

Силы и моменты, действующие на судно в процессе управления при маневрировании. Уравнения движения судна.



**Товарищ капитан, сделай одолжение:
Входя в поворот — будь готов!**



Помни про скорость движения!

ЛЕСТАВОЕНПЛАКАТ 2013
ОГРАНИЧЕННЫЙ ТИРАЖ

Компетенция : « Маневрирование судна »

Силы и моменты, действующие на судно в процессе управления при маневрировании. Уравнения движения судна.

ПЛАН ЛЕКЦИИ

1. Силы и моменты, действующие на судно.
2. Уравнения движения судна.
3. Маневренность судна.
4. Циркуляция.
5. Полюс поворота.
6. Влияние различных факторов на поворотливость судна

Силы и моменты, действующие на судно.

Морское судно как транспортное средство совершает движение на границе двух сред — воды и воздуха, испытывая при этом гидродинамическое и аэродинамическое воздействия.

Для обеспечения заданных параметров движения, судном необходимо управлять: обеспечить движение постоянным курсом или по требуемой криволинейной траектории, обеспечить движение с заданной скоростью или с переменной скоростью.

С точки зрения управления судном, интерес главным образом представляют рабочие органы устройств. Для главных движительных устройств такими органами на морских транспортных судах чаще всего бывают винты фиксированного шага (ВФШ) или винты регулируемого шага (ВРШ), а для рулевых устройств — руль (перо руля). Рассмотрим основные характеристики указанных рабочих органов.

Гребной винт представляет собой систему лопастей (от 2 до 8), каждая из которых является участком винтовой поверхности.

Сила упора, создаваемая винтом при его вращении с заданной частотой, зависит от его основных геометрических характеристик: диаметра D , шага H , дискового отношения θ и числа лопастей z , а также от скорости самого судна. Существенное влияние на силу упора оказывает взаимодействие винта с корпусом судна. Силу упора без учета такого взаимодействия называют *упором изолированного винта*, а с учетом взаимодействия — *полезным упором* или *тягой*.

Силы и моменты, действующие на судно.

Для ВФШ изменение направления упора достигается реверсированием двигателя (изменением направления вращения гребного вала). ВФШ имеет максимальный коэффициент полезного действия (КПД) только при одном выбранном при проектировании режиме движения (для транспортных судов это обычно скорость полного переднего хода). ВРШ позволяет за счет дистанционного поворота лопастей менять шаг винта и получать максимальный КПД при любом режиме движения. Изменение направления упора ВРШ осуществляется соответствующим поворотом лопастей без реверсирования главного двигателя.

На двухвинтовых судах гребные винты противоположного вращения устанавливаются симметрично относительно диаметральной плоскости (ДП). Направление вращения обычно выбирается таким образом, чтобы на переднем ходу лопасти вращались наружу.

Руль (перо руля) представляет собой крыло за кормой судна, способное поворачиваться с помощью баллера вокруг вертикальной оси на углы $30\text{--}35^\circ$ вправо и влево. На отклоненном от ДП руле при движении в потоке воды возникает поперечная ДП сила, создающая момент относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести судна. Эта сила при данном угле перекаладки пропорциональна квадрату скорости потока воды, обтекающей перо руля, и зависит от геометрических характеристик руля и его размещения относительно гребного винта.

Силы и моменты, действующие на судно.

Основными геометрическими характеристиками, определяющими эффективность руля как управляющего устройства, являются площадь S_r и высота h (по баллеру), а также размерения и форма подводной части корпуса.

Эффективность руля, установленного за гребным винтом, существенно возрастает за счет струи, отбрасываемой винтом при его работе передним ходом. По этой причине эффективность руля, расположенного в ДП, на одновинтовых судах существенно выше, чем на двухвинтовых. Поэтому на двухвинтовых судах иногда устанавливают два пера руля за винтами, что резко улучшает поворотливость таких судов.

Силы и моменты, действующие на судно.

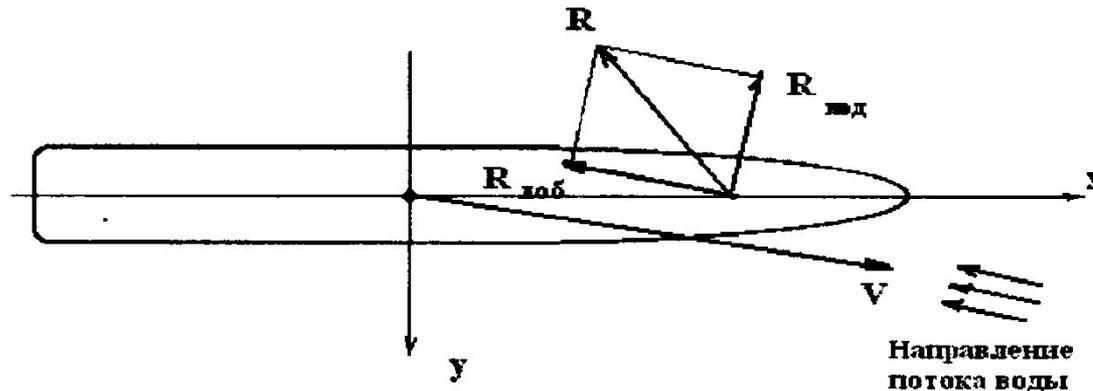
Свойства крыла применительно к корпусу судна следующие. Корпус судна в подводной и надводной частях представляет удлиненное тело, симметричное относительно ДП, т. е. подобен вертикальному крылу симметричного профиля.

Теория крыла, рассматриваемая в гидромеханике судна, позволяет определить характер распределения аэро- и гидродинамических воздействий на корпус при его движении на границе двух сред и найти величину, направление и точку приложения равнодействующих этих сил, а значит аэро- и гидродинамические моменты относительно вертикальной оси. Эти данные в сочетании с силами и моментами, приложенными к корпусу со стороны средств управления, определяют поступательное и угловое движение судна данной массы.

Теоретические расчеты сил и моментов, возникающих на корпусе судна, сложны и трудоемки, поэтому не всегда могут использоваться при практическом маневрировании. Тем не менее, существуют общие закономерности, знание которых имеет большое значение для правильной оценки и предсказания поведения судна как объекта управления.

Силы и моменты, действующие на судно.

При анализе сил, действующих на судно, оно рассматривается как вертикальное крыло симметричного профиля относительно диаметральной плоскости (ДП). Применительно к судну, основные свойства крыла формулируются следующим образом: если судно движется прямолинейно в потоке воды или воздуха под некоторым углом атаки, то помимо **силы лобового сопротивления**, направленной противоположно движению, возникает **подъемная сила**, направленная перпендикулярно набегающему потоку. В результате равнодействующая этих сил не совпадает с направлением потока. Величина равнодействующей сил пропорциональна углу атаки и квадрату скорости набегающего потока;



Точка приложения равнодействующей силы смещена по ДП от центра площади крыла навстречу потоку. Величина этого смещения тем больше, чем острее угол атаки. При углах атаки близких к 90 градусам, точка приложения равнодействующей силы совпадает с **центром парусности** (для надводной части судна) и **центром бокового сопротивления** (для подводной части);

Применительно к подводной части корпуса судна: угол атаки является **углом дрейфа**, а для надводной части - **курсовым углом (КУ) кажущегося ветра**;

Центр бокового сопротивления обычно совпадает с **центром тяжести судна**, а положение центра парусности зависит от расположения надстроек.

Силы и моменты, действующие на судно.

Применительно к подводной части корпуса углом атаки является угол дрейфа, а к надводной — курсовой угол кажущегося ветра.

При изучении вопросов управления судном удобнее рассматривать вместо сил, связанных с направлением движения, проекции их равнодействующей на судовые оси — продольную X и поперечную Y .

На рис. 1.2 в качестве примера показаны гидродинамическая сила R и ее составляющие (подъемная $R_{\text{под}}$ и лобового сопротивления $R_{\text{лоб}}$), а также проекции силы R на судовые оси (поперечная R_y и продольная R_x). Очевидно, что поперечная гидродинамическая сила R_y создает относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести (ЦТ) судна, момент $R_y I_R$.

Отметим, что ЦБС располагается всегда вблизи ЦТ, а положение ЦП зависит от архитектуры надводной части и от дифферента судна.

Силы и моменты, действующие на судно.

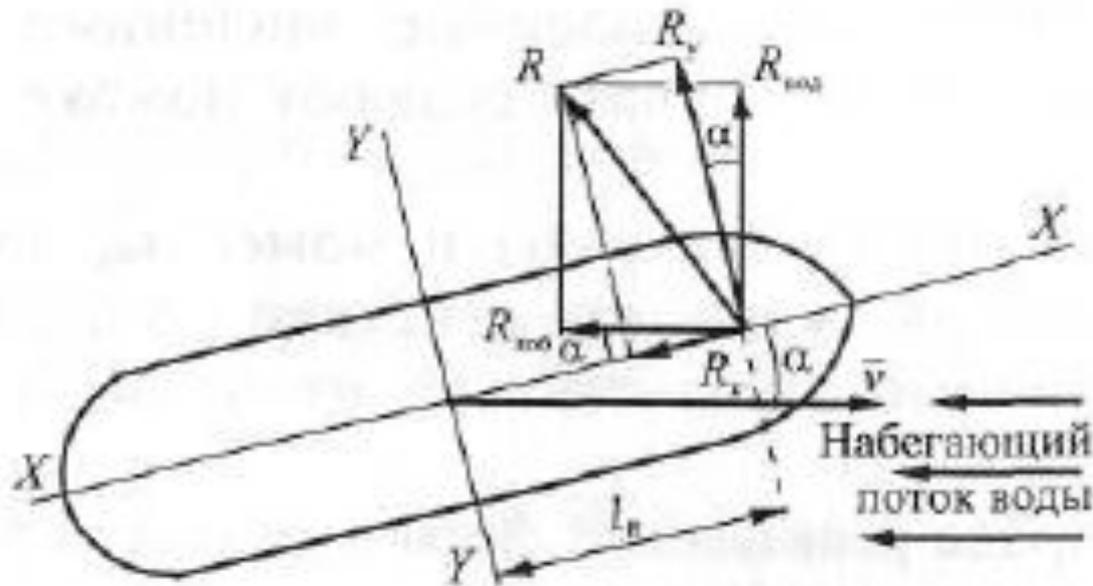


Рис. 1.2. Гидродинамическая сила R , приложенная к корпусу судна и ее проекции на оси X и Y

Силы и моменты, действующие на судно.

Силы и моменты, действующие на судно в процессе управления. Все силы, действующие на судно по принятой в настоящее время классификации, разделяются на три группы: движущие, внешние и реактивные.

К движущим относят силы, создаваемые средствами управления с целью придания судну требуемого линейного и углового движения. К таким силам относятся упор гребного винта, боковая сила руля, силы, создаваемые САУ, и т. п.

К внешним относятся силы давления ветра, волнения моря, и течения. Эти силы, обусловленные внешними источниками энергии, в большинстве случаев создают помехи при маневрировании.

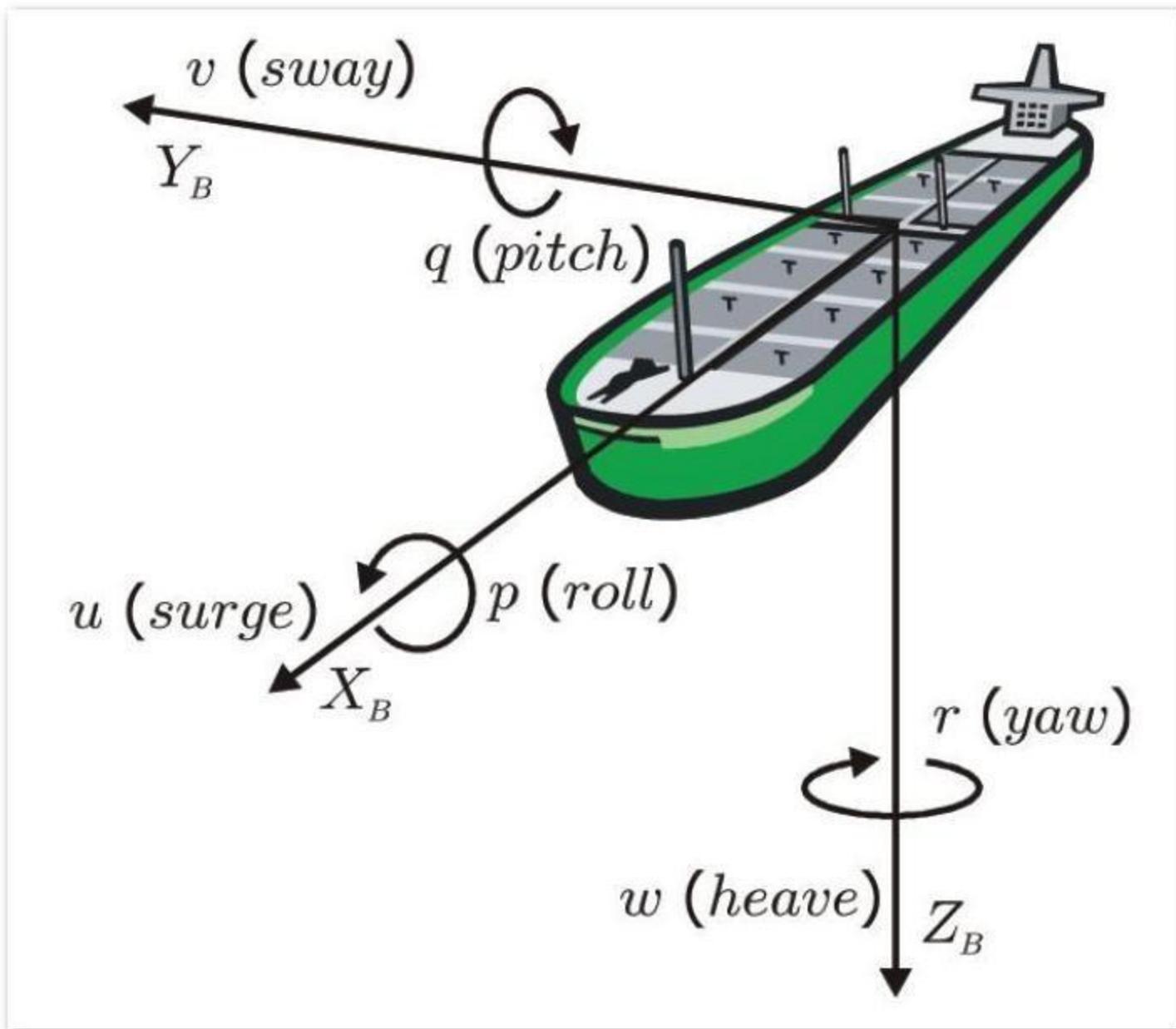
К реактивным относятся силы и моменты, возникающие в результате движения судна под действием движущих и внешних сил. Реактивные силы зависят от линейных и угловых скоростей.



Рис. 1.3. Воздействие внешних сил на корпус судна

Силы и моменты, действующие на судно.

При движении на волнении судно испытывает колебательные перемещения в шести степенях свободы: продольно-горизонтальная (surge), поперечно-горизонтальная (sway), вертикальная (heave), бортовая (roll), килевая качка (pitch) и рыскание (yaw), как показано на рисунке.



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 перекладки 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;
 λ_{11} — присоединенная масса при движении по оси X ;
 λ_{22} — присоединенная масса при движении по оси Y ;
 V_x — проекция скорости судна на ось X ;
 V_y — проекция скорости судна на ось Y ;
 ω — угловая скорость судна;
 J — момент инерции судна относительно оси Z ;
 λ_{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.

Уравнения движения судна

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).

МАНЕВРЕННОСТЬ СУДНА

1.1. Общие понятия и определения

Маневрирование – изменение направления движения судна и его скорости с помощью руля, движителей, подруливающих устройств 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 перекладкой 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 и центра приложения движущих сил (рис. 1.4).



Рис. 1.4.
Расположение
центра
вращения судна

МАНЕВРЕННОСТЬ СУДНА

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.

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

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 воздействия 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. Амплитуда рыскания судна в тихую погоду небольшая. Поэтому для удержания его на курсе требуется незначительная перекладка руля вправо или влево. При сильном ветре и волнении устойчивость судна на курсе значительно ухудшается.

На рыскливость судна большое влияние оказывает расположение надстройки. На тех судах, где надстройки на корме, рыскливость увеличивается, так как почти всегда корма идет «под ветер», а нос — «на ветер». Если надстройка в носу, то судно уклоняется «от ветра».

Уклонение судна под ветер называется увальчивостью. Это свойство так же, как рыскливость, является недостатком судна, его всегда приходится учитывать при осуществлении различных маневров, особенно в стесненных условиях.

ЦИРКУЛЯЦИЯ

Процесс поворота судна с переложенным рулем называется *циркуляцией*.

Траектория, описываемая судном под влиянием переложенного на определенный угол руля, характеризуется радиусом циркуляции $R_{ц}$. Поскольку при прямолинейном движении $R_{ц} = \infty$, то, очевидно, что после перекладки руля радиус $R_{ц}$ начинает уменьшаться. После окончания переходного процесса траектория судна по форме приближается к окружности, т. е. радиус приобретает установившееся значение $R_{ц} = R_{уст}$, так как линейная и угловая скорости, отношением которых определяется значение радиуса, становятся приблизительно постоянными.

ЦИРКУЛЯЦИЯ

Для сопоставимости поворотливости различных судов радиус циркуляции выражают в безразмерном виде

$$\bar{R} = \frac{R_{уст}}{L}, \quad (1.2)$$

где R — относительный радиус;
 L — длина судна.

Величина, обратная радиусу, называется кривизной. Ее также удобно выразить в безразмерном виде

$$\bar{\omega} = \frac{\omega_{уст}}{V_{уст}} L = \frac{L}{R_{уст}} = \frac{1}{\bar{R}}, \quad (1.3)$$

где $\bar{\omega}$ — относительная кривизна траектории или безразмерная угловая скорость;
 $\omega_{уст}$ — установившаяся угловая скорость, рад/с;
 $V_{уст}$ — установившаяся линейная скорость судна, м/с.

ЦИРКУЛЯЦИЯ

За начало циркуляции принимается момент начала перекадки руля.

Циркуляция характеризуется линейной и угловой скоростями, радиусом кривизны и углом дрейфа. Эти характеристики не остаются постоянными. Процесс циркуляции принято делить на три периода.

Первый период — маневренный, продолжается в течение времени перекадки руля.

Второй период — эволюционный, начинается с момента окончания перекадки руля и заканчивается, когда характеристики циркуляции примут установившиеся значения.

Третий период — установившийся, начинается с момента окончания второго периода и продолжается до тех пор, пока руль остается в переложном положении.

Переложный на угол δ_r руль, как и всякое крыло, развивает подъемную силу — боковую силу руля P_{ry} .

Для получения наглядного представления о воздействии силы на корпус судна приложим в его ЦТ две силы, равные по модулю силе P_{ry} и направленные в противоположные стороны, как это показано на рис. 1.5. Эти две силы взаимно компенсируются, т. е. не оказывают влияния на корпус судна, но их совместное рассмотрение с боковой силой руля P_{ry} позволяет понять, что корпус судна одновременно испытывает поперечную силу P_{ry} , приложенную в центре тяжести G , и момент боковой силы руля M_p относительно вертикальной оси Z , проходящей через ЦТ.

ЦИРКУЛЯЦИЯ

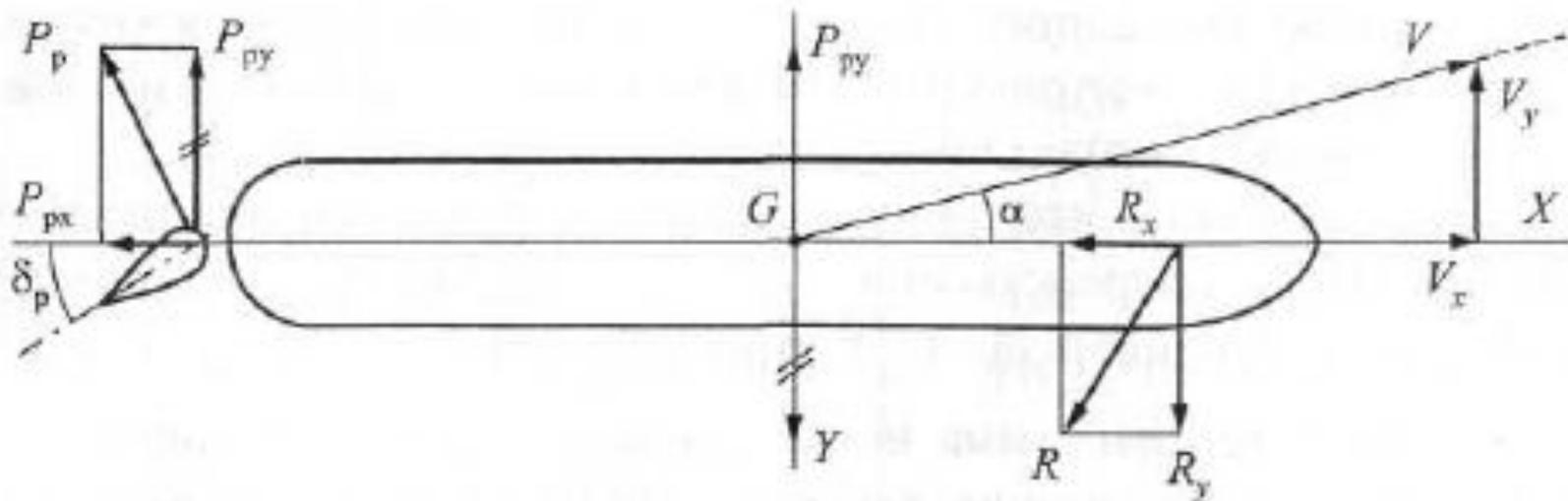


Рис. 1.5. Силы, действующие на судно с переложенным рулем в начальной стадии циркуляции

ЦИРКУЛЯЦИЯ

В первый период после начала циркуляции под влиянием поперечной силы P_{py} ЦТ судна приобретает боковое перемещение во внешнюю сторону циркуляции — обратное смещение. Возникает угол дрейфа α , а значит и поперечная гидродинамическая сила на корпусе R_y , направленная внутрь циркуляции. Ее точка приложения в соответствии со свойствами крыла смещена в нос от ЦБС, положение которого при отсутствии большого дифферента можно считать совпадающим с ЦТ судна. Момент силы $R_y - M_R$ в этом первоначальном периоде циркуляции имеет тот же знак, что и момент руля M_p , поэтому появляется и начинает быстро возрастать угловая скорость.

В дальнейшем под влиянием поперечной силы R_y траектория ЦТ начинает постепенно искривляться в сторону перекидки руля, т. е. радиус циркуляции, который в начале стремился к бесконечности, начинает уменьшаться.

При движении ЦТ по криволинейной траектории с радиусом R_G каждая точка по длине судна описывает относительно общего центра циркуляции O свою траекторию, радиус кривизны которой отличается от R_G (рис. 1.6). При этом каждая такая точка имеет свой угол дрейфа, значение которого возрастает по мере удаления в сторону кормы. В нос от ЦТ углы дрейфа соответственно уменьшаются.

Если из центра циркуляции O опустить перпендикуляр на ДП, то в полученной точке ПП угол дрейфа равен нулю. Эта точка носит название центра вращения или полюса поворота (ПП)*.

* В зарубежной литературе PP — pivot point, или ось вращения.

ЦИРКУЛЯЦИЯ

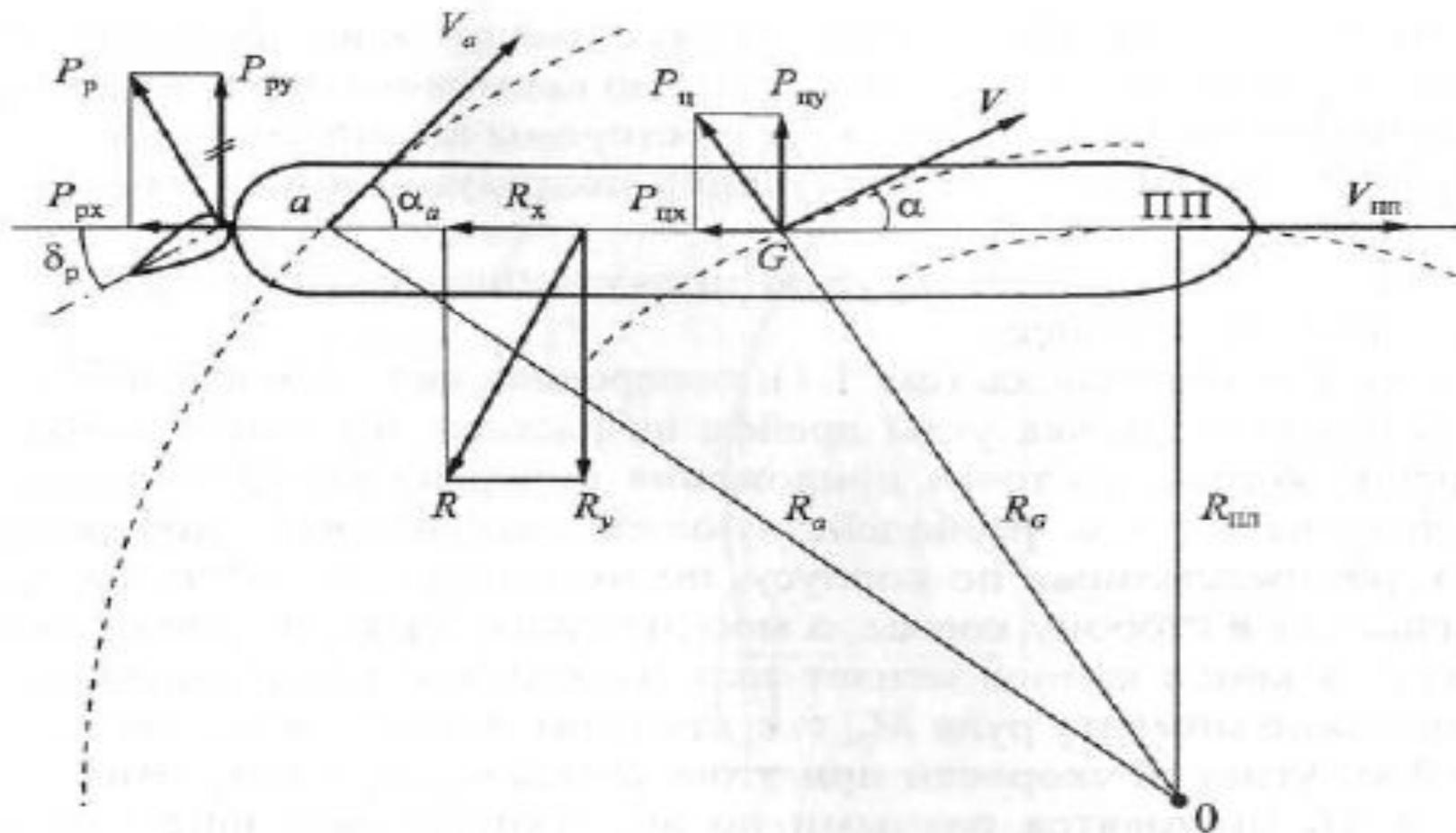


Рис. 1.6. Силы, действующие на судно при криволинейном движении на развитой стадии циркуляции

ЦИРКУЛЯЦИЯ, ПОЛЮС ПОВОРОТА

Полюс поворота при циркуляции для большинства судов располагается вблизи носовой оконечности на расстоянии примерно 0,4 длины судна от ЦТ, принимаемого на мидель-шпангоуте.

Угол дрейфа ЦТ судна на циркуляции:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{l_{\text{пп}}}{R_{\text{пп}}}, \quad (1.4)$$

где $l_{\text{пп}}$ — расстояние ПП от центра тяжести.

Для произвольной по длине судна точки a угол дрейфа:

$$\alpha_a = \operatorname{arctg} \frac{l_{\text{пп}} - l_a}{R_{\text{пп}}}, \quad (1.5)$$

где l_a — расстояние точки a от ЦТ (в нос знак «+», в корму «-»).

На небольшом участке корпуса от ПП до носового перпендикуляра поток воды набегает на корпус со стороны внутреннего борта,

ЦИРКУЛЯЦИЯ

поэтому углы дрейфа на этом участке имеют знак, противоположный углам дрейфа на участке от ПП до кормового перпендикуляра, на котором поток воды набегает со стороны внешнего борта.

Под углом дрейфа на циркуляции подразумевается угол дрейфа ЦТ судна.

На судах, имеющих крутую циркуляцию, угол дрейфа может достигать 20° и более.

Как уже отмечалось (см. 1.1), поперечная сила пропорциональна углу атаки, а так как углы дрейфа возрастают по длине корпуса в сторону кормы, то точка приложения поперечной гидродинамической силы R_y , т. е. равнодействующей элементарных поперечных сил, распределенных по корпусу, по мере искривления траектории смещается в сторону кормы, а момент силы M_R , постепенно уменьшаясь, в конце концов меняет знак и начинает действовать противоположно моменту руля M_p , т. е. становится демпфирующим.

Рост угловой скорости при этом замедляется, а когда моменты M_p и M_R становятся равными по абсолютной величине, угловая скорость стремится к установившемуся значению $\omega_{уст}$.

При движении по криволинейной траектории возникает центробежная сила $P_{ц}$, приложенная к ЦТ судна и направленная по радиусу циркуляции во внешнюю сторону. Благодаря наличию угла дрейфа эта сила имеет продольную $P_{цx}$ и поперечную $P_{цy}$ составляющие. Из-за лобового сопротивления переложенного руля (сила P_{px}) и некоторого увеличения сопротивления корпуса при движении с углом дрейфа линейная скорость V постепенно уменьшается, стремясь к некоторому установившемуся значению $V_{уст}$.

ЦИРКУЛЯЦИЯ

Циркуляцией называют траекторию, описываемую центром тяжести 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 диаметральной плоскостью называют углом дрейфа (β). Эти характеристики не остаются постоянными на протяжении всего маневра.

Циркуляцию принято разбивать на три периода: маневренный, эволюционный и установившийся.

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 центра тяжести судна из прямолинейной превращается в криволинейную, происходит падение скорости движения судна.

Эволюционный период – период, начинающийся с момента окончания перекладки руля и продолжающийся до момента окончания изменения угла дрейфа, линейной и угловой скоростей. Этот период характеризуется дальнейшим снижением скорости (до 30 – 50 %), изменением крена на внешний борт до 100 и резким выносом кормы на внешнюю сторону.

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

Геометрически траектория циркуляции характеризуется следующими элементами:

D_0 – диаметр установившейся циркуляции – расстояние между диаметральной плоскостями судна на двух последовательных курсах, отличающихся на 180° при установившемся движении;

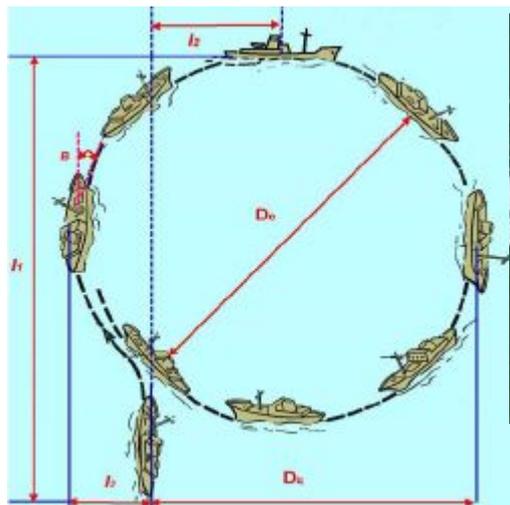
D_c – тактический диаметр циркуляции – расстояние между положениями диаметральной плоскости (ДП) судна до начала поворота и в момент изменения курса на 180° ;

I_1 – выдвиг – расстояние между положениями ЦТ судна перед выходом на циркуляцию до точки циркуляции, в которой курс судна изменяется на 90° ;

I_2 – прямое смещение – расстояние от первоначального положения ЦТ судна до положения его после поворота на 90° , измеренное по нормали к первоначальному направлению движения судна;

I_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_c – период циркуляции – время поворота судна на 360° .



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 (δ). С увеличением коэффициента δ 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.

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 σ_k :

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

где d — средняя осадка, м.

Параметр σ_k является коэффициентом полноты площади ДП.

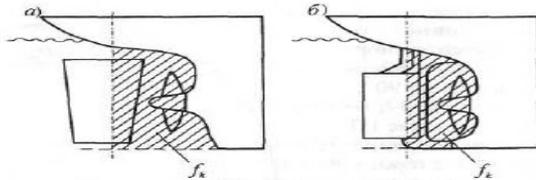


Рис. 1.8. К определению площади кормового подреза: а) корма с подвесным или полуподвесным рулем; б) корма с рулем расположенным за рудерпостом

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 перекадки руля и к увеличению его при малых углах перекадки.

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 перекадке руля более чем на 45° эффективность его действия на поворотливость судна резко уменьшается (рис. 1.17).

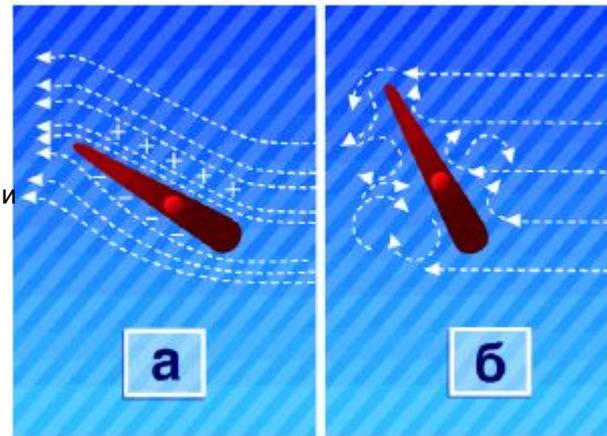


Рис. 1.17. Влияние угла перекадки руля на поворотливость судна: а – угол перекадки до 45° , б – угол перекадки более 45°

Влияние различных факторов на поворотливость судна

Скорость судна. Исходная скорость хода V , с которой судно совершает прямолинейное движение до перекладки руля, влияет на величины выдвиг, прямого и обратного смещений.

При ветре управляемость существенно зависит от скорости судна: чем скорость меньше, тем большее влияние ветра на управляемость.

Волнение моря способствует рыскливости судна. Углы рыскания зависят от курсового угла волны и увеличиваются по мере возрастания волнения моря.

Особенно неблагоприятным плавание будет при наличии ветровых волн и зыби от курсовых углов 120° – 180° при скорости судна, близкой к скорости распространения волн. В этом случае амплитуда рыскания может составлять до 30 – 50° , а перекладка руля на попутной волне становится малоэффективной.

Элементы посадки судна

Дифферент. Увеличение дифферента на корму улучшает устойчивость судна на курсе и ухудшает его поворотливость. С другой стороны, дифферент на нос резко ухудшает устойчивость на курсе — судно становится рыскливым, что усложняет маневрирование в стесненных условиях. Поэтому судно стараются загрузить так, чтобы оно в течение рейса имело небольшой дифферент на корму.

Крен. Крен судна нарушает симметричность обтекания корпуса. Площадь погруженной поверхности скулы накрененного борта становится больше соответствующей площади скулы приподнятого борта. В результате судно стремится уклониться в сторону, противоположную крену, т. е. в сторону наименьшего сопротивления.

Силы и моменты, действующие на судно в процессе управления при маневрировании. Уравнения движения судна.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что такое органы управления судном и каковы они?
2. Каковы свойства крыла применительно к судну?
3. Какие силы и моменты действуют на судно в процессе управления?
4. Как расположены оси системы координат, связанной с судном?
5. Что представляет собой система уравнений, описывающая движение судна?
6. Какими качествами определяется маневренность судна?
7. Что такое циркуляция?
8. На какие периоды разбита циркуляция?
9. Опишите картину воздействия боковой силы руля на судно.
10. Что такое полюс поворота?
11. Какие конструктивные факторы влияют на поворотливость судна и как?
12. Какие погодные факторы влияют на поворотливость судна и как?
13. Как посадка судна влияет на поворотливость судна?

Используемая литература.

1. Демин С.И. Управление судном/Демин С.И., Жуков Е.И. и др. – М. : Транспорт, 1991. -359 с.
2. Шарлай Г.Н. Управление морским судном./ Шарлай Г.Н. - Владивосток. : Мор. Гос.ун-т, 2009. -503 с.
3. Лихачев А.В. Управление судном: Учебник для морских вузов./Лихачев А.В. Спб.: Издательство Политехнического университета, 2004. 504с.

Подготовил

Доцент кафедры УС и БЖД на море ХГМА

К.Д.П., К.Т.Н.

Товстокорый О.Н.