ПОВОРОТНЫЕ НАСАДКИ

**Раздельные поворотные насадки.** Поворотная насадка — это стальное кольцо, профиль которого представляет элемент крыла. Площадь входного отверстия насадки больше площади выходного. Гребной винт располагается в наиболее узком ее сечении. Поворотная насадка устанавливается на баллере и поворачивается до 40° на каждый борт, заменяя руль. Раздельные поворотные насадки установлены на многих транспортных судах, главным образом речных и смешанного плавания, и обеспечивают их высокие маневренные характеристики.

Поворотная направляющая насадка на гребной винт в качестве органа управления судном по своему действию аналогична рулю. При перекладке насадки на ней возникает гидродинамическая сила, передающаяся на корпус и вызывающая поворот судна. Если сопоставить боковую (подъемную) силу, возникающую при ходе судна на перекошенной насадке и на размещенном в винтовой струе руле аналогичной формы в проекции на ДП судна, то на насадке эта сила оказывается примерно на 40 - 50 % большей. Преимущество насадки в этом отношении обусловлено тем, что перекладка насадки ведет к интенсивному отклонению потока, отбрасываемого винтом, и, как следствие, к значительному повороту вектора тяги комплекса винт - поворотная насадка. Этот поворот тем больше, чем меньше скорость хода и больше нагрузка винта, поэтому наибольшее отклонение вектора тяги наблюдается в швартовном режиме работы комплекса.

Одним из наиболее результативных путей повышения эффективности поворотной насадки как средства управления судном является установка на ней поворотного стабилизатора.

Неподвижную часть стабилизатора (рудерпост) устанавливают внутри насадки. Поворотную часть стабилизатора навешивают на рудерпост.

Привод поворотной части стабилизатора осуществляют по схеме, аналогичной схеме привода рулей Беккера, для чего на корпусе судна устанавливают штырь, входящий в паз направляющей стабилизатора. Положение штыря относительно баллера выбирают таким образом, чтобы при перекладке насадки на максимальный угол 30° угол перекладки стабилизатора составлял 60°.

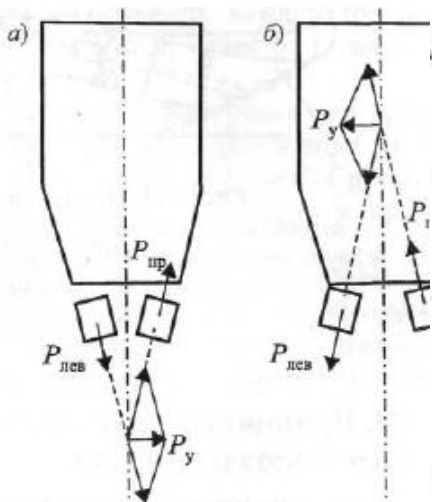


Рис. 3.10. Схема действия раздельных поворотных насадок (РПН):

- а) перекладка РПН внутрь;
- б) перекладка РПН наружу

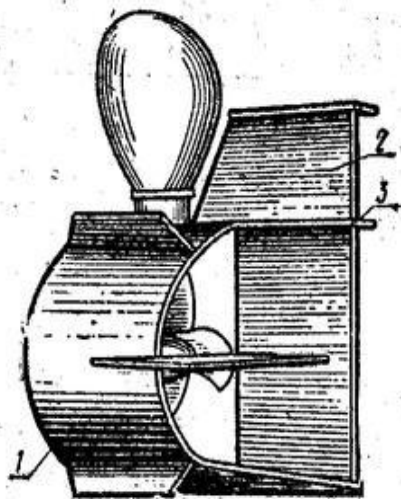


Рис. 6. Поворотная направляющая насадка:

- 1 — насадка; 2 — стабилизатор; 3 — горизонтальные щайбы (ребра)

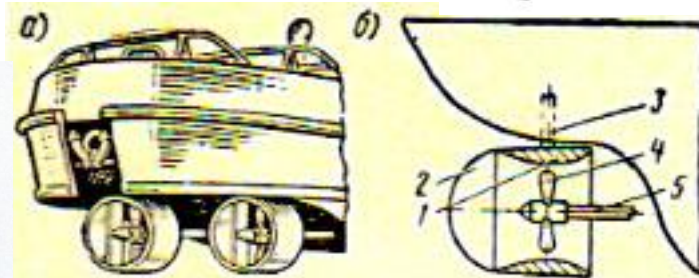
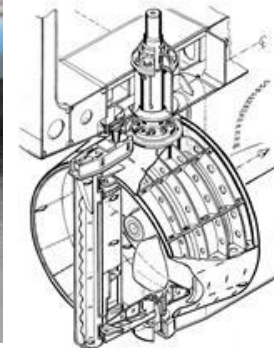
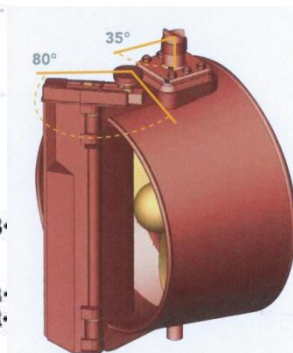


Рис. 34. Поворотные насадки:

- а — общий вид; б — устройство; 1 — корпус; 2 — стабилизатор; 3 — баллер; 4 — гребной винт; 5 — гребной вал

## РАЗДЕЛЬНЫЕ ПОВОРОТНЫЕ НАСАДКИ

На многих самоходных судах внутреннего плавания вместо рулей устанавливают поворотные насадки. Управление судном с помощью поворотных насадок на переднем ходу существенно не отличается от управления судами с помощью рулей.

При повороте насадок на некоторый угол  $\alpha$  они отклоняют на тот же угол направление струй воды, отбрасываемых гребными винтами.

Суммарная сила  $P$  потока, отбрасываемого гребными винтами, с плечом  $l$ , равным расстоянию между результирующей и центром тяжести судна, образует момент  $M = Pl$ , который разворачивает судно.

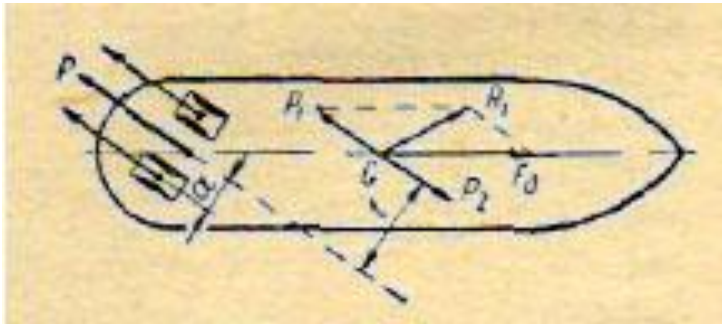


Схема сил, действующих на судно при перекладке поворотных насадок

Необходимо отметить, что величина силы  $P$  больше, чем рулевой силы, действующей на перо руля, поэтому эффективность поворотных насадок по сравнению с обычным рулем выше.

Преимущество поворотных насадок сказывается также и при следовании судна задним ходом. В этом случае сила  $P$  будет лишь несколько меньше, чем на переднем ходу, а момент ее будет действовать в обратную сторону.

При плавании по каналам с малыми скоростями и особенно при движении по инерции суда с поворотными насадками управляются значительно хуже, чем суда с обычными рулями. В целях улучшения управляемости и повышения поворотливости судов с поворотными насадками при движении на малой скорости в настоящее время применяют раздельное управление насадками, при котором создается возможность их поворота в разные стороны при работе винтов враздрай.

Направление вращения (поворота) судна при пуске назад одного или двух двигателей определяется положением насадок относительно диаметральной плоскости судна: если насадки переложены на правый борт, то корма судна пойдет вправо, а нос влево, и наоборот.

У судов с раздельным управлением насадок при перекладке их на разные борты и работе винтов враздрай вращение судна происходит значительно быстрее по сравнению с вращением судов, на которых управление насадками осуществляется не раздельно.

**Достоинства:** 1. Эффективность насадок на 40-50% выше, чем у руля и винта без насадок.

2. При следовании задним ходом судно управляется.

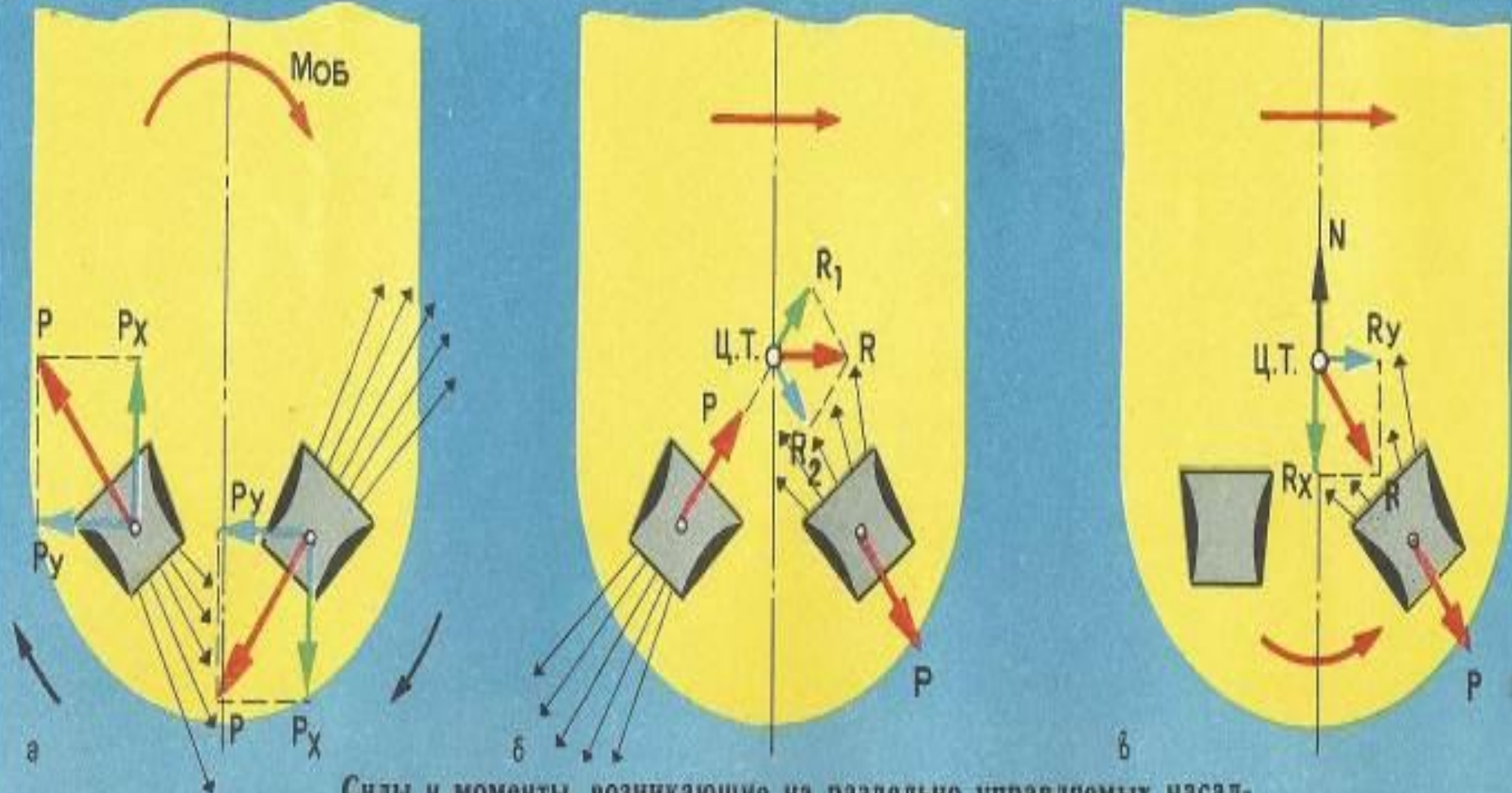
3. При наличии 2 насадок судно управляется значительно лучше при работе насадок «враздрай».

**Недостатки:** 1. При отсутствии хода и на малых ходах поворотные насадки неэффективны.

2. Применение РПН возможно только для судов оборудованных двумя винтами при режиме работы «враздрай».

3. Другой особенностью РПН, препятствующей их широкому, применению, является наличие конструктивных ограничений по углу отклонения вектора тяги.

# РАЗДЕЛЬНЫЕ ПОВОРОТНЫЕ НАСАДКИ



Силы и моменты, возникающие на отдельно управляемых насадках: а — левая насадка на правом борту, правая — на левом; б — левая насадка на левом борту, правая — на правом; в — левая насадка прямо (винт не работает), правая — на правом (винт работает назад)

# ТОННЕЛЬНОЕ ПОДРУЛИВАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО

Тоннельное подруливающее устройство — судовое устройствосудовое устройство, предназначенное для активного управления судномсудовое устройство, предназначенное для активного управления судном; рабочий орган (винтсудовое устройство, предназначенное для активного управления судном; рабочий орган (винт) в сквозном канале, проходящем от одного бортасудовое устройство, предназначенное для активного управления судном; рабочий орган (винт) в сквозном канале, проходящем от одного борта судна к другому борту, перпендикулярно его диаметральной плоскости.

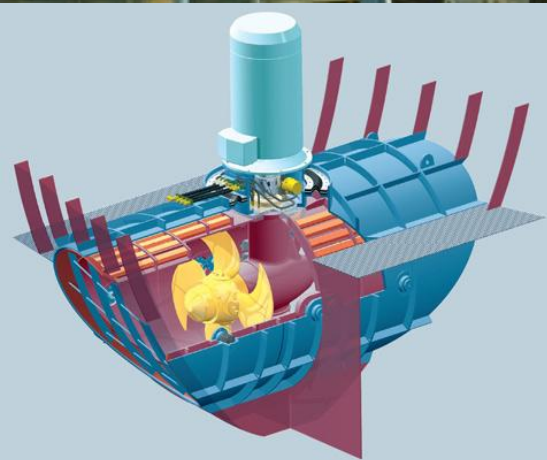
Устанавливается в носовой части судна или в носовой и кормовой частях одновременно;

Позволяет улучшить управляемость судном на малых скоростях или при остановленном главном двигателе, при сравнительно больших скоростях хода (ориентировочно, более 5 узлов) подруливающее устройство теряет эффективность.

Устанавливаются на судах любых типов.

**Достоинства:** надежность, высокая эффективность, износостойкость

**Недостатки:** неэффективно при скорости более 5 узлов.

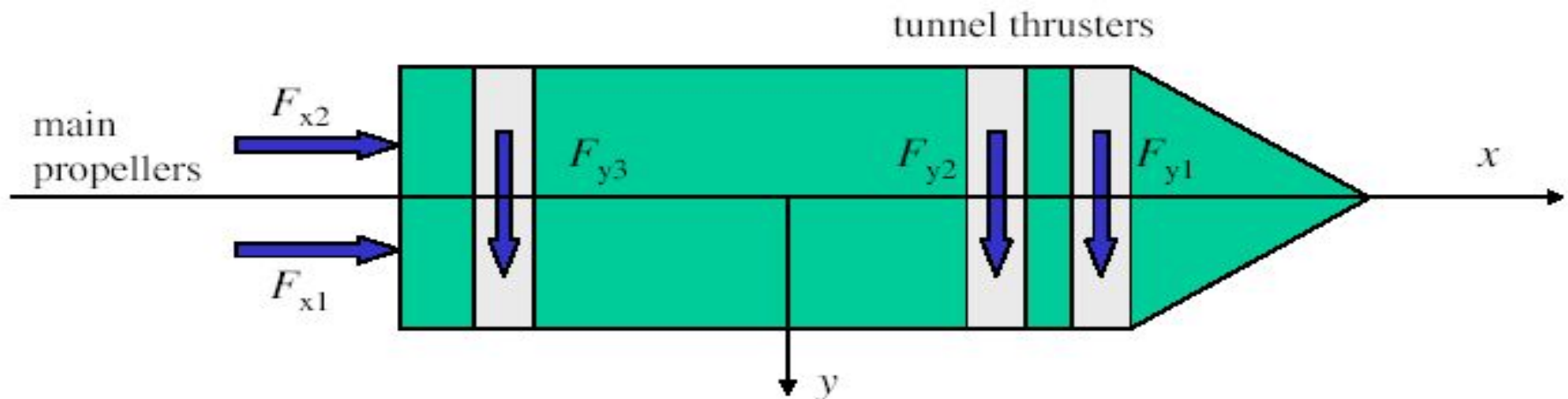


# Маневренность на малых скоростях \

## Slow Speed Maneuverability

**Main propellers:** the main propellers of the vessel are mounted aft of the hull usually in conjunction with rudders. They produce the necessary force  $F_x$  in the  $x$ -direction needed for **transit**.

**Tunnel thrusters:** transverse thrusters going through the hull of the vessel. The propeller unit is mounted inside a transverse tube and it produces a force  $F_y$  in the  $y$ -direction. Tunnel thrusters are only effective at **low speed** which limits their use to low-speed maneuvering and **dynamic positioning**.



Последние годы отмечены поступлением на флот судов с принципиально новыми техническими решениями, отличающимися от традиционно используемых прежде. К числу таких решений относятся главные винто-рулевые колонки (ГВРК), соединяющие в себе функции движителя и рулевого устройства активного типа.

Винто-рулевые колонки с механическим приводом гребного винта от 2-х ступенчатой конической передачи названы “Aquamaster” (по названию первой фирмы-производителя), а колонки с электроприводом - “Azipod” (Azimuthing Electric Propulsion Drive).

У ГВРК типа «Азипод» гребной электродвигатель (ГЭД) привода винта расположен в гондоле винто-рулевой колонки, а у ГВРК типа «Аквастер» передача мощности к гребному винту осуществляется через систему зубчатых конических передач, расположенных в вертикальной стойке и гондоле устройства.

Указанные ГВРК в настоящее время применяются на судах всех типов и назначения: буксирах, наливных, ледового плавания, ледоколах, пассажирских и других. Преимуществом этих движительных комплексов являются их высокая пропульсивная эффективность, низкая виброактивность, упрощение компоновки и монтажа механической установки за счет отказа от длинного валопровода, улучшенные весовые показатели с получением дополнительных высвободившихся объемов под грузовые и общесудовые нужды и др.

ГВРК типа «Аквастер» представляют собой устройство, состоящее из 2-х прямоугольных передач (отсюда название Z-образная передача), разобширной муфты и поворотного механизма и обеспечивающее передачу усилия главного двигателя (ГД) на винт. Нижний конец ГВРК поворачивается на 360°, что позволяет изменять направление упора винта по желанию.

#### **Преимущества применения главных винто-рулевых колонок**

1. Функциональная комплектация (приводное оборудование) - гидравлика, механизм передачи крутящего момента, система гребного вала - автономные или навешенные; проектирование, изготовление, приобретение и монтаж оборудования может быть выполнено на основе существующих известных элементов, без необходимости их стыковки, подгонки и согласования;
2. Более простая конструкция (в одном устройстве объединены функции движительного и рулевого устройства), не вызывающая трудностей при монтаже, демонтаже, техническом обслуживании, ремонте;
3. Использование ГВРК позволяет сократить машинное отделение на несколько метров. При одной и той же длине судна грузовое пространство возрастает на 2-8 %. Оценка базируется на основании рассмотрения нескольких проектов судов.
4. Кормовую оконечность судна возможно формировать более рационально, что приведет к более благоприятным обводам кормы и увеличению водоизмещения, с учетом того обстоятельства, что установки с ГВРК имеют более легкую конструкцию.
5. Сборка колонок полностью («Аквастер») или частично («Азипод») может быть выполнена в береговых условиях на заводе, судовой верфи и т.п.;
6. Монтаж, демонтаж и ремонт ГВРК можно производить в более сжатые сроки. Для ГВРК «Аквастер» колонку можно (де)монтировать опусканием (подъемом) без постановки судна в док. Это в первую очередь связано с такими трудоемкими работами как замена (ремонт) гребного винта или всей колонки.
7. Снижение затрат на техническое обслуживание установки, т.к. весь комплекс и его отдельные части могут легко демонтированы с судна для качественного ТО и Р в береговых условиях. Комплектующие механизмы и устройства, входящие в состав ГВРК, стационарного традиционного изготовления, ТО которых не вызывает затруднений.
8. Низкая виброактивность установки и высокая пропульсивная эффективность комплекса, а также упрощение компоновки и монтажа механической установки за счет отказа от длинных гребных валов.
9. Повышение безопасности мореплавания за счет улучшения маневренных качеств судна, что обусловлено также возможностью осуществления реверса за счет разворота колонок без изменения направления вращения гребных валов, а на 2-х вальных установках - обеспечение движения судна лагом.
10. ГВРК существенно улучшают поворотливость судна и облегчают движение в узкостях и при швартовных операциях.

#### **Недостатки:**

1. Широкому распространению ПВК препятствует их недостаточная эрозионная стойкость, слабая защищенность от механических повреждений, относительно высокая стоимость, вызванная сложностью конструкции
2. Затруднён ремонт в пути.



# ЭЛЕКТРОДВИЖУЩАЯ СИСТЕМА AZIPOD

В последнее время получила распространение электродвижущая система **Azipod** (Azimuth Pod – азимутальная гондола), которая включает в себя дизель-генератор, электромотор и винт.

Дизель-генератор вырабатывает электроэнергию, которая по кабельным соединениям передается на электромотор. Электромотор, обеспечивающий вращение винта, расположен в специальной гондоле. Винт находится на горизонтальной оси, уменьшается количество механических передач – в результате достигается максимальный пропульсивный коэффициент. Винторулевая колонка имеет угол разворота до 360°, что значительно повышает управляемость судна.

## Достоинства Azipod:

уменьшается расход топлива на 10 – 20%;

уменьшается вибрация корпуса судна;

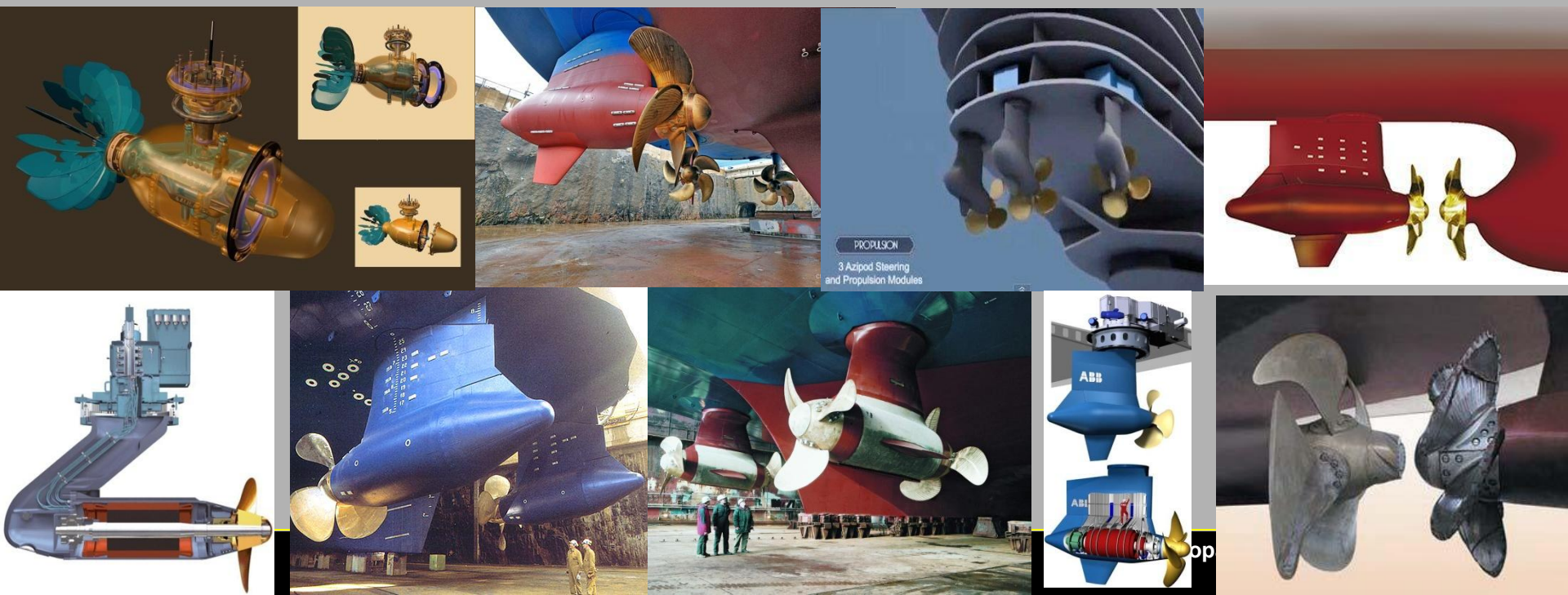
из-за того, что диаметр гребного винта меньше – эффект кавитации снижен;

отсутствует эффект резонанса гребного винта.

По сравнению с традиционными пропульсивными комплексами на базе тепловых двигателей **Azipod** имеют ряд **преимуществ**, в том числе:

- высокие маневренные характеристики судна;
- высокая перегрузочная способность пропульсивного комплекса;
- сравнительно низкие эксплуатационные расходы;
- высокий КПД при работе на долевых нагрузках;
- возможность рационального размещения оборудования на судне с увеличением полезного объема;
- сокращение сроков постройки судна и доковых ремонтных работ.

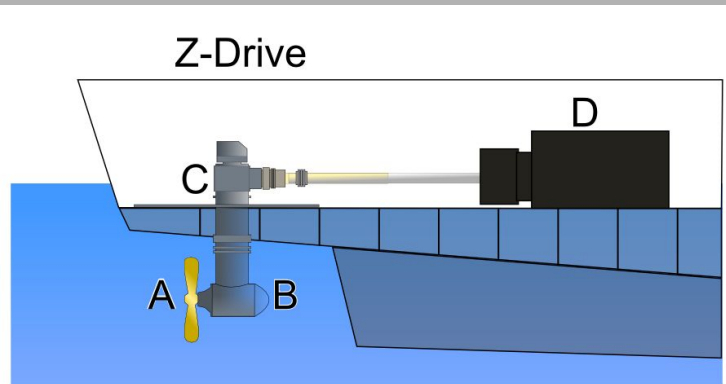
Одновременно внедряется **CRP (contra-rotating propeller)** технология. В этом случае винты располагаются друг против друга и имеют противоположное направление вращения, чем достигается наибольший двигательный эффект. Данная система используется на судах, обслуживающих регулярные линии, для которых очень важна скорость доставки груза или пассажиров.



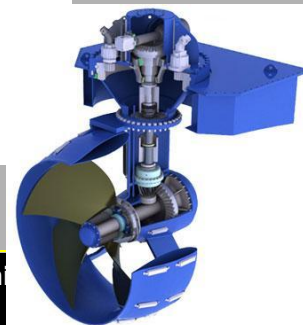
## Z-ОБРАЗНАЯ ПЕРЕДАЧА(угловая колонка) – Z-drive

**Z-образная передача** (угловая колонка) — механическая передача (угловая колонка) — механическая передача, состоящая из трех валов (угловая колонка) — механическая передача, состоящая из трех валов: входного, выходного и промежуточного, соединенных между собой коническими зубчатыми передачами. Расположение валов напоминает букву Z.

Z-образные передачи нашли применение на судах Z-образные передачи нашли применение на судах для привода гребного винта. Используется в основном на малых судах, катерах, буксирах, а также широко используется на шельфовом флоте.



SAMSUNG



# ВЫДВИЖНОЕ АЗИМУТАЛЬНОЕ ПОДРУЛИВАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО

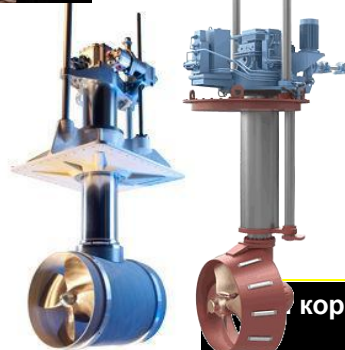
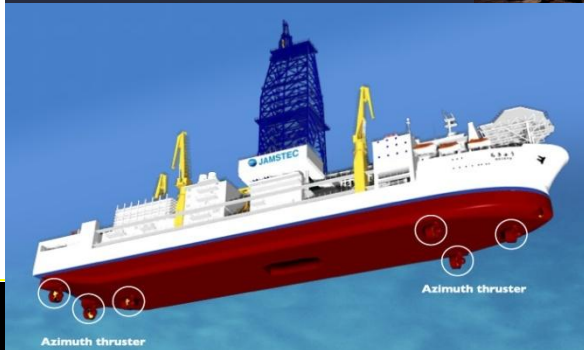
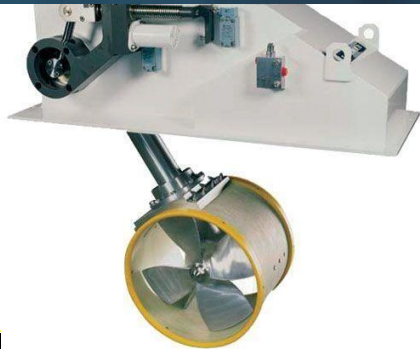
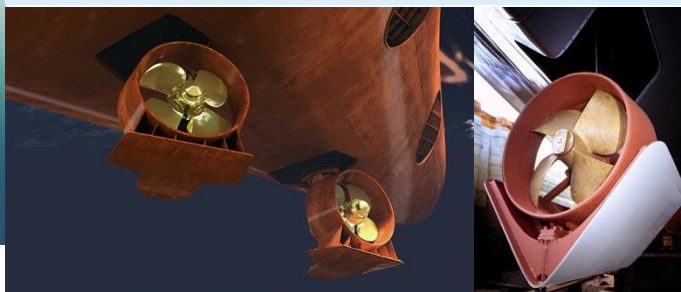
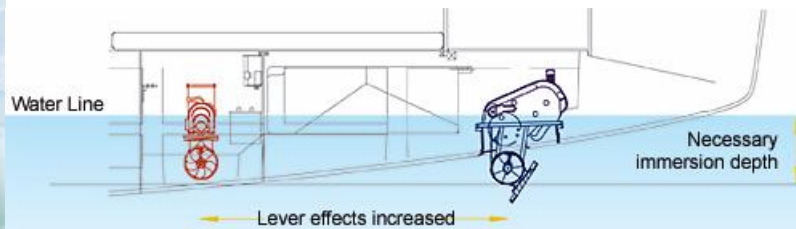
**Выдвижное азимутальное подруливающее устройство** — в судостроении **гребной винт** — в судостроении гребной винт, расположенный в поворачивающейся на 360° колонке. Такое устройство заменяет **руль** — в судостроении гребной винт, расположенный в поворачивающейся на 360° колонке. Такое устройство заменяет руль и позволяет **швартоваться** — в судостроении гребной винт, расположенный в поворачивающейся на 360° колонке. Такое устройство заменяет руль и позволяет швартоваться в стеснённых условиях, не привлекая **буксир**.

Выдвижные подруливающие устройства используются для динамического позиционирования на морских платформах в качестве швартового подруливающих устройств на перегрузочных танкерах, и в качестве аварийного вспомогательного движителя на военно-морских судах и танкерах, работающих в прибрежной зоне

Азимутальное подруливающее устройство может быть как дополнительным движителем корабля, так и основным. Основным часто является на современных специализированных судах: **буксирах** Азимутальное подруливающее устройство может быть как дополнительным движителем корабля, так и основным. Основным часто является на современных специализированных судах: буксирах, **целоколах**.

**Преимущества:** ПВК, используемые как ВДРУ, обычно менее мощные, чем ПВК ГДРУ, и выполняются, как правило, откидывающимися или выдвижными. Это позволяет убрать устройство внутрь корпуса, если надобность в нем отсутствует, что предотвращает увеличение сопротивления воды движению судна из-за лобового сопротивления ПВК, а также поломки последних.

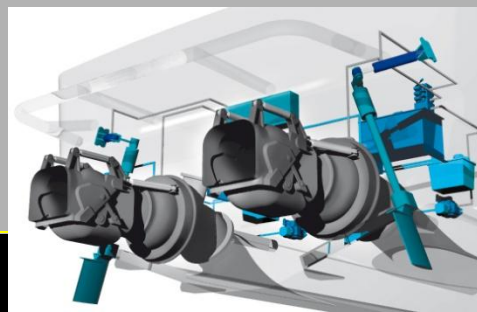
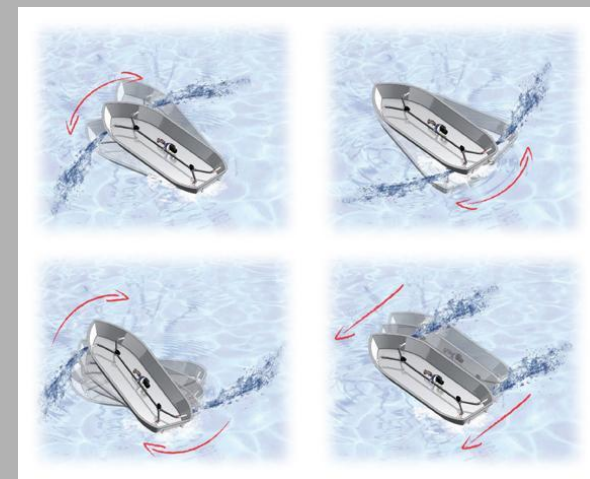
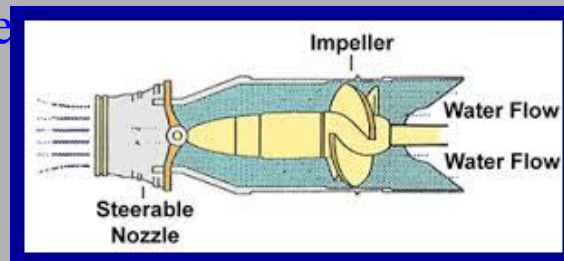
**Недостатком** является увеличение осадки при выдвинутом устройстве. Работа во льдах требует специальной надежной защиты движителя



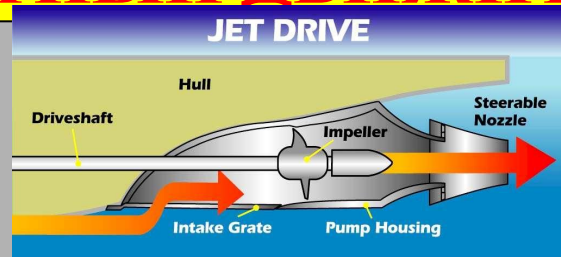
корабля

## ВОДОМЕТНЫЙ ДВИЖИТЕЛЬ (водовет)

Водоветный движитель (водовет) — двигатель (водовет) — движитель, у которого сила, движущая судно (водовет) — движитель, у которого сила, движущая судно, создаётся выталкиваемой из него струей воды (водовет) — движитель, у которого сила, движущая судно, создаётся выталкиваемой из него струей воды (реактивная тяга (водовет) — движитель, у которого сила, движущая судно, создаётся выталкиваемой из него струей воды насос, работающий



# ВОДОМЕТНЫЙ ДВИЖИТЕЛЬ (водомер)



**Водомерный движитель, водомер, - судовой движитель, у которого сила, движущая судно, создается выталкиваемой из него струей воды.**(Большая Советская Энциклопедия)

**В чем же отличия водомера, преимущества и недостатки его применения? Начнем по порядку.**

**Водомерный движитель состоит, как правило, из импеллера (винта) с валом, водовода (водомерной трубы), спрямляющего аппарата и реверсивно-рулевого устройства. Если вкратце, то принцип работы водомера таков: при вращении импеллера возникает разрежение, благодаря чему вода движется по водозаборнику (приемной трубе). Получив некоторое ускорение, она выбрасывается через сопло, выходное сечение которого меньше, чем диаметр водовода. Таким образом, отбрасываемая масса воды создает упор движителя, что и приводит катер в движение. Поворотом в горизонтальной плоскости потока, обеспечивается поворот катера. При перекрытии потока из сопла, струя воды поворачивается обратно, что дает катеру задний ход.**

## **Достоинства:**

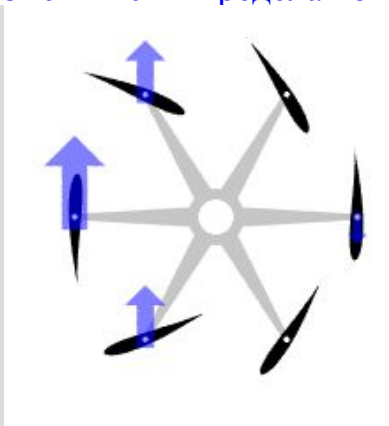
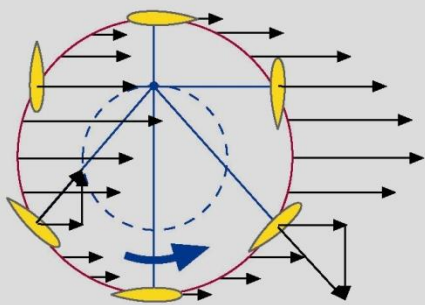
1. - отсутствие на корпусе выступающих частей и связанного с ними дополнительного сопротивления воды движению и повышенная надежность;
2. - возможность реверсирования судна (путем изменения направления реактивной струи) при постоянном вращении двигателя в одном направлении, что повышает моторесурс;
3. - обеспечение соответствия водомера двигателю при нерасчетных условиях эксплуатации (например, при увеличении сопротивления движению вследствие обрастания корпуса, при ходе на волнении, а также при изменении нагрузки судна);
4. - возможность эксплуатации лопастного механизма водомера при высоких скоростях хода без кавитации;
5. - более низкие уровни гидроакустического шума (на 6-10 дБ) и вибрации корпуса;
6. - лучшая управляемость судна в широком диапазоне скоростей переднего и заднего хода и более высокие инерционные характеристики.

## **Недостатки:**

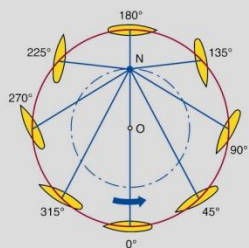
1. На малых легких катерах с водомером можно получить такую же скорость, как и на катерах с гребным винтом (при одинаковых частоте вращения и мощности).
2. Малооборотный гребной винт нельзя заменить высокооборотным малым водоструйным насосом.
3. Различные водомерные установки неодинаково эффективно изменяют направление струи для получения заднего хода.
4. Недостатком водомерного движителя является непропорциональное по отношению к частоте вращения увеличение и уменьшение скорости.
5. У катеров с малокилеватыми обводами или резкими изгибами формы корпуса воздух может попасть в водозаборник водомера, что немедленно приведет к уменьшению тяги.
6. Проблемы кавитации у водомерных движителей возникают чаще, чем у обычного гребного винта, отчасти из-за решетки во всасывающем отверстии, которая образует завихрения во входящем потоке.
7. Коррозия водомерных движителей, особенно в морской воде, представляет большую опасность, чем коррозия обычного бронзового гребного винта.
8. В мелких водоемах в движителя засасывается песок, ил и даже мелкие камни, которые порой наносят повреждения лопаткам водомера.
9. Высокая стоимость водомера - одна из важнейших отрицательных сторон. Стоит он примерно в полтора раза больше, чем обычный винто-рулевой комплекс.
10. Основное отличие в управлении водомерным катером - маневры осуществляются только при работающем двигателе, и не следует сбрасывать газ до минимума до окончания маневра.
11. Управление судном с водомерным движителем существенно отличается от управления обычным винтовым судном, особенно при маневрировании в стесненных акваториях. Проблема возникает, когда водитель переходит от обычной однорычажной системы управления к рычагам управления водомером.
12. Еще одна проблема водомера - подверженность обрастанию.

# СУДОВОЙ КРЫЛЬЧАТЫЙ ДВИЖИТЕЛЬ- *Voith Schneider Propeller*

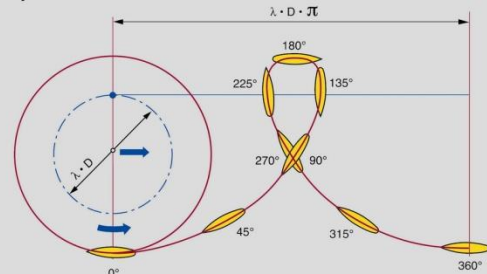
Судовой крыльчатый движитель, известный также под названием движитель Фойта — Шнайдера (англ. Voith Schneider Propeller) — двигательно-рулевое устройство — движительно-рулевое устройство с полностью погружённым в среду крыльчатым — движительно-рулевое устройство с полностью погружённым в среду крыльчатым движителем с циклоидальным — движительно-рулевое устройство с полностью погружённым в среду крыльчатым движителем с циклоидальным движением лопастей) — движительно-рулевое устройство с полностью погружённым в среду крыльчатым движителем с циклоидальным движением лопастей, создающее упор) — движительно-рулевое устройство с полностью погружённым в среду крыльчатым движителем с циклоидальным движением лопастей, создающее упор, направление которого может изменяться в пределах от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  вправо или влево при изменении углов установки лопастей, что позволяет очень хорошо маневрировать судам и в состоянии почти мгновенно изменить его упор. Изобретён в 1926 году) — движительно-рулевое устройство с полностью погружённым в среду крыльчатым движителем с циклоидальным движением лопастей, создающее упор, направление которого может изменяться в пределах от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  вправо или влево при изменении углов установки



a)



b)



# СУДОВОЙ КРЫЛЬЧАТЫЙ ДВИЖИТЕЛЬ- *Voith Schneider Propeller*

Принцип действия крыльчатого движителя показан на рисунке. В процессе вращения диска каждая лопасть разворачивается перпендикулярно к линии, соединяющей середину хорды лопасти с точкой  $N$ . Эта точка называется *центром управления*. Угол атаки каждой лопасти за время оборота диска непрерывно меняется, достигая максимального значения, когда лопасть находится на радиусе, перпендикулярном  $ON$ . Поэтому суммарная сила упора лопастей  $P$  направлена по этому радиусу.

Абсолютное значение углов атаки, а значит, и сила упора увеличивается с увеличением расстояния от центра управления диска  $O$ , т.е. с увеличением *эксцентриситета*.

Система управления лопастями крыльчатого движителя позволяет устанавливать центр управления  $N$  в любое фиксированное относительно судовых осей положение, т.е. без реверсирования создавать упор в любом направлении и изменять его величину.

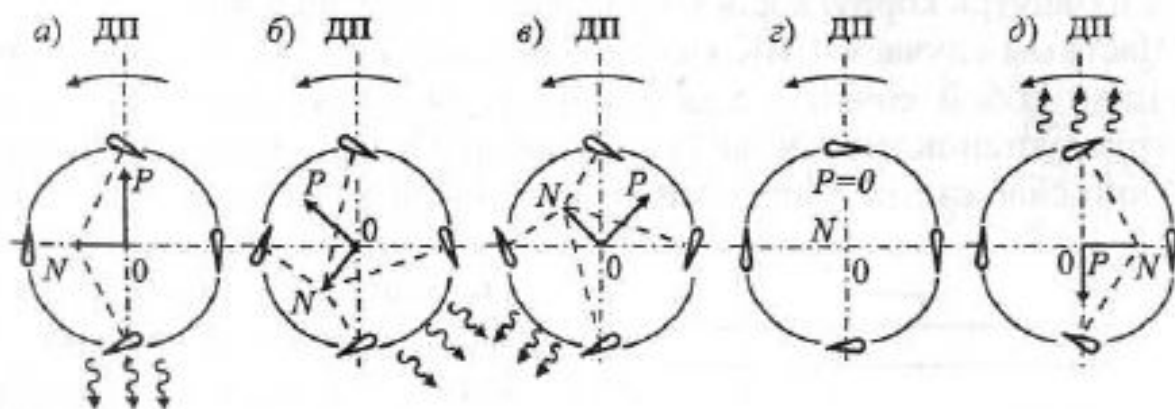


Рис. 3.8. Направление силы упора крыльчатого движителя  $P$  в зависимости от положения центра управления  $N$  относительно центра диска  $O$ : а) вперед; б) вперед и влево; в) вперед и вправо; г) нулевой упор; д) назад

## СУДОВОЙ КРЫЛЬЧАТЫЙ ДВИЖИТЕЛЬ- *Voith Schneider Propeller*

**Крыльчатые движители.** Они устанавливаются, как правило, на судах портофлота, повышают их маневренность, так как появляется возможность перемещаться не только вперед и назад, но и лагом (бортами). Эти движители нашли широкое применение на буксирах (толкачах), плавучих кранах, паромках, судах-снабженцах и др., которые работают в сложных стесненных условиях акватории порта. Крыльчатые движители применяются на судах как в качестве главного движителя, так и в виде вспомогательного средства управления. В первом случае его располагают под днищем судна, во втором — чаще всего в поперечном канале (трубе) корпуса судна.

Конструктивно крыльчатый движитель представляет собой диск (ротор) с вертикальной осью вращения. Ротор устанавливается заподлицо с днищевой обшивкой. На диске расположено 4—8 поворотных вертикальных лопастей. При вращении движителя каждая лопасть совершает свое вращательное движение по отношению к диску и вместе с диском — относительно воды.

Суда с крыльчатыми движителями имеют следующие **преимущества** перед винтовыми:

1. Возможность перемены хода без реверса двигателя,
2. Движение в любом направлении;
3. Отсутствие рулевого устройства, так как функции винта и руля заложены в самом крыльчатом движителе;
4. К. п. д. главного двигателя с крыльчатым движителем выше, чем у двигателя с гребным винтом;
5. При буксировке буксировщик может быть ошвартован в любой части судна, так как сила упора буксира в любом направлении одинаковая;
6. Скорость судна плавно набирается и гасится.

Однако наряду с преимуществами суда с крыльчатыми движителями имеют и **недостатки**:

1. Суда не пригодны для плавания в открытом море, т. е. на волнении, так как в этом случае диск и лопасти будут испытывать чрезмерное напряжение.
2. Сложность конструкции и большая масса (вес) крыльчатых движителей позволяют применять их только на неревверсивных двигателях небольшой мощности;
3. Когда крыльчатый движитель установлен не заподлицо с днищем, то он увеличивает осадку судна, работа во льдах требует специальной надежной защиты движителя.

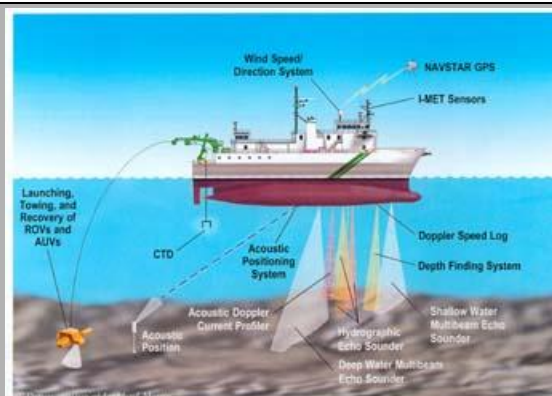
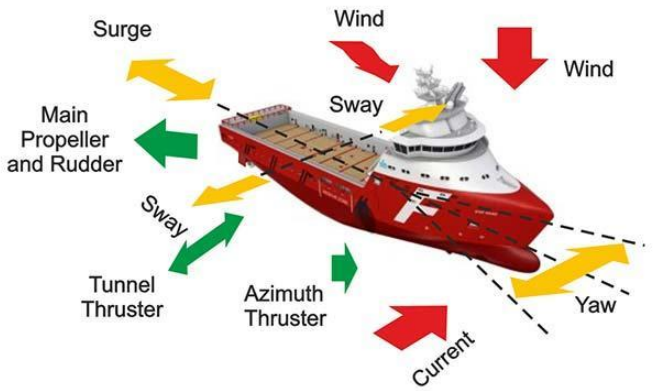


# СИСТЕМА ДИНАМИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

**Система Динамического позиционирования** это интегрированная система управления судном, спроектированная удерживать позицию и курс судна на автоматическом уровне, с высоким процентом точности, вблизи морских навигационных опасностей без использования якорей или швартовых концов, используя лишь судовые движители и средства активного управления (подруливающие устройства).

Все **ДП системы** используют принцип математического моделирования как основу функции позиционирования. ДП система содержит в себе математическую модель или описание динамики судового перемещения, что используется для предопределения позиции судна, его курса, а также перемещения. Использование этой информации, в сочетании с обработкой непрерывно поступающей информации от систем ориентации и датчиков, вырабатывает управляющие сигналы в энергоустановку и движительно-подруливающий комплекс, при помощи которых компенсируется суммарный вектор сил внешнего воздействия на судно (ветра, течения, волнения). Для качественного удержания ДП система всегда использует информацию от систем ориентации, работающих на разных физических принципах – гидроакустической, радиоволновой, спутниковой, электромеханической, лазерно-оптической и др. Отсюда логично, что **ДП система** является примером автоматического комплекса замкнутого цикла.

Благодаря своим высоким техническим характеристикам, удобству эксплуатации, возможности проведения работ на значительных глубинах суда с системами динамического позиционирования получили широкое практическое применение. Несмотря на их многообразие, эти суда объединяет общий принцип функционирования систем ДП. Но выбор и компоновка стабилизирующих движителей, средств определения координат местоположения центра ротации судна относительно заданной точки, структуры построения системы динамического позиционирования остаются на усмотрение судовладельца



# СИСТЕМА ДИНАМИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

**Система динамического позиционирования** — ([англ. dynamic positioning system](#)) — система, предназначенная для удержания судна в заданной позиции или области и (или) на заданном курсе, его перемещения на небольшие расстояния, следования вдоль заданного маршрута автоматически с высокой точностью посредством использования судовых движителей и подруливающих устройств.

[Международная морская организация](#) даёт следующее определение: «Система динамического позиционирования — это система, которая автоматически контролирует судно для удержания его позиции и курса исключительно посредством активного использования судовых движителей»

Широкое распространение системы динамического позиционирования нашли на вспомогательных судах нефтегазовой отрасли, а именно:

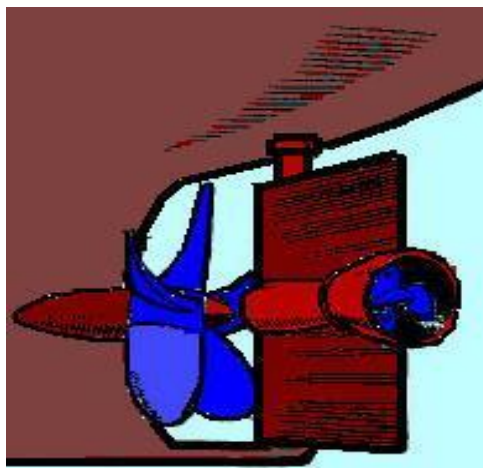
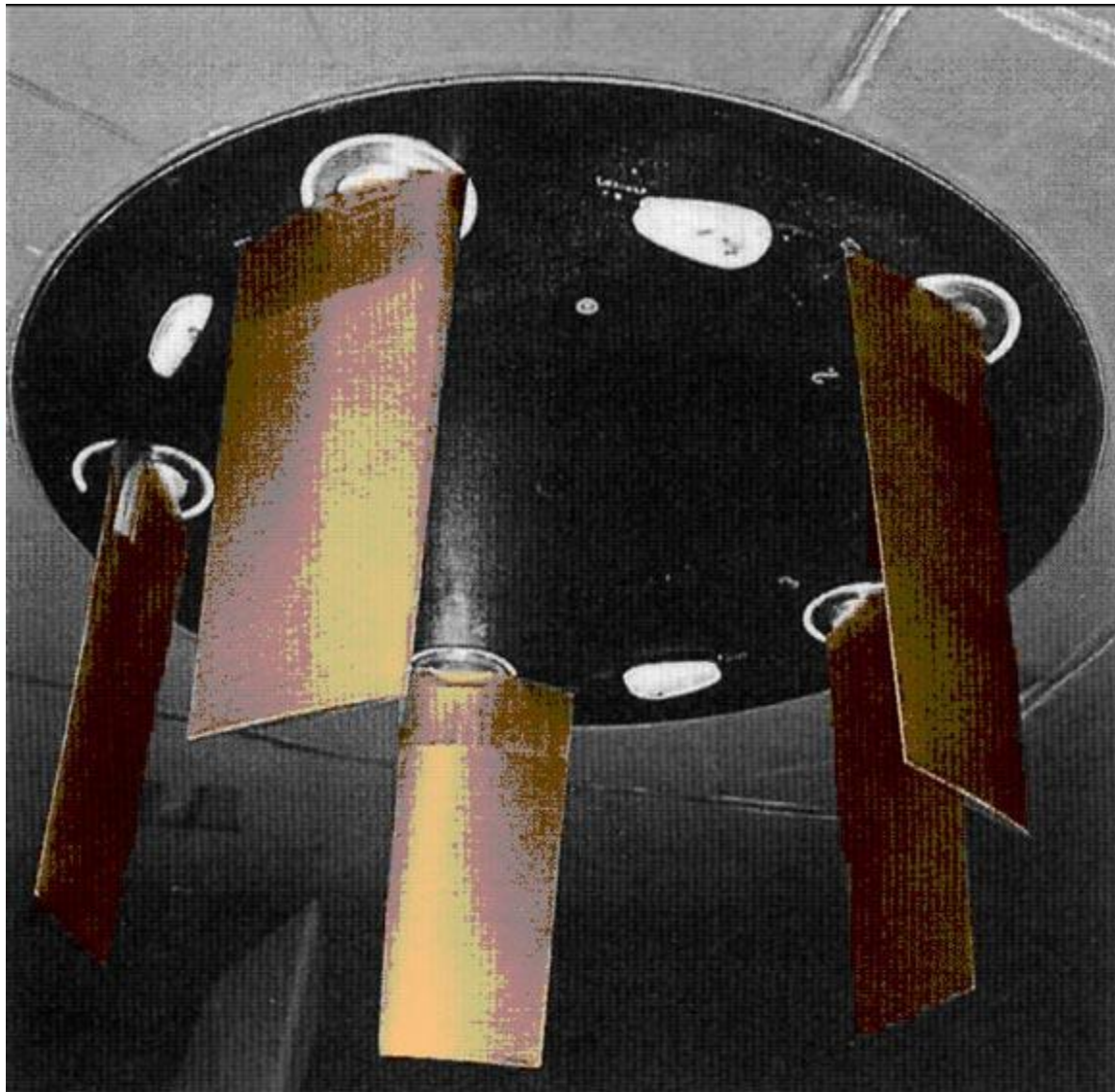
- судах снабжения;
- буксирах-якорезаводчиках;
- судах-кабелеукладчиках и трубоукладчиках;
- судах сейсмической разведки;
- буровых судах и мобильных буровых платформах;
- судах обеспечения водолазных работ (DSV, diving support vessels);
- земснарядах;
- шаттл-танкерах.

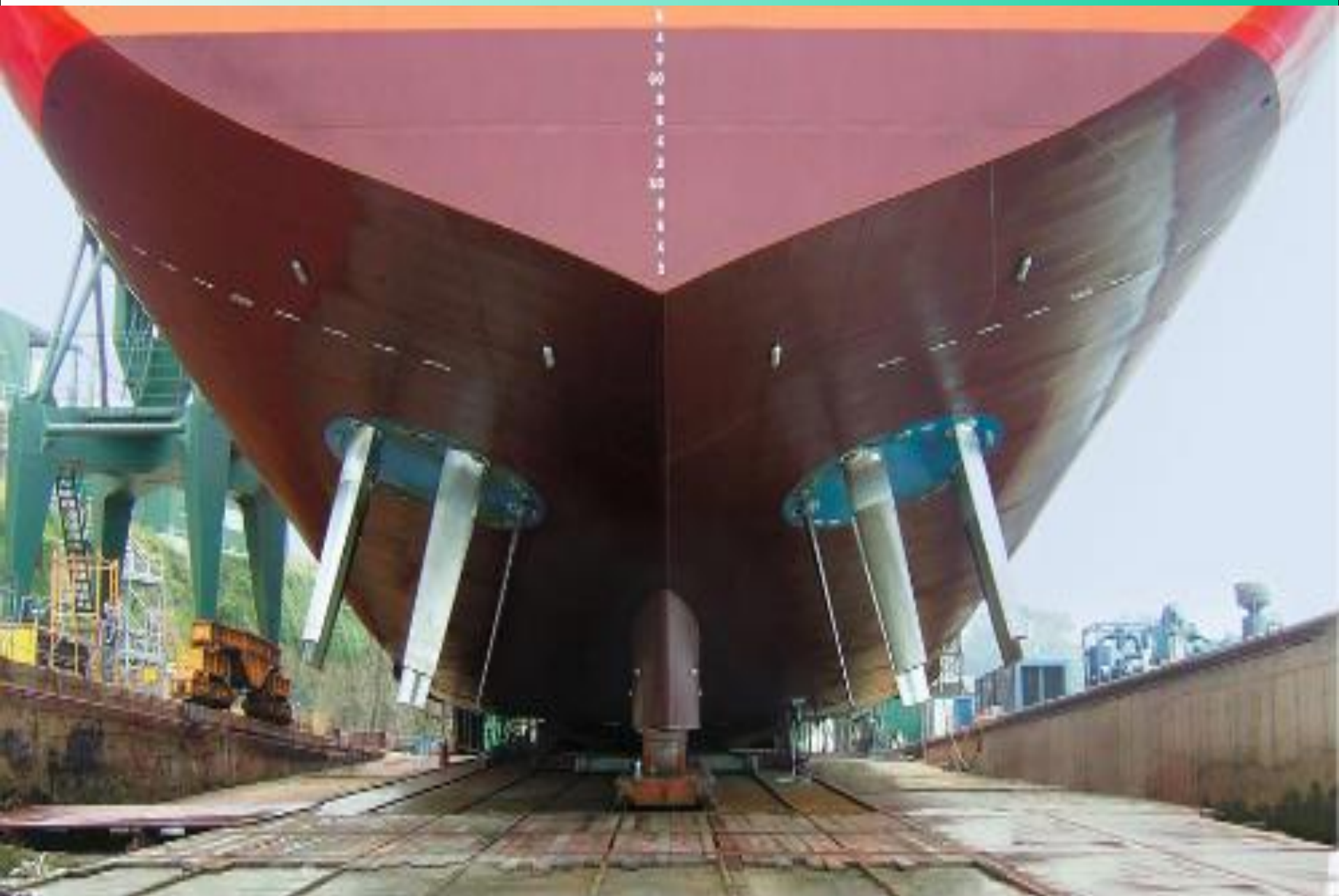
Это обусловлено тем, что данные суда по характеру выполняемых работ должны большую часть времени удерживать заданную позицию (например, суда снабжения, буровые суда и мобильные буровые платформы, суда обеспечения водолазных работ и прочие) или выполнять передвижения из позиции в позицию с высокой точностью (суда-кабелеукладчики, суда-трубоукладчики, суда сейсмической разведки, земснаряды и прочие).

Реже системы ДП можно встретить на танкерах, круизных пассажирских лайнерах и прочих.



# Маневренность на малых скоростях \ Slow Speed Maneuverability

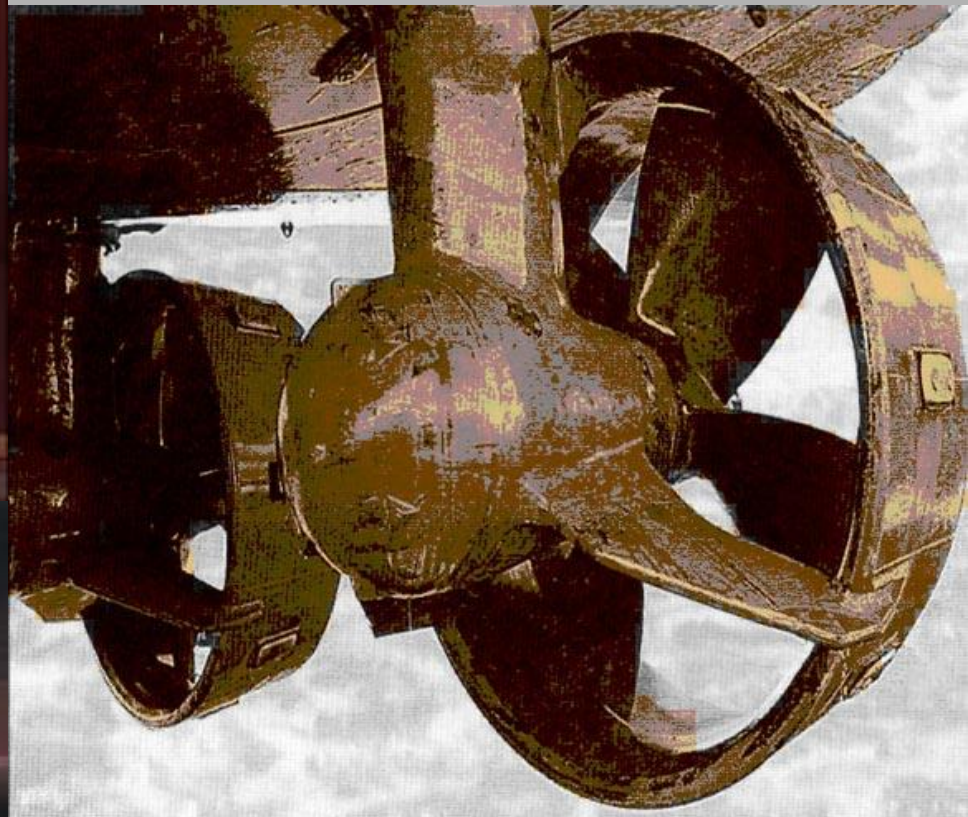




## Маневренность на малых скоростях \ Slow Speed Maneuverability



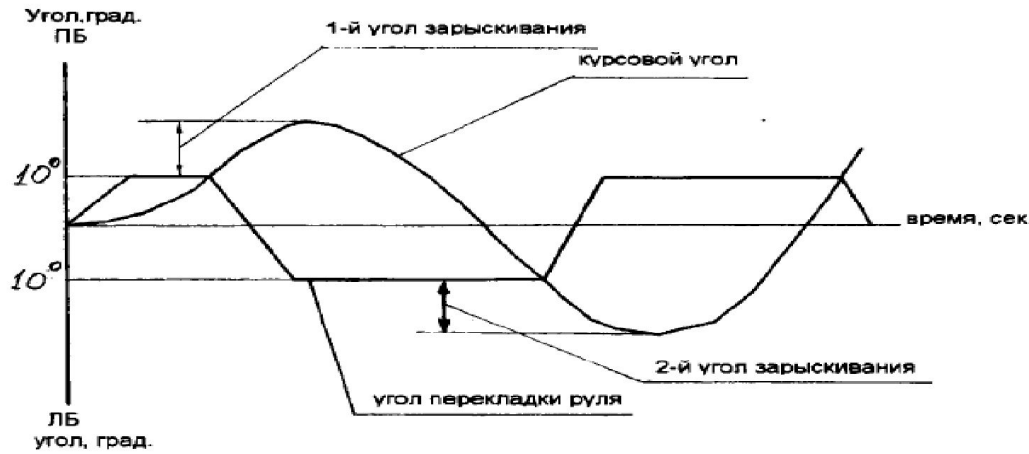
## Маневренность на малых скоростях \ Slow Speed Maneuverability



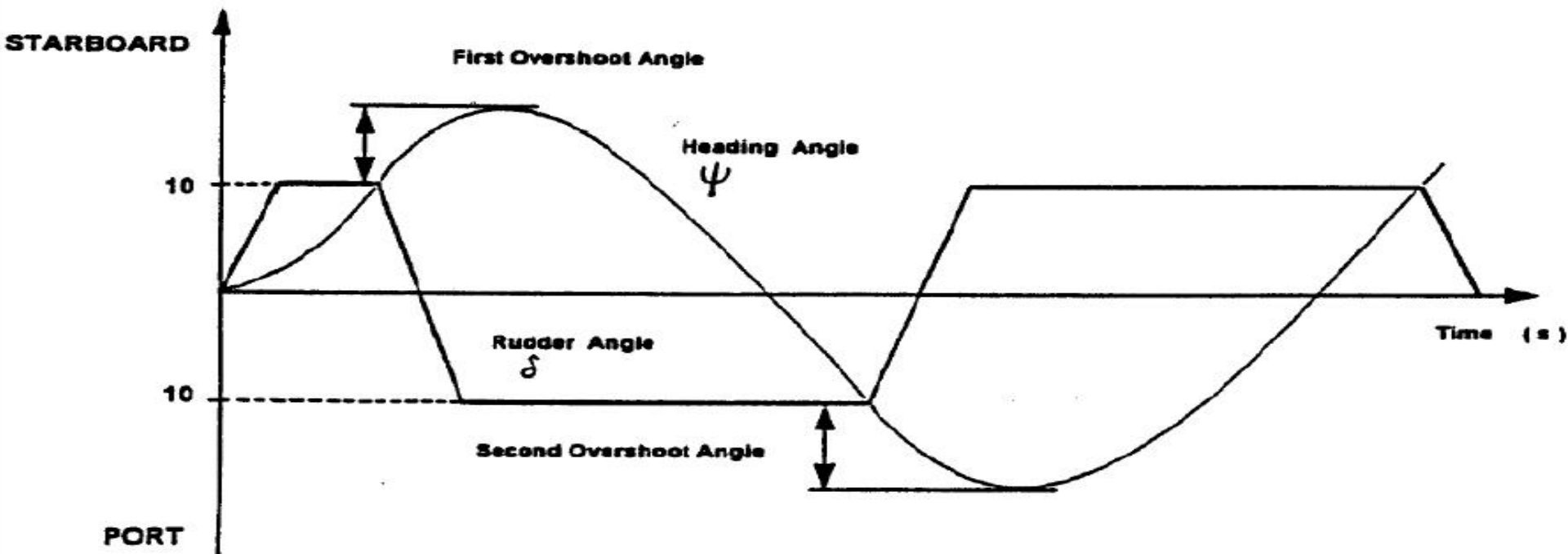
# Виды маневренных испытаний

- IMO standard maneuvers (Стандартные тесты ИМО):
  - Zig-zag (Зиг-Заг)
    - 10°/ 10° на оба борта
    - 20°/ 20° на оба борта
  - циркуляционный тест
    - 35° переклада руля
  - Тест полной остановки (определяется тормозной путь, проходимый судном с момента отдачи команды на полный задний ход с момента полной остановки судна относительно воды )
- **Спиральные тесты**
  - **Обратная спираль**
  - **Дополнительные маневры:**
    - **Полный выбег**
    - **Очень маленький Зиг-Заг**

# Маневр Зиг-Заг



$\psi, \delta$  (Deg)

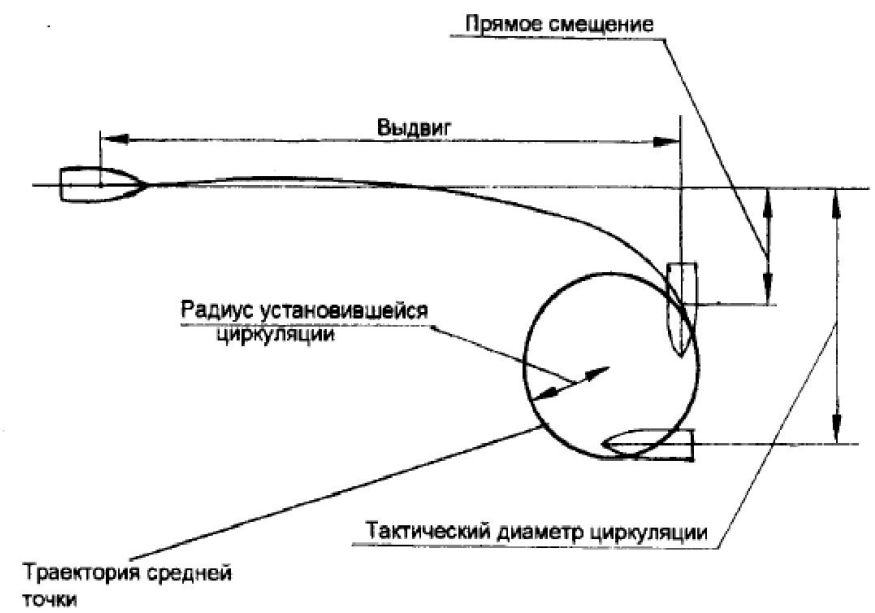
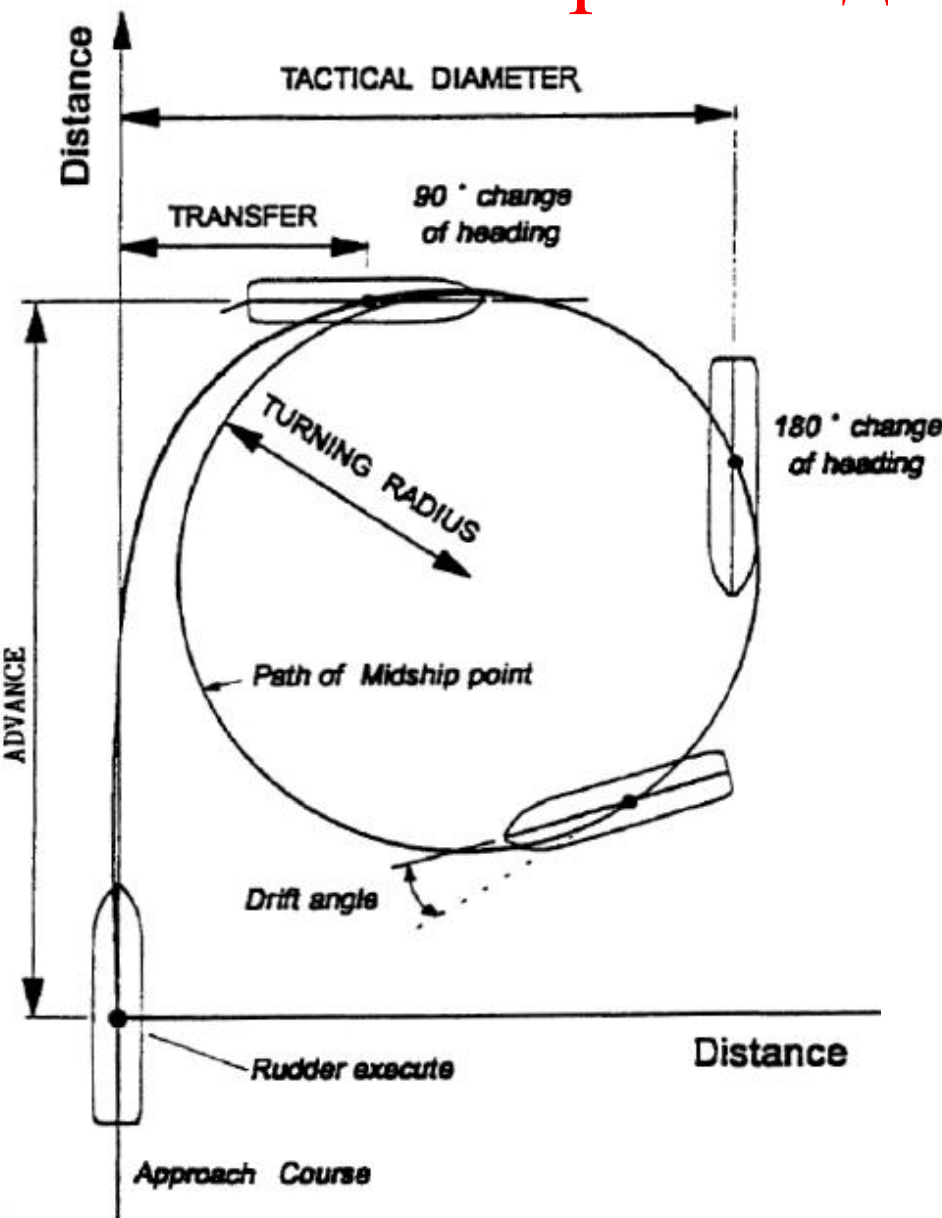




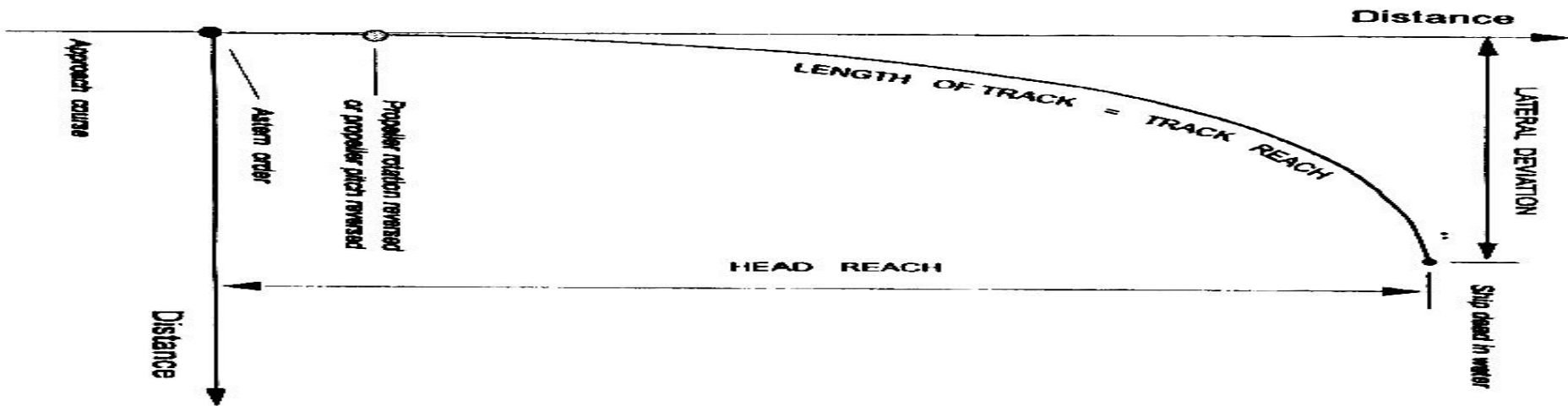
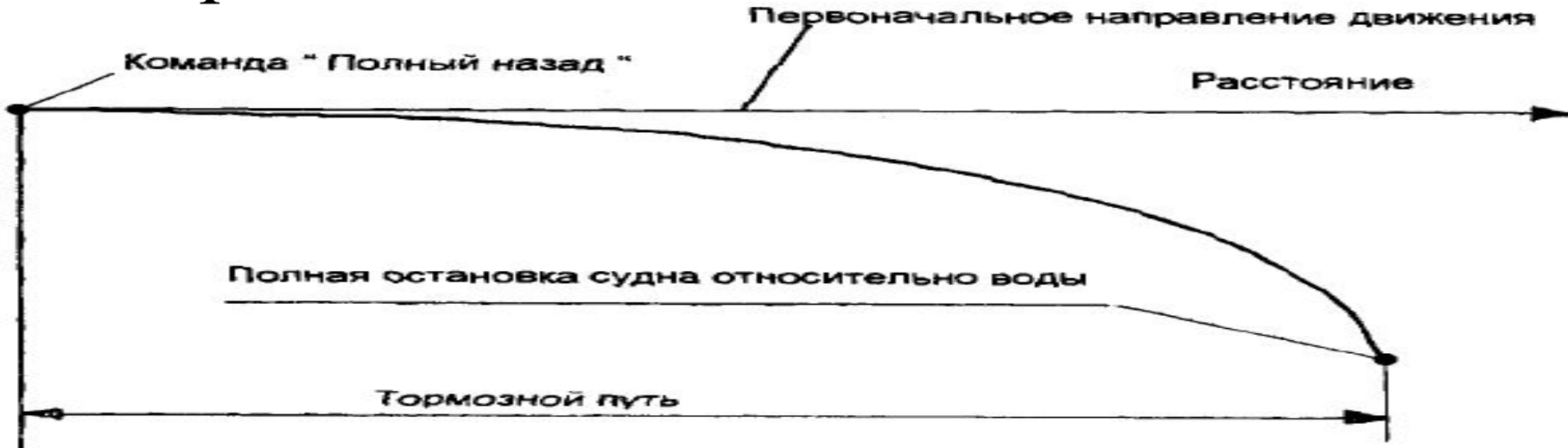
# Маневр Зиг-Заг

- Испытание на зигзаг  $10^{\circ}/10^{\circ}$  выполняется посредством перекладки руля на  $10^{\circ}$  поочередно на каждый борт при достижении отклонения направления движения на  $10^{\circ}$  от первоначального направления в соответствии со следующими процедурами
  - .1 при достижении устойчивого нулевого рыскания руль переключается на  $10^{\circ}$  на правый/левый борт (первое действие);
  - .2 когда направление движения изменится на  $10^{\circ}$  от первоначального, руль переключается на  $10^{\circ}$  на левый/правый борт (второе действие);
  - .3 после того, как руль будет переложено на левый/правый борт, судно будет продолжать поворачиваться в первоначальном направлении с уменьшающейся скоростью поворота. Затем, реагируя на переключку руля, судно должно начать поворачиваться на противоположный борт. Когда судно достигнет отклонения на  $10^{\circ}$  на левый/правый борт от первоначального курса, руль снова переключается на  $10^{\circ}$  на правый/левый борт (третье действие);
  - .4 первый угол зарыскивания - дополнительное отклонение после второго действия) при выполнении зигзага;
  - .5 второй угол зарыскивания - дополнительное отклонение после третьего действия) при выполнении зигзага;
  - .6 испытания на зигзаг  $20^{\circ}/20^{\circ}$  проводятся согласно процедуре, описанной выше, посредством перекладки руля на  $20^{\circ}$  и изменения курса на  $20^{\circ}$ .

# Маневр выхода на циркуляцию



# Срочная остановка



# ИНФОРМАЦИЯ О МАНЕВРЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ СУДНА

- Информация о маневренных характеристиках судна в соответствии с резолюцией ИМО А.601(15) «Требования к отображению маневренной информации на судах» должна быть представлена в виде:
  - **лоцманской карточки;**
  - **таблицы маневренных характеристик (для рулевой рубки);**
  - **формуляра маневренных элементов.**

В информацию о маневренных характеристиках должны вноситься все изменения после модернизации или переоборудования судна, в результате которых могут измениться маневренные характеристики или наибольшие размерения судна.

**Лоцманская карточка.** Лоцманская карточка, подлежащая заполнению капитаном, предназначена для предоставления информации лоцману, принимающему судно под проводку. Эта информация должна дать представление о состоянии судна в период проводки в части загрузки, двигателей и движителей, рулевого и подруливающего устройства и другого соответствующего оборудования. Для заполнения лоцманской карточки проведение специальных ходовых испытаний не требуется.

**PILOT CARD**

SHIP'S PARTICULARS

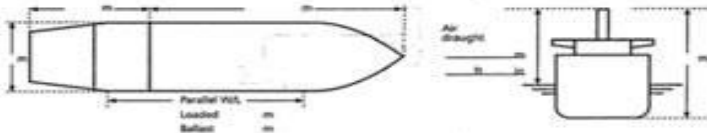
Name  Call sign

Displacement  (tonnes) Deadweight  (tonnes) Year built

Length OA  (m) Breadth  (m) Bulbous bow:  yes/no

Draught fwd  (m) Draught aft  (m) Draught amidships  (m)

Port anchor  (shackles) Stbd anchor  (shackles) (1 shackle=27.4 m/15 fathoms)



**ENGINE**

Type of engine  Maximum power  (kW)  (HP)

	rpm/pitch	loaded speed	ballast speed
Full ahead	<input type="text"/>	<input type="text"/> (kts)	<input type="text"/> (kts)
Half ahead	<input type="text"/>	<input type="text"/> (kts)	<input type="text"/> (kts)
Slow ahead	<input type="text"/>	<input type="text"/> (kts)	<input type="text"/> (kts)
Dead slow ahead	<input type="text"/>	<input type="text"/> (kts)	<input type="text"/> (kts)
Dead slow astern	<input type="text"/>		
Slow astern	<input type="text"/>		
Half astern	<input type="text"/>		
Full astern	<input type="text"/>	<input type="text"/> (% of full ahead power)	

Engine critical rpm  Maximum number of consecutive starts

Time full ahead to full astern  (sec) Time limit astern  (min)

**FEERING**

adders  (number)  (type)  (maximum angle)

me hard-over to hard-over  (sec) Rudder angle for neutral effect

ropellers  (number) Direction of turn  left/right Controllable pitch  yes/no

rudders  (number) Bow power  (kW/HP) Stern power  (kW/HP)

steering idiosyncrasies

**EQUIPMENT CHECKED AND READY FOR USE**

anchors  Cleared away:  yes/no

whistle

logs

-Band radar  ARPA  yes/no

-Band radar  ARPA  yes/no

speed log  Water/Ground  single axis/dual axis

echo sounder

electronic position-fixing  Type

compass system  Gyro compass error

steering gear  Number of power units in use

udder/RPM/ROT indicators  Engine telegraphs

HF

hoisting winches and lines

**EQUIPMENT OPERATIONAL DEFECTS**

**OTHER IMPORTANT DETAILS**

Master's name  Date

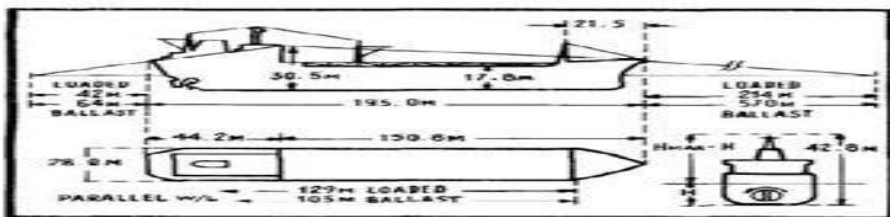
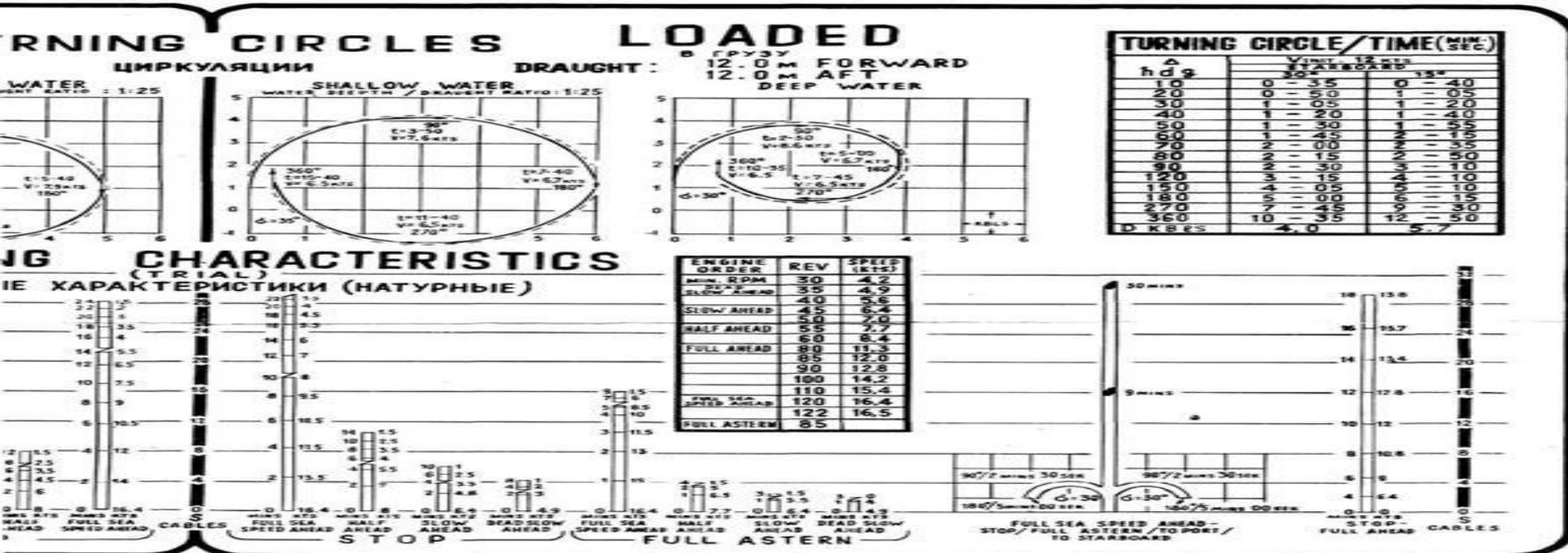
Reference: IMO Resolution A.801(15) Provision and display of measuring information on board ships

## Таблица маневренных характеристик

**В таблицу маневренных характеристик для рулевой рубки должны быть включены следующие данные.**

- **1.Название судна, позывные, валовая и чистая вместимость, водоизмещение, дедвейт, коэффициент общей полноты при осадке в полном грузу по летнюю грузовую марку.**
- **2.Осадки, при которых была получена информация о маневренных элементах.**
- **3.Характеристики рулевого устройства.**
- **4.Характеристики якорной цепи.**
- **5.Характеристики энергетической установки.**
- **6.Влияние подруливающего устройства в условиях испытания.**
- **7. Увеличение осадки (в грузу) из-за проседания и влияния крена.**
- **8. Циркуляция при максимальном угле перекладки руля (в грузу и в балласте).**
- **9. Тормозные характеристики и маневры в аварийной ситуации (в грузу и в балласте).**
- **10.Маневрирование при спасании человека за бортом. Последовательность действий и рекомендованная циркуляция.**
- **11.Мертвые зоны.**
- **12.Теневые секторы.**
- **13.Высота судна (в грузу и в балласте).**

# Фрагмент таблицы маневренных характеристик



### DRAUGHT INCREASE SQUAT (m)

SPEED (KTS)	SQUAT (m)	
	MIN	MAX
4	0.1	0.1
6	0.2	0.2
8	0.3	0.3
10	0.4	0.4
12	0.5	0.5

LIST (m)	SEA STATE	
	INCR	DECR
1	0.2	0.1
2	0.3	0.2
3	0.4	0.3
4	0.5	0.4

### PROPULSION PARTICULARS

TYPE OF ENGINE DIESEL  
 CRITICAL REVOLUTION 65-75 RPM  
 MINIMUM RPM 30  
 TIME LIMIT ASTERN NIL MIN  
 TIME LIMIT AT MIN. REVS NIL MIN  
 ASTERN POWER 100% AHEAD  
 EMERGENCY FULL AHEAD TO FULL ASTERN 72 SEC.  
 MAX. NO OF CONSECUTIVE STARTS 12  
 TYPE OF PROPELLER: SOLID, DIRECTLY DRIVEN

### WATER INFLOW VOLUME (m<sup>3</sup>/h)

H <sub>k</sub> (m)	AREA OF HOLE			
	10	25	500	1000
1	10	25	500	1000
2	14	35	700	1400
3	17	40	800	1700
4	20	50	1000	2000
5	22	55	1100	2200

### STEERING PARTICULARS

TYPE OF RUDDER : MARINER  
 MAXIMUM RUDDER ANGLE : 35°  
 TIME HARD OVER TO HARD OVER : 28 SEC.  
 WITH ONE POWER UNIT : 22 SEC.  
 WITH TWO POWER UNITS : 22 SEC.  
 MINIMUM SPEED TO MAINTAIN COURSE PROPELLER STOPPED : 4.2  
 RUDDER ANGLE FOR NEUTRAL EFFECT : 5°

ANCHOR CHAIN	TWO SPEEDS	NO OF CHACKLES	MAX. RATE OF HEAVING
1 SHACLE = 27.4M/213 FATH	PORT	11	2.3MIN
	STARBOARD	12	2.3MIN



# Формуляр маневренных элементов

**Формуляр маневренных элементов** должен содержать достаточно подробное описание маневренных характеристик и другие соответствующие данные. В него должна быть включена информация, приведенная в таблице маневренных характеристик, и другая имеющаяся информация о маневренных характеристиках. Большая часть информации о маневренных характеристиках в формуляре может быть рассчитана, однако некоторая ее часть должна быть получена при испытаниях. Информация может пополняться в течение всего срока эксплуатации судна.



