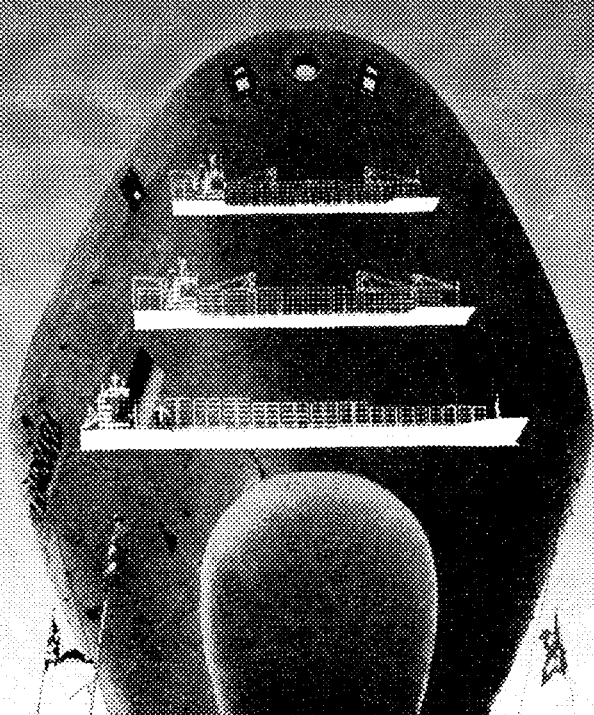


С. В. Донцов

ОСНОВЫ ТЕОРИИ СУДНА



ББК 22. 215 я 7
Д 67

Печатается по рекомендации цикловой комиссии
судоводительских дисциплин ОМУ

В учебном пособии рассмотрены основные положения теории судна. Издание предназначено для курсантов морских училищ и колледжей.

Рецензент: **Баскаков Сергей Николаевич**,
доцент кафедры «Теории и проектирования корабля»
Одесского государственного морского университета.

Д $\frac{160302000-72}{7553-01}$ Без объявл.

ББК 22. 215 я 7

ISBN 966-7553-59-7

© ЛАТСТАР, 2001

Раздел I. ОСНОВЫ СТАТИКИ СУДНА

1.1. ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ СУДНА

Л е к ц и я 1.

1) ПРЕДМЕТ “ТЕОРИЯ СУДНА” И ЕГО РОЛЬ В ПОДГОТОВКЕ СУДОВОДИТЕЛЕЙ

Ответственные задачи стоят перед работниками морского флота по обеспечению грузовых и пассажирских потоков. Эти задачи могут быть решены только благодаря качественному улучшению флота, т.е. заменой старых судов новыми судами современной постройки, специализированными судами и т.д.

Для эксплуатации современных судов морского флота необходимы высококвалифицированные кадры моряков. Предмет “Основы теории судна” является одним из профилирующих в учебном плане подготовки судоводительских кадров.

Теория судна – одна из древнейших наук. Первый основной закон, положивший начало изучению мореходных качеств судна был открыт греческим ученым Архимедом более 2000 лет назад. Это закон плавучести – закон о действии силы давления воды на погруженное в нее тело.

Огромный вклад в развитие этой науки внесли русские мореходы и ученые С.О.Макаров, А.Н.Крылов, Н.Е.Жуковский и многие другие

Знания в области теории судна позволяют предвидеть и грамотно оценить поведение судна при его эксплуатации и избежать аварий в сложных условиях плавания. Выдающийся русский академик А.Н.Крылов говорил: “Часто истинная причина аварии лежала не в действии неотвратимых и непреодолимых сил природы, не в “неизбежных случайностях на море”, а в непонимании основных свойств и качеств корабля, несоблюдении правил службы и самых простых мер предосторожности, непонимании опасности, в которую корабль ставится, в небрежности, неосторожности, отсутствии предусмотрительности”

Теория судна – это наука о равновесии и движении плавающего судна. Она изучает законы, определяющие мореходные качества судна

Мореходные качества судна условно можно разделить на две группы. Первую группу, объединяющую такие мореходные качества, как плавучесть, остойчивость и непотопляемость, изучают путем рассмотрения статических положений судна на спокойной воде, не касаясь его движения при переходе из одного положения в другое. Поэтому этот раздел теории судна называется статикой судна

Основная задача этого раздела – изучение равновесия судна, неподвижного относительно спокойной воды.

При изучении второй группы мореходных качеств определяющими являются поступательное, вращательное на циркуляции и колебательное движения судна. Этим определяется название второго раздела теории судна – динамика судна

Основная задача этого раздела – изучение движения судна под действием приложенных к нему внешних сил и моментов.

2) ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О МОРЕХОДНЫХ КАЧЕСТВАХ СУДНА

Мореходные качества определяют надежность и конструктивное совершенство судна. К мореходным качествам относятся : плавучесть, остойчивость, непотопляемость, мореходность, ходкость, управляемость судна.

Плавучестью называется способность судна плавать в требуемом положении относительно поверхности воды при заданной загрузке.

Остойчивость – способность судна, отклоненного действием внешних сил из положения равновесия, возвращаться в исходное положение равновесия после прекращения действия этих сил

Непотопляемостью называется способность судна сохранять достаточную плавучесть и остойчивость после затопления одного или нескольких отсеков.

Мореходность – способность судна противостоять воздействию морского волнения с колебаниями возможно меньшей частоты и амплитуды.

Ходкость – способность судна перемещаться с заданной скоростью.

Управляемостью называется способность судна удерживать заданное направление движения или изменять его в соответствии с желанием судоводителя.

3) ОСНОВНЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ КАЧЕСТВА СУДНА.

Эксплуатационные качества (измерители судна) определяют транспортные возможности и экономические показатели судна.

Эксплуатационные качества судна определяются его грузоподъемностью, грузо и пассажироместимостью, скоростью, маневренностью, дальностью и автономностью плавания.

Грузоподъемность – вес различного рода грузов, которые может перевезти судно при условии сохранения проектной посадки. Существует чистая грузоподъемность и дедевейт.

Чистая грузоподъемность – это полный вес перевозимого судном полезного груза (вес в трюмах и вес пассажиров с багажом и запасы провизии, воды) при загрузке судна по расчетную осадку (D_c).

Дедвейт – (иногда говорят – полная грузоподъемность) это общий вес перевозимого груза, а также запасов топлива, котельной воды, масла, экипажа с багажом, запасов всей воды и балласта, т.е. дедвейт – сумма всех переменных грузов. Величина дедвейта для каждого судна является постоянной и определяется общим весом переменных грузов, принятых на судно по расчетную осадку (D_w).

Водоизмещение порожнем – сумма всех постоянных весов, из которых складывается вес конструкции построенного судна (корпус, механизмы, судовые устройства, системы и оборудование, инвентарное снабжение, вес запасов топлива, масла в системе для запуска двигателя и твердый балласт на некоторых судах) (D_o).

Полное водоизмещение – водоизмещение порожнем плюс дедвейт (или водоизмещение в полном грузу).

$$D = D_o + D_w ,$$

где D – полное водоизмещение,

D_o – водоизмещение порожнем,

D_w – дедвейт.

У современных судов дедвейт составляет 65 – 75 % от полного водоизмещения, у танкеров – 82 – 85 %.

Грузовместимость – суммарный объем всех грузовых помещений, измеряется в m^3

Зерновая вместимость – равна теоретическому объему грузовых помещений за вычетом объема набора корпуса и других конструкций внутри помещения (4 – 5 %).

Киповая вместимость – вместимость по штучному грузу и обычно на 8 – 10 % меньше вместимости по сыпучему грузу.

Регистровая вместимость (или регистровый тоннаж) – дает единообразную оценку размеров судна, размеров помещения в мировой практике. За единицу объема принимают регистровую тонну, равную $2,83 m^3$ (или 100 куб. футов). Это мера объема, которую нельзя путать с обычной тонной – мерой веса.

Существует валовая вместимость (брутто) и чистая вместимость (нетто).

Валовая вместимость – объем помещений судна, определяемый по специальным правилам обмера. Этот объем, служащий для расчета сборов в портах и статистического учета флота, включает полный объем корпуса судна и его надстроек, за исключением объема двойного дна, не используемого для размещения топлива, объема помещений, не полностью защищенных от попадания забортной воды, и некоторых других особо оговоренных помещений.

Чистая вместимость – условный объем помещений судна, предназначенных для перевозки грузов или пассажиров, т.е. коммерчески эксплуатируемых помещений.

Измеряется валовая и чистая вместимость в регистровых тоннах. Данные, полученные в результате обмера судна, заносятся в его мерительное свидетельство и в списки (регистровые книги) судов.

Скорость хода – эксплуатационное качество судна, обеспечивающее экономическую эффективность транспортных операции. Чем выше скорость, тем выше провозная способность судна. Растет скорость с 9 – 14 узлов до 30 узлов.

Дальность плавания – расстояние, которое судно может пройти с заданной скоростью без пополнения запасов. Сейчас суда могут совершать рейсы 15 000 – 20 000 миль и более.

Автономность плавания – определяется временем работы судна без пополнения запасов топлива, смазки, провизии и воды. Сейчас от 1 до 2 месяцев. Ледоколы, спец. суда – до 1 года.

Маневренность – способность судна выполнять заданные маневры, изменять направление и скорость движения.

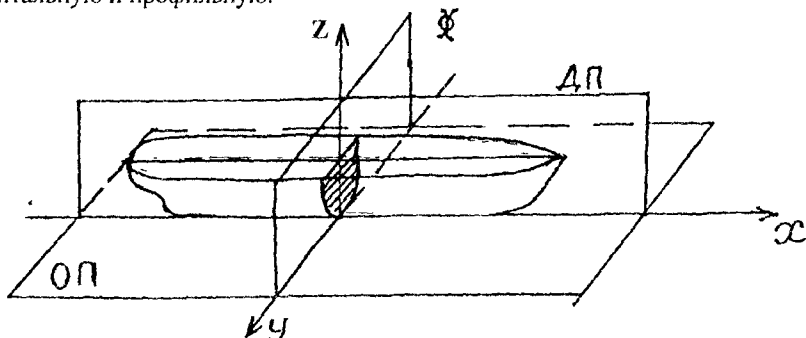
Живучесть – способность судна при получении повреждений сохранять свои мореходные и эксплуатационные качества.

Лекция 2.

1) ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ ЧЕРТЕЖ И КООРДИНАТНЫЕ ПЛОСКОСТИ И ОСИ

Теоретический чертеж представляет собой графическое изображение теоретической поверхности корпуса судна, в качестве которой принимается внутренняя поверхность наружной обшивки (без учета наружной обшивки).

Он образуется путем проектирования различных сечений корпуса судна на три главные взаимно перпендикулярные плоскости: фронтальную, горизонтальную и профильную.



За фронтальную плоскость проекции принимают продольно – вертикальную плоскость, проходящую вдоль всего судна по середине его ширины и разделяющую судно на две симметричные части – правую (правый борт) и левую (левый борт). Эту плоскость называют диаметральной плоскостью (ДП).

За горизонтальную плоскость проекции принимают плоскость, проходящую через самую нижнюю точку корпуса судна перпендикулярно диаметральной плоскости. Эту плоскость называют основной плоскостью (ОП).

За профильную плоскость проекции принимают вертикально – поперечную плоскость, которую проводят посередине проектной (расчетной) длины судна. Эту плоскость, делящую судно на две части – носовую и кормовую, называют плоскостью мидель-шпангоута и обозначают знаком Φ .

Для более полного изображения формы обводов на теоретическом чертеже поверхность корпуса судна рассекают системой вспомогательных плоскостей, параллельных указанным выше трем главным плоскостям проекции.

При пересечении поверхности корпуса судна плоскостями, параллельными плоскости мидель-шпангоута, получают кривые линии – теоретические шпангоуты. Изображение проекции всех шпангоутов на плоскости мидель-шпангоута называют корпусом.

При пересечении поверхности корпуса судна плоскостями, параллельными диаметральной плоскости, образуются кривые линии – батоксы. Изображение проекции всех батоксов на ДП называют боксом (см. Приложение 1).

При пересечении поверхности корпуса судна, плоскостями параллельными основной плоскости, получают кривые линии – теоретические ватерлинии. Изображение проекции всех ватерлинии на основную плоскость, образует третью проекцию теоретического чертежа, которая называется полуширотой.

Пересечение основной плоскости с диаметральной образует основную линию (ОЛ), а пересечение дп с теоретической поверхностью корпуса судна в днищевой части – килевую линию.

Ватерлиния, которая совпадает с поверхностью спокойной воды, при плавании судна с полной нагрузкой по проектную осадку, называется конструктивной (КВЛ) или эрузовой (ГВЛ). Любая другая ватерлиния, соответствующая конкретному случаю нагрузки, называется расчетная.

Для точного построения теоретического чертежа производится мысленное сечение корпуса рядом дополнительных плоскостей, параллельных основным.

Все линии теоретического чертежа должны иметь плавный характер, кроме мест, где поверхность корпуса имеет переломы.

По внешнему виду теоретического чертежа можно судить о назначении судна, его мореходных качествах. Острые образования ватерлинии – признак того, что судно предназначено для больших скоростей. “Полные” образования говорят о том, что судно тихоходное. Наклонные носовые батоксы и раз-

валистые шпангоуты характеризуют хорошую восходимость на волну, нос не зарывается в воду.

На теоретическом чертеже иногда проекцию “корпус” располагают в средней части проекции “бок”, когда судно имеет значительную цилиндрическую вставку.

Проектные теоретические чертежи крупных судов выполняют в масштабе 1:100, малых судов – 1:50 или 1:25.

При постройке судна теоретический чертеж выполняют на плазе в масштабе 1:1 или 1:10.

2) ГЛАВНЫЕ РАЗМЕРЕНИЯ И КОЭФФИЦИЕНТЫ ПОЛНОТЫ ФОРМЫ КОРПУСА СУДНА

Различают конструктивные, расчетные, наибольшие и габаритные размеры корпуса судна. К конструктивным размерениям, под которыми понимают главные размерения, относятся:

- д л и н а с у д н а (L) – расстояние по КВЛ между крайними точками пересечения ее с ДП.
- ш и р и н а с у д н а (В) – наибольшая ширина КВЛ.
- в ы с о т а б о р т а (Н) – расстояние, измеряемое в плоскости мидель-шпангоута от основной плоскости до линии палубы у борта.
- о с а д к а с у д н а (Т) – расстояние между плоскостями КВЛ и основной, измеряемое в сечении, где пересекаются плоскости мидель-шпангоута и диаметральной (см. Приложение 2).

Размерения, соответствующие погружению судна по расчетную ватерлинию, называются р а с ч е т н ы м и. Наибольшие размерения соответствуют максимальным размерам корпуса без выступающих частей (штевней, наружной обшивки и т.д.). А габаритные размерения соответствуют максимальным размерам корпуса с учетом выступающих частей.

Форма корпуса определяется соотношениями главных размерений и коэффициентами полноты. Наиболее важными характеристиками являются отношения:

L/V – в значительной степени определяющее ходкость судна: чем больше скорость судна, тем больше это отношение;

V/T – характеризующее остойчивость и ходкость судна;

H/T – определяющее остойчивость и непотопляемость судна;

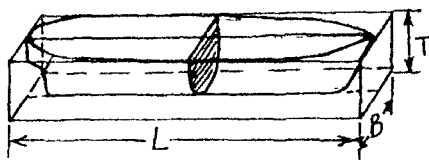
L/H – от которого в известной степени зависит прочность корпуса судна.

Для характеристики формы обводов корпуса различных судов служат так называемые **коэффициенты полноты**. Они не дают полного представления о форме корпуса, но позволяют численно оценить главные ее особенности.

Основными безразмерными коэффициентами полноты формы подводного объема корпуса судна являются:

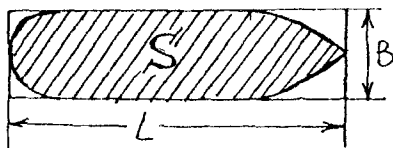
– коэффициент полноты водоизмещения (общей полноты) δ – это отношение погруженного в воду объема корпуса, называемого объемным водоизмещением V , к объему параллелепипеда со сторонами L, B, T :

$$\delta = \frac{V}{L \cdot B \cdot T}$$



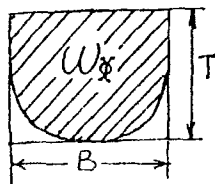
– коэффициент полноты площади ватерлинии α – отношение площади ватерлинии S к площади прямоугольника со сторонами L, B :

$$\alpha = \frac{S}{L \cdot B}$$



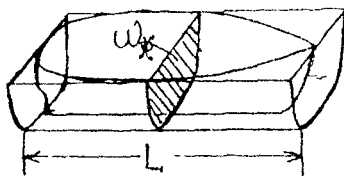
– коэффициент полноты площади мидель-шпангоута β – отношение площади мидель-шпангоута ω_{Φ} к площади прямоугольника со сторонами B, T ;

$$\beta = \frac{\omega_{\Phi}}{B \cdot T}$$



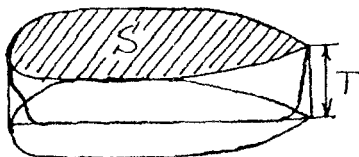
– коэффициент продольной полноты φ отношение объемного водоизмещения V к объему призмы, основанием которой служит площадь мидель-шпангоута ω_{φ} , а длиной – длина судна L :

$$\varphi = \frac{V}{\omega_{\varphi} \cdot L} = \frac{\delta}{\beta}$$



коэффициент вертикальной полноты x отношение объемного водоизмещения V к объему призмы, основанием которой служит площадь вагерлинии S , а высотой – осадка судна T :

$$x = \frac{V}{S \cdot T} = \frac{\delta}{\alpha}$$



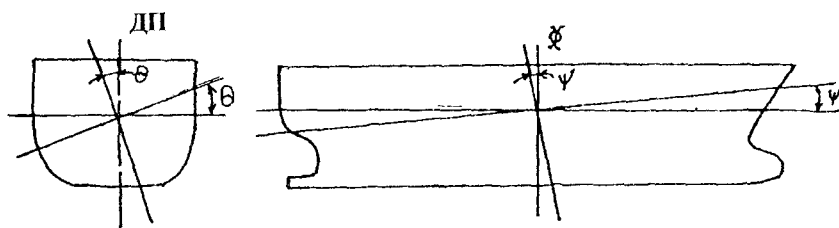
Приведенные выше коэффициенты полноты обычно определяются для судна, сидящего по грузовую ватерлинию. Однако они могут быть отнесены также и к другим осадкам, причем входящие в них линейные размеры, площади и объемы берут в этом случае для действующей ватерлинии судна

3) ПОСАДКА СУДНА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО ПОСАДКИ ПО МАРКАМ УГЛУБЛЕНИЯ

Посадкой называется положение судна относительно спокойной поверхности воды и определяется параметрами:

Если ДП наклонена на некоторый угол по отношению к вертикальной плоскости, то таким параметром будет угол θ , который называют углом крена;

если плоскость мидель-шпангоута наклонена на некоторый угол по отношению к вертикальной плоскости, то таким параметром будет угол ψ , называемый углом дифферента.



Посадка судна, при которой плоскость мидель-шпангоута и ДП вертикальны ($\psi = 0, \theta = 0$), называется прямой. Судно, имеющее такую посадку, принято называть сидящим прямо и на ровный киль.

Если $\theta > 0, \psi = 0$, то говорят, что судно сидит на ровный киль, но с креном; если $\psi > 0, \theta = 0$, то говорят, что судно сидит прямо, но с дифферентом. Если судно имеет и крен, и дифферент, то его посадку называют произвольной.

У судов, имеющих посадку с дифферентом, действующая ватерлиния будет находиться на разных расстояниях от основной плоскости у носового и кормового перпендикуляров. Эти расстояния называют соответственно осадкой носом T_H и осадкой кормой T_K .

Дифферент судна принято определять не углом дифференга ψ , а разностью осадок носом и кормой, т.е. $d = T_H - T_K$.

Если $T_H > T_K$ - судно имеет дифферент на нос, если $T_H < T_K$ - дифферент на корму. При $T_H = T_K$ судно сидит на ровный киль.

Полусумма осадок носом и кормой называется средней осадкой или осадкой при мидель-шпангоуте :

$$T_{CP} = \frac{T_H + T_K}{2}$$

Контроль за посадкой судна осуществляется по маркам осадок (маркам углубления), которые наносятся на форштевне, в районе мидель-шпангоута и на ахтерштевне.

Марки осадок соответствуют действительной осадке судна. Марки осадок наносятся по соответствующим перпендикулярам, с левого борта обозначаются римскими цифрами и обозначают осадку в футах, на правом борту -

арабскими цифрами – осадку в дециметрах. По мере перехода всех стран на метрическую систему мер марки углубления во всех странах будут обозначаться арабскими цифрами.

В настоящее время на судах получают широкое применение осадкомеры – специальные приборы, показывающие осадку автоматически на ходовом мостике.

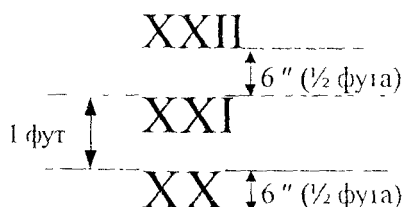
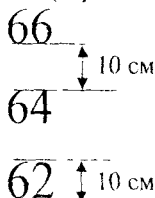
Марки углубления

правая сторона.

левая сторона.

(арабские)

(римские)



1 фут 12" = 30,3 см.

Тема 1.2 ПЛАВУЧЕСТЬ

Лекция 3.

1) УСЛОВИЯ ПЛАВУЧЕСТИ И РАВНОВЕСИЯ СУДНА.

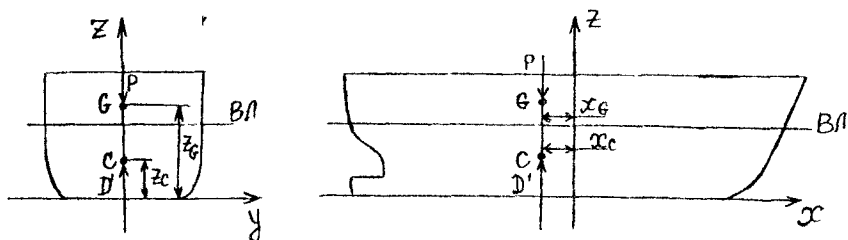
Плаву́честью называется способность судна плавать по определенной ватерлинии, неся всю положенную нагрузку.

На судно, как на плавающее тело, постоянно действуют две категории сил; силы тяжести (вес судна) и силы давления воды (гидростатические силы).

Равнодействующая сил тяжести, которая представляет собой сумму сил тяжести всех элементов судна, определяет вес судна P . Сила веса при лю-

бых положениях судна всегда направлена вертикально вниз. Точка приложения силы веса называется центром тяжести судна и обозначается буквой G.

Равнодействующая гидростатических сил является результирующей всех сил, возникающих вследствие давления воды на поверхность корпуса судна. Она называется силой плавучести или силой поддержания D' . Сила плавучести направлена по вертикали вверх. Точка приложения силы плавучести называется центром величины. Эта точка обозначается буквой C и находится в центре тяжести подводного объема корпуса



Сила плавучести D' , согласно закону Архимеда, равна весу вытесненной воды в объеме, равном погруженной в жидкость части тела (корпуса): $D' = \gamma \cdot V$. Удельный вес воды γ является переменной величиной. При выполнении расчетов, связанных с проектированием судов, обычно принимают $\gamma = 10,05 \text{ кН/м}^3$ для морской воды и $\gamma = 9,81 \text{ кН/м}^3$ для пресной.

Водоизмещение (масса) судна равна массе вытесняемой им воды:

$$D = \rho \cdot V,$$

где V – объемное водоизмещение судна, м^3 ;

ρ – плотность заборной воды.

Для пресной воды $\rho = 1,0 \text{ т/м}^3$, для морской $\rho = 1,025 \text{ т/м}^3$.

Из теоретической механики известно, что для равновесия тела, на которое действует две системы сил, необходимо и достаточно, чтобы равнодействующие этих сил были равны по величине и направлены по одной прямой в противоположные стороны. На основании этого правила для равновесия

судна необходимо и достаточно, чтобы сила плавучести равнялась весу судна и центр тяжести G и центр величины C лежали на одной вертикали.

Обозначив координаты центра тяжести G через x_g, y_g, z_g , а координаты центра величины C через x_c, y_c, z_c , можно написать уравнения равновесия:

- 1) $D' = P$ или $\gamma \cdot V = P$
- 2) $X_G = X_C$
- 3) $Y_G = Y_C$

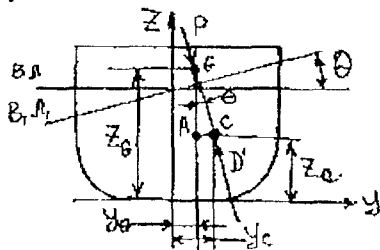
Апликаты Z_G и Z_C , характеризующие положение центра величины и центра тяжести по высоте, не связаны какой-либо зависимостью, но практически всегда у плавающего судна $Z_C < Z_G$, т.е. центр величины всегда лежит ниже центра тяжести.

Приведенные выше формулы представляют собой математическое выражение условий равновесия судна. Уравнения: $D' = \gamma \cdot V$, $\gamma \cdot V = P$ называются основными уравнениями плавучести, т.к. они устанавливают связь соответственно между водоизмещением (массой) или весом судна и массой или весом вытесняемой им воды.

При наличии у судна крена и дифферента условие: $\gamma \cdot V = P$ остается неизменным, а второе и третье условия меняются и принимают более сложный вид. Действительно, в случае посадки судна на ровный киль, но с креном, условие расположения Ц.Т. и Ц.В. на одной вертикали запишется в виде.

$$\begin{cases} X_G = X_C \\ Y_G = Y_C = (Z_G - Z_C) \cdot \operatorname{tg} \theta \end{cases}$$

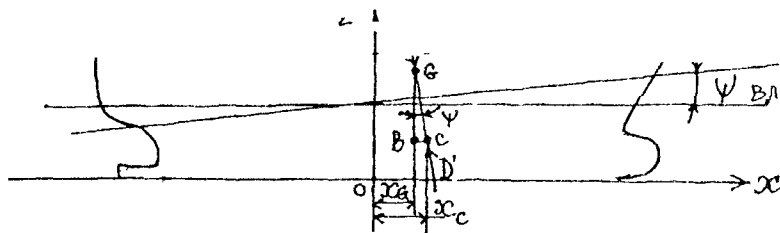
Это условие вытекает из рассмотрения треугольника AGC , лежащего в плоскости мидель-шпангоута.



При посадке судна прямо, но с дифференгом это условие будет иметь вид:

$$\begin{cases} Y_C = Y_G \\ X_C - X_G = (Z_G - Z_C) \cdot \operatorname{tg} \psi \end{cases}$$

Это уравнение получено из рассмотрения треугольника BGC , расположенного в ДП.



2) ВЫЧИСЛЕНИЕ ВЕСОВОГО ВОДОИЗМЕЩЕНИЯ СУДНА С ГРУЗОМ

Для определения водоизмещения судна, которое является исходной величиной при расчетах плавучести, составляют таблицу нагрузки масс судна:

P_K – масса корпуса, в которую входят сам корпус, оборудование судовых помещений, судовые устройства и системы, электрооборудование, средства связи и управления, инвентарь и снабжение;

P_M – масса механизмов, включающая главные двигатели, валопроводы и винты, вспомогательные механизмы и трубопроводы МКО, запасные части и машинный инвентарь.

P_I – масса груза и пассажиров с багажом и запасами для пассажиров (провизия, питьевая и мытьевая вода),

P_T – масса запасов топлива и смазочного масла;

$P_Э$ – масса экипажа с багажом и запасами для экипажа (провизия, питьевая и мытьевая вода).

Сумма всех составляющих определяет массу судна или его водоизмещение с полным грузом (displacement):

$$D = P_K + P_M + P_I + P_T + P_Э$$

Сумма масс P_k и P_m определяет водоизмещение, которое принято именовать водоизмещением порожнего судна D_0 (light displacement):

$$D_0 = P_k + P_m$$

Сумма масс P_T , P_{T_1} , P_{T_2} определяет массу перевозимого судном полезного груза, который принято именовать дедвейтом D_w (deadweight). Таким образом, дедвейт определяется массой транспортируемых грузов и пассажиров с багажом, запасов топлива, масла, котельной воды, а также экипажа с багажом и запасами провизии, нитьевой и мытьевой воды. Дедвейт определяет предельную грузоподъемность судна и равен разности водоизмещений судна с полным грузом и порожнего судна:

$$D_w = D - D_0$$

Масса грузов и пассажиров с багажом составляет оплачиваемый груз или чистую грузоподъемность D_c (cargo deadweight), которая показывает, какое количество грузов можно принять на судно при данной грузоподъемности в зависимости от количества принимаемых на рейс запасов ($P_{зап}$).

$$D_c = D_w - P_{зап}$$

3) ВЫЧИСЛЕНИЕ КООРДИНАТ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ (Ц.Т.) СУДНА С ГРУЗОМ

При вычислении координат Ц.Т. судна используется известная из теоретической механики теорема о статическом моменте равнодействующей силы; если данные силы приводятся к одной равнодействующей, то момент равнодействующей относительно какой-либо оси (плоскости) равен сумме моментов составляющих сил относительно той же оси (плоскости).

Применительно к судну на основании этой теоремы можно написать уравнения статических моментов относительно основных координатных плоскостей;

Относительно плоскости XOZ (ДП):

$$D \cdot Y_G = P_1 \cdot Y_1 + P_2 \cdot Y_2 + \dots + P_n \cdot Y_n$$

Относительно плоскости У О Z (мидель-шпангоута) :

$$D \cdot X_G = P_1 \cdot X_1 + P_2 \cdot X_2 + \dots + P_n \cdot X_n$$

Относительно плоскости X О Y (ОП):

$$D \cdot Z_G = P_1 \cdot Z_1 + P_2 \cdot Z_2 + P_3 \cdot Z_3 + \dots + P_n \cdot Z_n .$$

Учитывая, что масса судна $D = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$, из приведенных уравнений получим расчетные формулы для определения координат Ц.Т. судна:

$$X_G = \frac{P_1 X_1 + P_2 X_2 + \dots + P_n X_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n};$$

$$Y_G = \frac{P_1 Y_1 + P_2 Y_2 + \dots + P_n Y_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n};$$

$$Z_G = \frac{P_1 Z_1 + P_2 Z_2 + \dots + P_n Z_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n};$$

где X_G, Y_G, Z_G – координаты центра тяжести судна;

P_1, P_2, \dots, P_n – массы элементов самого судна и перевозимых на нем грузов;

X_1, X_2, \dots, X_n – абсциссы Ц.Т. элементов самого судна и перевозимых грузов;

Y_1, Y_2, \dots, Y_n – ординаты Ц.Т. элементов самого судна и перевозимых грузов;

Z_1, Z_2, \dots, Z_n – аппликаты Ц.Т. элементов самого судна и перевозимых грузов.

При использовании этих формул координаты Ц.Т. элементов самого судна и перевозимых на нем грузов берутся с положительным или отрицательным знаком, в зависимости от положения этих точек по отношению к выбранным координатным плоскостям. Поскольку подводный объем судна симметричен относительно ДП ($Y_C = 0$), ордината центра тяжести Y_G также должна быть равна нулю. В противном случае условия равновесия судна не будут удовлетворены, и судно будет плавать с креном.

Для вычисления координат центра тяжести судна, с помощью приведенных выше уравнений необходимо просуммировать массы всех элементов судна и находящихся на нем грузов, входящих в состав водоизмещения судна. Вычисление координат ЦГ судна принято производить с помощью таблицы нагрузки масс, в которую кроме массы каждого элемента (статьи) нагрузки P_i вносят координаты его центра тяжести X_i и Z_i и статические моменты относительно координатных плоскостей $P_i X_i$ и $P_i Z_i$.

Сводная таблица нагрузки масс судна.

№ п/п	Статья нагрузки	масса P_i (т)	плечи (м)		моменты (т м)			
			отн. мид. X_i	отн. оп. Z_i	отн. мид. $P_i X_i$	отн. оп. $P_i Z_i$		
1.	Водоизмещение порожнего судна (D_c)							
2.	Запасы и экипаж.							
	Экипаж с багажом							
	Снабжение							
	Провизия							
	Гопливо							
	Масло							
	Котельная вода							
	Пресная вода							
	<i>в с е г о :</i> <i>запасы и экипаж</i>							
3.	Грузы							
	Грюм № 1							
	Грюм № 2							
	Гвиндек № 1							
	Палубный груз							
	<i>в с е г о : грузы</i>							
	Водоизмещение судна с полным грузом	ΣP_i				ΣM_x	ΣM_z	

Л е к ц и я 4

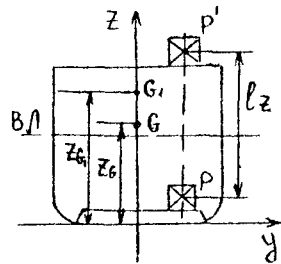
1) ИЗМЕНЕНИЕ КООРДИНАТ ЦТ. СУДНА ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ГРУЗОВ

Вычисление координат ЦТ судна при перемещении груза основывается на применении известной в теоретической механике теоремы: если в системе, состоящей из нескольких тел одно из тел переместится в каком-либо направлении, то и ЦТ всей системы переместится в том же направлении параллельно перемещению ЦТ этого тела. При этом величина перемещения ЦТ системы составит такую часть от перемещения ЦТ тела, какую вес тела составляет от веса всей системы.

Перемещение тела в произвольном направлении можно заменить тремя последовательными перемещениями параллельно выбранным главным осям. Таким образом, общий случай переноса груза на судне можно заменить тремя частными случаями, а именно: перемещениями по вертикали и перемещениями по горизонтали вдоль и поперек судна.

Перемещение груза по вертикали.

Предположим, что груз P перемещен по вертикали из трюма на палубу. Водоизмещение судна D при этом не изменится, но центр тяжести судна переместится по вертикали в сторону перемещения груза из точки G в точку G_1 . Применительно к рассматриваемому случаю вертикального перемещения груза приведенная выше теорема позволяет записать



$$\frac{\overline{GG_1}}{l_z} = \frac{P}{D} \quad \text{откуда} \quad \overline{GG_1} = \frac{P}{D} l_z \quad (1),$$

крен, и ватерлиния займет новое положение B_1L_1 , т.е. изменится посадка судна. При перемещении груза поперек судна в горизонтальном направлении Ц.Т. судна, расположенный в точке G , переместится в том же направлении. Расстояние, на которое перемещается Ц.Т. судна, по аналогии с предыдущим случаем, определяется выражением:

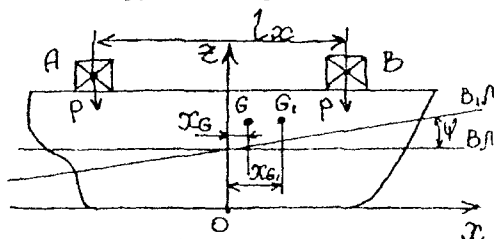
$$\overline{GG_1} = \frac{P}{D} \cdot l_Y,$$

где l_Y – расстояние, на которое переместился Ц.Т. груза в горизонтальном направлении поперек судна. В случае переноса нескольких грузов P_1, P_2, \dots, P_n расстояние, на которое переместится Ц.Т. судна может быть найдено с помощью формулы:

$$\overline{GG_1} = \frac{P_1 \cdot l_{y1} + P_2 \cdot l_{y2} + \dots + P_n \cdot l_{yn}}{D},$$

где l_1, l_2, \dots, l_n – расстояния, на которые были перемещены грузы P_1, P_2, \dots, P_n (с соответствующими знаками перед плечами l_y : при перемещении груза слева направо, плечо берется с плюсом, при перемещении справа налево – с минусом).

Перемещение груза по горизонтали вдоль судна.



Допустим, что груз P перемещен по горизонтали вдоль судна из точки A в точку B на расстояние l_x . Как в предыдущем случае, такой перенос груза можно представить как снятие груза в точке A и прием такого – же груза в точке B . Прикладывая к судну в точках A и B две равные, но противоположно направленные вертикальные силы, видим, что продольный перенос груза приводит к образованию пары сил на плече l_x . Момент этой пары сил вызывает дифферент судна, вследствие чего первоначальная ватер-

линия ВЛ занимает новое положение $V_1 L_1$. При перемещении груза Ц.Т. судна переместится из точки G в точку G_1 по горизонтали параллельно направлению перемещения груза P . Применив описанную выше методику, можно определить величину этого перемещения:

$$GG_1 = \frac{P}{D} \cdot l_x,$$

Где l_x расстояние, на которое перемещен ЦТ груза в горизонтальном направлении вдоль судна. Абсцисса ЦТ. судна в его новом положении будет:

$$X_{G1} = X_G + \frac{P}{D} \cdot l_x.$$

Если на судне перемещается несколько грузов и на разное расстояние, то перемещение ЦТ. судна будет:

$$GG_1 = \frac{P_1 \cdot l_{x1} + P_2 \cdot l_{x2} + \dots + P_n \cdot l_{xn}}{D}$$

тогда абсцисса нового положения ЦТ. судна будет:

$$X_{G1} = X_G + \frac{P_1 \cdot l_{x1} + P_2 \cdot l_{x2} + \dots + P_n \cdot l_{xn}}{D}$$

2) ЧЕРТЕЖ РАЗМЕЩЕНИЯ ГРУЗОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ ОТДЕЛЬНЫХ ГРУЗОВ

Для расчетов дифферента и остойчивости грузенного судна, необходимо знать положение Ц.Т. каждой партии груза от миделя - x_i и от киля - z_i , Ц.Т. определяется как центр объема партии груза.

Задача легко решается при помощи масштабного чертежа судна, где одновременно указывается размещение груза по партиям, по отсекам.

Чертится судно по ДП с масштабом по горизонтали 1:200, по вертикали 1:100 на миллиметровой бумаге. Все грузовые помещения разбиты на клетки размером 5 x 5 мм. Число клеток по каждому грузовому помещению (n_i) подсчитывается отдельно (см Приложение 3).

Определяем объемный масштаб клетки, т.е. грузовместимость, приходящуюся на одну клетку:

$$M_{\text{тр}} (\text{тв}) = \frac{W_{\text{тр}} (\text{тв})}{N_{\text{тр}} (\text{тв})} \text{ м}^3/\text{кл} ,$$

где W – объем отсека, N количество клеток

Зная масштабный объем клеток M и объем, занимаемый грузом, определяем число клеток, приходящихся на каждый груз

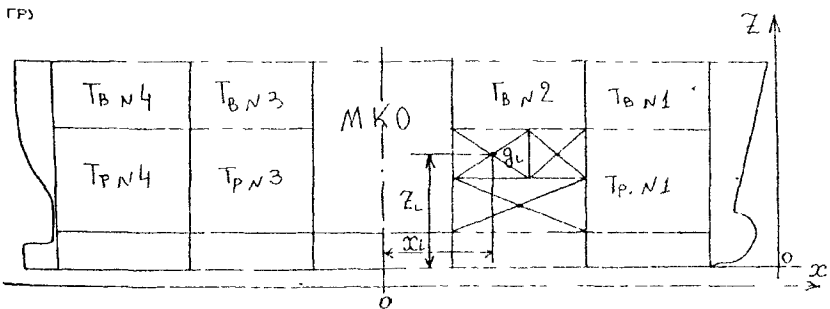
$$N_{\text{кл}} = \frac{W_{\text{гр}}}{M_{\text{гр}} (\text{тв})} ,$$

где $W_{\text{гр}}$ – объем груза.

Все элементы вносим в таблицу

Наименование помещения	N гр/тв	W гр/тв	M тр/тв	рельсы		хлопок		и т. д.
				W _{тр}	N _{гр}	W _{гр}	N _{тр}	
Трюм № 1								
.....								
Твиндек № 1								
и т.д.								

На основании составленной таблицы делаем чертеж размещения грузов

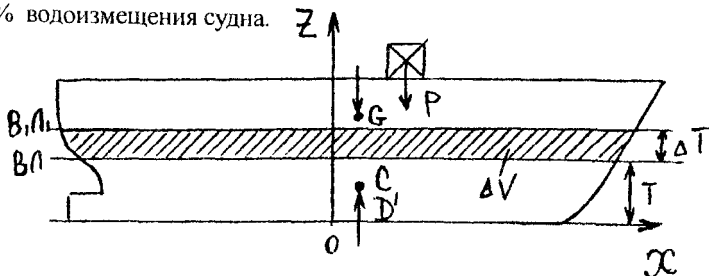


На схеме каждый груз закрашивается отдельно, по количеству занимаемых клеток. Намежив Ц Г грузов и запасов, измеряют их удаление от миделя и килля на чертеже, умножают на масштаб и получают значения X_i и Z_i (в метрах) и записывают в сводную таблицу нагрузки массы судна.

Л е к ц и я 5.

1) ИЗМЕНЕНИЕ СРЕДНЕЙ ОСАДКИ СУДНА ПРИ ПРИЕМЕ И СНЯТИИ (РАСХОДОВАНИИ) ГРУЗОВ

Допустим, что на судно принят малый груз P , т.е. такой груз, при приеме которого обводы корпуса можно считать практически не изменившимися в пределах приращения осадки. Малым можно считать груз, составляющий 5 – 10 % водоизмещения судна.



При приеме груза P водоизмещение судна возрастет на величину $\rho \cdot \Delta V$, причем значение ΔV определяется объемом слоя между ватерлиниями ВЛ и $В_1 Л_1$.

Для определения приращения осадки судна ΔT после приема груза используем условие равновесия судна, выражающееся равенством масс груза P и дополнительного водоизмещения:

$$P = \rho \cdot \Delta V \quad (1)$$

Объем добавочного слоя ΔV можно рассматривать как объем цилиндра, основанием которого является площадь ватерлинии S , а высота равна изменению осадки ΔT . Тогда

$$\Delta V = S \cdot \Delta T$$

и формула (1) примет вид:

$$P = \rho \cdot S \cdot \Delta T$$

Отсюда изменение средней осадки будет:

$$\Delta T = \frac{P}{\rho \cdot S} \quad (2)$$

В случае снятия груза с судна его масса P должна быть введена в формулу (2) со знаком минус. Следовательно, приращение осадки будет также отрицательным, т.е. осадка судна уменьшится на величину ΔT .

При решении практических задач, связанных с определением изменения средней осадки судна при приеме или снятии груза, часто пользуются вспомогательной величиной $q_{1\text{см}}$, представляющей собой значение массы (числа тонн) груза, от приема или снятия которой осадка судна изменится на один сантиметр.

Для того, чтобы получить выражение для $q_{1\text{см}}$, рассмотрим приращение объемного водоизмещения в случае приема груза.

Если принять обводы судна в районе действующей ватерлинии прямо – стенными, то приращение объемного водоизмещения при $\Delta T = 0,01$ см составит (в м^3): $\Delta V = 0,01 \cdot S$.

Масса воды в объеме этого слоя, равная искомой массе $q_{1\text{см}}$, будет:

$$q_{1\text{см}} = 0,01 \cdot \rho \cdot S = \frac{\rho \cdot S}{100} \quad (3)$$

После постановки полученного выражения в формулу (2) получаем выражения для определения приращения средней осадки

$$\text{в сантиметрах: } \Delta T = \frac{P}{q_{1\text{см}}} \quad (4) \quad \text{и в метрах } \Delta T = \frac{P}{100 \cdot q_{1\text{см}}} \quad (5)$$

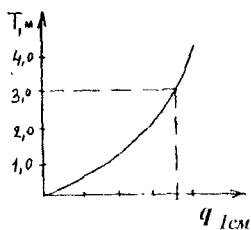
Аналогичным способом можно определить массу груза, изменяющую осадку судна на 1 дюйм. В этом случае

$$\Delta T = 1 \text{ дюйм} = 1/39,37 \text{ см} \quad \text{и отсюда:}$$

$$q_{1\text{дюйм}} = \frac{\rho \cdot S}{39,37} \quad (6)$$

Из выражения (3) и (6) видно, что величина q пропорциональна площади ватерлинии S . В свою очередь, площадь ватерлинии является переменной величиной, т.к. изменяется в зависимости от осадки судна. Следовательно число q – также переменная величина.

Можно построить кривую числа тонн на один см (или дюйм) осадки. Для того, чтобы определить, как изменится осадка T судна при приеме или



снятии малого груза P , необходимо по указанной кривой найти значение q_{1cm} при осадке T , затем, используя формулу (4), найти новое значение осадки судна:

$$T_1 = T \pm \frac{P}{100 \cdot q_{1cm}} \quad (7)$$

2) ИЗМЕНЕНИЕ ОСАДКИ СУДНА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПЛОТНОСТИ ВОДЫ

При переходе судна из одного водного бассейна в другой изменяется соленость (плотность) забортной воды. При плавании в воде плотностью ρ и ρ_1 водоизмещение судна соответственно будет:

$$D = \rho \cdot V \quad \text{и} \quad D = \rho_1 \cdot V_1,$$

где V – объемное водоизмещение судна до перехода в воду другой плотности;

V_1 – объемное водоизмещение судна после перехода.

приравнивая правые части равенств, получим:

$$\rho \cdot V = \rho_1 \cdot V_1 \quad \text{или} \quad \frac{V}{V_1} = \frac{\rho_1}{\rho}$$

Объемное водоизмещение можно выразить через главные размерения L , B , T и коэффициент общей полноты:

$$V = \delta \cdot L \cdot B \cdot T \quad \text{и} \quad V_1 = \delta_1 \cdot L_1 \cdot B_1 \cdot T_1$$

При малых изменениях объемного водоизмещения, например при изменении солености воды, длина, ширина и коэффициент общей полноты практически не изменяются. В этом случае изменение водоизмещения происходит за счет изменения осадки. Таким образом:

$$\rho \cdot T = \rho_1 \cdot T_1 \quad \text{или} \quad \frac{T}{T_1} = \frac{\rho_1}{\rho}$$

Следовательно, при переходе судна из воды одной солености в воду другой солености осадка его изменяется примерно обратно пропорционально плотности воды.

Изменение объемного водоизмещения определяется с помощью выражения:

$$\Delta V = V_1 - V = \frac{D}{\rho_1} - \frac{D}{\rho} = D \cdot \frac{\rho - \rho_1}{\rho \cdot \rho_1} \text{ или } \Delta V = V \cdot \frac{\rho - \rho_1}{\rho_1}$$

Изменение объемного водоизмещения ΔV можно также рассчитать как объем слоя с основанием, равным площади действующей ватерлинии S (практически неизменной в пределах малых изменений осадки), и высотой, равной изменению средней осадки ΔT , т.е. $V = S \cdot \Delta T$.

Тогда:

$$S \cdot \Delta T = V \cdot \frac{\rho - \rho_1}{\rho_1}$$

Отсюда

$$\Delta T = \frac{V}{S} \cdot \frac{\rho - \rho_1}{\rho_1} \text{ или } \Delta T = \frac{D}{S \cdot \rho} \cdot \frac{\rho - \rho_1}{\rho_1}$$

При переходе судна из пресной воды ($\rho = 1,0 \text{ т/м}^3$) в морскую ($\rho = 1,025 \text{ т/м}^3$) формула (1) принимает вид:

$$\Delta T = \frac{D}{S \cdot 1,0} \cdot \frac{1,0 - 1,025}{1,025}$$

Так как числитель второго сомножителя величина отрицательная, изменение осадки ΔT также будет отрицательным, и судно всплывет, т.е. осадка судна уменьшится.

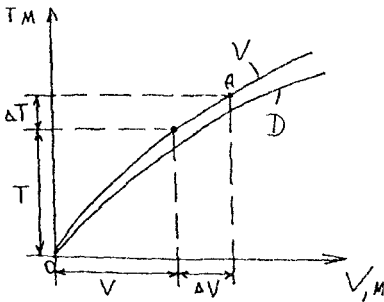
При переходе судна из морской воды в пресную, формула (1) имеет вид:

$$\Delta T = \frac{D}{S \cdot 1,025} \cdot \frac{1,025 - 1,0}{1,0}$$

В этом случае изменение осадки будет положительным, судно погрузится в воду, т.е. его осадка увеличится.

Лекция 6.

1) КРИВАЯ ВОДОИЗМЕЩЕНИЯ, ГРУЗОВОЙ РАЗМЕР И ГРУЗОВАЯ ШКАЛА



Для определения водоизмещения судна при любой действующей ватерлинии (осадке) строят кривую, выражающую зависимость водоизмещения от осадки судна. При этом предполагают, что судно имеет прямую посадку. Для постройки такой кривой строят сначала кривую объемного водоизмещения, в зависимости от осадки судна, пользуясь теоретическим чертежом. На этом же графике наносят кривую водоизмещения, которую получают путем умножения абсциссы кривой объемного водоизмещения на множитель, равный плотности воды, или путем непосредственной перестройки масштаба по горизонтальной оси. При эксплуатации судна широко используется характеристика плавучести, называемая грузовым размером. Эта кривая представляет собой ту же кривую водоизмещения, только отсчет осадок на ней начинается с осадки, соответствующей водоизмещению порожнего судна (нижняя часть кривой отбрасывается).

Пользоваться кривой объемного водоизмещения (или грузовым размером) необходимо следующим образом. Пусть начальное водоизмещение судна равно V , а соответствующая ему осадка — T . Принятому грузу P отвечает приращение объемного водоизмещения $\Delta V = P / \rho$. Отложив значение ΔV на оси абсцисс вправо от начального водоизмещения V , в полученной точке проводим вертикаль. Точку A пересечения этой вертикали с кривой объем-

ного водоизмещения сносим по горизонтали на ось ординат, где по шкале осадок T находим новую осадку судна, а следовательно, и приращение осадки ΔT . В случае снятия груза изменение водоизмещения откладывают по оси абсцисс не вправо, а влево от точки, отвечающей первоначальному водоизмещению V .

Таким образом, кривая водоизмещения и грузовой размер дают возможность определить водоизмещение судна при данной его осадке или, наоборот, осадку судна при заданном водоизмещении без выполнения расчетов. С помощью этих кривых можно определить изменение осадки судна при приеме или снятии грузов и т.п.

Часто для этой же цели пользуются грузовой шкалой, которая состоит из шкал осадок судна, водоизмещения, дедвейта, числа тонн на 1 см осадки, шкалы момента, дифференцирующего на 1 см и т.д.

Грузовая шкала состоит из двух частей: левая часть показывает изменение характеристик плавучести при изменении осадки судна в пресной воде, а правая - при изменении осадки в морской воде.

Грузовая шкала входит в состав основной документации, которой снабжаются все суда, введенные в эксплуатацию после постройки или капитального ремонта (см. Приложение 4).

Тема 1.3.

ПОПЕРЕЧНАЯ ОСТОЙЧИВОСТЬ

Лекция 7.

1) ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.

Остойчивость — одно из важнейших мореходных качеств судна, с которым связаны чрезвычайно важные вопросы, касающиеся безопасности плавания. Утрата остойчивости почти всегда означает гибель судна и очень часто экипажа. В отличие от изменения других мореходных качеств уменьшение остойчивости не проявляется видимым образом, и экипаж судна, как правило, не подозревает о грозящей опасности до последних секунд перед опрокидыванием. Поэтому изучению этого раздела теории корабля необходимо уделять самое большое внимание.

Для того чтобы судно плавало в заданном равновесном положении относительно поверхности воды, оно должно не только удовлетворять условиям равновесия, но и быть способным сопротивляться внешним силам, стремящимся вывести его из равновесного положения, а после прекращения действия этих сил — возвращаться в первоначальное положение. Следовательно, равновесие судна должно быть устойчивым или, другими словами, судно должно обладать положительной остойчивостью.

Таким образом, остойчивость — это способность судна, выведенного из состояния равновесия внешними силами, вновь возвращаться к первоначальному положению равновесия после прекращения действия этих сил.

Остойчивость судна связана с его равновесием, которое служит характеристикой последней. Если равновесие судна устойчивое, то судно обладает положительной остойчивостью; если его равновесие безразличное, то судно обладает нулевой остойчивостью, и, наконец, если равновесие судна неустойчивое, то оно обладает отрицательной остойчивостью.

ральной плоскости. Линии действия первоначального и нового направления силы поддержания пересекутся в точке m . Эта точка пересечения линии действия силы поддержания при бесконечно малом равнообъемном наклонении плавающего судна называется поперечным метацентром

Можно дать другое определение метацентру: центр кривизны кривой перемещения центра величины в поперечной плоскости называется поперечным метацентром.

Радиус кривизны кривой перемещения центра величины в поперечной плоскости называется поперечным метацентрическим радиусом (или малым метацентрическим радиусом). Он определяется расстоянием от поперечного метацентра до центра величины C и обозначается буквой r

Поперечный метацентрический радиус может быть вычислен с помощью формулы:

$$r = I_x / V,$$

т.е. поперечный метацентрический радиус равен моменту инерции I_x площади ватерлинии относительно продольной оси, проходящей через центр тяжести этой площади, деленному на соответствующее этой ватерлинии объемное водоизмещение V .

2) УСЛОВИЯ ОСТОЙЧИВОСТИ

Допустим, что судно, находящееся в прямом положении равновесия и плавающее по ватерлинию $ВЛ$, в результате действия внешнего кренящего момента $M_{кр}$ накренилось так, что исходная ватерлиния $ВЛ$ с новой действующей ватерлинией $В_1Л_1$ образует малый угол θ . Вследствие изменения формы погруженной в воду части корпуса распределение гидростатических сил давления, действующих на эту часть корпуса, также изменится. Центр величины судна переместится в сторону крена и перейдет из точки C в точку C_1

Сила поддержания D' , оставаясь неизменной, будет направлена вертикально вверх перпендикулярно новой действующей ватерлинии, а ее линия действия пересечет ДП в первоначальном поперечном метацентре m .

Положение центра тяжести судна остается неизменным, а сила веса P

будет перпендикулярна новой ватерлинии $B_1 L_1$. Таким образом, силы P и D' , параллельные друг другу, не лежат на одной вертикали и, следовательно, образуют пару сил с плечом GK , где точка K – основание перпендикуляра, опущенного из точки G на направление действия силы поддержания.

Пара сил, образованная весом судна и силой поддержания, стремящаяся возвратить судно в первоначальное положение равновесия, называется восстанавливающей парой, а момент этой пары – восстанавливающим моментом M_θ

Вопрос об остойчивости наклоненного судна решается направлением действия восстанавливающего момента. Если восстанавливающий момент стремится вернуть судно в первоначальное положение равновесия, то восстанавливающий момент положителен, остойчивость судна также положительна – судно остойчиво. На рис. 1 показано расположение сил, действующих на судно, которое соответствует положительному восстанавливающему моменту. Нетрудно убедиться, что такой момент возникает, если ЦТ. лежит ниже метacentра.

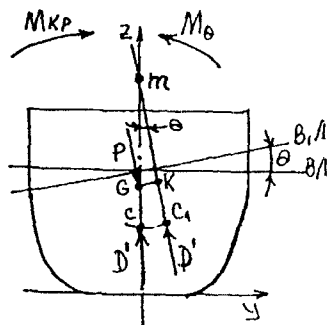


Рис 1

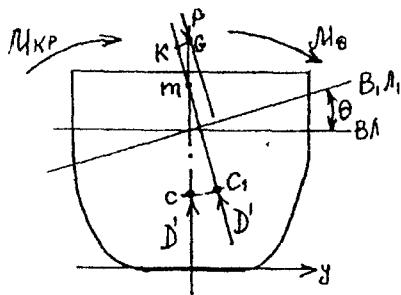


Рис 2

На рис. 2 показан противоположный случай, когда восстанавливающий момент отрицателен (ц.т. лежит выше метacentра). Он стремится еще больше отклонить судно из положения равновесия, т.к. направление его действия совпадает с направлением действия внешнего кренящего момента $M_{кр}$. В этом случае судно не остойчиво

Теоретически можно допустить, что восстанавливающий момент при на-

клонении судна равен нулю, т.е. сила веса судна и сила поддержания располагаются на одной вертикали, как это показано на рис. 3

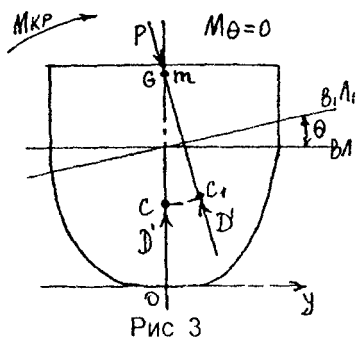


Рис. 3

Отсутствие восстанавливающего момента приводит к тому, что после прекращения действия кренящего момента судно остается в наклоненном положении, т.е. судно находится в безразличном равновесии

Таким образом, по взаимному положению поперечного метацентра m и ЦТ G можно судить о знаке восстанавливающего момента или, иными словами,

об остойчивости судна. Так, если поперечный метацентр находится выше центра тяжести (рис. 1), то судно остойчиво,

Если поперечный метацентр расположен ниже центра тяжести или совпадает с ним (рис. 2, 3) судно нестойчиво

Отсюда возникает понятие метацентрической высоты поперечной метацентрической высотой называется возвышение поперечного метацентра над центром тяжести судна в начальном положении равновесия

Поперечная метацентрическая высота (рис. 1) определяется расстоянием от центра тяжести (G), до поперечного метацентра (m), т.е. отрезком mG . Этот отрезок является постоянной величиной, т.к. и ЦТ, и поперечный метацентр не изменяют своего положения при малых наклонениях. В связи с этим его удобно принимать в качестве критерия начальной остойчивости судна

Если поперечный метацентр будет находиться выше центра тяжести судна, то поперечная метацентрическая высота считается положительной. Тогда условие остойчивости судна можно дать в следующей формулировке

Судно остойчиво, если его поперечная метацентрическая высота положительна. Такое определение удобно тем, что оно позволяет судить об остойчивости судна, не рассматривая его наклонения, т.е. при угле крена равном

нулю, когда восстанавливающий момент вообще отсутствует. Чтобы установить, какими данными необходимо располагать для получения значения поперечной метацентрической высоты, обратимся к рис. 4, на котором показано относительное расположение центра величины C , центра тяжести G и поперечного метацентра m судна, имеющего положительную начальную поперечную остойчивость. Из рисунка видно, что поперечная метацентрическая высота h может быть определена по одной из следующих формул

$$h = r \pm a, \quad h = Z_C + r - Z_G, \quad h = Z_m - Z_G$$

Поперечная метацентрическая высота определяется с помощью последних двух равенств. Аппликата поперечного метацентра Z_m может быть найдена по метацентрической диаграмме. Основные трудности при определении поперечной метацентрической высоты судна возникают при определении аппликаты центра тяжести Z_G .

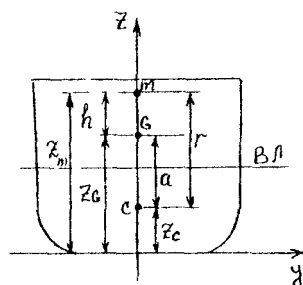
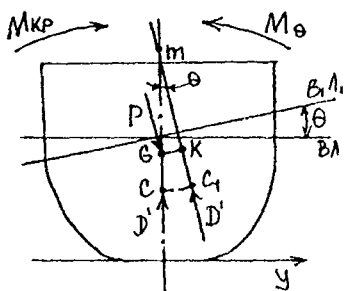


Рис 4

Л е к ц и я 8.

1) МЕТАЦЕНТРИЧЕСКАЯ ФОРМУЛА НАЧАЛЬНОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ

В результате действия некоторого кренящего момента $M_{кр}$ вместе с появлением крена возникает восстанавливающий момент M_{θ} . В случае судна с положительной остойчивостью M_{θ} действует в сторону, противоположную действию кренящего момента $M_{кр}$. Наклонение судна будет продолжаться до тех пор, пока алгебраическая сумма обоих моментов не станет равной нулю. Так как моменты действуют в противоположные стороны, это



условие будет выполнено, если восстанавливающий момент станет равным кренящему: $M_0 = M_{кр}$. Восстанавливающий момент определяется произведением силы на плечо, т.е. :

$$M_0 = D' \cdot GK \quad (1).$$

Плечо GK называют плечом восстанавливающего момента или плечом статического момента и обозначают буквой $l_{ст}$.

Угол между линией действия силы поддержания и ДП равен углу крена θ , поскольку стороны этого угла перпендикулярны к ватерлиниям ВЛ и $B_1 L_1$. С другой стороны, отрезок mG является поперечной метацентрической высотой, которая обозначается буквой h . Тогда из прямоугольного треугольника mGK следует:

$$GK = mG \cdot \sin \theta = h \cdot \sin \theta. \quad (2)$$

Подставив равенство (2) в (1), находим выражение для восстанавливающего момента M_0 при малых углах крена:

$$M_0 = D' \cdot h \cdot \sin \theta \quad (3)$$

При малых углах крена вместо $\sin \theta$ формулу (3) можно подставить θ в радианах). Тогда выражение (3) примет вид:

$$M_0 = D' \cdot h \cdot \theta \quad (4)$$

Формулы (3) и (4) являются метацентрическими формулами поперечной остойчивости.

Как видно из метацентрической формулы поперечной остойчивости, восстанавливающий момент пропорционален поперечной метацентрической высоте h . Казалось бы, следует стремиться к тому, чтобы судно, имело возможно большее h . Однако чрезмерное увеличение h неблагоприятно сказывается на характере качки судна – она становится весьма стремительной, что вызывает большие моменты инерции. Это отрицательно сказывается на состоянии экипажа, а главное при такой качке больше вероятность смещения груза и потеря остойчивости, чем при плавной качке.

2) МЕТАЦЕНТРИЧЕСКИЕ ДИАГРАММЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Для того, чтобы легко и быстро определить значения аппликаты поперечного метацентра Z_m и поперечный метацентрический радиус r при любых осадке и водоизмещении судна, составляют особую диаграмму, которая называется метацентрической диаграммой. При построении этой диаграммы используют значения аппликат центра величины Z_c и поперечных метацентрических радиусов r , вычисленных для нескольких осадок судна. Поперечный метацентрический радиус определяют по метацентрической диаграмме в следующем порядке. На вертикальной оси откладывают осадку T (рис. 1, а), проводят горизонтальную линию до пересечения со вспомогательной прямой и через точку пересечения K проводят вертикаль. Отрезок на вертикали, равный расстоянию от горизонтальной оси (основной линии) до кривой Z_c , дает значение аппликаты центра величины, а отрезок, равный расстоянию от горизонтальной оси до кривой Z_m - значение аппликаты поперечного метацентра. Поперечный метацентрический радиус определяют как разность аппликат Z_m и Z_c , т.е. $r = Z_m - Z_c$

На рис. 1, б) приведен другой вид метацентрической диаграммы, которая отличается от описанной выше отсутствием вспомогательной наклонной прямой и расположением масштабных осей. Метацентрический радиус при помощи этой метацентрической диаграммы определяют в такой последовательности. На вертикальной оси откладывают осадку T , проводят горизонтальную линию, соответствующую данной осадке, до пересечения ее с

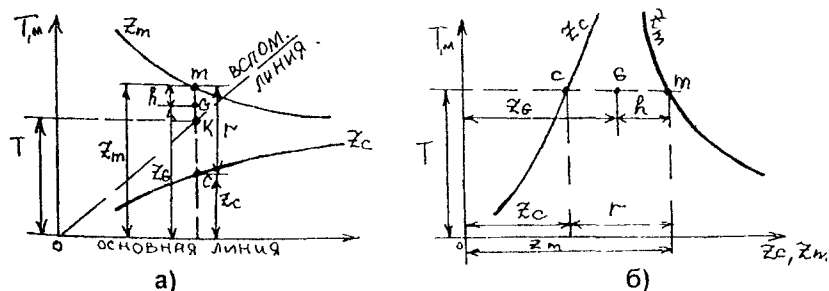


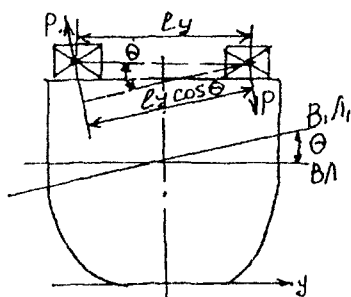
Рис. 1.

кривыми Z_c и Z_m и измеряют расстояние от точек пересечения, т.е. точек c и m , до вертикальной оси. Эти расстояния в выбранном масштабе определяют значения аппликат Z_c и Z_m , поперечный метацентрический радиус вычисляют как разность аппликат Z_m и Z_c .

Существуют и другие типы метацентрических диаграмм. От диаграмм, приведенных на рис. 1, они отличаются только тем, что кроме кривых Z_m и Z_c . На них наносятся кривые водоизмещения D и V , которые часто принимаются за упомянутые выше вспомогательные линии, необходимые при определении метацентрического радиуса.

Л е к ц и я 9.

1) КРЕН СУДНА ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ГРУЗА



Рассмотрим перемещение на судне груза P в поперечно – горизонтальном направлении к правому борту на расстояние l_y . Такое перемещение груза вызовет крен и смещение Ц.Т. судна в направлении, параллельном линии перемещения груза P . Начальная поперечная остойчивость при этом не изменится, т.к. аппликаты Ц.В. и Ц.Т.,

а также метацентрический радиус и метацентрическая высота не получат никакого приращения. Сила тяжести судна, приложенная в новом Ц.Т., и сила поддержания, приложенная в новом Ц.В., будут действовать по одной вертикали, перпендикулярно новой ватерлинии $B_1 L_1$;

Судно при этом принимает новое положение равновесия, накренившись на угол крена θ . Из рисунка следует, что момент, который появляется в результате перемещения груза поперек судна, можно определить из выражения:

$$M_{кр} = P \cdot l_y \cdot \cos \theta$$

Восстанавливающий момент можно определить по метацентрической формуле остойчивости. Судно находится в равновесии под действием измененной системы сил, поэтому моменты $M_{кр}$ и M_0 также равны.

$$P \cdot l_y \cdot \cos \theta - D' \cdot h \cdot \sin \theta$$

Решая это уравнение относительно θ , получим формулу для определения угла крена при поперечном перемещении груза:

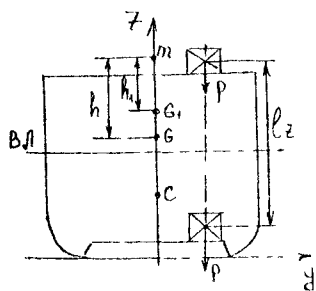
$$\operatorname{tg} \theta = \frac{P \cdot l_y}{D' \cdot h}$$

Поскольку угол крена мал, последнее выражение можно записать в виде:

$$\theta = \frac{P \cdot l_y}{D' \cdot h}$$

Приведенной формулой пользуются в тех случаях, когда углы крена не превышают 10-15 град.

2) ИЗМЕНЕНИЕ ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ГРУЗА ПО ВЕРТИКАЛИ



Допустим, что на судне, сидящем на ровный киль и находящемся в равновесии, перемещен по вертикали груз P на расстояние l_z . Поскольку водоизмещение судна от перемещения груза не меняется, первое условие равновесия будет соблюдено (судно сохранит свою осадку). Согласно известной теореме теоретической механики, Ц.Т. судна переместится в точку G_1 , находящуюся

на одной вертикали с прежним положением Ц.Т. судна G . Сама вертикаль пройдет, как и прежде, через Ц.В. судна C . Тем самым будет соблюдено второе условие равновесия. следовательно, при вертикальном перемещении груза судно не изменит своего положения равновесия (не появится ни крена ни дифферента).

Рассмотрим теперь изменение начальной поперечной остойчивости. Вви-

ду того, что форма погруженного в воду корпуса судна и форма площади ватерлинии не изменились, положение Ц.В. и поперечного метацентра (т. m) при перемещении груза по вертикали остается неизменным. Перемещается только Ц.Т. судна из точки G в точку G₁. Отрезок GG₁ может быть найден с помощью выражения:

$$GG_1 = \frac{P \cdot l_z}{D}$$

.Если до перемещения груза поперечная метацентрическая высота была h , то после его перемещения она изменится на величину GG₁. В нашем случае изменение поперечной метацентрической высоты Δh = GG₁ имеет отрицательный знак, т.к. перемещение Ц.Т. судна по направлению к поперечному метацентру, положение которого, как мы установили, остается неизменным, уменьшает метацентрическую высоту. Следовательно, новое значение поперечной метацентрической высоты будет;

$$h_1 = h - \frac{P \cdot l_z}{D} \quad (1)$$

Очевидно, что в случае перемещения груза вниз перед вторым членом правой части уравнения новой метацентрической высоты h₁ , должен быть поставлен знак плюс (+).

Из выражения (1) следует, что уменьшение остойчивости судна пропорционально произведению массы груза на его перемещение по высоте. Кроме того, при прочих равных условиях, изменение поперечной остойчивости будет относительно меньше, у судна с большим водоизмещением, чем у судна с малым D. Поэтому на больших судах перемещение относительно больших грузов безопаснее, чем на малых судах.

Может оказаться, что значение GG₁ перемещения вверх Ц.Т. судна будет больше самой величины h . Тогда начальная поперечная остойчивость станет отрицательной, т.е. судно не сможет оставаться в прямом положении.

3) ИЗМЕНЕНИЕ ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА ОТ ПРИЕМА ИЛИ СНЯТИЯ (РАСХОДОВАНИЯ) ГРУЗОВ

В общем случае, при приеме или снятии груза, происходит изменение средней осадки судна, вследствие изменения водоизмещения, появление крена и дифферента, из-за смещения линии действия силы веса, относительно линии действия силы плавучести, и изменение остойчивости, в результате изменения положения Ц. Т. и Ц. В.

Задачу о влиянии на посадку и остойчивость судна приема некоторого груза P в любую точку A с координатами X_p , Y_p , Z_p можно разделить на две более простые задачи.

В первой из них рассматривают влияние на посадку и остойчивость приема груза P , если Ц.Т. принимаемого груза находится в ДП и на одной вертикали с центром тяжести площади действующей ватерлинии.

Во второй задаче рассматривают изменение посадки судна при переносе этого же груза по горизонтали. Такой перенос, как было показано раньше, не отражается на начальной остойчивости, поэтому ниже рассматривается только первая задача.

На палубу судна принят груз P , Ц.Т. которого расположен в ДП на расстоянии z_p от основной плоскости. До приема груза судно имело водоизмещение D_0 и осадку T . После приема груза водоизмещение судна стало $D_1 = D_0 + P$, а осадка $T_1 = T + \Delta T$. При приеме груза меняют положение все три точки, характеризующие поперечную остойчивость; центр величины – из-за изменения осадки судна, а, следовательно, и формы погруженного в воду объема корпуса судна; центр тяжести – вследствие изменения нагрузки судна, а поперечный метацентр – вследствие изменения формы площади ватерлинии и объема, погруженной в воду части корпуса судна.

Метацентрическая высота, характеризующая остойчивость судна, вследствие всех названных причин, получит следующее изменение:

$$\Delta h = \frac{P}{D_0 + P} \left(T + \frac{\Delta T}{2} - h - Z_p \right).$$

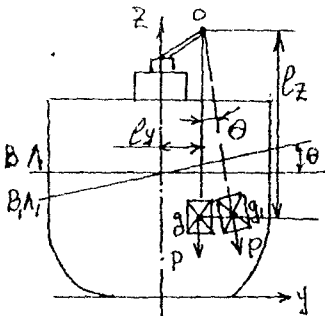
Новое значение поперечной метацентрической высоты после приема или снятия (расходования) груза будет:

$$h_1 = h + \Delta h = h + \frac{\pm P}{D_0 \pm P} \left(T \pm \frac{\Delta T}{2} h - Z_p \right).$$

Здесь знак плюс соответствует приему груза, знак минус - его снятию (расходованию).

Л е к ц и я 10

1) ВЛИЯНИЕ НА ОСТОЙЧИВОСТЬ СУДНА ПОДВЕШЕННЫХ ГРУЗОВ



Допустим, что на судне имеется груз P , подвешенный в точке O , расположенной на расстоянии l_z от ЦТ. Если груз закрепить и в точке g - его ЦТ., то при крене судна груз останется на месте и начальная остойчивость судна не изменится. Если же груз не закреплен, то при крене судна на угол θ центр тяжести его переместится в сторону крена из точки g в точку g_1 и линия подвеса груза примет положение перпендикулярно плоскости новой ватерлинии $B_1 L_1$. Угол между линией подвеса gO до крена и g_1O после крена равен θ .

Такое перемещение груза, как это видно из рисунка, создает дополнительный кренящий момент:

$$\Delta M = P \cdot l_z \cdot \sin \theta \quad (1),$$

где l_z - возвышение точки подвеса над первоначальным положением ЦТ. груза.

Так как этот момент действует в сторону крена, то восстанавливающий момент уменьшается: $M'_{\theta} = M_{\theta} - DM$. Поскольку $M_{\theta} = D' \cdot h \cdot \sin \theta$, то

$$M'_{\theta} = D' \cdot h \cdot \sin \theta - P \cdot l_{\Sigma} \cdot \sin \theta = D' \cdot \left(h - \frac{P \cdot l_{\Sigma}}{D'} \right) \cdot \sin \theta \quad (2)$$

Выражение в скобках представляет собой новое значение метацентрической высоты судна при наличии подвешенного груза:

$$h_1 = h - \frac{P \cdot l_{\Sigma}}{D'} \quad (3)$$

Если выразить массу подвешенного груза и водоизмещение в тоннах, то поправка к метацентрической высоте на влияние подвешенного груза будет:

$$\Delta h = \frac{P \cdot l_{\Sigma}}{D} \quad (4)$$

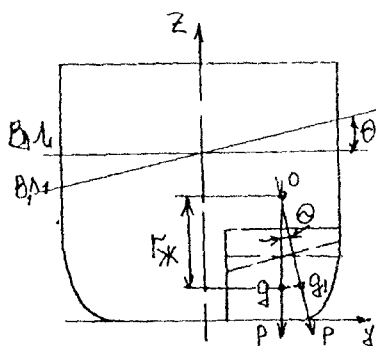
Таким образом, наличие на судне подвешенного груза приводит к уменьшению исходной метацентрической высоты, а следовательно, к уменьшению восстанавливающего момента.

Сравнив полученное выражение с формулой, учитывающей изменение метацентрической высоты при вертикальном переносе груза, убеждаемся, что они аналогичны. Это означает, что влияние подвешенного незакрепленного груза P на остойчивость равноценно влиянию такого же неподвижного груза P , Ц.Т. которого перемещен в точку подвеса O .

Из формулы (4) также следует, что значение поправки Δh не зависит от того, где в данный момент находится груз после отрыва его от палубы. Изменение метацентрической высоты происходит в момент отрыва груза от палубы. Сам процесс подъема и опускания груза, не влияет на остойчивость судна. Поэтому при вычислении поправки Δh длина подвеса l_{Σ} определяется длиной, измеренной от Ц.Т. груза, лежащего на настиле двойного дна или на палубе, до точки подвеса.

2) ВЛИЯНИЕ НА ОСТОЙЧИВОСТЬ СУДНА ЖИДКИХ ГРУЗОВ СО СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

На судах всегда имеется жидкий груз (балластная вода, топливо, пресная вода различного назначения и т.д.), а на наливных судах – штапный перевозимый груз. Если жидкий груз полностью заполняет отведенный ему объем (цистерну, танк), то при наклонениях судна он будет вести себя как твердый неперемещающийся груз. Влияние такого груза на остойчивость аналогично влиянию, которое оказывает на остойчивость закрепленный твердый груз.



В действительных условиях эксплуатации судов цистерны или отсеки по различным причинам оказываются заполненными не полностью. В таком случае говорят, что емкости имеют свободную поверхность. При наклонении судна изменится форма объема жидкости в цистерне, а это отражается на посадке и остойчивости судна.

Допустим, что на судне имеется цистерна, частично заполненная жидкостью. До того как судно накренилось, Ц.Т. жидкого груза находился в точке g . При крене жидкость в цистерне сместилась, Ц.Т. ее также сместился в сторону крена и занял новое положение (точка g_1). Ц.Т. жидкости одновременно является Ц.В. заполненного объема цистерны, поэтому кривая $g g_1$ представляет собой кривую Ц.В. радиус кривизны $r_{ж}$ кривой (по аналогии с наклонением судна) является метацентрическим радиусом, а точка O – метацентром по отношению к жидкости в цистерне. Следовательно, с точки зрения влияния на остойчивость, жидкий груз со свободной поверхностью подобен подвешенному грузу, точка подвеса которого расположена в метацентре, а длина подвеса равна метацентрическому радиусу.

Поправка Δh к метацентрической высоте, учитывающая влияние свободной поверхности жидкости, будет:

$$\Delta h = - \frac{P \cdot r_{ж}}{D} \quad (1),$$

Где $P = \rho_{ж} \cdot V_{ж}$ — масса жидкости в цистерне;
 $V_{ж}$ — объем, занимаемый жидкостью;
 $\rho_{ж}$ — плотность жидкости

Значение метацентрического радиуса для этого случая можно определить с помощью формулы $r_{ж} = i_x / V_{ж}$, где i_x — момент инерции свободной поверхности жидкости относительно продольной оси, проходящей через Ц.Т. площади этой поверхности

Если в формуле (1) подставить выражения для P , $r_{ж}$, D , то она примет вид:

$$\Delta h = - \frac{\rho_{ж}}{\rho} \cdot \frac{i_x}{V} \quad (2)$$

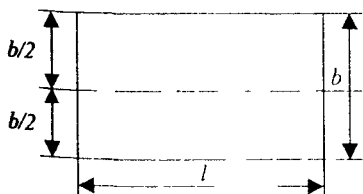
Из формулы (2) видно, что поправка на влияние свободной поверхности жидкости всегда имеет отрицательный знак, т.е. свободная поверхность жидкого груза, перекая в сторону наклона судна, уменьшает метацентрическую высоту и отрицательно сказывается на остойчивости

Основное влияние на Δh оказывает величина i_x , зависящая от формы и размеров свободной поверхности. При большой площади свободной поверхности момент инерции i_x , а, следовательно, и поправка Δh будут столь велики, что поперечная метацентрическая высота окажется недостаточной и может стать даже отрицательной.

Момент инерции i_x , а вместе с тем и вредное влияние свободной поверхности можно уменьшить, если поставить в отсеках и цистернах переборки вдоль или параллельно плоскости наклона судна. Какое влияние оказывают такие продольные переборки на остойчивость судна, видно из следующего при-

мера Разделим отсек на две равные части и будем считать, что свободная поверхность отсека имеет форму прямоугольника, как это чаще всего бывает

Если длина отсека l , а ширина b то момент инерции площади всего отсека от-



носительно продольной оси, проходящей через центр тяжести этой площади, будет:

$$i_x = \frac{l b^3}{12}$$

Если разделить отсек одной продольной переборкой на две равные части, то ширина каждой части будет $b/2$, а суммарный момент инерции двух отсеков:

$$\Sigma i_x = 2 \cdot \frac{l \cdot (b/2)^3}{12} = \frac{1}{4} \cdot \frac{l \cdot b^3}{12},$$

т.е. в 4 раза меньше, чем у неразделенного отсека.

Если установить две продольные переборки и определить суммарный момент инерции свободной площади такого отсека, то можно убедиться, что переборки уменьшают отрицательное влияние свободной поверхности жидкого груза на остойчивость пропорционально квадрату числа отсеков.

В заключение приведем ряд рекомендаций по устранению или уменьшению отрицательного влияния свободной поверхности жидкого груза на остойчивость судна:

1. При приеме жидкого груза необходимо стремиться к тому, чтобы цистерны или отсеки были запрессованы (запрессованными считаются цистерны, заполненные на 95 % и более).

2. Расходовать рейсовые запасы следует сначала из верхних емкостей, а затем – из нижних, причем забирать их надо по очереди из разных цистерн, а не одновременно из нескольких.

3. При балластировке нельзя принимать забортную воду сразу в несколько балластных цистерн.

4. Во время рейса следует избегать приема забортной воды в балластные танки и ее удаление из них. Особенно опасна такая операция для судна с малой метацентрической высотой, например для лесовозов с грузом леса на палубе. Балластировку нужно производить в порту или на базе – убежище, а в море – лишь в исключительных случаях с соответствующей расчетной проворкой остойчивости.

5. При балластировке судна приемом воды в кормовые трюмы, через которые проходит туннель гребного вала, не следует доводить уровень выше туннеля.

3) ВЛИЯНИЕ НА ОСТОЙЧИВОСТЬ НАСЫПНЫХ ГРУЗОВ

Груз, способный пересыпаться, оказывает на остойчивость судна действие, аналогичное действию жидкого груза.

Если жидкий груз можно отнести к категории легко перемещающихся грузов, которые приходят в движение при малейшем наклонении судна, то насыпной груз при тех же условиях придет в движение только в том случае, когда угол крена судна превысит так называемый угол естественного откоса – угол крутизны, при котором насыпной груз, находящийся в куче, еще останется в покое (см. Приложение 5)

Динамика смещения груза весьма сложна. Под влиянием небольшой качки смещается лишь тонкий слой груза, что не может оказать заметного влияния на остойчивость судна и практически приводит лишь к выравниванию поверхности груза, образовавшейся при погрузке. Увеличение количества пересыпающегося груза с нарастанием угла качки происходит неравномерно, а с резким переходом при некотором угле крена от тонкого поверхностного слоя сразу к достаточно толстому. При некоторых углах крена груз вообще не смещается, а затем сползает на один борт сразу большим пластом, причем вновь образующаяся поверхность груза, как правило, бывает плоской с небольшим повышением у борта, на который происходит крен. Пересыпание груза вызывает перемещение Ц.Т. судна в сторону крена и, следовательно, уменьшение восстанавливающего момента. Судно получает дополнительный крен и может опрокинуться в случае внезапного шквала или приложения какого-либо другого кренящего момента

Отсутствие в настоящее время надежных теоретических и экспериментальных данных по динамике смещения насыпных грузов не позволяет строго решать задачу об их влиянии на остойчивость судна. Поэтому мы ограничимся только общими сведениями о характере влияния насыпных грузов на остойчивость судна.

Существуют различные предупредительные меры по ограничению смещения насыпных грузов:

– разделение трюмов постоянными или временными продольными переборками. Они должны простираться на высоту, достаточную для предотвра-

щения смещения: в твиндеках такие переборки устанавливаются от палубы до палубы. Переборки должны быть достаточно прочными, соответствующим образом закрепленными и непроницаемыми для данного груза;

– Устройство над грузовыми люками шахт – питателей достаточной емкости (2,5 – 8 % вместимости отсека);

– при частичном заполнении трюма – выравнивание насыпного груза и укладка сверху мешков с этим грузом.

4) ИЗМЕНЕНИЕ ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА ПРИ ПОСАДКЕ НА ГРУНТ

Изменение остойчивости судна при посадке на грунт обусловлено следующим обстоятельством: действие реакции давления грунта на корпус судна равносильно снятию в точке касания груза, равного по весу реакции грунта. Снятие груза с днища вызывает резкое смещение вверх Ц.Т. судна, т.е. уменьшает остойчивость.

Допустим, что судно первоначально имело водоизмещение D . После посадки на грунт осадка его уменьшилась на ΔT и соответственно изменилось водоизмещение на величину $P = \rho \cdot \Delta V$, определяемую объемом оголившегося слоя ΔV . Поскольку реакция грунта R равна этой отрицательной силе плавучести оголившегося слоя, она может быть выражена в виде :

$$R = \rho \cdot \Delta V = \rho \cdot S \cdot \Delta T$$

Действие реакции давления грунта на корпус равносильно снятию с судна груза, Ц.Т. которого расположен на днище, поэтому $Z_p = 0$. Тогда, используя формулу для определения новой метацентрической высоты при снятии груза с судна, можно определить новое значение метацентрической высоты при посадке судна на грунт:

$$h_1 = h - \frac{P}{D - P} \cdot \left(T - \frac{\Delta T}{2} - h \right).$$

Из формулы видно, что для определения новой метацентрической высоты в случае посадки судна на грунт необходимо найти P и ΔT , что можно сделать путем тщательного промера глубин вокруг судна, находящегося в аварийном положении.

Л е к ц и я 11.

1) ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПЕРЕЧНОЙ МЕТАЦЕНТРИЧЕСКОЙ ВЫСОТЫ СУДНА ПУТЕМ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЫТА КРЕНОВАНИЯ

При постройке судна, возможно некоторое перераспределение масс, вследствие чего возникают расхождения между расчетными и действительными значениями аппликат Ц.Т. судна и метацентрической высоты. В связи с этим регистр предписывает уточнять проектные данные о положении Ц.Т. построенного судна путем проведения так называемого опыта кренования.

Опыту кренования подвергаются головные суда строящихся серий, каждое пятое судно серии, а также новые суда несерийной постройки. Кроме того, опыту кренования подвергают каждое судно после капитального ремонта или переоборудования и суда, остойчивость которых неизвестна или вызывает сомнения.

Опыт кренования основан на использовании формулы, определяющей угол крена при перемещении груза в поперечно-горизонтальном направлении. Зная массу груза P , перемещаемого в поперечно – горизонтальном направлении, плечо его переноса l_y , водоизмещение судна D и угол крена θ , возникающий после перемещения груза, можно вычислить метацентрическую высоту судна :

$$h = \frac{P \cdot l_y}{D \cdot \operatorname{tg} \theta} = \frac{M_{\text{кр}}}{D \cdot \operatorname{tg} \theta} \quad (1)$$

где $M_{\text{кр}}$ – кренящий момент, вызванный переносом груза.

Массу перемещаемого груза, который принято называть крен – балластом, определяют взвешиванием, плечо l_y – непосредственным замером, водоизмещение D – по кривой водоизмещения или масштабу бонжана исходя из замеренной осадки судна в момент кренования.

Определив в результате опыта значение угла θ и подставив его в формулу (1), получают метацентрическую высоту судна h . Затем можно вы-

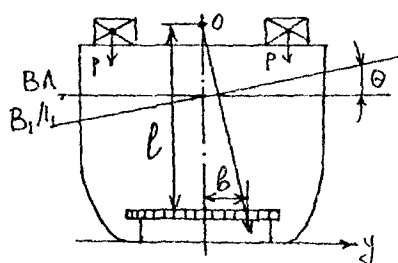
числить и аппликату Z_G Ц.Т., предварительно определив по метацентрической диаграмме величину Z_m :

$$Z_G - Z_m - h \quad (2)$$

Опыт кренования проводится в тихую погоду при спокойном состоянии поверхности воды и отсутствии течения. Скорость ветра не должна превышать 3 м/с. Судно не должно касаться стенки причала, грунта или находящегося рядом судна.

Следует проводить кренование порожнего судна, но со снабжением, находящимся на своих местах. Цистерны различного назначения должны быть осушены либо запрессованы. Начальный крен не должен превышать 0,5 - 1 град.

Крен-балласт принимают на судно в таком количестве, чтобы обеспечить максимальные углы крена 2 - 4 град



Для определения углов крена пользуются весками (нити с подвешенными грузами), сообщающимися сосудами, инклинографами различных типов и другими спец - приборами. При использовании весков на больших судах длина нити должна быть 4,0 - 6,0 м, а на малых - не менее

1,5 м. Груз веска, с укрепленной на нем крылаткой, из двух взаимно перпендикулярных пластинок, опускают в бак с водой или маслом, чтобы колебания веска быстрее прекращались. Весков должно быть не меньше двух (лучше три). Места подвешивания выбирают по длине судна. Для отсчета углов крена, вблизи нижнего конца веска, укрепляют горизонтальную деревянную рейку с нанесенной шкалой. Угол крена, соответствующий перемещению крен балласта, определяют по формуле.

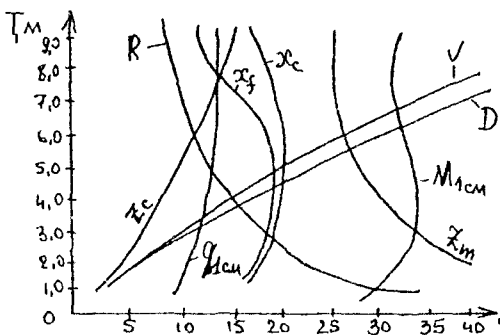
$$\operatorname{tg} \theta = b/l,$$

где b - отклонение веска, измеренное по рейке;

l - длина веска, измеренная от точки подвеса до шкалы, по которой отсчитываются отклонения

2) КРИВЫЕ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ЧЕРТЕЖА

Кривые элементов теоретического чертежа представляют собой диаграмму, которая объединяет кривые, определяющие зависимость изменения значений теоретических элементов судна (V , X_C , Z_C , Z_m , X_f , q_{lcm} , r , R , M_{lcm}) от его осадки.



Поскольку речь идет об эле-

ментах судна, связанных с плавучестью и остойчивостью, т.е. со стабильностью судна, эту совокупность кривых часто называют кривыми плавучести и начальной остойчивости (см. Приложения 6-9).

Следует заметить, что к элементам теоретического корпуса кроме основных элементов плавучести и элементов остойчивости при малых углах наклона следует отнести также геометрические характеристики обводов и в первую очередь коэффициенты полноты формы корпуса судна (коэффициент общей полноты δ , коэффициент полноты площади ватерлинии α , коэффициент полноты площади мидель-шпангоута β) поэтому кривые этих элементов также включают в кривые элементов теоретического чертежа.

Количество кривых на диаграмме может достигать до 15 - 20. Для того чтобы определить необходимые значения элементов теоретического чертежа по кривым плавучести и начальной остойчивости, на оси осадок нужно наметить точку, соответствующую заданной осадке, и провести прямую, параллельную оси абсцисс. Отстояние точки пересечения прямой с соответствующей кривой от линии отсчета в выбранном масштабе определяет искомые элементы теоретического чертежа.

3) ОСТОЙЧИВОСТЬ ПРИ БОЛЬШИХ УГЛАХ КРЕНА. ПЛЕЧО ОСТОЙЧИВОСТИ

В предыдущих главах рассматривалась остойчивость судна при наклонении его от положения равновесия на малые (начальные) углы крена. При этом в основу изучения теории начальной остойчивости были положены следующие допущения; при крене судна перемещение Ц.В. происходит по дуге окружности;

Поперечный метацентр находится в точке, которая является центром этой окружности и не изменяет своего положения при наклонениях; значение поперечного метацентрического радиуса остается неизменным. Равнообъемные ватерлинии пересекаются по прямой, проходящей через Ц.Т. площади ватерлинии, расположенный в ДП судна.

Однако в процессе эксплуатации судна часто возникают наклонения на большие углы крена. В этих случаях применение перечисленных выше допущений приводит к неверным результатам. Поэтому была разработана теория остойчивости судна при больших углах наклонения.

При больших углах наклонения судно нельзя считать прямолинейным в пределах изменения формы подводного объема; симметрия входящей и выходящей частей площади наклонной ватерлинии значительно нарушается, что приводит к смещению оси пересечения двух равнообъемных ватерлиний. Перемещение Ц.В. при больших углах крена происходит уже не по дуге окружности, а по кривой переменной кривизны. Это равносильно тому, что поперечный метацентр не остается в постоянной точке m на ДП, как это было при малых углах крена, а смещается в новую точку. Следовательно, и расстояние между метацентром и Ц.В. – поперечный метацентрический радиус – является переменной величиной. Из сказанного следует, что метацентрическая высота уже не может служить критерием поперечной остойчивости. По этим соображениям, решая вопросы остойчивости при больших углах крена, нельзя пользоваться метацентрической формулой поперечной остойчивости и всеми полученными на ее основании формулами, в которые входит значение поперечной метацентрической высоты.

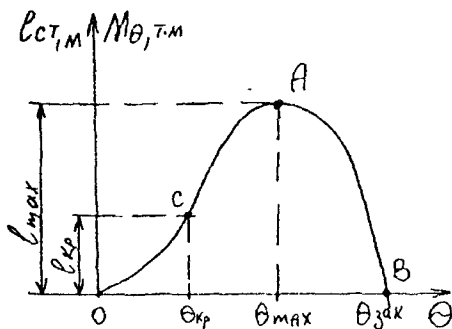
Восстанавливающий момент, являющийся мерой статической устойчивости судна при больших углах крена, будет равен: $M_{\theta} = D' \cdot l_{cr}$

Основная задача расчета устойчивости при больших углах крена сводится к определению плеча l_{cr} восстанавливающего момента в зависимости от угла крена θ .

Л е к ц и я 12.

1) ДИАГРАММА СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ И ЕЕ СВОЙСТВА

Для определения угла крена, возникающего в результате действия на судно кренящего момента, строят кривую, выражающую зависимость плеч статической устойчивости от угла крена судна. Построение выполняют в прямоугольной системе координат: на оси абсцисс откладывают углы крена (положительные – вправо, отрицательные – влево от начала координат), а по оси ординат – плечи статической устойчивости. В точках на оси абсцисс, соответствующих конкретным углам крена, восстанавливают перпендикуляры и на них откладывают снятые со специальной универсальной диаграммы отрезки плеч статической устойчивости. Полученные точки соединяют плавной кривой, которая называется диаграммой статической устойчивости. Диаграмма статической устойчивости имеет вид



кривой с ярко выраженным максимумом.

На ней можно отметить три точки, характерные для неповрежденного судна, обладающего положительной устойчивостью: точку O (начало координат), определяющую положение устойчивого равновесия; точку A,

где плечо статической остойчивости и восстанавливающий момент имеют максимальные значения; точку В, определяющую так называемый угол заката диаграммы.

Равновесие накренившегося судна наступает при равенстве кренящего и восстанавливающего моментов. Чтобы воспользоваться диаграммой статической остойчивости для определения угла крена, возникающего под действием заданного кренящего момента $M_{кр}$, необходимо найти плечо кренящего момента $l_{кр} = M_{кр} / D'$. Условие равновесия судна можно написать и в таком виде: $l_{кр} = l_0$. Плечо $l_{кр}$ откладывают в соответствующем масштабе на оси ординат диаграммы и проводят горизонтальную линию до пересечения с кривой. В точке пересечения восстанавливающий момент равен кренящему, и, следовательно, судно находится в равновесии в наклонном положении. Точка пересечения перпендикуляра, опущенного из точки С, с горизонтальной осью диаграммы определяет угол крена.

Диаграмма статической остойчивости строится для конкретного судна и соответствует определенным водоизмещению и положению Ц.В. по высоте. Если у данного судна изменится водоизмещение или аппликата Ц.Т., то диаграмма статической остойчивости приобретает другой вид. Это обстоятельство всегда следует иметь в виду, и, прежде чем воспользоваться диаграммой для решения каких-либо вопросов, касающихся остойчивости данного судна, необходимо обратить внимание на ее соответствие имеющейся нагрузке судна. Каждое судно должно быть снабжено комплектом диаграмм статической остойчивости, характеризующих остойчивость его при наиболее часто встречающихся случаях загрузки.

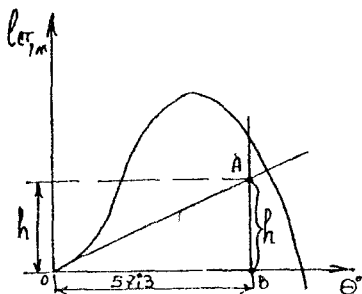
Диаграммы статической остойчивости отличаются большим разнообразием форм кривых, но все они обладают некоторыми *общими свойствами*:

1. Начальный участок диаграммы статической остойчивости представляет собой прямую наклонную линию. Это видно, если приравнять две формулы восстанавливающего момента; метацентрическую формулу поперечной остойчивости, применимую только для малых углов крена, и формулу восстанавливающего момента, справедливую для любых углов крена, т. е.

$$M_0 = D' \cdot h \cdot \theta \quad \text{и} \quad M_0 = D' \cdot l_{ст},$$

откуда $l_{ст} = h \cdot \theta$

При малых углах крена поперечная метацентрическая высота – постоянная величина, поэтому зависимость между плечом статической устойчивости $l_{ст}$ и углом крена θ при малых углах крена является линейной и изображается прямой линией.



2. Отрезок перпендикуляра, восстановленного из точки на оси абсцисс, находящейся на расстоянии одного радиана (57,3 град) от начала осей координат, до точки пересечения его с начальной касательной к кривой, определяет на диаграмме статической устойчивости поперечную метацентрическую высоту h , взятую в масштабе плеч статической ос-

тойчивости. Однако графически определять метацентрическую высоту h по диаграмме статической устойчивости не рекомендуется, т.к. проведение касательной к кривой не может быть выполнено с необходимой точностью.

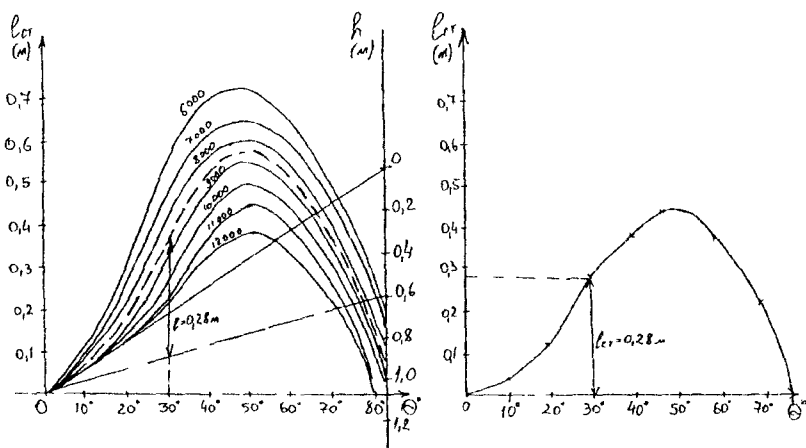
3. Восходящая часть кривой диаграммы статической устойчивости характеризует устойчивое положение равновесия судна, а нисходящая – неустойчивое.

2) УНИВЕРСАЛЬНАЯ ДИАГРАММА ОСТОЙЧИВОСТИ

В судовых условиях часто возникает необходимость произвести расчет и оценку устойчивости судна. Для построения диаграмм статической устойчивости суда снабжаются разного рода документацией. К числу такой вспомогательной документации относятся интерполяционные кривые плеч формы, или пантокарены, и универсальные диаграммы статической устойчивости, составляемые в процессе проектирования судна на основании систематизированных расчетов (см. Приложения 10-13)

Универсальные диаграммы позволяют строить диаграммы статической устойчивости судна без каких-либо дополнительных расчетов. Они представляют собой набор диаграмм статической устойчивости для различных водоизмещений судна в пределах от водоизмещения судна порожнем до полного водоизмещения.

3) ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ СТАТИЧЕСКОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ ПО УНИВЕРСАЛЬНОЙ ДИАГРАММЕ



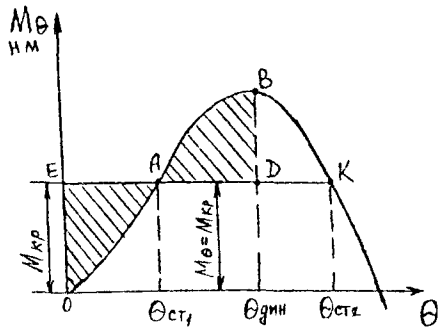
Пример построения диаграммы статической остойчивости по универсальной диаграмме остойчивости для конкретного случая загрузки судна при $D = 8\,500\text{ т}$, $h = 0,6\text{ м}$

Л е к ц и я 13.

1) ДИНАМИЧЕСКАЯ ОСТОЙЧИВОСТЬ И ДИАГРАММА ДИНАМИЧЕСКОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ

При статическом приложении кренящего момента восстанавливающий момент постепенно увеличивается вместе с нарастанием угла крена, и эти моменты взаимно уравновешивают друг друга в течение всего процесса статического накренения судна. Движение судна происходит равномерно, без угловых ускорений. Предположим теперь, что к судну, находящемуся в прямом положении, внезапно приложен кренящий момент, величина которого не свя-

зана с углом наклона. Тогда график его действия можно изобразить на диаграмме статической остойчивости прямой линией ЕК параллельно оси (как действует, например, на судно внезапно налетевший порыв ветра (шквал), обрыв тяжелого груза, подвешенного на шкентеле вываленной за борт грузовой стрелы, обрыв буксирного троса) Под действием этого момента судно быстро наклоняется.



Способность судна противостоять, не опрокидываясь, действию внезапно приложенного кренящего момента называется динамической остойчивостью. Угол крена, на который наклоняется судно при внезапном действии кренящего момента, называется динамическим углом крена $\theta_{дин}$. Динамический угол крена $\theta_{дин}$ определяют из условия равенства работ кренящего и восстанавливающего момента:

$$A_{\text{КР}} = A_{\theta}. \quad (1)$$

Следовательно, мерой динамической остойчивости служит работа восстанавливающего момента A_{θ} , которую надо совершить, чтобы наклонить судно на угол $\theta_{дин}$. (Напомним, что мерой статической остойчивости является восстанавливающий момент). Работа постоянного кренящего момента при наклонении судна до угла $\theta_{дин}$ равна произведению момента на угол крена:

$$A_{\text{КР}} = M_{\text{КР}} \theta_{дин} \quad (2)$$

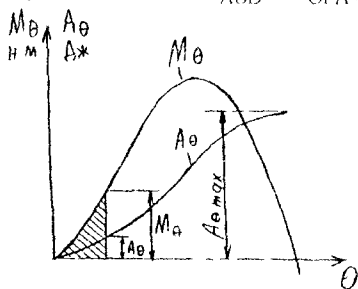
На рисунке эта работа графически представлена площадью прямоугольника $OED \theta_{дин}$.

Поскольку восстанавливающий момент $M_{\text{КР}}$ как функция угла крена задается диаграммой статической остойчивости, работу восстанавливающего момента A_{θ} , необходимую для наклонения судна на угол $\theta_{дин}$, графически можно изобразить площадью фигуры $OAB \theta_{дин}$. Тогда условие (1) можно записать в виде.

$$S_{OED \theta_{дин}} = S_{OAB \theta_{дин}} \quad (3)$$

Как видно из рисунка, обе площади включают общую для них площадь $OAD \theta_{дин}$, поэтому приходим к выводу, что равенство работ кренящего и

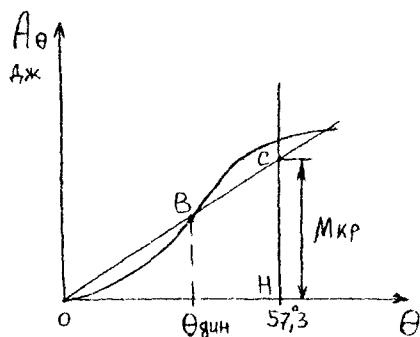
восстанавливающего моментов будет соблюдено, если заштрихованные на рисунке площади ($S_{\Delta B D}$ и $S_{O G A}$) будут равны



Отсюда получаем правило, которое используется для графического решения уравнения (1) при заданном динамическом кренящем моменте $M_{кр}$ положение ординаты $B \theta_{дин}$ подбирают таким образом, чтобы заштрихованные площади оказались равными. Тогда пересечение с осью ординаты $B \theta_{дин}$ даст искомый угол

динамического крена. Определить динамический угол крена по диаграмме статической остойчивости можно лишь приближенно. Задачи, связанные с динамической остойчивостью, решаются быстрее и точнее с помощью так называемой диаграммы динамической остойчивости, которая представляет собой кривую, выражающую зависимость работы восстанавливающего момента от угла крена

Построение такой диаграммы, являющейся интегральной кривой по отношению к диаграмме статической остойчивости, производится следующим образом. На оси абсцисс намечают несколько точек, соответствующих выбранным углам крена, и восстанавливают перпендикуляр до пересечения с кривой диаграммы статической остойчивости. Вычислив работу восстанавливающего момента (выраженную графически соответствующими площадями)



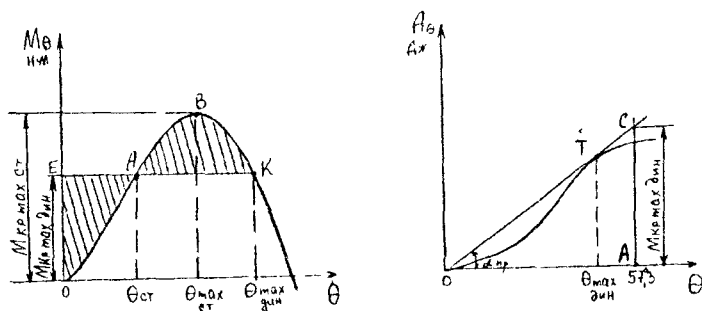
при накрениии судна от прямого положения ($\theta = 0$) до заданного угла крена, на перпендикулярах откладывают ординаты, которые в заданном масштабе определяют вычисленные значения площадей. Точки ординат соединяют плавной кривой, которая является диаграммой динамической остойчивости при данном состоянии нарузки судна. Чтобы определить динамический

угол крена на диаграмме динамической остойчивости следует отложить на оси абсцисс один радиан (57,3 град.) и в полученной точке Н восстановить перпендикуляр, на котором в масштабе работы откладывается отрезок $HC=M_{кр}$. Соединив точку С прямой с началом координат, получим график работы постоянного кренящего момента. Абсцисса точки пересечения прямой ОС с диаграммой динамической остойчивости (точка В) определяет искомый угол $\theta_{дин}$.

С помощью диаграммы динамической остойчивости может быть решена обратная задача об отыскании динамически приложенного кренящего момента $M_{кр}$ по заданному углу крена $\theta_{дин}$.

2) ОПРЕДЕЛЕНИЕ МИНИМАЛЬНОГО ОПРОКИДЫВАЮЩЕГО МОМЕНТА ПО ДИАГРАММАМ СТАТИЧЕСКОЙ И ДИНАМИЧЕСКОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ

Предельные наклонения судна с помощью диаграмм статической и динамической остойчивости можно изобразить следующим образом:



Мы видим, что предельный кренящий момент, действующий статически, всегда больше предельного кренящего момента, действующего динамически. Таким образом, для судна быстрое нарастание кренящего момента всегда более опасно, чем медленное.

Рассматривая вопросы, связанные с действием внезапно приложенного кренящего момента, мы исходим из предположения, что начальному положе-

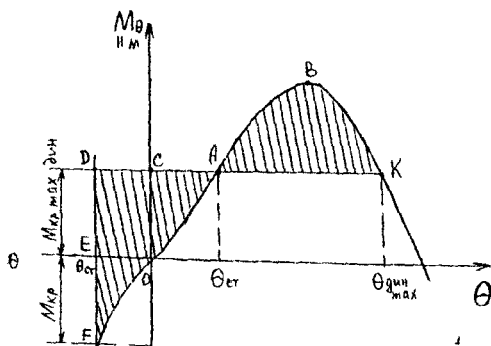
нию судна соответствует угол крена, равный нулю (прямое положение) Между тем в практике эксплуатации судов бывают случаи, когда к началу действия внезапного кренящего момента судно уже находится в наклоненном положении в результате действия какого-то кренящего момента В этой ситуации при решении задач динамической устойчивости возможны два случая

- 1) судно плавает с начальным углом крена в том же направлении, в котором приложен внезапный кренящий момент,
- 2) судно имеет начальный крен в сторону, противоположную действию внезапного кренящего момента

Ограничимся рассмотрением способа решения задач по определению минимального опрокидывающего момента для второго, более опасного случая

Внезапно приложенный кренящий момент, при котором динамический угол крена достигает значения статического угла неустойчивого равновесия, называется минимальным опрокидывающим моментом

Мопр

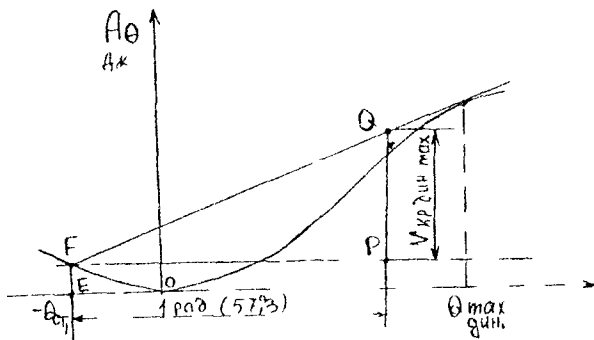


Допустим, что судно имеет крен $-\theta_{ст}$, созданный первоначально действующим моментом $M_{кр}$ Кроме того, на судно действует внезапный кренящий момент $M_{кр\ дин}$ в направлении, противоположном $M_{кр}$, т.е. судно имеет крен на тот борт, со стороны которого подействовал внезапный кренящий момент

В этом случае минимальный опрокидывающий момент определяют следующим образом Диаграмму статической устойчивости продолжают в об-

ласть отрицательных значений абсцисс на участке, равном углу крена $-\theta_{CT1}$. Затем на оси абсцисс откладывают в соответствующем масштабе угол крена $-\theta_{CT1}$, через построенную точку E проводят вертикальную линию до пересечения с диаграммой (точка F) и продолжают ее вверх. После этого подбирают такое положение по высоте линии DK, параллельной оси абсцисс, чтобы заштрихованные площади FDA и ABK оказались равными. Найденная ордината OC соответствует значению минимального опрокидывающего момента $M_{кр \max \text{дин}}$. При наличии крена судна на угол θ_{CT1} созданного первоначальным кренящим моментом $M_{кр}$ абсцисса точки K определяет угол крена $\theta_{\max \text{дин}}$, который при этом получит судно.

По диаграмме динамической остойчивости значения опрокидывающего момента и вызываемого им крена определяют следующим образом:



Продолжают диаграмму в область отрицательных значений абсцисс на участке, равном углу θ_{CT1} . Затем на левой части оси абсцисс отмечают точку E, соответствующую первоначальному углу крена $-\theta_{CT1}$ и через нее проводят вертикальную линию до пересечения с диаграммой (точка F). Из точки F проводят касательную FG и горизонтальную прямую, параллельную оси абсцисс, на которой откладывают отрезок GP, равный одному радиану (57,3 град). Из точки P восстанавливают перпендикуляр до пересечения с касательной FG в точке Q. Отрезок PQ в масштабе оси ординат равен минимальному опрокидывающему моменту $M_{кр \max \text{дин}}$. При наличии первоначального крена судна на угол $-\theta_{CT1}$, абсцисса точки K дает значение угла крена $\theta_{\max \text{дин}}$, вызванного моментом $M_{кр \max \text{дин}}$.

Расчет плеч и построение диаграмм статической и динамической остойчивости с помощью *пантокарен*.

Пантокаренны — это кривые плеч формы l_ϕ , выражающие зависимость значений плеч формы от водоизмещения судна и угла крена. Пантокаренны имеют следующий вид:

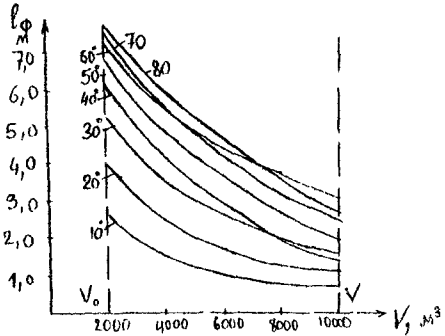
С помощью пантокарен определяем значения плеч формы l_ϕ для различных углов крена θ при заданном водоизмещении судна, а затем находим плечи статической устойчивости по формуле:

$$l_{cm} = l_\phi - a \cdot \sin \theta,$$

где $a = Z_G - Z_C$

Затем рассчитываем плечи динамической устойчивости l_g через l_{cm} и θ , учитывая, что диаграмма динамической устойчивости является интегральной кривой от диаграммы статической устойчивости.

Проще всего необходимые расчеты плеч статической и динамической устойчивости можно сделать в табличном виде:



расчетные величины	численные значения величин								
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
l_ϕ	0								
$\sin \theta$	0								
$a \cdot \sin \theta$	0								
$l_{cm} = l_\phi - a \cdot \sin \theta$	0	±		±					
$\sum_{\text{инт}} l_{cm}$	0	↑	↓	↑	↓				
$l_g = \frac{1}{2} \Delta\theta_{\text{рад}} \sum_{\text{инт}} l_{cm}$	0								
$\Delta\theta^\circ = 10^\circ$		$\Delta\theta_{\text{рад}} = 0,174$		$\frac{1}{2} \Delta\theta_{\text{рад}} = 0,087$					

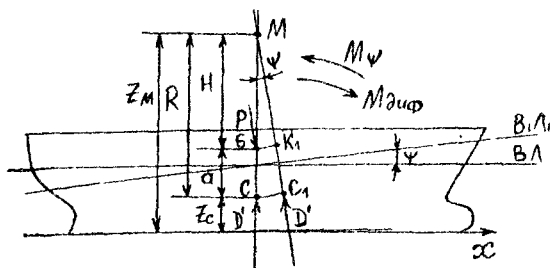
На основании полученных значений плеч строим диаграммы статической и динамической устойчивости.

1. 4. ПРОДОЛЬНАЯ ОСТОЙЧИВОСТЬ И ДИФФЕРЕНТ

Л е к ц и я 1 4.

1) ПОНЯТИЕ О ПРОДОЛЬНОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА.

Остойчивость, которая проявляется при продольных наклонениях судна, т.е. при дифференте, называется продольной



Несмотря на то, что углы дифферента судна редко достигают 10 град, а обычно составляют 2 -- 3 град, продольное наклонение приводит к значительным линейным дифферентам при большой длине судна. Так, у судна длиной 150 м угол наклона 1 град. соответствует линейному дифференту, равному 2,67 м. В связи с этим в практике эксплуатации судов вопросы, относящиеся к дифференту, более важны, чем вопросы продольной остойчивости, поскольку у транспортных судов с нормальными соотношениями главных размеров продольная остойчивость всегда положительна.

При продольном наклонении судна на угол ψ вокруг поперечной оси Ц.В. переместится из точки С в точку С1 и сила поддержания, направление которой нормально к действующей ватерлинии, будет действовать под углом ψ к первоначальному направлению. Линии действия первоначального и нового направления сил поддержания пересекаются в точке.

Точка пересечения линии действия сил поддержания при бесконечно малом наклонении в продольной плоскости называется продольным метациентром M .

Радиус кривизны кривой перемещения Ц.В. в продольной плоскости называется продольным метацентрическим радиусом R , который определяется расстоянием от продольного метacentра до Ц.В.

Формула для вычисления продольного метацентрического радиуса R аналогична поперечному метацентрическому радиусу; $R = I_F / V$, где I_F – момент инерции площади ватерлинии относительно поперечной оси, проходящей через ее Ц.Т. (точка F); V – объемное водоизмещение судна.

Продольный момент инерции площади ватерлинии I_y значительно больше поперечного момента инерции I_x . Поэтому продольный метацентрический радиус R всегда значительно больше поперечного r . Ориентировочно считают, что продольный метацентрический радиус R приблизительно равен длине судна.

Основное положение остойчивости заключается в том, что восстанавливающий момент является моментом пары, образованной силой веса судна и силой поддержания. Как видно из рисунка в результате приложения действующего в ДП внешнего момента, называемого дифферентующим моментом $M_{\text{диф}}$, судно получило наклонение на малый угол дифферента ψ . Одновременно с появлением угла дифферента возникает восстанавливающий момент M_ψ , действующий в сторону, противоположную действию дифферентующего момента.

Продольное наклонение судна будет продолжаться до тех пор, пока алгебраическая сумма обоих моментов не станет равной нулю. Поскольку оба момента действуют в противоположные стороны, условие равновесия можно записать в виде равенства: $M_{\text{диф}} = M_\psi$,

Восстанавливающий момент в этом случае будет

$$M_\psi = D' \cdot GK1 \quad (1)$$

где $GK1$ – плечо этого момента, называемое плечом продольной остойчивости

Из прямоугольного треугольника $G M K1$ получаем:

$$GK1 = MG \cdot \sin \psi = H \cdot \sin \psi \quad (2)$$

Входящая в последнее выражение величина $MG = H$ определяет возвы-

шение продольного метацентра над Ц.Т. судна и называется продольной метацентрической высотой

Подставив выражение (2) в формулу (1), получим .

$$M_{\psi} = D' \cdot H \cdot \sin \psi \quad (3)$$

Где произведение $D'H$ – коэффициент продольной остойчивости. Имея в виду, что продольная метацентрическая высота $H = R - a$, формулу (3) можно записать в виде:

$$M_{\psi} = D' \cdot (R - a) \cdot \sin \psi \quad (4)$$

Где a – возвышение Ц.Т. судна над его Ц.В.

Формулы (3), (4) являются метацентрическими формулами продольной остойчивости.

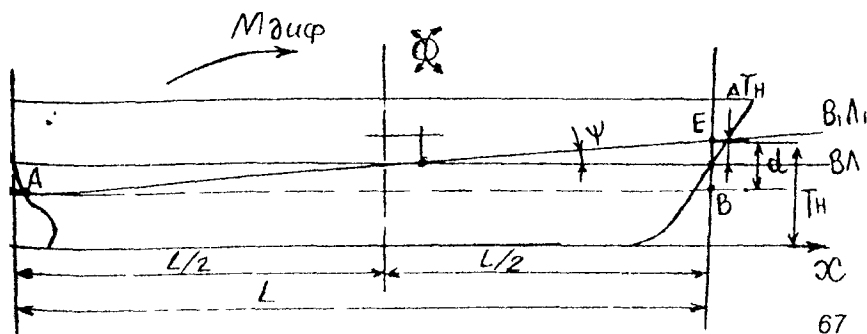
Ввиду малости угла дифферента в указанных формулах, вместо $\sin \psi$ можно подставить угол ψ (в радианах) и тогда.

$$M_{\psi} = D' \cdot H \cdot \psi \quad \text{или} \quad M_{\psi} = D' \cdot (R - a) \cdot \psi .$$

Поскольку величина продольного метацентрического радиуса R во много раз больше поперечного r , продольная метацентрическая высота H любого судна во много раз больше поперечной h , поэтому, если у судна обеспечена поперечная остойчивость, то продольная остойчивость обеспечена заведомо.

2) ДИФФЕРЕНТ СУДНА И УГОЛ ДИФФЕРЕНТА.

В практике расчетов наклонов судна в продольной плоскости, связанных с определением дифферента, вместо углового дифферента принято пользоваться линейным дифференгом, значение которого определяется как разность осадок судна носом и кормой, т.е. $d = T_H - T_K$



Дифферент принято считать положительным, если осадка судна носом больше, чем кормой, дифферент на корму считается отрицательным. В большинстве случаев суда плавают с дифферентом на корму.

Предположим, что судно, плавающее на ровный киль по ватерлинию ВЛ, под действием некоторого момента получило дифферент и его новая действующая ватерлиния заняла положение В1 Л1. Из формулы для восстанавливающего момента имеем:

$$\psi = \frac{M_{\psi}}{D' \cdot H}$$

Проведем пунктирную линию АВ, параллельную ВЛ, через точку пересечения кормового перпендикуляра с В1 Л1. Дифферент d определяется катетом ВЕ треугольника АВЕ. Отсюда:

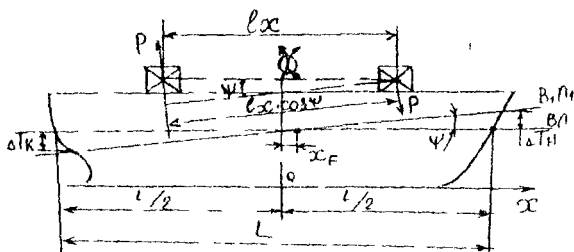
$$\operatorname{tg} \psi \approx \psi = d / L$$

Сравнив последние два выражения, получим:

$$\frac{d}{L} = \frac{M_{\psi}}{D' \cdot H}, \quad \text{отсюда } M_{\psi} = \frac{d}{L} D' \cdot H.$$

3) ИЗМЕНЕНИЕ ДИФФЕРЕНТА ПРИ ПРОДОЛЬНОМ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ГРУЗА

Рассмотрим методы определения осадок судна при действии на него дифферентующего момента, возникающего в результате перемещения груза в продольно-горизонтальном направлении



Допустим, что груз p перемещен вдоль судна на расстояние l_x . Перемещение груза, как уже указывалось, может быть заменено приложением к судну

момента пары сил. В нашем случае этот момент будет дифференцирующим и равным. $M_{\text{диф}} = P \cdot l_x \cdot \cos \psi$ уравнение равновесия при продольном перемещении груза (равенство дифференцирующего и восстанавливающего моментов) имеет вид:

$$P \cdot l_x \cdot \cos \psi = D' \cdot H \cdot \sin \psi$$

$$\text{откуда } \operatorname{tg} \psi = \frac{P \cdot l_x}{D' \cdot H}$$

Поскольку малые наклонения судна происходят вокруг оси, проходящей через ЦТ F площади ватерлинии, можно получить следующие выражения для изменения осадок носом и кормой

$$\Delta T_H = \left(\frac{L}{2} X_F \right) \cdot \operatorname{tg} \psi = \frac{P \cdot l_x}{D' \cdot H} \left(\frac{L}{2} X_F \right)$$

$$\Delta T_K = \left(\frac{L}{2} + X_F \right) \operatorname{tg} \psi = \frac{P \cdot l_x}{D' \cdot H} \left(\frac{L}{2} + X_F \right)$$

Следовательно, осадки носом и кормой при перемещении груза вдоль судна будут:

$$T_H = T + \Delta T_H = T + \frac{P \cdot l_x}{D' \cdot H} \left(\frac{L}{2} X_F \right)$$

$$T_K = T - \Delta T_K = T - \frac{P \cdot l_x}{D' \cdot H} \left(\frac{L}{2} + X_F \right)$$

Если учесть, что $\operatorname{tg} \psi = d/L$ и что $D' \cdot H \cdot \sin \psi = M_{\psi}$, можно записать:

$$T_H = T + \frac{P \cdot l_x}{100 M_{\text{1см}}} \left(\frac{1}{2} X_F \right)$$

$$T_K = T - \frac{P \cdot l_x}{100 M_{\text{1см}}} \left(\frac{1}{2} + X_F \right)$$

где Γ — осадка судна при положении на ровный киль;

$M_{\text{1см}}$ — момент, дифференцирующий судно на 1 см

Значение абсциссы X_F находят по “кривым элементов теоретического чертежа”, причем необходимо строго учитывать знак перед X_F при расположе-

нии точки F в нос от миделя величина X_F считается положительной, а при расположении точки F в корму от миделя – отрицательной.

Плечо l_x также считается положительным, если груз переносится по направлению к носовой части судна; при переносе груза в корму плечо l_x считается отрицательным.

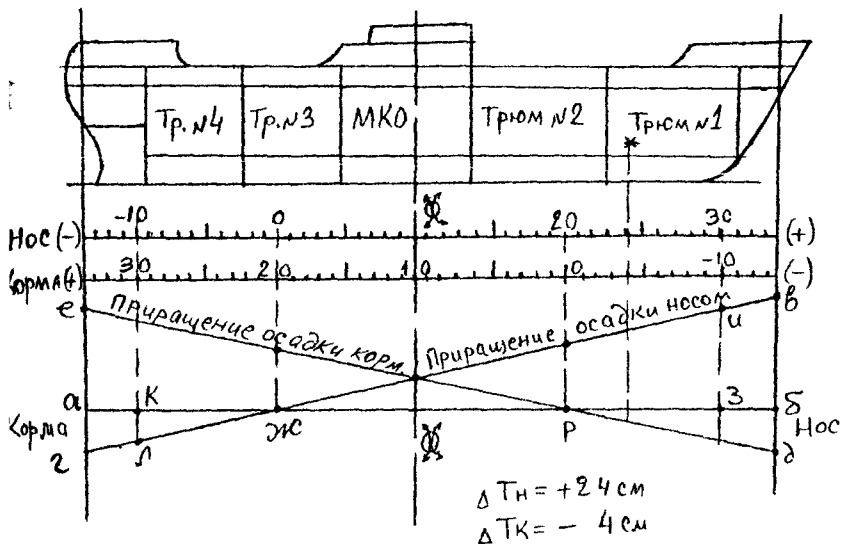
4) ШКАЛА ИЗМЕНЕНИЙ ОСАДКИ ОКОНЕЧНОСТЕЙ ВСЛЕДСТВИЕ ПРИЕМА 100 ТОНН ГРУЗА

Наибольшее распространение получили шкалы и таблицы изменения осадок носом и кормой от приема единичного груза, масса которого в зависимости от водоизмещения выбирается равной 10, 100, 1000 тонн.

В основе построения такого рода шкал и таблиц лежат следующие соображения. Изменение осадки оконечностей судна при приеме груза складывается из увеличения средней осадки на величину ΔT и изменения осадок оконечностей ΔT_H и ΔT_K величина ΔT не зависит от местоположения принятого груза, а значения ΔT_H и ΔT_K при данной осадке и фиксированной массе груза P будут изменяться пропорционально абсциссе $ЦТ$ принятого груза X_p . Поэтому, используя такую зависимость, достаточно вычислить изменения осадок оконечностей от приема груза сначала в районе носового, а затем кормового перпендикуляров и построить шкалу или таблицу изменения осадок оконечностей судна от приема груза массой, например, 100 т. Значения ΔT , ΔT_H , ΔT_K вычисляются по формулам (см. Приложения 14, 15).

По полученным приращениям осадок оконечностей судна строим график изменений этих осадок от приема указанного груза

Для этого на прямой ab намечаем положение мидель – шпангоута и откладываем в выбранном масштабе вправо (в нос) и влево (в корму) половину длины судна. Из полученных точек восстанавливаем перпендикуляры к линии ab . На носовом перпендикуляре откладываем вверх отрезок bv , изображающий в выбранном масштабе вычисленное изменение осадки носом при приеме груза в носу. Аналогично на кормовом перпендикуляре откладываем вниз отрезок az , изображающий вычисленное изменение осадки носом при приеме груза в корму. Соединив прямой точки v и z , получаем график изменения осадки носом от приема груза массой 100 тонн



Таким же образом производится построение графика изменения осадки судна кормой от приема груза. Здесь отрезок bd в принятом масштабе изображает изменение осадки кормой при приеме груза 100 т в носу, а отрезок ae – при приеме груза в корму.

Производим градуировку шкал. Над графиком (или под ним) проводим две прямые линии для нанесения шкал изменения осадок: верхнюю – для носа, и нижнюю – для кормы. На каждой из них отмечаем точки, соответствующие делениям 0 (их положение определяется точками пересечения линии ab с графиками vg и ed , т.е. точками $ж$ и $п$). Затем между линией ab и графиками vg и ed подбираем такие отрезки, длина которых в принятом масштабе была бы равна 30 или 10 см изменения осадки. Такими отрезками при градуировке шкалы “нос” будут отрезки $зи$ и $кл$. В результате получим на шкале деления 30 и 10. Расстояния между 0 и 10, 10 и 20 делим на 10 равных частей. Размеры этих делений на обоих участках шкалы должны получиться одинаковыми.

Используя график ed , аналогичным способом строим шкалу для осадок кормой. При практических расчетах строят несколько шкал изменения осадок конечностей от приема 100 тонн груза. Чаще всего строят шкалы для трех осадок (водоизмещений): осадки порожнего судна, осадки судна с полным грузом и промежуточную.

Л е к ц и я 15.

1) ГРАФИК ДИФФЕРЕНТА (ДИАГРАММА ОСАДКИ НОСОМ И КОРМОЙ)

При решении задач, связанных с определением дифферента судна, используются формулы, требующие значительных затрат времени. Кроме того, эти формулы содержат параметры, которые далеко не всегда имеются в распоряжении судоводителя. Поэтому для сокращения вычислительной работы в практике эксплуатации судна широко применяются различные шкалы, таблицы и диаграммы, позволяющие быстро решать вопросы, касающиеся дифферента судна.

Диаграмма осадок носом и кормой представляет собой два семейства кривых постоянных осадок носом T_n и кормой T_k . По оси абсцисс отложены значения водоизмещения D , по оси ординат – статические моменты водоизмещения относительно мидель-шпангоута M_x . Положительные значения моментов M_x соответствуют дифференту на нос, а отрицательные – дифференту на корму (см. Приложения 16, 17).

Пунктирные линии на диаграмме соответствуют различному дифференту судна. На диаграмме осадок оконечностей указано также при какой плотности воды произведены расчеты, и проведена вспомогательная шкала, позволяющая определять водоизмещение при различных значениях плотности.

1. 5. НЕПОТОПЛЯЕМОСТЬ

Л е к ц и я 16.

1) ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О НЕПОТОПЛЯЕМОСТИ

Непотопляемостью называется способность судна сохранять плавучесть и остойчивость при затоплении одного или нескольких отсеков, образованных внутри корпуса судна водонепроницаемыми переборками, палубами и платформами

Поступление забортной воды в корпус судна, в результате его повреждения или намеренного затопления отсеков, приводит к изменению характеристик плавучести и остойчивости, управляемости и ходкости. Перераспределение сил плавучести по длине судна вызывает дополнительные напряжения в корпусе судна, который должен сохранить при этом достаточную прочность. Кроме того, решение задачи об обеспечении непотопляемости транспортной судна затрагивает ряд очень важных технико-эксплуатационных показателей.

В процессе расчета непотопляемости определяют посадку судна и остойчивость судна после затопления одного или нескольких водонепроницаемых отсеков. Если оказывается, что аварийный крен, минимальная высота аварийного надводного борта и остойчивость поврежденного судна лежат в пределах, предусмотренных требованиями к непотопляемости, то непотопляемость судна считается обеспеченной. В противном случае принимают меры к улучшению аварийной посадки и остойчивости.

2) СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НЕПОТОПЛЯЕМОСТИ

Непотопляемость, которая является одним из важнейших качеств судна, обеспечивается конструктивными и предупредительными организационно-техническими мероприятиями

Конструктивно непотопляемость обеспечивают, разделяя корпус судна на ряд отсеков с помощью водонепроницаемых переборок, палуб и платформ. Палубу, до которой доходят главные водонепроницаемые переборки, принято называть палубой переборок. Конструктивно непотопля-

мость судна обеспечивается также устройством на судне осушительных систем, мерительных труб, водонепроницаемых закрытий и т.п. большое значение для обеспечения запаса плавучести, остойчивости и прочности судна после затопления отсеков имеет также правильный выбор соотношении главных размерений судна.

Не менее важное значение для обеспечения непотопляемости имеют предупредительные организационно-технические мероприятия. Наиболее важными из них являются: правильная организация личного состава в борьбе за непотопляемость; систематическая и тщательная подготовка по вопросам непотопляемости; поддержание в исправном состоянии всех водонепроницаемых закрытий (дверей, люков, горловин, иллюминаторов); строгое соблюдение инструкции по приему и расходованию жидких грузов, балластировки судна в условиях штормовой погоды и устранению свободных поверхностей жидких грузов; регулярный контроль водонепроницаемости корпуса судна путем замеров уровней жидкости в льяльных колодцах и танках двойного дна.

В аварийной ситуации личный состав борется с распространением воды и добивается восстановления остойчивости и спрямления поврежденного судна (уменьшение его крена и дифферента). Особенно важно сохранить достаточную положительную остойчивость после аварии. Известно, что потеря судном плавучести в результате постепенного затопления является процессом относительно медленным; опрокидывание же судна вследствие потери остойчивости происходит неожиданно и обычно влечет за собой гибель судна и человеческие жертвы.

Таким образом, обеспечение непотопляемости транспортного судна охватывает большой комплекс вопросов как теоретического, так и практического характера, решение которых представляет значительные трудности.

В зависимости от характера затопления различают три категории затопленных отсеков: отсек первой категории, затопленный полностью; отсек второй категории, затопленный частично (имеющий свободную поверхность жидкости), но не сообщающийся с заборной водой; отсек третьей категории, затопленный частично и сообщающийся с заборной водой через пробину в наружной обшивке.

Наиболее просто выполняются расчеты посадки и остойчивости поврежденного судна после затопления отсеков первой и второй категории. Так, при

затоплении отсеков первой категории проникающая в них забортная вода может рассматриваться как принятый на судно твердый груз; тогда элементы посадки и остойчивости судна могут быть определены по формулам, по которым определяют эти элементы при приеме твердого груза.

В случае затопления отсеков второй категории вода в них может рассматриваться как жидкий груз, принятый на судно. При этом должно быть учтено влияние его свободной поверхности на остойчивость.

Особенно сложны расчеты при затоплении отсека третьей категории, имеющего свободную поверхность и сообщающегося с забортной водой через пробоину. В этом случае количество воды в отсеке изменяется при изменении посадки судна, а посадка, в свою очередь, зависит от количества влившейся воды. Такие расчеты выполняются только в процессе проектирования судна.

3) РОЛЬ ВОДОНЕПРОНИЦАЕМЫХ ПЕРЕБОРОК В ОБЕСПЕЧЕНИИ НЕПОТОПЛЯЕМОСТИ.

В процессе проектирования транспортных судов вопрос об их непотопляемости, в конечном счете сводится к проверке правильности выбора количества и мест расположения водонепроницаемых переборок. Такая проверка имеет своей целью установить соответствие их размещения тем требованиям, которые предъявляются регистром. Для морских транспортных судов нормирование посадки после затопления одного или группы отсеков производится по предельную линию погружения, которая проходит по борту ниже бортовой линии палубы переборок на расстоянии 76 мм (3 дюйма) по всей длине судна. Установить предельную линию погружения необходимо, т.к. нельзя допустить, чтобы запас плавучести судна был вовсе потерян.

Таким образом, критерием непотопляемости судна после затопления одного или группы отсеков является положение ватерлинии ниже предельной линии погружения. Решение вопроса об удовлетворении этому критерию сводится к установлению такой предельной длины затопления в различных частях корпуса судна (предельной длины отсека), при которой указанное условие будет соблюдено. Предельной длиной затопления называется длина некоторого условного отсека, при затоплении которого действующая ватерлиния касается предельной линии погружения, не превышая ее.

1. 6. БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДНА

Л е к ц и я 17.

1) ЗАПАС ПЛАВУЧЕСТИ СУДНА.

Для обеспечения безопасности плавания судно должно обладать определенной потенциальной плавучестью – запасом плавучести, характеризуемой величиной непроницаемого для воды объема корпуса, расположенного выше действующей ватерлинии. Следовательно, запасом плавучести можно считать то количество грузов (или воды), которое судно может принять сверх уже находящихся на нем до полной потери плавучести.

Запас плавучести обычно выражается в процентах от водоизмещения судна с полным грузом, т.е. является относительным запасом плавучести. Если непроницаемый для воды надводный объем корпуса обозначить через V_H , то относительный запас плавучести выразится отношением:

$$A = \frac{V_H}{V} 100 \%$$

Относительный запас плавучести различен у судов разных типов и составляет: для пассажирских судов – около 80 %, сухогрузов – 25 – 50 % и танкеров – 15 – 25 %.

Сохранение запаса плавучести и его конструктивное обеспечение имеют жизненно-важное значение для всякого судна. Достаточный запас плавучести в процессе проектирования и постройки судна достигается рядом конструктивных мероприятий, к числу которых относятся: обеспечение достаточной высоты надводного борта, устройство водонепроницаемых закрытий и разделение судна на отсеки прочными водонепроницаемыми переборками и палубами. При отсутствии последних, любое повреждение подводной части судна может привести к полной потере запаса плавучести и гибели судна. Запас плавучести в этом случае конструктивно не обеспечен.

2) ВЕЛИЧИНА НАДВОДНОГО БОРТА

Запас плавучести непосредственно связывают с высотой надводного борта: чем она больше, тем больше запас плавучести. Поэтому высоту надводного борта судна принимают в качестве основного измерителя запаса плавучести и регламентация запаса плавучести в определенной степени сводится к нормированию минимальной высоты надводного борта, допускаемой с точки зрения обеспечения плавучести судна.

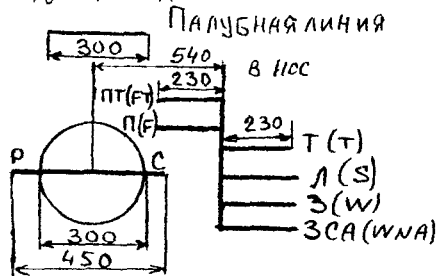
Допустимая высота надводного борта, именуемая в “Правилах о грузовой марке морских судов” (1974 г.) минимальным надводным бортом, обеспечивает судну запас плавучести, который считается достаточным для безопасного плавания в определенных районах и в определенное время года. Высоту безопасного надводного борта устанавливают для каждого судна в зависимости от его длины, коэффициента общей полноты, седловатости (продольной погиби) палубы, погиби бимсов и других факторов. При назначении судну минимального надводного борта принимается во внимание также его прочность и наличие эффективных средств защиты самого судна и его личного состава от воздействия среды (закрытия люков, отверстий в боргах, палубах и надстройках; средства доступа в судовые помещения; леерные ограждения).

3) ГРУЗОВАЯ МАРКА

Чтобы избежать перегрузки судна при эксплуатации, установленное значение надводного борта фиксируют путем нанесения на каждом борту судна грузовой марки, состоящей из палубной линии, знака грузовой марки и марок, применяемых со знаком грузовой марки.

Различают обычную международную грузовую марку и специальные грузовые марки, которые наносят на борт некоторых судов помимо обычных марок (лесовозы, пассажирские суда заграничного плавания) или взамен них (наливные суда, морские суда внутреннего плавания).

Грузовая марка имеет следующий вид:



В международную грузовую марку входит следующий ряд марок:

1. Летняя грузовая марка Л (S – summer) – минимальный надводный борт для летнего плавания судна в морской воде.

2. Зимняя – З (w – winter) – зимний надводный борт, который получают увеличением летнего на $1/48$ летней осадки.

3. Зимняя грузовая марка для северной Атлантики – ЗСА (WNA – winter north atlantic). У судов длиной более 100,5 м этот минимальный борт совпадает с нормальным зимним. У судов длиной менее 100,5 м он увеличен на 50 мм, т.к. условия плавания судов сравнительно малых размеров более тяжелые.

4. Тропическая – Т (T – tropical) – получена путем уменьшения летнего надводного борта на $1/48$ летней осадки.

5. Грузовая марка для пресной воды – П (F – fresh water) – положение этой марки по высоте определяется вычитанием из летнего надводного борта значения изменения осадки судна при переходе из морской воды в пресную.

6. Тропическая марка для пресной воды – ТП (TF – tropical fresh water) – ее получают уменьшением тропического надводного борта на величину изменения осадки при переходе из соленой воды в пресную.

Буквы Р С на марке обозначают – регистр СССР.

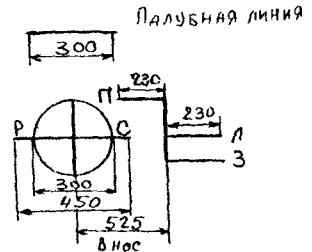
Для лесовозов существует специальная лесная грузовая марка, которая наносится левее знака грузовой марки. Она уменьшает надводный борт, т.к. лес придает судну дополнительную плавучесть.

Пассажирские марки обозначаются литерами С1, С2, С3 и т.д., расположены перпендикулярно вертикальной линии в корму.

Существует специальная грузовая марка для судов внутреннего плавания. Она имеет вид:

Назначение минимального надводного борта этих судов зависит от района плавания этих судов.

Судам, совершающим международные рейсы, регистром выдается “международное свидетельство о грузовой марке”, которое составляется на русском и английском языках.



4) ТРЕБОВАНИЯ РЕГИСТРА К ОСТОЙЧИВОСТИ МОРСКИХ СУДОВ. НОРМЫ ОСТОЙЧИВОСТИ

Цель нормирования остойчивости судов - обеспечение необходимой и достаточной остойчивости для безопасного плавания судов в эксплуатационных условиях.

Остойчивость судна проверяют по основному и дополнительным критериям. По основному критерию остойчивости безопасность плавания проверяют в штормовую погоду. Судно должно, не опрокидываясь, противостоять одновременному действию динамически приложенного давления ветра и бортовой качки при наихудшем в смысле остойчивости варианте наезки. Остойчивость судов считается достаточной, если динамически приложенный кренящий момент давления ветра $M_{кр}$ равен опрокидывающему моменту $M_{опр}$ или меньше него, т.е. безопасность судна гарантирована при $M_{кр} \leq M_{опр}$.

Отношение $M_{кр}/M_{опр}$ называется критерием погоды K и должен быть равен

$$K = M_{кр}/M_{опр} \leq 1$$

Кренящий момент от давления ветра вычисляется по формуле:

$$M_{кр} = 0,001 P_B S_n Z_n$$

где P_B – условное расчетное давление ветра, Па;

S_n – площадь парусности, м²;

Z_n – отстояние центра парусности от плоскости действующей ватерлинии, м.

Давление ветра P_B определяется по таблицам “Правил классификации и постройки морских судов” Регистра в зависимости от района плавания и значения Z_n (для определения S_n , Z_n см. Приложение 18).

Опрокидывающий момент M_{OPP} определяется по диаграмме динамической или статической остойчивости, рассчитанной с учетом влияния свободной поверхности жидких грузов.

Остойчивость проверяется при всех вариантах нагрузки. Для судов тех типов, по которым отсутствуют специальные указания, в число вариантов нагрузки, подлежащих проверке, входят следующие: судно с полным грузом и полными запасами; судно с полным грузом и 10% запасов; судно без груза с полными запасами; судно без груза с 10% запасов.

Критерий погоды К считается основным, так как он в какой-то степени связывает значение остойчивости с оценкой действующих на судно внешних сил.

Помимо критерия погоды К Правила Регистра регламентируют параметры диаграммы статической остойчивости. Согласно требованиям Правил, максимальное плечо диаграммы статической остойчивости морских судов всех типов должно быть не менее 0,25 м (при длине судна менее 80 м) и не менее 0,2 м (при длине судна более 105 м) при угле крена более 30 град.

Предел положительной статической остойчивости, характеризуемый углом заката диаграммы, должен быть не менее 60 град. У судов с отношением В/Т более 2,0 возможно некоторое уменьшение угла заката, соответствующего максимальному плечу диаграммы.

В качестве дополнительного условия достаточной остойчивости угол максимума диаграммы должен быть более 30 град.

Также правила требуют, чтобы исправленная (с учетом влияния свободной поверхности жидких грузов) метацентрическая высота у всех судов при всех возможных вариантах нагрузки была положительной.

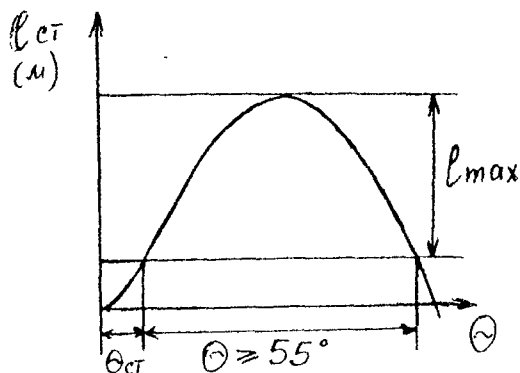
Помимо рассмотренных общих критериев устойчивости Правила предусматривают ряд дополнительных критериев, обусловленных типом судна. Так, устойчивость пассажирских судов определяют для случая скопления пассажиров на одном борту и при повороте судна под действием руля (крен на циркуляции). Устойчивость буксиров проверяют при поперечном рывке буксирного троса.

Таким образом, кратко требования Регистра к устойчивости морского неповрежденного судна можно выразить так:

- 1) $K = M_{кр}/M_{огр} \leq 1$;
- 2) $l_{ст} \geq 0,25 \text{ м}$ (при $L \leq 80 \text{ м}$);
 $l_{ст} \geq 0,2 \text{ м}$ (при $L \geq 105 \text{ м}$);
- 3) $h > 0$;
- 4) $\theta_{\max} \geq 30^\circ$;
- 5) $\theta_{зах} \geq 60^\circ$.

5) ТРЕБОВАНИЯ К УСТОЙЧИВОСТИ СУДОВ, ПЕРЕВОЗЯЩИХ НАСЫПНЫЕ ГРУЗЫ

Согласно положениям Правил Регистра устойчивость судна, перевозящего насыпные грузы, считается достаточной, если: угол статического крена судна $\theta_{ст}$ не превысит 8 град; протяженность диаграммы статической устойчивости будет не менее 55 град. Так же, как для других судов $h > 0$, $l_{ст} > 0,2 \text{ м}$ (при $L \geq 105 \text{ м}$), $K \geq 1$.



Лекция 18.

1) ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА ДЛЯ КАПИТАНА

В условиях плавания любое судно, отвечающее нормам достаточной остойчивости, можно поставить в опасное положение или привести к опрокидыванию из-за неправильной эксплуатации или загрузки.

Ответственность за остойчивость судна в процессе эксплуатации возлагается на капитана, которому, согласно требованиям Регистра, выдается “Информация об остойчивости судна”.

“Информация” в систематизированной форме содержит: сведения об остойчивости судна при типовых, предусмотренных заранее, вариантах загрузки; общие рекомендации и конкретные указания относительно эксплуатационных ограничений, которые необходимо выдерживать, чтобы обеспечить безопасность судна в отношении опрокидывания (здесь же приводятся мероприятия по улучшению остойчивости судна); различного рода вспомогательные графики, таблицы, шкалы, диаграммы и другие материалы, необходимые для оценки остойчивости при возможных в эксплуатации, но не предусмотренных заранее, вариантах загрузки.

“Информация” составляется по материалам опытного кренования судна

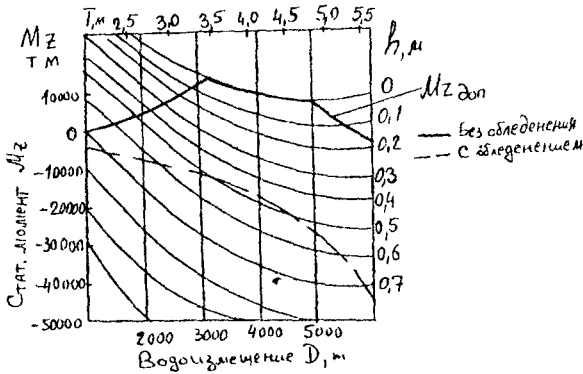
Данные, характеризующие остойчивость судна в типовых условиях загрузки, позволяют судоводителю без всяких расчетов количественно оценить остойчивость при наиболее часто встречающихся в эксплуатации состояниях загрузки или же при известном состоянии загрузки сопоставить остойчивость судна с близкой к нему и заранее рассчитанной остойчивостью. В “Информации” имеются специальные стандартные бланки для каждого типового случая загрузки, содержащие схему загрузки судна, таблицу загрузки масс, диаграмму статической остойчивости и таблицу остойчивости судна. В последней указаны нижние пределы основного (по условиям погоды) и дополнительных критериев остойчивости, при которых эксплуатация судна считается безопасной

Указания капитану содержат необходимые рекомендации по управлению судном на циркуляции и в штормовую погоду, по приему и расходованию жил

ких грузов, сведения о мерах предосторожности при перевозке пассажиров, а также насыпного и лесного грузов.

Материалы для расчета остойчивости при нетипичных случаях нагрузки содержат: диаграмму предельных допускаемых моментов; диаграмму предельных возвышений Ц.Т. судна; универсальную диаграмму остойчивости; чертеж размещения грузов на судне; таблицу для оценки остойчивости судна по периоду бортовой качки; диаграммы осадок носом и кормой.

2) ДИАГРАММА ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ МОМЕНТОВ



На вертикальной шкале диаграммы отложены статические моменты M_z , на горизонтальных – водоизмещение судна D и средняя осадка $T_{ср}$.

На диаграмме нанесены кривые предельно допустимых моментов $M_{z доп}$ с обледенением и без обледенения.

Таким образом, для того чтобы пользоваться диаграммой допускаемых моментов, необходимо знать водоизмещение судна или среднюю осадку и статический момент M_z . Эти данные определяются в табличной форме (сводная таблица масс нагрузок судна).

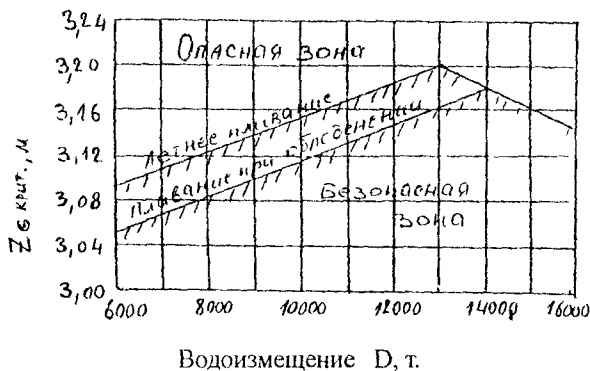
К полученному суммарному значению статического момента M_z присоединяют поправку на влияние свободных поверхностей судовых цистерн. Полученное исправленное значение M_z сопоставляют при данном водоизмещении D с допускаемым моментом $M_{z доп}$ по предельной кривой, нанесенной на диаграмме допускаемых моментов (см Приложение 19).

Если разность $M_{z, \text{испр}} - M_{z, \text{доп}}$ отрицательная, то судно удовлетворяет требованиям норм остойчивости, если же эта разность положительна, то судно не удовлетворяет требованиям норм остойчивости и необходимо произвести балластировку судна путем приема забортной воды в балластные цистерны.

Помимо кривых предельно допустимых моментов на поле диаграммы наносятся кривые постоянных значений метацентрической высоты h .

3) ДИАГРАММА ДОПУСКАЕМЫХ (ПРЕДЕЛЬНЫХ) ЗНАЧЕНИЙ ВОЗВЫШЕНИЯ Ц.Т. СУДНА

Вместо диаграмм моментов Правила допускают помещать в “информацию” графики и таблицы допускаемых значений максимального возвышения Ц.Т. судна в зависимости от водоизмещения, дедвейта или средней осадки судна. В этом случае оценка остойчивости судна сводится к сопоставлению аппликаты Z_G , соответствующей данной нагрузке судна, с предельно допустимой аппликатой $Z_{G, \text{крит}}$. Если окажется, что $Z_G \leq Z_{G, \text{крит}}$ то судно удовлетворяет требованиям норм остойчивости.



Значения предельно допустимой аппикаты в зависимости от водоизмещения или осадки судна представляются в виде графика. Таких графиков может быть несколько (для летнего плавания, для зимнего плавания в условиях обледенения и т.п.). Поле графика разбивают на зоны опасного и безопасного плавания.

Если окажется, что при данном состоянии нагрузки судна $Z_G > Z_{G, \text{крит}}$, то прибегают к балластировке путем заполнения судовых цистерн жидким грузом.

Лекция 19.

1) ТРЕБОВАНИЯ РЕГИСТРА К НЕПОТОПЛЯЕМОСТИ МОРСКИХ СУДОВ

В нашей стране непотопляемость гражданских морских судов регламентируется требованиями, изложенными в части V “Правил классификации и постройки морских стальных судов” *Регистра*. Эти требования составлены с учетом положений Международной конвенции по охране человеческой жизни на море 1960 г

Согласно *Правилам*, судно считается удовлетворяющим требованиям к посадке в поврежденном состоянии, если расстояния между его главными поперечными переборками не превышают допустимой длины отсека, определяемой по кривой допустимых длин отсека. Если фактор подразделения не равен единице, половине или одной трети, то при проектировании судна, независимо от проверки расположения поперечных переборок, должны быть выполнены расчеты его посадки с затопленными отсеками. Результаты расчетов должны показать, что аварийная ватерлиния ни в одной точке не пересекает предельной линии погружения.

Правилами выдвигается ряд требований к остойчивости поврежденного судна. Эти требования считаются выполненными, если при затоплении одного, двух или трех любых смежных отсеков (в зависимости от значения фактора подразделения) начальная поперечная метацентрическая высота, определенная методом постоянного водоизмещения, составляет не менее 0,003 ширины судна или 0,05 м (смотря по тому, что больше)

Правила указывают также, что угол крена поврежденного судна при несимметричном затоплении до спрямления не должен превышать 15° , а после спрямления – 7° для пассажирских судов и 12° для прочих судов

Аварийная ватерлиния должна проходить до спрямления, по крайней мере, на 0,3 м ниже отверстий, через которые возможно дальнейшее распространение воды по судну, а после спрямления – ниже предельной линии погружения.

Диаграмма статической остойчивости поврежденного судна должна иметь достаточную площадь участков с положительными плечами. При этом в конечной стадии затопления, а также после спрямления требуется обеспечить значение максимального плеча статической остойчивости не менее + 0,1 м, а протяженность части диаграммы с положительными плечами при симметричном затоплении не менее 30 °, и при несимметричном 20 °.

2) ИНФОРМАЦИЯ О НЕПОТОПЛЯЕМОСТИ СУДНА ДЛЯ КАПИТАНА

Правила требуют, чтобы при проектировании судна была разработана “информация об аварийной остойчивости и посадке судна”, с помощью которой капитан сможет учитывать, при эксплуатации судна требования, связанные с непотопляемостью, и оценивать состояние судна при затоплении отсеков, для принятия необходимых мер по сохранению поврежденного судна. В “информации” должны быть приведены следующие данные:

- сведения о судне, схематический чертеж его продольного разреза, планы палуб и двойного дна, а также характерные поперечные сечения с указанием всех непроницаемых переборок и выгородок, отверстий в них, характера закрытий этих отверстий и приводов, а также схемы систем, используемых при борьбе за живучесть судна;
- инструктивные данные по загрузке и балластировке судна с рекомендациями по целесообразному в отношении принятого деления на отсеки распределению грузов между трюмами, одновременно удовлетворяющему условиям дифферента, остойчивости и прочности судна в целом; указания на случаи таких повреждений и загрузки, при которых требования правил не удовлетворяются;
- сводку результатов расчетов симметричного и несимметричного затоплений, в которой должны быть приведены данные об исходной и ава-

рийной осадке, крене, дифференте и метацентрической высоте как до, так и после принятия мер по спрямлению судна или улучшению остойчивости, а также рекомендуемые меры и необходимое для их выполнения время; должны быть приведены характеристики диаграмм статической остойчивости для худших случаев затопления судна.

Такая “информация” составляется на основании результатов опытного кренования судна и по данным “информации об остойчивости судна”.

3) СПОСОБЫ И ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА

Для оценки остойчивости судна в эксплуатационных условиях *Регистр* рекомендует применять специальные приборы. Существует много различных конструкций таких приборов. В основу одних положен принцип кинематической связи различного рода деталей приборов (маховичков, роликов, шестерен и т.п.) с нанесенными шкалами или диаграммами, рассчитанными в конструкторском бюро и учитывающими индивидуальные особенности данного судна. Другие приборы основаны на принципе моделирования нагрузки судна с помощью масштабных грузов или напряженных пружин. К последним можно отнести и электрические приборы, основанные на электрическом моделировании нагрузки судна.

Все приборы, предназначенные для контроля остойчивости судна, делятся на две основные группы.

К первой группе относятся приборы для определения показателей остойчивости до начала загрузки судна. Исходными данными для приборов этой группы являются величины, входящие в состав нагрузки масс судна: дейвят или водоизмещение, моменты водоизмещения по высоте M_z и по длине M_x , массы принимаемых или снимаемых грузов, значения аппликат их центров тяжести. Кроме того, обязательно вносят поправки, учитывающие влияние свободных поверхностей жидких грузов.

На основании указанных исходных данных с помощью приборов определяют следующие характеристики остойчивости: осадки носом, кормой

и среднюю, угол заката и угол максимального плеча диаграммы статической остойчивости, максимальное плечо, поперечную метацентрическую высоту.

К наиболее распространенным приборам первого типа относятся: прибор остойчивости и дифферента Благовещенского, прибор остойчивости и дифферента Козлова, прибор ПКЗОС-1, шведский прибор “Сталодикатор”

Вторую группу составляют приборы, позволяющие контролировать остойчивость во время рейса. Основанные на измерении периодов качки судна или углов крена, эти приборы имеют следящую систему для получения исходных данных и счетно-решающую часть, обрабатывающую эти данные с последующей выдачей результатов вычисления.

Исходными данными обычно служат углы крена судна при искусственно заданном кренящем моменте или период собственных колебаний судна. С помощью таких приборов получают значение аппликаты центра тяжести и метацентрической высоты и по этим данным по пантокаремам приборы “вычерчивают” всю диаграмму статической остойчивости или ее начальный участок.

Наиболее распространены приборы, основанные на измерении периода колебаний судна.

Принцип действия приборов другого типа основан на зависимости между угловым ускорением при бортовой качке и метацентрической высотой. К таким приборам относятся, например, маятниковые приборы

В настоящее время большинство вопросов, связанных с загрузкой судна, расчетом посадки и остойчивости судна и т.п. могут быть автоматизированы с помощью персональных компьютеров при наличии соответствующих программ. Использование персональных компьютеров дает большие возможности и в значительной мере упрощает процесс расчетов. Главное, чтобы в этой ситуации не происходил “эффект передоверия прибору”. Имеется в виду, что человек, использующий вычислительную технику, должен сам в совершенстве владеть теми вопросами, которые он пытается решить с помощью прибора (Пример расчета загрузки судна с помощью персонального компьютера приведен в Приложениях 20-23).

2. 1. УПРАВЛЯЕМОСТЬ

Л е к ц и я 2 0.

1) ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Управляемостью называется способность судна сохранять заданное направление движения, т.е. быть устойчивым на курсе или изменять его по желанию судоводителя под действием руля. Таким образом, управляемость объединяет два качества судна — устойчивость на курсе и поворотливость.

Устойчивостью на курсе называется способность судна сохранять прямолинейное направление движения в соответствии с заданным курсом. Поворотливостью это способность судна изменять направление движения и двигаться по заранее выбранной судоводителем криволинейной траектории.

В море на судно, совершающее поступательное движение, оказывают влияние многие факторы: ветер, волнение, течение, неравномерность работы гребных винтов и руля и т.п. Их действие трудно поддается количественному учету, но все они стремятся внести возмущение в режим движения судна. Практически способность судна держаться на курсе достигается путем периодической перекладки руля. При этом, чем меньше углы перекладки руля и число перекладок в единицу времени, тем большей устойчивостью на курсе обладает судно.

Анализируя понятие устойчивости судна на курсе и требования по ее

обеспечению, можно установить, что это качество судна находится в некотором противоречии с другим его качеством – поворотливостью. Как известно, всякое улучшение устойчивости на курсе связано с ухудшением поворотливости и наоборот. Потому при проектировании судна для обеспечения наилучшей управляемости стремятся найти наиболее целесообразное сочетание устойчивости судна на курсе и его поворотливости, соответствующее техническому заданию, т.е. назначению судна и условиям его плавания.

Управляемость судна обеспечивается специальными средствами управления, назначение которых – создавать силу (перпендикулярную ДП), вызывающую боковое смещение судна (дрейф) и поворот его вокруг продольной (крен) и поперечной (дифферент) осей.

Средства управления подразделяются на основные и вспомогательные. Основные средства – рули, поворотные насадки, крыльчатые движители – предназначены для обеспечения управляемости судна во время его движения.

Вспомогательные средства обеспечивают управляемость судна на предельно малых ходах и при движении по инерции с неработающим г.д. К этой группе относятся подруливающие устройства различных типов, активные рули. При проектировании рулевого устройства необходимо учитывать назначение судна. Так, суда дальнего плавания проходят значительные расстояния, придерживаясь одного направления, в то время как суда, совершающие частые заходы в порты, а также портовые и другие суда, работающие на ограниченных акваториях, проходят небольшие расстояния при частых реверсах и переменах курса. Очевидно, что для судов первой группы основным требованием является хорошая устойчивость на курсе, а для второй группы – хорошая поворотливость. Следует подчеркнуть, что для судов, особенно транспортных, сохранение устойчивости на курсе – это фактор, обеспечивающий их экономические показатели, так как плохая устойчивость на курсе произвольно удлиняет рейсовое время, которое служит одним из основных эксплуатационных показателей транспортных судов.

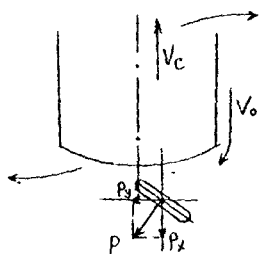
2) ДЕЙСТВИЕ РУЛЯ НА СУДНО.

При движении судна в результате перекладки пера руля на угол α , на нем, под действием потока воды будет возникать результирующая разности давлений со стороны потока на внутреннюю и внешнюю поверхности крыла. Кроме сил давлений на всю поверхность крыла вдоль хорды профиля действуют силы сопротивления, обусловленные вязкостью жидкости.

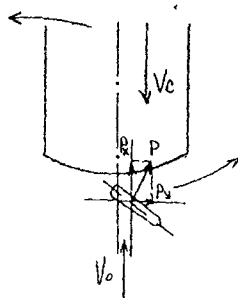
Результирующие всех сил давления и сил сопротивления можно заменить одной равнодействующей R , которая называется равнодействующей гидродинамических сил, действующих на крыло. Силу R принято характеризовать ее проекциями на направление скорости невозмущенного потока и направление, перпендикулярное ему. Проекция силы R на направление скорости потока V_0 называется лобовым сопротивлением R_x , а проекция той же силы на направление, перпендикулярное скорости потока – подъемной силой R_y .

Очевидно, что сила лобового сопротивления R_x , направленная в сторону, противоположную движению судна, вызывает торможение судна и уменьшение, таким образом, его скорости. Сила R_y направлена перпендикулярно ДП и вызывает на переднем ходу смещение кормы судна влево. Сила R_y – полезная сила, обеспечивающая разворот судна при перекладке руля.

– на переднем ходу



– на заднем ходу



При перекладке пера руля на угол, больший 35° , подъемная сила R_y становится незначительной, а сила лобового сопротивления R_x , уменьшающая скорость судна, увеличивается. Поэтому на практике угол перекладки руля, как правило, не бывает больше 35° .

Практика плавания показывает, что управляемость на заднем ходу всегда значительно хуже, чем на переднем, а во многих случаях суда почти не управляются даже в условиях спокойной воды.

3) ЦИРКУЛЯЦИЯ СУДНА И ЭЛЕМЕНТЫ ЦИРКУЛЯЦИИ.

Допустим, что судно совершает установившееся прямолинейное движение, причем направление скорости судна совпадает с диаметральной плоскостью. Пусть в некоторый момент на этом судне произведена перекладка руля на заданный угол. В результате судно начинает совершать движение по криволинейной траектории.

Криволинейная траектория, которую описывает центр тяжести судна при перекладке руля на некоторый угол и последующем удержании его в этом положении, называется циркуляцией.

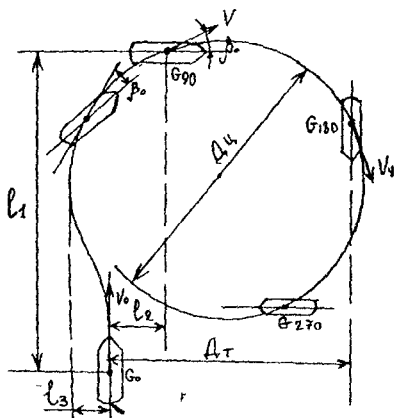
Различают три периода циркуляции: маневренный, эволюционный и период установившейся циркуляции.

Маневренный период циркуляции определяется началом и концом перекладки руля, т.е. по времени совпадает с продолжительностью перекладки руля. В этот период судно продолжает двигаться практически прямолинейно. Эволюционный период циркуляции начинается с момента окончания перекладки руля и заканчивается, когда элементы движения примут установившийся характер, т.е. перестанут изменяться во времени. Период установившейся циркуляции начинается с момента окончания эволюционного периода и длится все время, пока руль судна находится в переложном положении.

Траектория криволинейного движения центра тяжести судна, т.е. его циркуляция характеризуется следующими элементами:

Диаметр установившейся циркуляции D_c – диаметр окружности, описываемой судном в установившийся период циркуляции, который начинается после поворота судна на $90-180^\circ$;

Тактический диаметр циркуляции D_t – кратчайшее расстояние между положением диаметральной плоскости судна в начале поворота и после изменения первоначального курса на 180° ;



Выдвиг l_1 , расстояние, на которое смещается центр тяжести судна в направлении первоначального курса от точки начала циркуляции до точки, соответствующей изменению курса судна на 90° ;

Прямое смещение l_2 – расстояние от первоначального курса судна до точки положения центра тяжести в момент поворота судна на 90° ;

Обратное смещение l_3 – наибольшее расстояние, на которое смещается центр тяжести судна от линии первоначального курса в сторону противоположную повороту.

Значение элементов циркуляции, выражаемых в долях диаметра циркуляции $D_{ц}$, лежат в относительно узких пределах и для судов различных типов изменяются следующим образом:

$$D_{т} = (0,9 \pm 1,2) \cdot D_{ц}$$

$$l_1 = (0,6 \pm 1,3) \cdot D_{ц}$$

$$l_2 = (0,25 \pm 0,5) \cdot D_{ц}$$

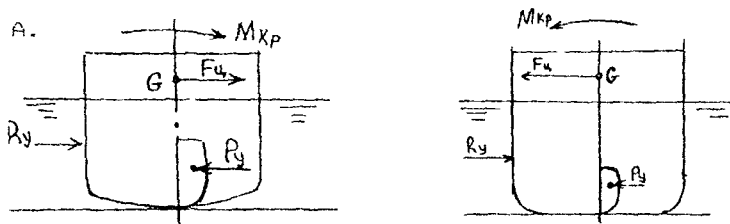
$$l_3 = (0 \pm 0,1) \cdot D_{ц}$$

Для морских транспортных судов $D_{т}$ составляет 4–6 длин судна. Кроме указанных элементов к характеристикам циркуляции относят:

- период установившейся циркуляции T – время поворота судна на 360° ;
- угловую скорость вращения судна на установившейся циркуляции $\omega = 2\pi / T$.

Если на судне, идущем прямым курсом, внезапно переложить руль, то в первый момент после начала перекладки на судно действуют следующие силы: поперечная составляющая R_y сил, действующих на руль; поперечная составляющая R_y сил, действующих на погруженную часть корпуса

судна, поперечная составляющая центробежных сил инерции судна f_{11} .
 Линия действия этой силы направлена в сторону поворота судна



в начальный момент циркуляции в период установившейся циркуляции

Все указанные силы располагаются в различных плоскостях по высоте. Таким образом, в первый момент после перекладки руля суммарный момент всех приведенных сил вызывает небольшой крен судна на тот борт, на который переложен руль. В результате такого накренения судна и действия поперечной составляющей R_y на руле возникает дрейф судна и обратное смещение l_s — смещение судна в сторону, противоположную повороту. Траектория циркуляции искажается. Обратное смещение не превышает половины ширины судна, но при маневрировании в стесненных условиях учитывать его нужно, так как оно выносит судно за внешнюю сторону циркуляции.

По мере изменения кривизны траектории центробежная сила уменьшается, а затем меняет знак, т.е. изменяет направление действия на противоположное. Одновременно происходит нарастание момента от силы R_y вследствие увеличения угла дрейфа и уменьшение момента от силы R_y из-за снижения скорости судна. В результате изменения характера действия указанных сил, и моментов, судно сначала выпрямляется, а затем начинает крениться в сторону, обратную направлению перекладки руля. Причем угол крена оказывается тем больше, чем больше скорость судна на циркуляции, угол перекладки руля и чем меньше метацентрическая высота судна.

В результате такого крена и действия поперечной составляющей R_y на руле диаметральной плоскости судна на циркуляции не совпадает с касательной к криволинейной траектории движения центра тяжести, т.е. образуется угол дрейфа β_0 . Нос судна смещается внутрь кривой циркуляции, а корма заносится во внешнюю сторону. С увеличением скорости судна угол дрей-

фа увеличивается. Из-за наличия угла дрейфа судно на циркуляции занимает полосу воды больше ширины судна. Это необходимо учитывать при маневрировании в узкости. Во время поворота вследствие тормозящего действия зюля и появления угла дрейфа возрастает сопротивление воды движению судна, что приводит к уменьшению скорости. Потеря скорости на циркуляции в некоторых случаях может достигать 50 %.

2. 2. К А Ч К А

Л е к ц и я 21.

1) ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Качкой судна называются колебательные движения, совершаемые судном относительно положения равновесия. В основном качка возникает под действием гидродинамических сил, обусловленных возмущающим эффектом ветрового волнения.

Ц е л ь изучения качки судна и ее законов – выявить вредные последствия качки и разработать рациональные мероприятия по предотвращению или смягчению этих последствий. Степень подверженности судна качке характеризуется его мореходностью: чем меньше судно подвержено качке, тем оно более мореходно.

К вредным последствиям качки относятся: уменьшение скорости судна вследствие увеличения сопротивления воды движению судна и ухудшения режима работы двигателей, возникновение добавочных усилий, вызванных силами инерции и ударами волн, что может привести к местным разрушениям корпуса и отдельных устройств судна; нарушение нормального режима работы механизмов, устройств и различных приборов вследствие воздействия сил инерции, заливание палубы, затрудняющее обслуживание механизмов и отдельных устройств, расположенных на палубе и выше нее; ухудшение усло-

вии обтекаемости судна, вредное физиологическое воздействие на людей, находящихся на судне

Опасными последствиями качки являются опрокидывание судна из-за потери остойчивости в результате появления больших углов крена или значительное уменьшение остойчивости вследствие смещения грузов, приема большого количества воды на палубу и т.д.; разрушение (излом) корпуса из-за потери общей продольной прочности

При изучении колебательных движений судна различают качку на тихой воде и качку на волнении. Свободная качка на тихой воде происходит после прекращения действия сил, которыми судно было выведено из равновесия, а затем предоставлено самому себе. Такие колебания быстро затухают вследствие действия сил сопротивления воды. Однако некоторые параметры и характеристики качки судна на тихой воде существенно влияют на параметры вынужденной качки на волнении, поэтому их необходимо изучать. Вынужденная качка вызывается периодически изменяющимися силами давления, возникающими при повышении и понижении уровня воды у бортов судна при плавании на взволнованной поверхности воды.

В зависимости от направления колебаний судна относительно устойчивого положения равновесия различают три вида качки: борттовую – вращательные колебательные движения в поперечной плоскости, клевую – вращательные колебательные движения в продольной плоскости, вертикальную – поступательные колебательные движения относительно плоскости ватерлинии, соответствующей статическому равновесию.

Такое разделение качки облегчает и упрощает ее изучение, позволяет установить основные зависимости и получить необходимые для практических целей выводы.

Качку судна, как всякое колебательное движение, характеризуют следующие параметры: амплитуда качки θ – наибольшее отклонение судна от положения равновесия, размах качки – удвоенная амплитуда или полное перемещение судна из одного крайнего положения в другое, период качки T – время, в течение которого судно совершает

Видно полное колебание, частота качки n – число полных колебаний судна за время 2π сек. Период и частота качки связаны соотношением: $T = 2\pi / n$

2) КАЧКА СУДНА НА ТИХОЙ ВОДЕ

Качка судна на тихой воде, которая происходит после прекращения действия некоторого начального возмущения, представляет собой собственные (свободные) колебания. Рассмотрим три основных вида качки, которые на спокойной воде теоретически могут существовать независимо друг от друга: бортовую, килевую и вертикальную.

Бортовая качка. Бортовой качкой на тихой воде называют вращательное колебательное движение судна вокруг продольной оси с попеременным креном на левый и правый борта. Таковую качку можно вызвать перебежкой людей по палубе с борта на борт, быстрым выносом груза стрелой или краном за борт.

Бортовая качка судна на тихой воде характеризуется амплитудой бортовой качки θ_m и периодом собственных колебаний T_0

$$T_0 = 2 \cdot C \cdot B / \sqrt{h},$$

Где $C = 0,36 - 0,43$ – коэффициент, значение которого зависит от типа судна, B – ширина судна; h – метацентрическая высота. Это выражение называется капитанской формулой. Хотя ее точность относительно невелика, она, благодаря своей простоте, широко применяется, например, для определения метацентрической высоты судна по периоду бортовой качки T_0 .

Анализируя эту формулу, можно сделать вывод, что период бортовой качки на тихой воде не зависит от ее амплитуды. При этом увеличение остойчивости судна уменьшает период качки судна, т.е. чем больше метацентрическая высота h , тем меньше период качки T_0 .

Килевая и вертикальная качка. Килевой качкой судна на тихой воде называют вращательные колебательные движения судна относительно поперечной оси, вызывающие попеременный дифферент на корму и на нос.

Физическая сущность продольных колебаний при килевой качке остается такой же, как и при бортовой, хотя продольные колебания имеют некоторые особенности, например они быстро затухают из-за большого сопротивления воды. Как показывают опытные данные, до полной остановки судна при килевой качке на тихой воде требуется лишь 3 – 5 размахов.

Килевая качка характеризуется амплитудой θ_{ψ} и периодом собственных колебаний T_{ψ} :

$$T_{\psi} = 2,4 \sqrt{T}, \quad \text{где } T - \text{осадка судна}$$

Следует иметь в виду, что эта формула является весьма приближенной.

Вертикальной качкой судна на тихой воде называют поступательные движения судна вдоль вертикальной оси, вызывающие попеременное уменьшение и увеличение осадки.

Вертикальная качка, как самостоятельный вид колебательных движений, возможна только в том случае, если Ц.Т. входящего в воду слоя будет находиться на одной вертикали с Ц.Т. судна. Это условие практически неосуществимо, поэтому вертикальная качка обязательно сопровождается килевой. Периоды собственных колебаний вертикальной и килевой качки на тихой воде практически равны.

3) КАЧКА СУДНА НА РЕГУЛЯРНОМ ВОЛНЕНИИ

Бортовая качка. Бортовая качка судна на регулярном волнении может быть представлена как сумма двух гармонических колебаний – собственных колебаний с частотой n_0 бортовой качки на тихой воде без учета сопротивления воды и вынужденных колебаний с частотой волны σ и амплитудой качки θ_m .

На регулярном волнении, которое имеет место, например, при мертвой зыби или при качке модели судна в опытовом бассейне, на искусственно создаваемых регулярных волнах, собственные колебания быстро затухают вследствие влияния сопротивления воды, и колебания судна по истечении некоторого времени становятся чисто вынужденными. Амплитуда вынужденных колебаний при бортовой качке без учета сопротивления воды, согласно выводам линейной теории качки, может быть вычислена по формуле:

$$\theta_m = \alpha_0 \cdot \frac{1}{1 - \sigma^2 / n_0^2}. \quad \text{Так как } \sigma = 2\pi/\tau, \text{ а } n_0 = 2\pi/T_0,$$

$$\text{то } \theta_m = \alpha_0 \cdot \frac{1}{1 - T_0^2/\tau^2} \quad \text{или} \quad \frac{\theta_m}{\alpha_0} = \frac{1}{1 - T_0^2/\tau^2} \quad (1),$$

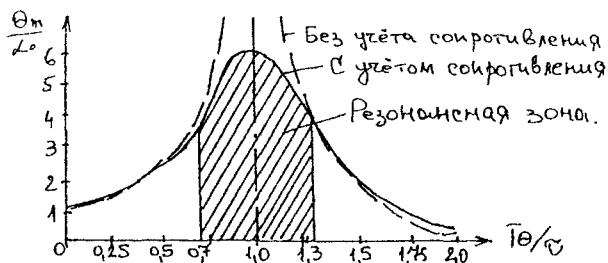
где θ_m – амплитуда качки;

α_0 – наибольший угол волнового склона;

T_0 – период собственных колебаний судна;

τ – период волны.

Отношение θ_m / α_0 принято называть относительной амплитудой, зависимость которой от отношения T_0/τ можно представить следующим графиком:



Из уравнения (1) следует, что по мере приближения периода волны τ к периоду собственных колебаний T_0 относительная амплитуда вынужденных колебаний возрастает и при отсутствии сил сопротивления воды становится бесконечно большой (при $\tau = T_0$). Такое явление называется резонансом.

В действительности, резонанс, хотя и не приводит к возникновению бесконечно больших амплитуд, вызывает появление резонансных максимальных амплитуд. Из сравнения кривых, приведенных на рисунке видно, что влияние сопротивления воды на относительную амплитуду вынужденных колебаний существенно лишь в том случае, когда отношение периодов находится в интервале $0,70 \leq T_0/\tau \leq 1,3$; вне этой области влияние сопротивления незначительно.

Рассматриваемый случай качки является наиболее опасным. Если судно

не обладает достаточной динамической остойчивостью, то резонанс может привести к потере остойчивости и к опрокидыванию судна. Именно поэтому при нормировании остойчивости морских судов оценивают углы, возникающие не только от действия динамически приложенного давления ветра, но и углы крена при бортовой качке, исходя из предположения, что судно находится на регулярном волнении в условиях резонанса при положении лагом к волне.

Килевая и вертикальная качка Если судно располагается вразрез волне, то оно испытывает килевую качку. Физическая сущность явления, происходящих при килевой и бортовой качке, практически одинакова, т.к. характер движения судна не меняется, а силы, действующие на него, по своей природе остаются теми же.

Однако условия килевой качки судна на волнении отличаются от условий бортовой качки. При килевой качке сопротивление окружающей среды значительно больше, чем при бортовой. Поэтому свободные колебания при килевой качке затухают быстрее. Практически килевую качку можно считать состоящей из одних вынужденных колебаний.

Исследование килевой качки осложняется тем, что одновременно возникает вертикальная качка, причем их взаимное влияние друг на друга и на характеристики колебаний судна существенно.

Поскольку даже при резонансе амплитуды килевой качки относительно невелики, можно утверждать, что практическое значение для судна имеет не столько сама качка, сколько связанные с ней заливаемость палубы и надстроек и появление слемминга – гидродинамических ударов носовой частью судна о воду. Указанные явления, а также ухудшение работы гребных винтов из-за периодического обнажения винта – рулевой группы приводят к значительному (до 50 %) уменьшению скорости судна, что неблагоприятно сказывается на его экономических показателях. Явление слемминга ощущается на протяжении от $1/10$ до $1/8$ длины судна. Удары о воду сопровождаются сотрясениями корпуса, переходящими в вибрацию. По мере увеличения крутизны волны сила ударов возрастает, что нередко приводит к повреждениям днища. Поэтому при возникновении сильных ударов судоводитель вынужден уменьшать скорость или изменять курс судна.

Л е к ц и я 22.

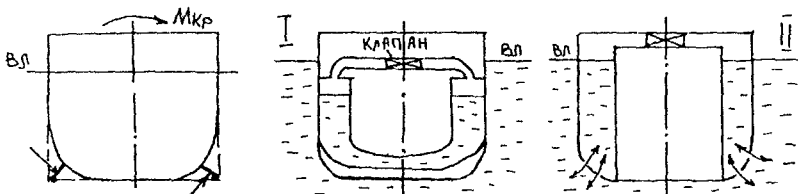
1) УСПОКОИТЕЛИ КАЧКИ.

Успокоителями качки принято называть устройства, которые применяются для уменьшения амплитуды качки судна.

Действие установленных на судне успокоителей качки состоит в том, что они создают переменный стабилизирующий момент, противоположный по знаку возмущающему моменту волны. В настоящее время применяются успокоители только бортовой качки. Уменьшить амплитуды килевой и вертикальной качки с помощью успокоителей практически трудно, т.к. еще не созданы успокоители, способные развивать значительно большие, чем при бортовой качке, стабилизирующие моменты.

Успокоители качки делятся на пассивные и активные. Действие рабочих органов пассивных успокоителей основано на создании стабилизирующего момента за счет колебательных движений судна во время качки, т.е. при их использовании отпадает необходимость в специальных источниках энергии. В активных успокоителях переменный стабилизирующий момент создается принудительно с помощью особых механизмов, управляемых специальным регулирующим устройством, которое, в свою очередь, реагирует на колебания судна. Активные успокоители более эффективны, но на их работу нужно затрачивать дополнительную мощность.

Пассивные успокоители. К числу пассивных успокоителей качки относятся скуловые кили и пассивные успокоительные цистерны.



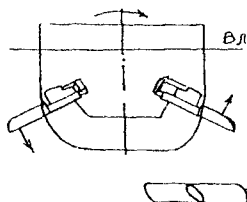
Скуловые кили являются наиболее простым и эффективным средством уменьшения бортовой качки и потому находят самое широкое применение.

Пассивные успокоительные цистерны могут быть двух типов: закрытого, не сообщающегося с заборной водой (I рода) и открытого, сообщающегося с

заборной водой (II рода) Цистерны наполовину заполнены водой (иногда гопливом) и соединены каналами Пассивные успокоительные цистерны наиболее эффективны при резонансной качке При некоторых условиях и режимах нерегулярного волнения такие успокоители могут привести к увеличению амплитуд качки Наличие свободной поверхности жидкости в цистернах также неблагоприятно влияет на остойчивость судна Вследствие указанных причин пассивные цистерны в настоящее время практически не используются.

Активные успокоители К активным успокоителям качки относятся бортовые управляемые рули, активные успокоительные цистерны и гироскопические успокоители-стабилизаторы

Бортовые управляемые рули являются весьма эффективным средством уменьшения бортовой качки и получили широкое распространение на транспортных и особенно на пассажирских судах. Они размещены на специальных приводах, обеспечивающих изменение углов атаки по определенному закону, выдвижение их из корпуса и уборку внутрь корпуса



Практика показывает, что бортовые рули целесообразно применять при скоростях, превышающих 10–15 узл. В этом случае бортовые рули приводят к значительному (в несколько раз) снижению амплитуд бортовой качки

Активные успокоительные цистерны обычно выполняют в виде цистерн I рода Для регулирования движения воды применяют либо насосы, установленные в водяном канале, либо воздуходувки, расположенные в воздушном канале. Управление насосом или воздуходувкой осуществляется с помощью специальной автоматики таким образом, чтобы можно было регулировать подачу воды из одной цистерны в другую и обеспечивать требуемое изменение стабилизирующего момента Эффективность установки не зависит от скорости судна: цистерны одинаково умеряют качку на ходу и на стоянке. Недостатки активных цистерн: сложность конструкции, высокая стоимость, применение сложной регулирующей аппаратуры, снижение грузоподъемности судна и необходимость затрат дополнительной энергии.

Гироскопический успокоитель качки представляет собой мощный гироскоп, вращающийся на оси в раме. Гироскопы устанавливаются вертикально. Крен судна при бортовой качке вызывает поворот оси гироскопа - так называемую прецессию гироскопа. Вследствие этого возникает гироскопический момент, который является стабилизирующим моментом успокоителя. Гироскопические успокоители могут быть как пассивными, так и активными. У пассивного успокоителя прецессия возникает как реакция на качку судна. В активных успокоителях прецессия создается принудительно за счет передачи внешней энергии электродвигателю, управляемому автоматическим регулятором, реагирующим на режим качки судна. Недостатки: значительная масса, большая стоимость, сложность устройства и эксплуатации.

2) ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТАЦЕНТРИЧЕСКОЙ ВЫСОТЫ СУДНА ПО ПЕРИОДУ БОРТОВОЙ КАЧКИ

В процессе эксплуатации судоводителю часто необходимо проконтролировать значения метацентрической высоты судна при различных случаях его нарузки. Такая необходимость возникает, например, по мере расходования запасов пресной воды и топлива, когда решается вопрос о целесообразности приема балласта. Опыт кренования дает вполне надежные результаты, но требует много времени, определенных условий и специальной подготовки.

Значительно проще можно оценить поперечную метацентрическую высоту h , если известны период бортовой качки T_{θ} и коэффициент C по формуле, полученной из капитанской формулы:

$$h = 4 \cdot C^2 \cdot \frac{V^2}{T_{\theta}^2} .$$

Период качки T_{θ} можно определить с помощью записи затухающих свободных колебаний судна гироскопическими кренографами либо инклинографами, снабженными отметчиками времени.

Практически период качки T_{θ} можно определить следующим образом. Когда судно находится в одном из крайних наклоненных положений, включают секундомер. Отсчитав 10 полных колебаний, останавливают секун-

домер в момент, когда судно приходит в исходное наклонное положение. Период T_0 определяют, разделив отсчитанное по секундомеру время на 10.

Описанный приближенный способ дает удовлетворительные результаты при отсутствии на судне свободных поверхностей жидких грузов, а также в том случае, когда поправка на их влияние составляет не более 5 % метацентрической высоты для данной нагрузки.

Результат вычисления метацентрической высоты h зависит и от удачного выбора значения коэффициента c , входящего в выражение для h . Для этого необходимо принимать его значения по известным значениям коэффициента C , для однотипных или близких по конструкции судов. Коэффициент $C = 0,36 \pm 0,43$ в зависимости от типа судна.

2. 3. ХОДКОСТЬ И ДВИЖИТЕЛИ

Л е к ц и я 23.

1) ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Ходкостью называется способность судна развивать заданную скорость под действием приложенной к нему движущей силы.

Учение о ходкости судна принято делить на две части – сопротивление окружающей среды (воды, воздуха) движению судна и судовые движители.

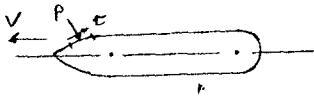
Первая часть посвящена: выявлению физической сущности возникновения сил сопротивления среды движению судна; изучению законов, отражающих изменение этих сил; определению количественной зависимости между формой обводов корпуса, силами сопротивления, скоростью судна и необходимой мощностью энергетической установки.

Во второй части изучаются типы движителей, принципы их выбора и методы расчета. Конечной целью исследования является выбор такого сочетания элементов движителя, при которых для достижения заданной скорости судна затрачивается минимальная мощность судовой энергетической установки.

2) СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА СУДНО ПРИ ЕГО ДВИЖЕНИИ

При движении с некоторой скоростью V судно испытывает силу сопротивления окружающей среды R (воды и воздуха), направленную в сторону, противоположную его движению.

Гидродинамические силы, приложенные к элементам поверхности корпуса движущегося судна, можно разложить на две составляющие: касательную и нормальную. Касательную составляющую называют силой трения, а нормальную - силой давления.



На рисунке сила трения τ и сила давления P действуют на выделенный элемент смоченной поверхности судна.

Проецируя все элементарные силы трения на направление скорости движения судна и суммируя их по всей смоченной поверхности, получим результирующую сил трения – сопротивление трения $R_{тр}$, обусловленное действием сил вязкости.

Результирующая проекции сил давления на направление скорости движения судна V , взятая по всей смоченной поверхности, определяет сопротивление давления R_d , которое обуславливается плотностью и вязкостью воды.

Давления по поверхности судна распределяются неравномерно: в носовой части они больше, в кормовой – меньше. Такой перепад давлений образует сопротивление давления, которое в свою очередь разделяют на две части. Первая часть – сопротивление формы R_f , вызванная влиянием вязкости жидкости, вторая – волновое сопротивление R_B зависит от интенсивности волновых движения жидкости, вызванных движущимся судном.

Каждое судно имеет те или иные выступающие части (рули, кронштейны и выкружки гребных валов, скуловые кили и т.п.). Сопротивление воды, вызываемое ими, называют сопротивлением выступающих частей $R_{вч}$. Кроме того, судно испытывает воздушное сопротивление $R_{воз}$, распределенное по надводной поверхности движущегося судна.

Таким образом, полное сопротивление движению судна суммируется из следующих составляющих:

$$R = R_{\text{тр}} + R_{\text{в}} + R_{\text{ф}} + R_{\text{вч}} + R_{\text{воз}} \quad (1)$$

Для определения каждой составляющей полного сопротивления применяются различные методы. Сопротивление трения определяется расчетным путем на основании теории пограничного слоя. Сопротивление формы и волновое сопротивление, объединенные под общим названием остаточного сопротивления R_o , определяются экспериментальными методами путем испытания моделей судов в опытовых бассейнах.

В практических расчетах полное сопротивление движению судна вычисляется по формуле:

$$R = C \cdot \frac{\rho \pi V^2}{2} \cdot (S + S_{\text{вч}}), \quad (2)$$

где C -- коэффициент полного сопротивления;

S -- смоченная поверхность голого корпуса;

$S_{\text{вч}}$ -- смоченная поверхность выступающих частей;

ρ -- плотность воды;

V -- скорость судна.

По аналогии с формулой (1) коэффициент полного сопротивления может быть представлен в виде суммы коэффициентов:

$$C = C_{\text{тр}} + C_{\text{в}} + C_{\text{ф}} + C_{\text{вч}} + C_{\text{воз}} \quad \text{или} \quad C = C_{\text{тр}} + C_o + C_{\text{вч}} + C_{\text{воз}}$$

где C_o -- коэффициент остаточного сопротивления.

Следовательно, полное сопротивление судна равно:

$$R = (C_{\text{тр}} + C_o + C_{\text{вч}} + C_{\text{воз}}) \frac{\rho \pi V^2}{2} (S + S_{\text{вч}}) \quad (3).$$

3) ОСНОВНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ПОЛНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ СУДНА

Сопротивление трения. В результате опытов было установлено, что при обтекании тела (судна) потоком жидкости вблизи его поверхности образуется тонкий слой жидкости, называемый пограничным слоем. В пределах этого слоя скорости частиц жидкости изменяются от нуля на поверхности тела (частицы прилипают к поверхности) до значения скорости

набегающего потока на внешней границе пограничного слоя. Изменение скоростей в этом слое обусловлено интенсивным проявлением сил вязкости.

Движение частиц жидкости внутри пограничного слоя может быть ламинарным или турбулентным. Режим движения жидкости внутри пограничного слоя определяется числом Рейнольдса Re :

$$Re = V \cdot L / \nu,$$

где V – скорость движения жидкости, м/с;

L – длина судна, м;

ν – коэффициент кинематической вязкости, м²/с.

При значительно меньших значениях Re (при $Re < 4 \cdot 10^5$) в пограничном слое наблюдается ламинарный режим течения жидкости. При таком режиме отдельные слои жидкости движутся в плоскостях, приблизительно параллельных поверхности тела, и никакого переноса частиц жидкости из слоя в слой не происходит; отдельные слои жидкости как бы скользят друг по другу, вызывая вследствие действия молекулярных сил сцепления силы трения, а следовательно, и изменение скоростей в поперечном сечении пограничного слоя.

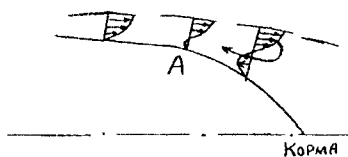
При так называемом критическом числе $Re_{крит} = 5 \cdot 10^5$ происходит переход ламинарного пограничного слоя в турбулентный. Турбулентный режим характеризуется тем, что частицы потока, двигаясь по главному направлению – вдоль тела, совершают дополнительное движение – поперек пограничного слоя. В этом случае происходит перенос жидкости из одного слоя в другой, который приводит к интенсивному перемешиванию масс жидкости и, как следствие, выравниванию скоростей потока в пределах слоя, что вызывает соответствующее увеличение сил трения. Таким образом, при турбулентном режиме обтекания силы трения значительно больше, чем при ламинарном.

Турбулентный режим обтекания поверхности корпуса судна возникает из-за шероховатости этой поверхности. Судовая поверхность не является технически гладкой, а имеет значительную шероховатость различного происхождения, влияние которой на сопротивление трения судна необходимо учитывать. В целом шероховатость обусловлена: качеством окраски; волнистостью наружной обшивки; наличием местных неровностей в виде валиков сварных швов; заклепочных соединений и коррозионных разрушений лис-

тов наружной обшивки. Обрастание подводной поверхности судна очень сильно увеличивает шероховатость и тем самым уменьшает скорость судна. Интенсивность обрастания зависит от многих факторов: температуры воды, ее солености, времени года, района плавания, соотношения количества ходовых и стояночных дней, скорости судна, состояния обшивки и т.п. В отдельных случаях уже через год после докования при плавании в средних широтах потеря скорости составляет 10 – 15 %.

Наиболее эффективным средством борьбы с обрастанием является периодическое докование судна с обязательной очисткой подводной части корпуса и покрытием его противообрастающими красками. Зачистка подводной части корпуса судна может производиться и без докования судна на воде водолазами. Обрастание судна в этом случае начнется значительно быстрее, так как корпус не был вскрыт соответствующими красками.

Сопротивление формы. У плохо обтекаемых корпусов потери энергии потока из-за действия сил вязкости настолько велики, что частицы жидкости вблизи корпуса, не доходя до ахтерштевня, теряют скорость, а под действием возрастающего давления могут начать двигаться против набегающего потока.



Возникающий встречный поток жидкости оттесняет пограничный слой от поверхности судна, приводит к срыву потока и образованию вихрей. Точка А, в которой начинается оттеснение пограничного слоя, называется точкой отрыва пограничного слоя.

Интенсивное вихреобразование в кормовой части судна еще в большей степени снижает давление в этом районе и увеличивает разность результирующих давлений, действующих на носовую и кормовую оконечности, т.е. приводит к росту сопротивления формы.

Естественно, что сопротивление формы в значительной степени зависит от положения точки отрыва пограничного слоя по длине судна: чем бли-

же к носовой оконечности находится эта точка, тем больше сопротивление. В свою очередь, положение точки отрыва определяется формой корпуса. У судов с большим удлинением ($L/V > 6$), т.е. у хорошо обтекаемых корпусов, отрыва пограничного слоя не наблюдается, поэтому эти суда имеют относительно небольшое сопротивление формы (порядка 15-20 % полного сопротивления). У некоторых типов барж с тупой кормой сопротивление формы достигает 50 % полного сопротивления.

Волновое сопротивление. Распределение гидродинамических давлений вдоль корпуса движущейся судна неравномерно и характеризуется повышением в оконечностях и понижением в районе миделя. Вследствие этого форма поверхности воды искажается: там, где давление в потоке выше атмосферного, образуется бугор, а где оно ниже атмосферного - образуется впадина. Выведенные из положения равновесия частицы жидкости под действием сил тяжести и сил инерции стремятся вернуться в свое первоначальное положение. Это приводит к возникновению колебательного движения воды, внешним проявлением которого являются так называемые корабельные волны, образующиеся на спокойной поверхности воды.

Установлено, что корабельные волны имеют два очага возникновения: у форштевня развивается носовая система волн, у ахтерштевня - кормовая. В каждой из них можно выделить расходящиеся и поперечные волны. На создание этой волновой системы судном затрачивается энергия и происходит потеря скорости, что и принято называть волновым сопротивлением.

Сопротивление выступающих частей. Выступающими частями судна считаются рули, кронштейны и выкружки гребных валов, рудерпост, скуловые кили и т.д. Выступающие части создают добавочное сопротивление $R_{вч}$ которое определяется вязкостными составляющими. Если выступающие части рационально спроектированы и правильно расположены относительно корпуса, то их сопротивление вызывается силами трения. При нарушении этих требований резко возрастает сопротивление формы. Величина $R_{вч}$ определяется экспериментально,

путем сравнительных буксировочных испытаний модели судна с выступающими частями и без них в опытовых бассейнах.

Воздушное сопротивление. Сопротивление воздуха $R_{\text{во}}$ движению судна складывается из сопротивления надводной части корпуса, надстроек, рубок и других палубных сооружений. Основную часть сопротивления (до 60 – 80 %) создают надстройки, которые по своей конфигурации приближаются к плохо обтекаемым телам.

4) НАЗНАЧЕНИЕ СУДОВЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ. ГРЕБНОЙ ВИНТ. ШАГ ВИНТА. В Р Ш

Судовыми двигателями называются специальные устройства, которые преобразуют энергию главных двигателей в движущую силу (полезную тягу), необходимую для преодоления сопротивления среды движению судна и обеспечения заданной скорости его движения.

По принципу действия судовые двигатели являются гидрореактивными, т.к. они создают движущую силу за счет реакции масс воды, отбрасываемых рабочими деталями двигателя – лопастями – в сторону, противоположную движению судна.

В настоящее время на водном транспорте применяются следующие основные типы судовых двигателей: гребной винт, гребное колесо, крыльчатый и водометный двигатели.

Гребной винт служит основным типом двигателя для морских судов. Он состоит из нескольких лопастей, расположенных на ступице на одинаковых угловых расстояниях друг от друга. Число лопастей гребных винтов колеблется от 2 до 6. В целях предотвращения вибраций кормовой оконечности одновинтовых судов, число лопастей гребного винта принимают не менее четырех. Диаметр гребных винтов крупных современных судов достигает 6 – 8 м.

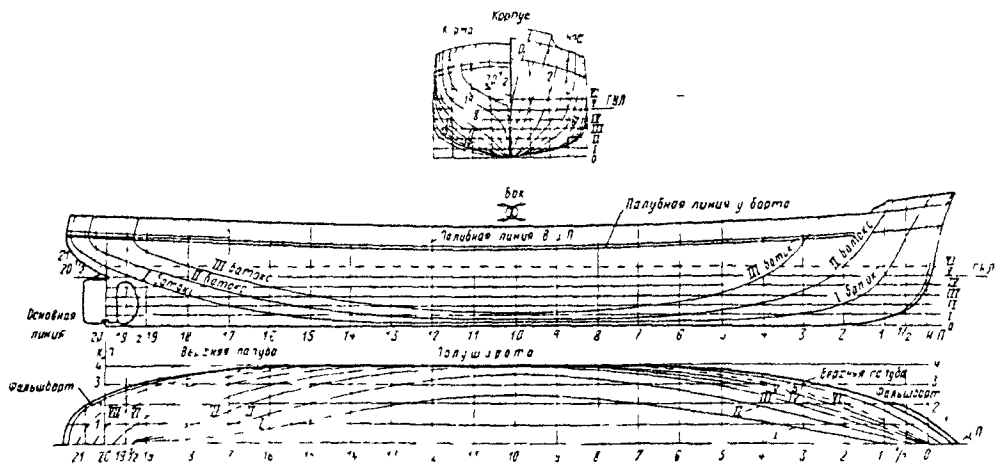
Различают три основных конструктивных типа гребных винтов: цельные винты (цельнолитые), винты со съемными лопастями (сборные) и винты с поворотными лопастями – винты регулируемого шага (В Р Ш).

Гребной винт характеризует его шаг. Шагом винта называется расстояние, на которое переместится точка винта за один полный оборот винта при вращении его в абсолютно твердом теле. Гребные винты, в зависимости от того, в какую сторону они вращаются, бывают левого и правого шага. В отличие от лопастей В Ф Ш у винтов регулируемого шага (В Р Ш) лопасти могут поворачиваться вокруг своей продольной оси и изменять шаг, что обеспечивает возможность использования полной мощности двигателя при оптимальной частоте вращения на любом режиме движения судна.

Расчет гребного винта заключается в определении его геометрических характеристик (диаметра, шага, дискового отношения и числа лопастей), обеспечивающих наиболее высокие пропульсивные качества судну в основном режиме его эксплуатации. Так, транспортному судну указанные характеристики должны обеспечить наивысшую скорость, буксирному – наибольшую тягу на галке при полном использовании мощности главных двигателей.

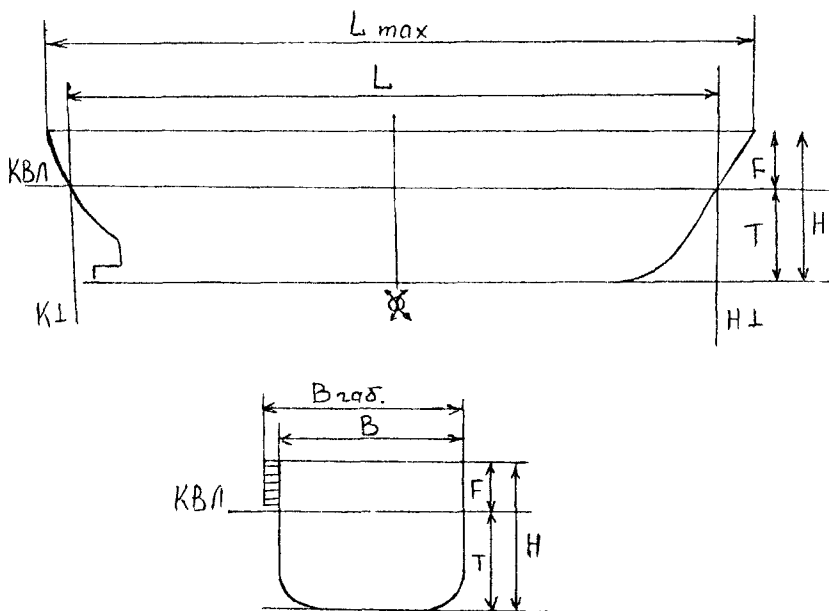
Преимущества и недостатки В Р Ш по сравнению с обычным винтом: возможность изменять положение лопастей у В Р Ш позволяет изменять силу упора винта не меняя частоты и направления вращения вала с полного переднего хода до нуля, а затем до полного заднего хода. Это позволяет использовать на судне нереверсивный двигатель, который проще в обслуживании и моторесурс которого значительно выше реверсивного. За счет того, что нет необходимости выполнять реверс для изменения силы упора винта, а достаточно только развернуть лопасти винта, что делается дистанционно с мостика, время перехода судна от одного режима движения к другому значительно сокращается. Это улучшает маневренные качества судна, упрощает эксплуатацию двигателя. Но В Р Ш значительно сложнее по конструкции, что уменьшает его надежность и увеличивает стоимость. В Р Ш имеют при том же К П Д больший вес и размеры, чем обычные винты, что усложняет их крепление.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

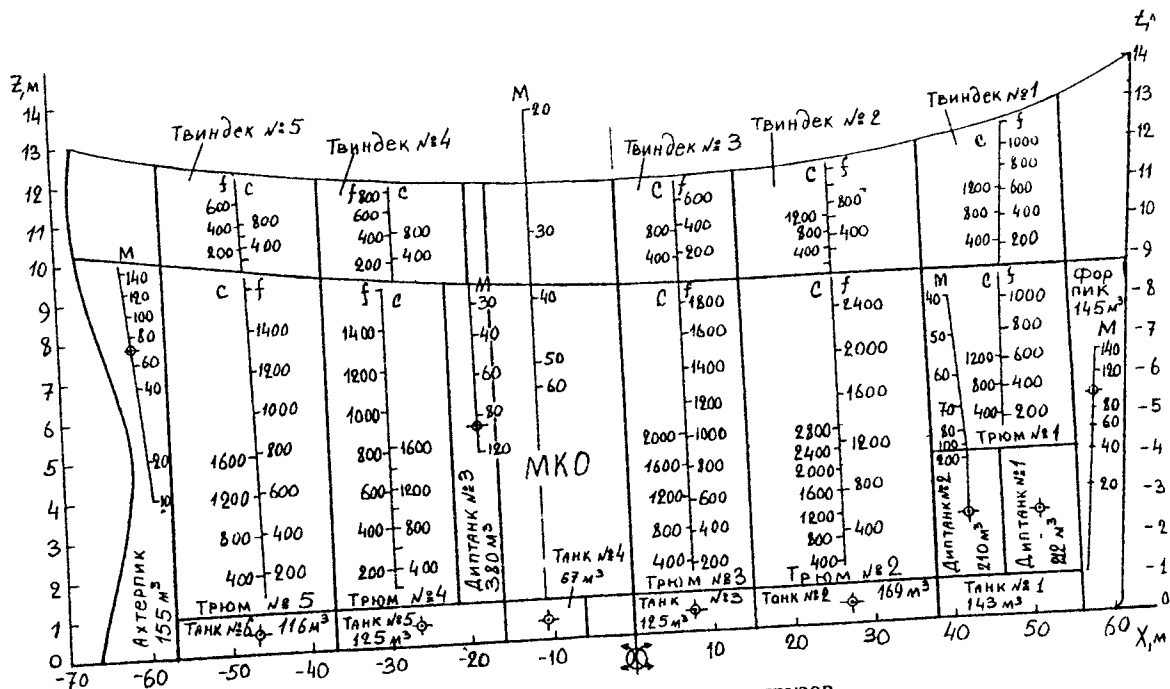


Теоретический чертёж судна

ПРИЛОЖЕНИЕ 2



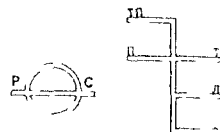
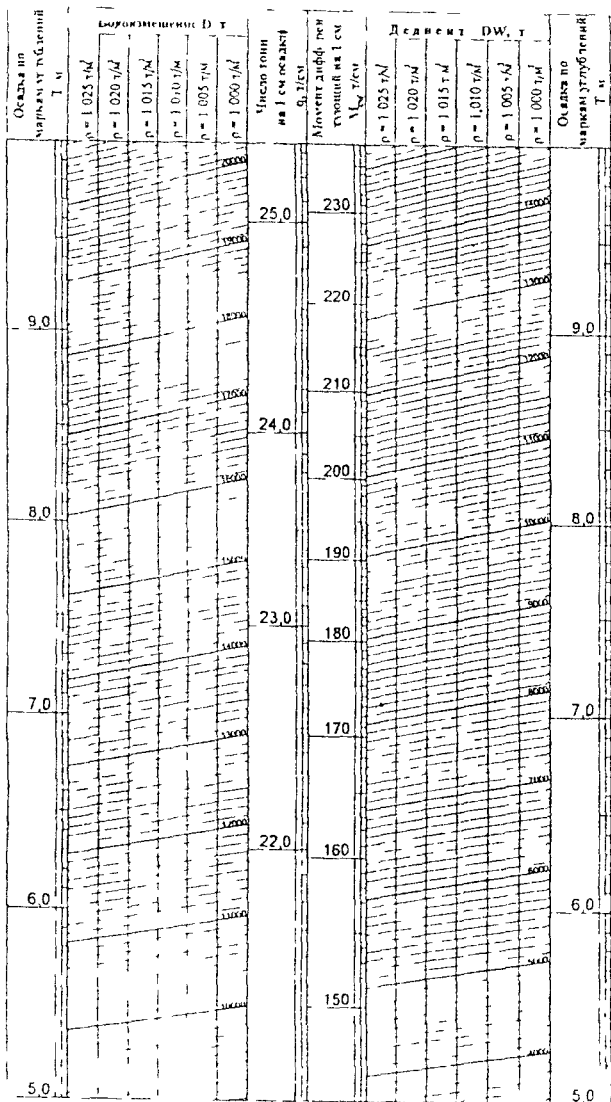
- Н – носовой перпендикуляр,
- К – кормовой перпендикуляр,
- L – длина борта,
- B – ширина борта,
- Н – высота борта,
- F – высота надводного борта,
- T – осадка.



Чертеж размещения грузов

- С – точка центра величины;
- f – изгиб (прогиб) корпуса судна, м;
- М – момент дифференцирующий, тм/см

ПРИЛОЖЕНИЕ 4



Грузовая шкала г/х "Славянск"

ПРИЛОЖЕНИЕ 5



АССОЦИАЦИЯ НЕ СУВЕРЕННЫХ МОРСКИХ
ПОРТОВ

“МОРСЕРВИС”

700 87 00 Д/С/А/г/Шеа с/к/т/С/ 467656 МФ0378676
44 юп/ил/с/с/е 001180748 USD факс (0482) (8-43 73/23 01 96



СЕРТИФИКАТ S/MS № 1850/6 о характеристиках груза на момент погрузки CERTIFICATE S/MS №1850/6

about characteristics of cargo at the loading point

Настоящий Сертификат выдан во исполнение требований Правил 2 главы VI Международной Конвенции по охране человеческой жизни на море (СОЛАС 1974) и соответствует рекомендациям Международной Морской Организации ИМО изложенным в (CODE OF SAFE PRACTICE FOR SOLID BULK CARGOES IMO 1991 года (CODEL BC)

The certificate is worked out to meet the requirement of Regulation 2 of Chapter VI of the International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS 1974) and in accordance with recommendations of the Code of Safe Practice for Solid Bulk Cargoes (BC Code, 1991) of the International Maritime Organization (IMO)

Порт погрузки ЮЖНЫЙ Дата погрузки 9 Октябрь 98
Port of loading YUZHNY Date of loading 9 October 98

Настоящим удостоверяется что груз АММОФОС (диаммоний фосфат)

(на имя суда ие груза)

This is to certify that the material АММОФОС (DIAMMONIUM PHOSPHATE)
погруженный на судно m/v MDEFMIRI
loading to ship m/v MDEFMIRI

соответствует Декларации о грузе D № 000001850 МОРСЕРВИС и имеет следующие характеристики
complies with the Declaration about cargo D N 000001850 MORSE RVIC F and possess following properties

Удельный пористый объем (УПО) Stowage factor 118 м³/т

Сцепление имет
Cohesive иет

Угол естественного откоса (для грузов не имеющих сцепления)* Angle of repose
(for non cohesive cargoes) 30°

Максимальная допустимая влажность * 30%
Moisture limit

Фактическая влажность * % (при необходимости указывается по грузовым помещениям)
0,74%

Moisture content * % (stating for each cargo space) 0,74%

Температура груза +11 град С
Temperature of cargo + 11 degree C

Другие характеристики груза на момент погрузки которые могут повлиять на безопасность морской перевозки груза груз сконденсированному

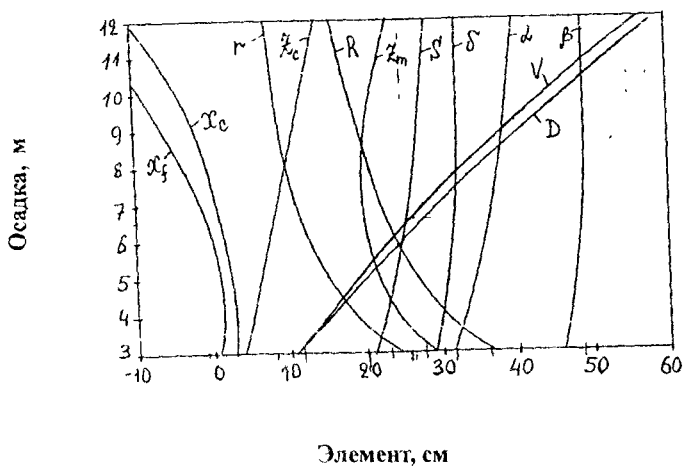
Another properties of cargo at the loading point which may influence to safe stowage of cargo Cargo which may influence

МОРСЕРВИС Одесса 09 10 98
MORSE RVIC F Odessa 09 10 98

Директор
Director

Капитан дальнего плавания М/С "Мир"
Captain M Stryukh

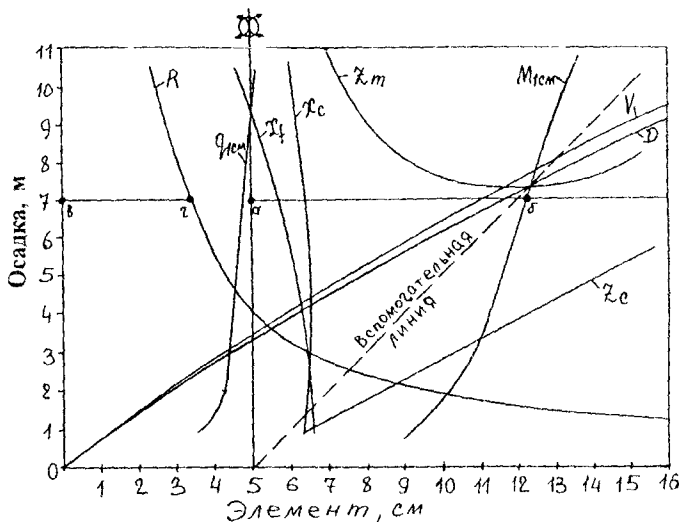
ПРИЛОЖЕНИЕ 6



Кривые элементов теоретического чертежа судна

- r – поперечный метацентрический радиус, 1 см = 0,5 м;
- R – продольный метацентрический радиус, 1 см = 10 м;
- S – площадь ватерлинии, 1 см² = 100 м²;
- Z_c – отстояние ЦВ от киля, 1 см = 0,5 м;
- Z_m – отстояние метацентра от киля, 1 см = 0,5 м;
- V – объёмное водоизмещение, 1 см = 500 м³;
- D – весовое водоизмещение, 1 см = 500 т;
- α – коэффициент полноты площади ватерлиний, 1 см = 0,02;
- β – коэффициент полноты площади \mathcal{X} , 1 см = 0,02;
- δ – коэффициент полноты площади водоизмещения (общей полноты),
1 см = 0,02;
- x_c – отстояние ЦВ от миделя, 1 см = 0,5 м;
- x_t – абсцисса ЦТ площади ватерлинии, 1 см = 0,5 м.

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

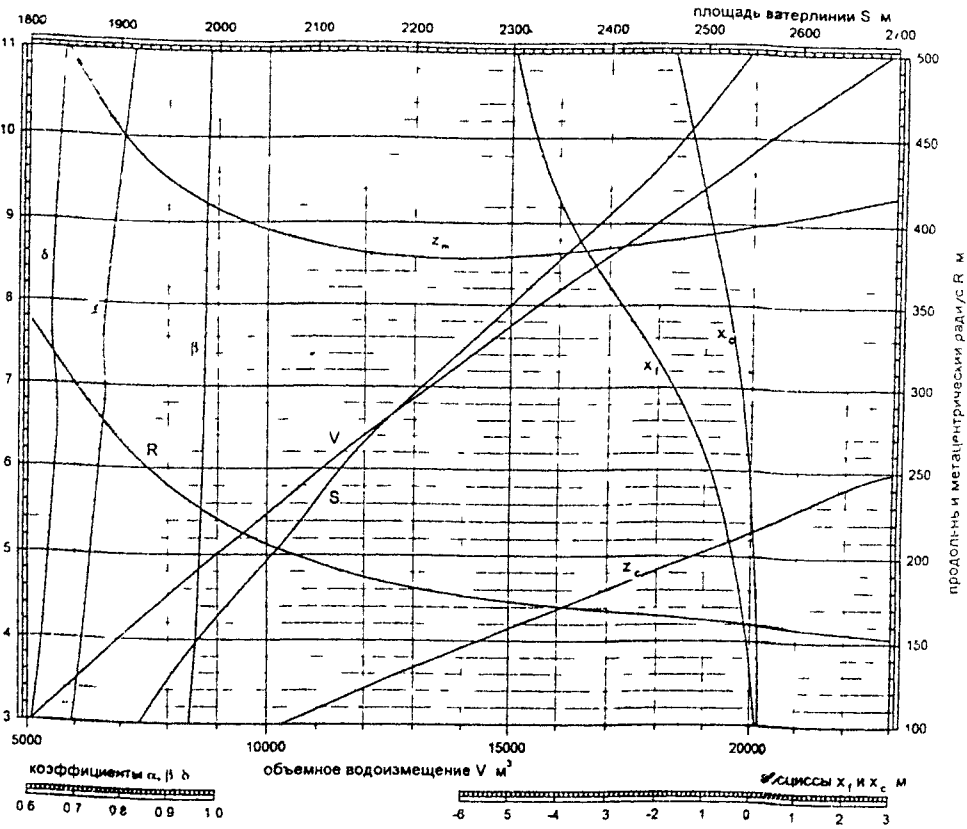


Кривые элементов теоретического чертежа судна

- V - объёмное водоизмещение (отсчёт от 0), 1 см = 1000 м³;
- D - весовое водоизмещение (отсчёт от 0), 1 см = 1000 т;
- x_f - абсцисса ЦТ площади ватерлинии (отсчёт от Φ), 1 см = 2,0 м.
- x_c - отстояние ЦВ от миделя (отсчёт от Φ), 1 см = 0,5 м;
- z_c - отстояние ЦВ от киля (отсчёт от основной оси), 1 см = 1,0 м;
- z_m - отстояние метacentра от киля (отсчёт от основной оси), 1 см = 1,0 м;
- $q_{1\text{см}}$ - число тонн на 1 см осадки (отсчёт от 0), 1 см = 4,0 т/см;
- $M_{1\text{см}}$ - момент, дифференцирующий на 1 см (отсчёт от Φ), 1 см = 20 тм/см;
- R - продольный метacentрический радиус (отсчёт от 0), 1 см = 50 м.

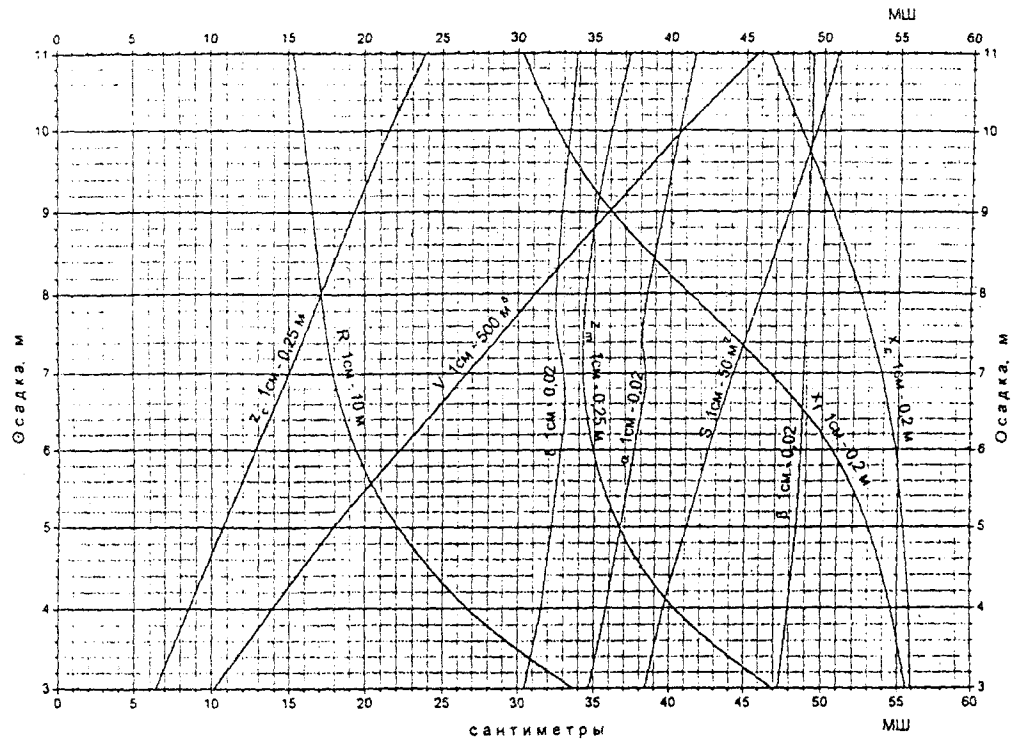
ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Кривые элементов теоретического чертежа т/х "Славянк



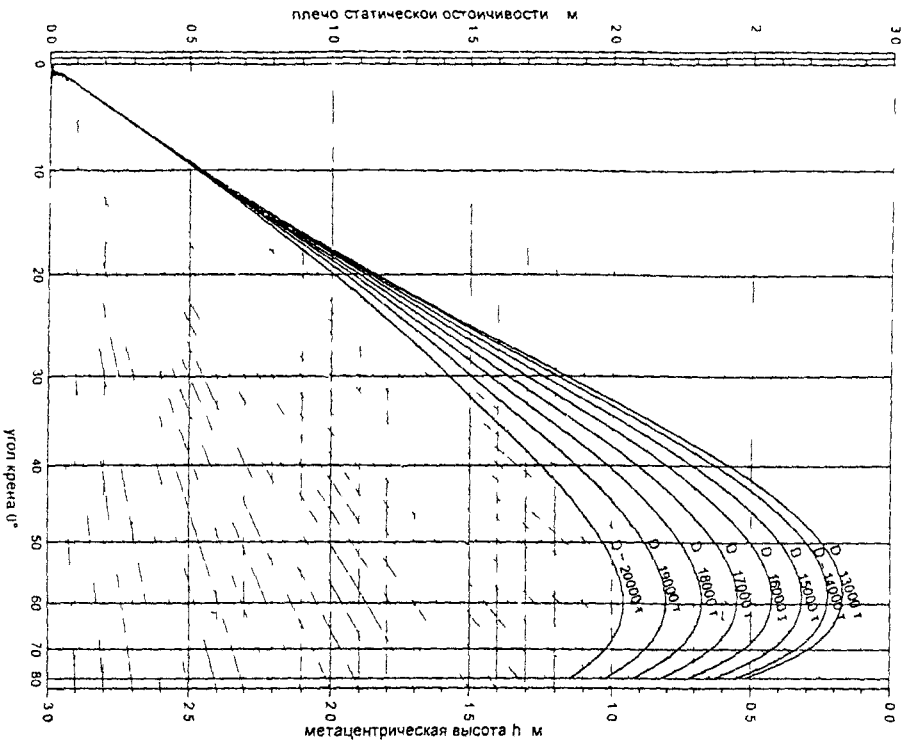
ПРИЛОЖЕНИЕ 9

Кривые элементов теоретического чертежа т/х "Славянск"



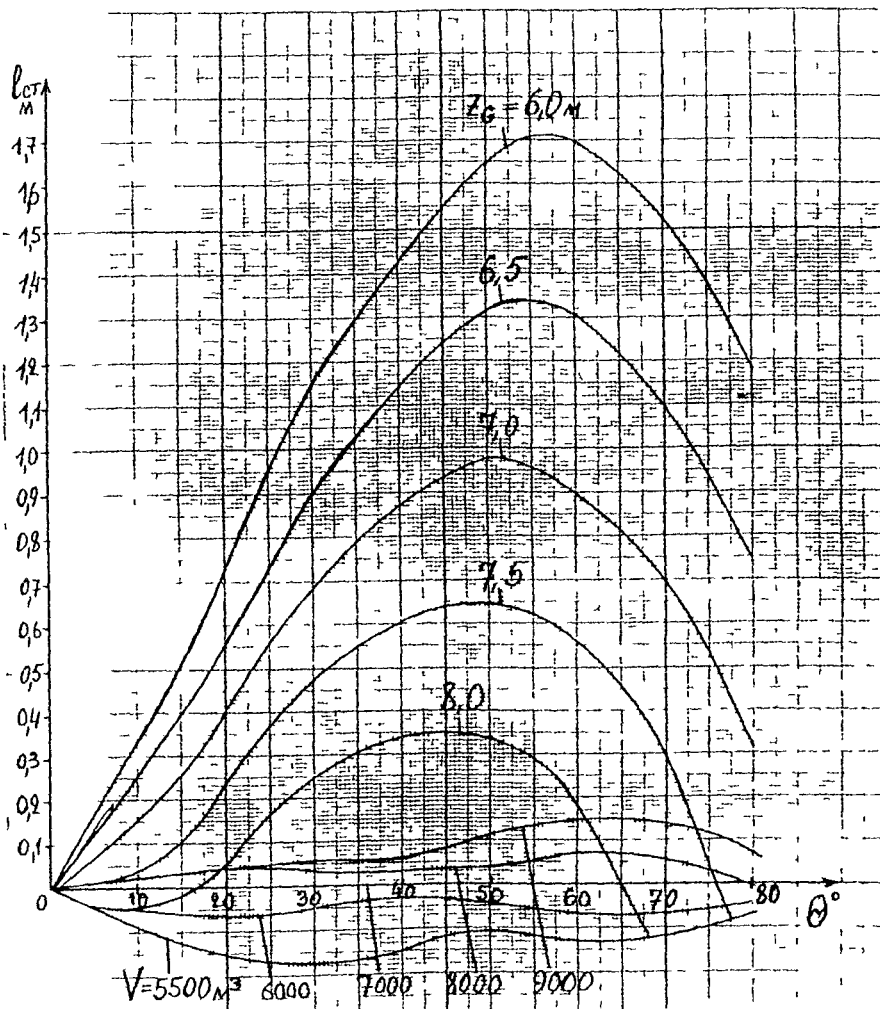
ПРИЛОЖЕНИЕ 10

Универсальная диаграмма статической остойчивости
Д/Х Славянск[®]



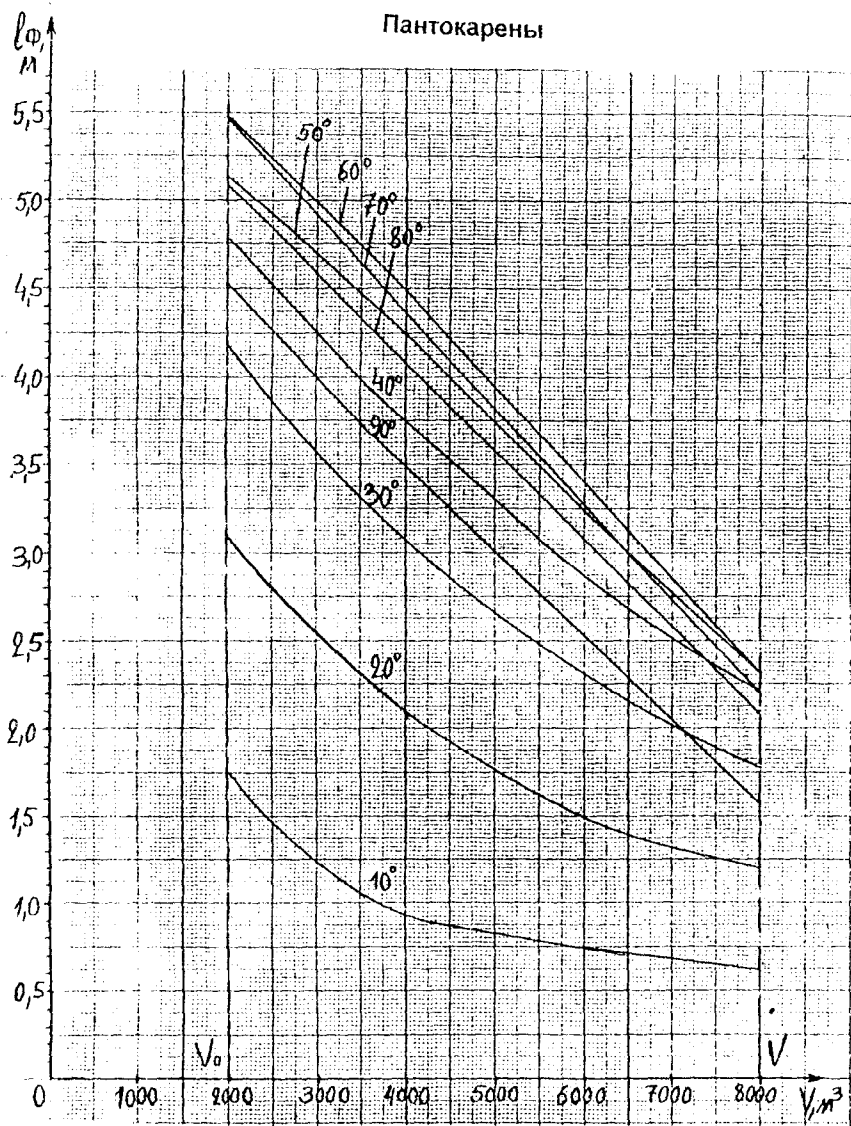
ПРИЛОЖЕНИЕ 11

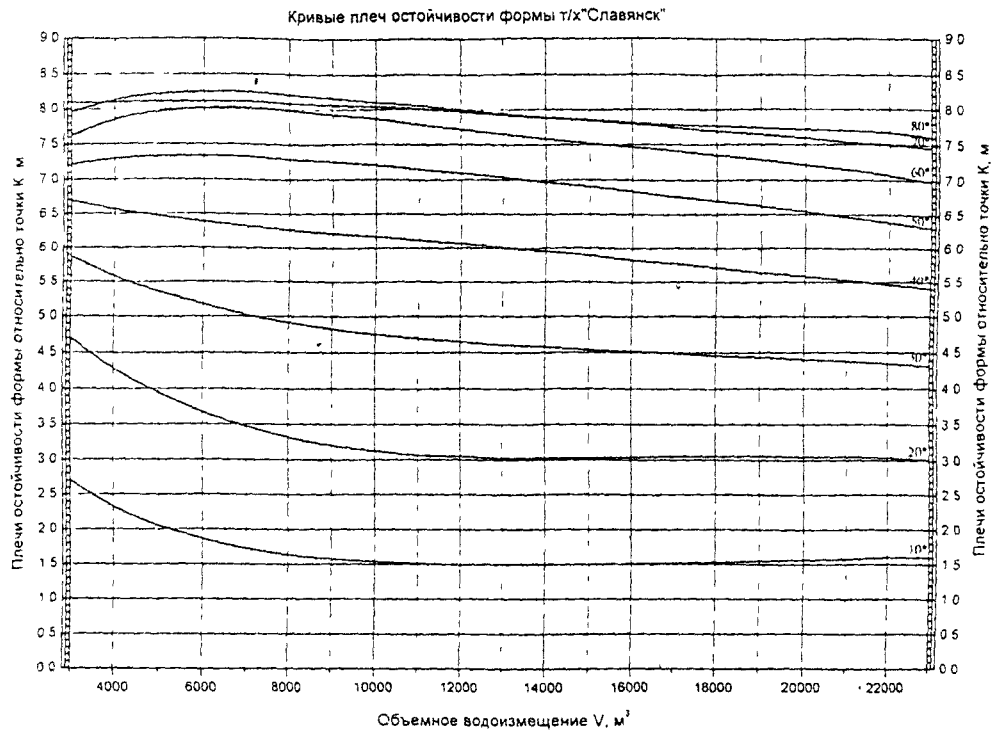
Универсальная диаграмма статической устойчивости
(второй тип)



ПРИЛОЖЕНИЕ 12

Пантокарены





ПРИЛОЖЕНИЕ 14

Кривые изменений осадки оконечностей от приёма 100 т груза,
совмещённые с соответствующими точками судна

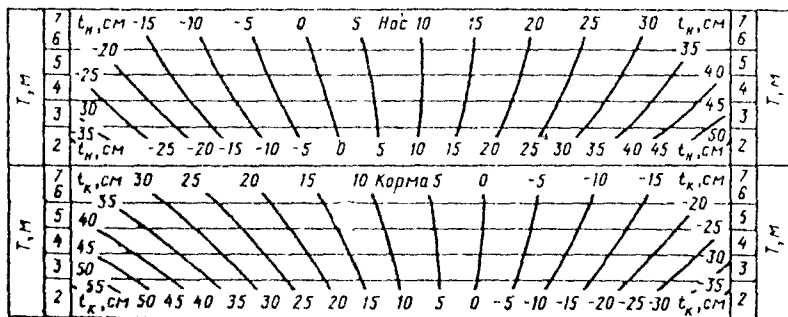
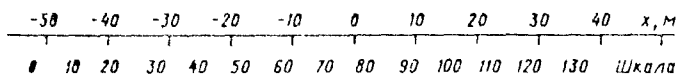
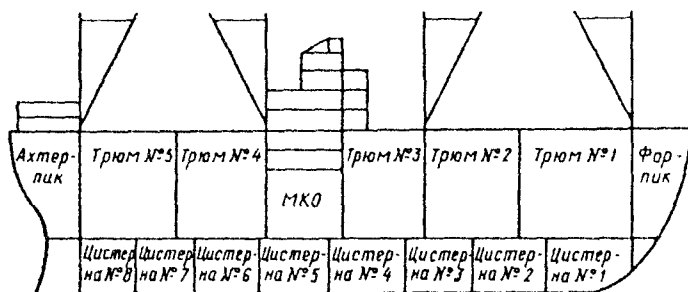
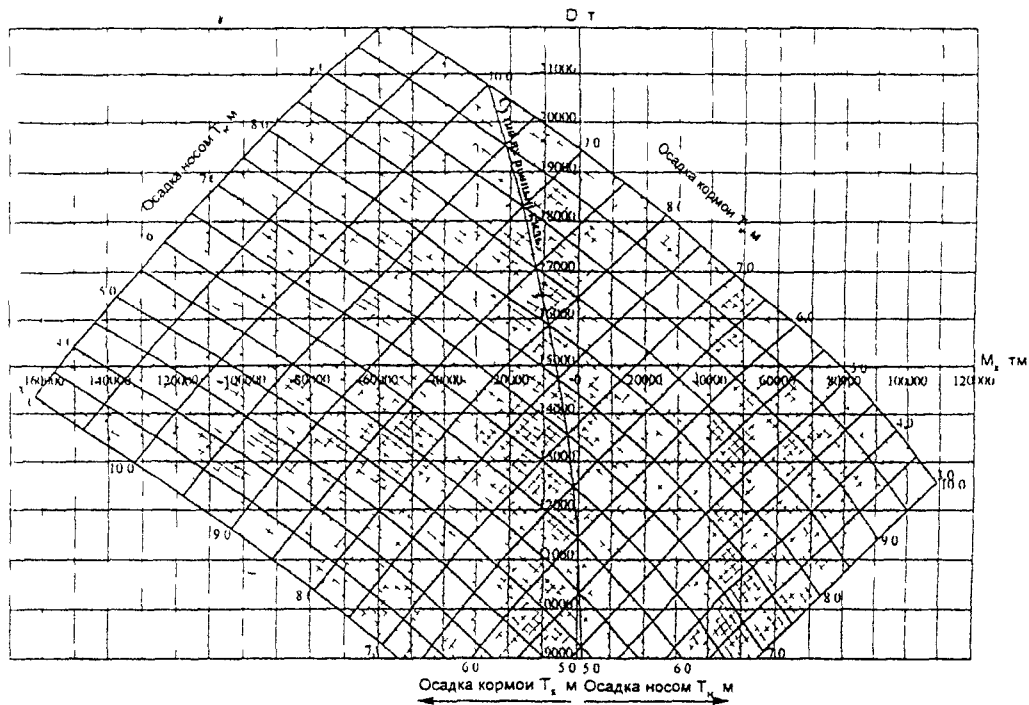


Диаграмма осадок носом и кормой т/х Славянк*



ПРИЛОЖЕНИЕ 17

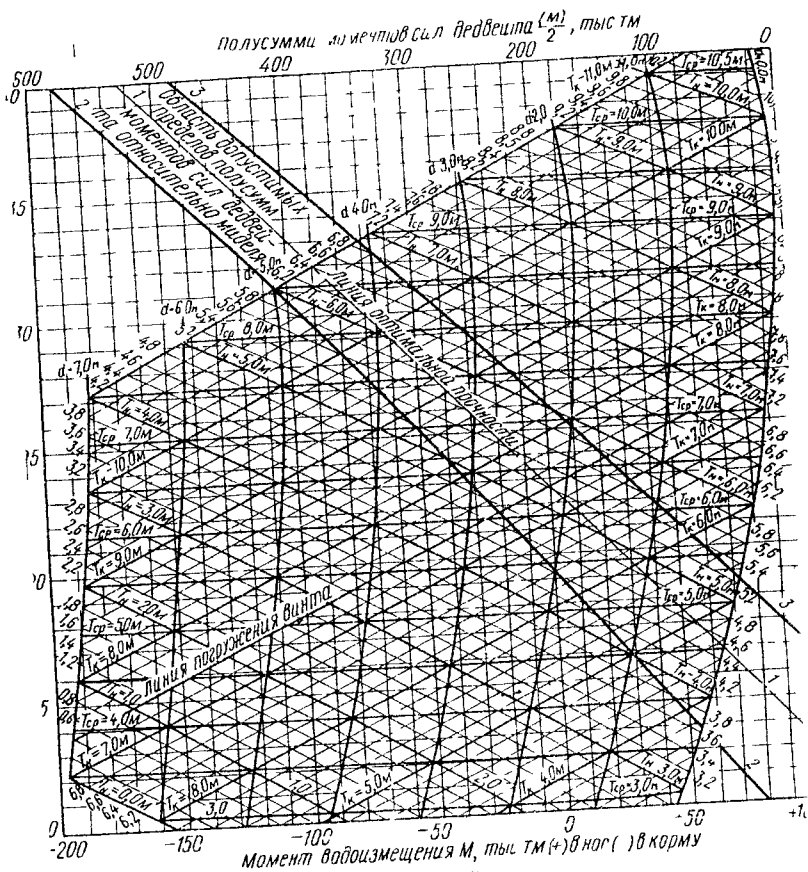
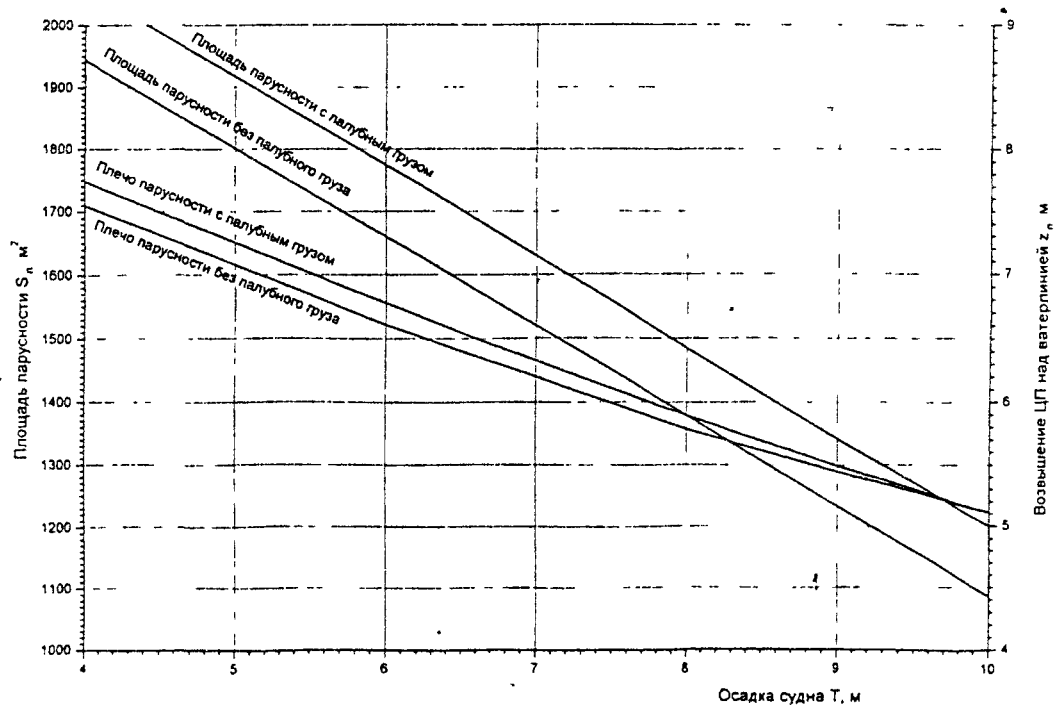


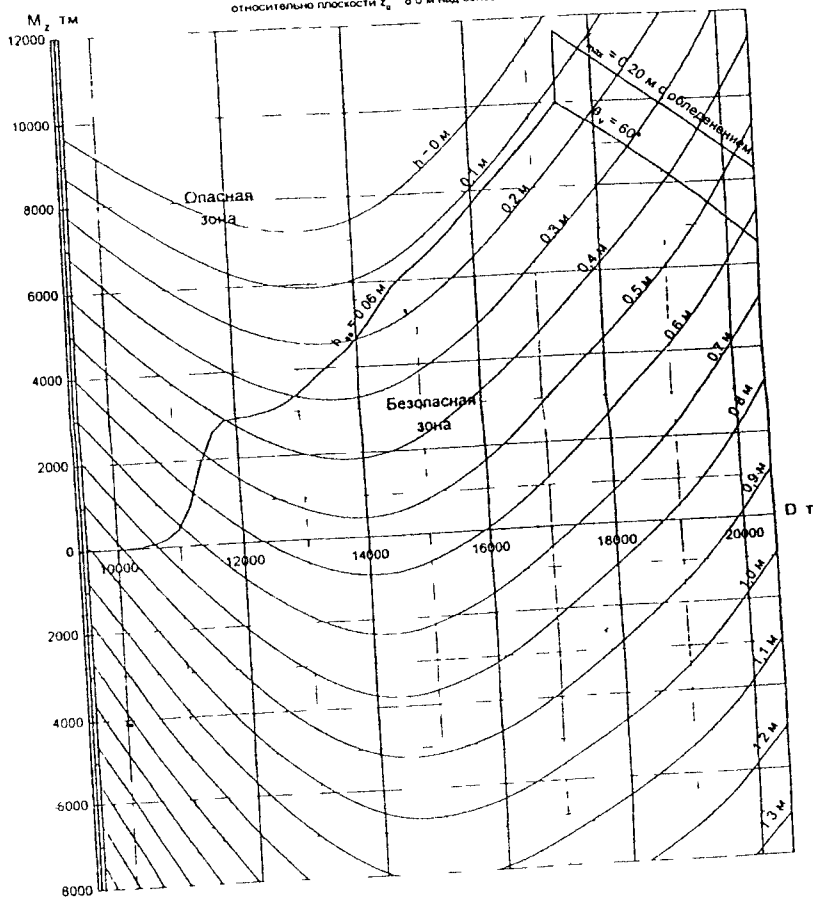
График элементов парусности без обледенения т/х "Славянк"



ПРИЛОЖЕНИЕ 19

Диаграмма допускаемых статических моментов M_z
 т/х Славянск"

относительно плоскости z_0 80 м над уровнем



M.V. 'CHINA POWER'

Name of User	Standard Cond.
Rank of User	Master
Date	03-21-1999
Voyage Number	9
Voyage Nature	Full Load Departure
Type of Cargo	Coin
Port of Departure	Galveston
Port of Arrival	Tokyo
Condition	At Sea

HENG NAVAL ARCHITECT
ENGINEER CONSULTANT LTD.

1807 B Commercial Tower, No 8 Sun Yip Street, Chi Wan, Hong Kong
Tel 2515 0388
Fax 25859430
Cable 'Navalco' HongKong



PETER C.
& MARINE

1807 B Commercial
Tel 2515 0388
Cable 'Navalco'

ПРИЛОЖЕНИЕ 21

M.V. CHINA POWER
Voyage No. : 9
03-21-1000

Grain Load Medium Voy. S.F=45 (Dep.)

** Cargo Hold **	Capacity (Ft3)	% Full	S G (MG/MT)	Weight (LT)	LCG (Ft)	VCG (Ft)	TCG (Ft)	G H M (LT-Ft)
No 1 Cargo Hold	205230.0	100.0	45.000	4500.7	-182.000	27.100	0.000	2651.1
No 2 Cargo Hold	247340.0	100.0	45.000	5400.4	-104.800	24.600	0.000	5213.3
No 3 Cargo Hold	23404.4	15.2	45.000	522.1	-32.070	7.500	0.000	9550.1
No 4 Cargo Hold	244030.0	100.0	45.000	5422.0	30.900	24.500	0.000	5300.7
No 5 Cargo Hold	233055.0	100.0	45.000	5170.0	123.310	25.410	0.000	5371.1
Sub Total	863149.4			21181.1	-28.862	24.977	0.000	26001.3
ИТЕМ	Capacity (Ft3)	% Full	Sound (Ft)	Weight (LT)	LCG (Ft)	VCG (Ft)	TCG (Ft)	F S M I (LT-Ft)
** Water Ballast Tank **								
Fore Peak Tk								
No 1 D B T (C) & T S T (P/S)								
No 3 D B T & W T & T S T (P)								
No 3 D B T & W T & T S T (S)								
No 4 D B T & T S T (P)								
No 4 D B T & T S T (S)								
Aft Peak Tank								
Duck Keel								
No 3 Cargo Hold								
Sub Total								
** Fresh Water Tank **								
Wash Water Tk (P)								
Wash Water Tk (S)								
Potable Water T (S)								
Sub Total								
** Fuel Oil Tank **								
No 2 D B center T (P)								
No 2 D B center T (S)								
No 2 D B wing T (P)								
No 2 D B wing T (S)								
No 5 Double B T (P)								
No 5 Double B T (S)								
F O Smt Tk (S)								
F O Smt Tk (S)								
Sub Total								
** Diesel Oil Tank **								
No 5 Top side Tk (P)								
No 5 Top side Tk (S)								
D O Service Tk (P)								
D O Service Tk (S)								
Sub Total								
** Light Weight **								
** Constant & Misc **								
TOTAL				27006.0	-11.418	25.062	-0.010	10337.1

NOTE

Sea Water	S G	1.000	Fuel Oil	Density	0.935 (T/M3)
Ballast Water	Density	1.025 (T/M3)	Diesel Oil	Density	0.870 (T/M3)
Fresh Water	Density	1.000 (T/M3)	Lub Oil	Density	0.920 (T/M3)

ПРИЛОЖЕНИЕ 22

M.V. "CHINA POWER"
Voyage No. : 9
03-21-1999

Trim and Stability Information

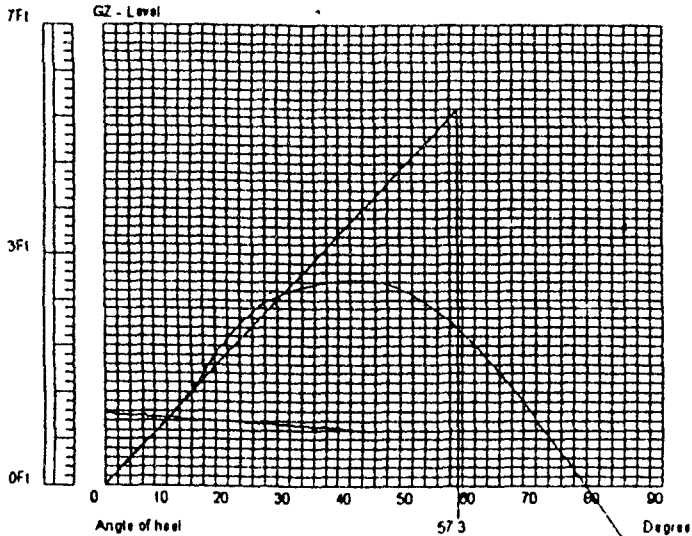
Trim Information

Displacement	(LT)	27666
Corresp Draft	(Ft)	33 107
Draft F.P	(Ft)	33 235
Draft A.P	(Ft)	32 982
Draft Mean	(Ft)	33 108
Trim	(Ft)	-0.253
M B	(Ft)	-11,118
M G	(Ft)	-11,418
B G	(Ft)	-0.300
M T I	(LT-Ft)	2756 946
M F	(Ft)	2 402
T P I	(L)	80 154
T K M	(Ft)	31 390
K G	(Ft)	25 852
G M	(Ft)	5 738
G G o	(Ft)	0,371
K G o	(Ft)	28,032
K G o (Max. Permissible)	(Ft)	9,079
G o M	(Ft)	5,367
Propeller Immer	(%)	180 073

Stability Information

Range of Stability	(Deg)	77 878	
Maximum Go Z	(Ft)	2,912	
Angle of Max. Go Z	(Deg)	40 858	
Residual Dynamical Stability (M-Rad)			
Area under Curve	Available	Required	
0 to 30 degrees	0.236	0.055	
0 to 40 degrees	0.368	0.090	
30 to 40 degrees	0.152	0.030	
Flooding Angle (Deg)			40 858
Heel Angle by Wind (Deg)			0 877
Min Angle (15, 8°DK line) (Deg)			18 000
Area A (Potential energy)			0 189
Area B (Dynamic Stab)			0 371
Ratio C (Area B / Area A)			1 987
Grain Heeling Moment (LT-Ft)		Actual	Allowable
		26381.3	34084.3

Statical Stability Curve



ПРИЛОЖЕНИЕ 23

M.V. CHINA POWER
Voyage No. 03-21 10.

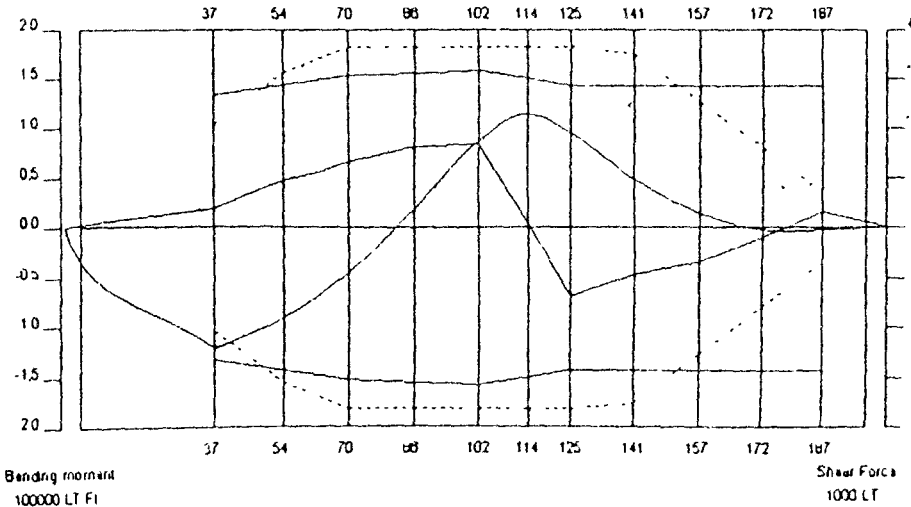
Bending Moment and Shear Force Table

Frame No	Distance from A.P (Ft)	Shear Force		Bending Moment		Status	
		Actual (LT)	% Maximum allowable	Actual (LT-Ft)	% Maximum allowable	S.F	B.M
37	87.782	358.7	13.52	12147.4	117.85	OK	NO
54	132.382	928.3	32.38	9083.6	58.39	OK	OK
70	174.377	1313.5	42.90	-4484.4	24.71	OK	OK
86	218.371	1820.0	52.08	1766.8	9.81	OK	OK
102	258.366	1872.2	52.88	8834.1	47.71	OK	OK
114	299.862	56.0	1.83	11404.3	82.86	OK	OK
125	318.734	-1374.3	48.03	9432.3	51.83	OK	OK
141	360.729	-929.6	32.49	47418.5	27.00	OK	OK
157	402.724	-868.1	24.05	13807.5	10.94	OK	OK
172	442.094	-207.8	7.28	-3006.9	3.69	OK	OK
187	480.841	304.7	10.85	2789.8	8.08	OK	OK

Approx Allow Shear Force 3162.0
 Approx Max Shear Force 1872.2 (LT) at Fr No 102.0

Approx Allow Bending Moment -10325.0
 Approx Max Bending Moment -12147.4 (LT Ft) at Fr No 37.0

Bending Moment and Shear Force Diagram



СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Белан Ф Н , Чудновский А М Основы теории судна – Л Судостроение, 1978
- 2 Горячев А М , Подругин Е М Устройство и основы теории морских судов Л Судостроение, 1971
- 3 Бекенский Б В Практические расчеты мореходных качеств судна – М Гранспорт, 1978
- 4 Аксютин Л Р Грузовой план судна Одесса Латстар, 1999
- 5 Правила классификации и постройки морских судов Регистра Украины
- 6 Мельник В Н Эксплуатационные расчеты мореходных характеристик судна М Гранспорт, 1990
- 7 Мельник В Н , Сизов В Г , Степанов В В Эксплуатационные расчеты мореходных качеств судна – М В/О "Мортелинформреклама, 1987