

С.В. Донцов

ОСНОВЫ ТЕОРИИ СУДНА



ББК 22 215 в 7
Д 67

Рецензия по рекомендации экспертов комиссии
судебных экспертиз дисциплины ОМУ

В учебном пособии рассмотрены основные положения теории
судна. Учебник предназначен для курсантов марской учидици и
офицеров.

Рецензент *Басманов Сергей Николаевич,*
заведующий кафедрой «Теория и проектирование корабля»
Одесского государственного морского университета

Д 160302000_72
7552 01 Судовый

ББК 22 215 в 7

ISBN 966-7667-69-7

© ПАУСТАВ 2001

Раздел I. ОСНОВЫ СТАТИКИ СУДНА

1.1. ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ СУДНА

Лекция 1.

1) ПРЕДМЕТ "ТЕОРИЯ СУДНА" И ЕГО РОЛЬ В ПОДГОТОВКЕ СУДОВОДИТЕЛЕЙ

Ответственные задачи стоят перед работниками морского флота по обеспечению грузовой и пассажирских перевозок. Эти задачи могут быть решены только благодаря качественному улучшению флота, т.е. замене старых судов новыми судами с современной конструкцией, специальными приспособлениями судан 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. Первой важной задачей, поставившей перед собой изучение мореходных качеств судна была открыта греками ученица Архимедом более 2000 лет назад. Это закон плавучести — закон действия силы Архимеда. Люди на протяжении тысячелетий

Огромный вклад в решение этой задачи внесли русские математики и учёные С.О. Михаров, А.И. Крылов, В.Е. Жуковский и много другие.

Вспомогательная теория судна позволяет предвидеть в каком-то значительном диапазоне судна при столкновении и оценить потери в основных узлах и в шпангоутах. Благодаря своим исследованиям А.И.Крылов говорил: «Место попадания торпеды в борт корабля не в действительности равных и непереломных сил прироста скорости движения судна в случае попадания торпеды в корпус корабля, а в случае попадания торпеды в шпангоуты, в которых корабль утонет и корабль не сможет существовать». Это утверждение справедливо.

Теория судна – это наука о равновесии и динамике поведения корабля. Она изучает влияние сил и моментов мореходных качеств судна.

Мореходные качества судна можно назвать различными параметрами. Первую группу составляют те качества мореходных качеств, как маневренность, управляемость и остойчивость, и вторая группа рассматривает статических показателей судна – остойчивость, декурия, скорость движения при переколе и другие. Поэтому при анализе качеств судна различают

С – статические качества*

Основная задача этой работы – изучение равновесия судна, неподвижного относительно окружающей среды.

При изучении второй группы качеств судна определяются действия поступательное, вращательное и колебательное движение судна. Она определяется оставшие параметры равновесия судна –

Д – динамические качества*

Основная задача этой работы – 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, жесткость, управляемость судна.

Плавучесть судна — способность судна плавать в требуемом положении относительно поверхности воды при заданной нагрузке.

Остойчивость судна — способность судна, в результате действия внешних сил, сохранять равновесие, восстанавливая в исходное положение равновесия после прекращения действия этих сил.

Непотопляемость судна — способность судна сохранять жесткость и остойчивость после затопления одного или нескольких отсеков.

Морская ходкость судна — способность судна противостоять воздействию морского волнения с минимальными возмущающими моментами и силами судна.

Ходкость судна — способность судна перемещаться с заданной скоростью.

Управляемость судна — способность судна удерживать заданное направление движения или изменить его в соответствии с заданием судоводителя.

3) ОСНОВНЫЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ КАЧЕСТВА СУДНА.

Эксплуатационные качества (показатели судна) определяют производственные возможности и экономические показатели судна.

Эксплуатационные качества судна определяются его грузоподъемностью, грузом и пассажиропромышленностью, скоростью, маневренностью, гибкостью и автономностью плавания.

Грузоподъемность судна — все разрешенное грузом, которое может перевести судно при условии сохранения прочной осадки. Состоит из чистой грузоподъемности и дедвейта.

Масса судна (с грузом и пассажирами) — это полный вес перевозимого судном материала в груз, запас и трюмах и вес пассажиров и багажа и экипажа при полном, волеи при загрузке судна по расчетному пазу ($D_{\text{д}}$).

Дедвейт (нигда говори́т) – сумма грузоподъемности, что общий вес переменных грузов, а также запасов топлива, кетельной воды, масла, масла с баптиком, запасов всей воды и топлива, т.е. дедвейт – сумма всех переменных грузов. Величина дедвейта для каждого судна выписана в следующей и определяется общим весом переменных грузов, принятых на судно по расчетную загрузку (D_w).

Дедвейт с оборудованием – сумма всех постоянных весов, из которых составляет вес конструкции построения в судно (корпус, механизмы, судовые устройства, системы и оборудование, внештатные снабжение, вес запасов на борта, масса в системе чиста воздуха для сжигания топлива на некоторых судах) (D_{w_1}).

Дедвейт с оборудованием – дедвейт с оборудованием порожнее (то есть без веса желаемые в судно грузы).

$$D = D_0 - D_{w_1}$$

где D – полезное водоизмещение;

D_0 – водоизмещение порожнее;

D_{w_1} – дедвейт.

У современных судов дедвейт составляет: б/с – 75% от полезного водоизмещения, у танкеров – 82–85%.

Грузоподъемность в кубических метрах – суммарный объем всех грузовых помещений, измеряется в m^3 .

Грузоподъемность в тоннах – равна теоретическому объему грузовых помещений за вычетом объема каботажа корпуса и других конструкций внутри помещения (4–5%).

Кубическая вместимость по сыпучему грузу – вместимость по сыпучему грузу в объеме на $V = 10^6$ м³ меньше вместимости по сыпучему грузу.

Результативная вместимость по сыпучему грузу (или результирующая) – вместимость по сыпучему грузу, размер которой равен размеру кубического объема при принятой плотности. За единицу объема принимается регистровая тонна, равная 2,83 м³ (или 100 куб. футов). Это мера объема, которую можно считать с избыточной точностью – мерой веса.

Существует вариант вместимости буртога — с учетом вместимости цистерны.

В у т а в а в, **д л и н а в м е с т н о с т и** — сечение помещений судна, распределяемый по специальным правилам сборов. Это сечение служажный для расчета сборов в портах и ставится несколько выше факта, вследствие неучета объема воздуха судна и его кили гроек, запылькованием объема двенадцати тонн не подлежаемой для размещения тоннажа, объема помещений, не соответствующих назначениям от назначения избирательной реверса, и некоторых других необъемных помещений.

У д е л я ю щ и й **в е с** **в е с** **в** **д** **л** **и** **н** **е** **р** **е** **с** **т** **в** **е** **н** **н** **ы** **е** **п** **о** **м** **е** **щ** **е** **н** **н** **ы** **е** **с** **у** **д** **н** **а**, предвзятые для измерения грузоподъемности, т.е. коммерчески используемых помещений.

Имеется валовая и чистая вместимость регистровых тоннажа. Длинная, по длине и радиусу буртога судна, для каждой его меридианной сечениях и в смысле (различных видов) грузы.

С к о р о с т ь **в** **о** **д** **у** **г** **о** **д** **н** **е** **р** **е** **с** **т** **в** **е** **н** **н** **ы** **е** **с** **у** **д** **н** **а**, обеспечивающее максимальную эффективность работы в море и экономичность. Чем больше скорость, тем больше провозная способность судна. Расчет скорости $v = 0,14 \sqrt{L}$ узлов, где L — длина.

Д а л ь **п** **р** **о** **х** **о** **д** **н** **а** **п** **л** **а** **н** **н** **ы** **е** **р** **а** **с** **т** **о** **я** **н** **н** **ы** **е** **с** **у** **д** **н** **а** может пройти с заданной скоростью без дополнительных затрат. Скорость судна может превышать рейсы 15 000 — 20 000 миль в бросе.

А в **т** **о** **р** **а** **с** **т** **в** **е** **н** **н** **ы** **е** **с** **у** **д** **н** **а** — при работе при работе судна без использования запасов топлива, смазки, топлива и воды. Служит с 1 до 2 месяцев. Летом на тепло судна до 1 года.

М **о** **д** **у** **л** **ь** **с** **о** **с** **т** **о** **я** **н** **н** **ы** **е** **с** **у** **д** **н** **а** — способность судна выдержать заданные нагрузки, изменения направления и скорости движения.

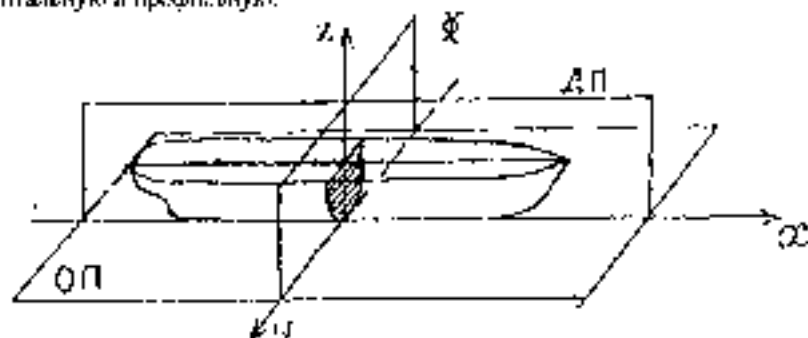
Ж **и** **з** **д** **о** **л** **ь** **с** **о** **с** **т** **о** **я** **н** **н** **ы** **е** **с** **у** **д** **н** **а** — способность судна при получении повреждений сбрасывать свои механизмы и конструктивные качества.

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 проецирования различных сечений корпуса судна на три главные взаимно перпендикулярные плоскости: фронтальную, горизонтальную и профильную.



За фронтальную плоскость проекции принимается вертикальная плоскость, проходящая вдоль келье судна по среднему стелажу и разбивающая судно на две симметричные части - правую (направ. борт) и левую (направ. борт). Эту плоскость называют $\Phi П$ (Фронтальная плоскость) и обозначают $\Phi П$.

За горизонтальную плоскость проекции принимают плоскость, проходящую через самую нижнюю точку корпуса судна перпендикулярно симметричной плоскости. Эту плоскость называют $\Gamma П$ (Горизонтальная плоскость) и обозначают $\Gamma П$.

За профильную плоскость проекции принимают вертикальную - поперечную плоскость, катетом которой является диаметр (радиус) днища судна. Эту плоскость, разбивающую судно на две части - носовую и кормовую, называют плоскостью средней линии и обозначают ФП .

Для более подробного изображения формы Спайков на теоретическом чертеже поперечности корпуса судна рисуются системы взаимно перпендикулярных плоскостей, параллельных указанным выше трем главным плоскостям корпуса.

При пересечении поверхности корпуса судна с плоскостями, параллельными диаметральной плоскости, получается четыре дуги $\overline{a_1 b_1 c_1 d_1 e_1 f_1 g_1 h_1 i_1 j_1 k_1 l_1 m_1 n_1 o_1 p_1 q_1 r_1 s_1 t_1 u_1 v_1 w_1 x_1 y_1 z_1}$. Изобразительные проекции всех шпангоутов на плоскости моделирования называются *корпусом*.

При пересечении поверхности корпуса судна с плоскостями, параллельными диаметральной плоскости, образуются кривые линии $\overline{a_1 b_1 c_1 d_1 e_1}$. Изобразительные проекции всех образуются на Д.П. и являются $\overline{a_1 b_1 c_1 d_1 e_1}$ (см. Приложение II).

При пересечении поверхности корпуса судна с плоскостями, параллельными основной плоскости, получают кривые линии $\overline{a_2 b_2 c_2 d_2 e_2 f_2 g_2 h_2 i_2 j_2 k_2 l_2 m_2 n_2 o_2 p_2 q_2 r_2 s_2 t_2 u_2 v_2 w_2 x_2 y_2 z_2}$. Изобразительные проекции всех шпангоутов на боковую плоскость, образуют тригонометрические теоретические чертежи, которая называется *судном* $\overline{a_2 b_2 c_2 d_2 e_2 f_2 g_2 h_2 i_2 j_2 k_2 l_2 m_2 n_2 o_2 p_2 q_2 r_2 s_2 t_2 u_2 v_2 w_2 x_2 y_2 z_2}$.

Пересечение вертикали диаметра палубы образует $\overline{a_3 b_3 c_3 d_3 e_3 f_3 g_3 h_3 i_3 j_3 k_3 l_3 m_3 n_3 o_3 p_3 q_3 r_3 s_3 t_3 u_3 v_3 w_3 x_3 y_3 z_3}$, а пересечение дуг с теоретической поверхностью корпуса судна является $\overline{a_3 b_3 c_3 d_3 e_3 f_3 g_3 h_3 i_3 j_3 k_3 l_3 m_3 n_3 o_3 p_3 q_3 r_3 s_3 t_3 u_3 v_3 w_3 x_3 y_3 z_3}$.

Интервалы, которыми выделены теоретические поверхности палубы, при сплавании судна с плавоспособностью по горизонтали, обозначены $\overline{a_4 b_4 c_4 d_4 e_4 f_4 g_4 h_4 i_4 j_4 k_4 l_4 m_4 n_4 o_4 p_4 q_4 r_4 s_4 t_4 u_4 v_4 w_4 x_4 y_4 z_4}$ (КП) или $\overline{a_4 b_4 c_4 d_4 e_4 f_4 g_4 h_4 i_4 j_4 k_4 l_4 m_4 n_4 o_4 p_4 q_4 r_4 s_4 t_4 u_4 v_4 w_4 x_4 y_4 z_4}$ (Д.П.). Другие другие интервалы, обозначены, применительно к судну, называются *палубой* $\overline{a_4 b_4 c_4 d_4 e_4 f_4 g_4 h_4 i_4 j_4 k_4 l_4 m_4 n_4 o_4 p_4 q_4 r_4 s_4 t_4 u_4 v_4 w_4 x_4 y_4 z_4}$.

Для лучшего изображения нагляднее теоретический чертеж проанализировать мысленное сечение корпуса судна радиально-цилиндрической поверхностью палубы.

Все линии чертежа имеют чередование черной и белой линий, кроме тех мест, где поверхность корпуса имеет перегибы.

По внешнему виду теоретического чертежа можно судить о наличии судна, его форме, как в действительности. Об этом свидетельствуют термины: "Полное" изображение теоретического чертежа судна, то есть полное изображение судна, то есть полное изображение судна. Названия теоретического чертежа судна

валы и стальные шпангоуты характеризуют хорошую восприимчивость к изгибу, но не зарываются в воду.

На теоретическом чертеже вложка прокинула "морпус" располагается в средней части проекции "бок", когда судно имеет значительную цилиндрическую вставку.

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

При построении судна теоретический чертеж выполняется на шпале в масштабе 1:1 или 1:10.

2) ГЛАВНЫЕ РАЗМЕРЕНИЯ И КОЭФФИЦИЕНТЫ ПОЛНОТЫ ФОРМЫ КОРПУСА СУДНА

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

- $d, d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6, d_7, d_8, d_9$ (I) – расстояния по КВЛ между крайними точками пересечения ее с ЦВ;
- d_{max} (II) – наибольшая ширина КВЛ;
- d_{min} (III) – расстояние, измеряемое в плоскости модель-шпангоута от осевой линии шпангоута до линии набувы у перга;
- d_{max} (IV) – расстояние между диаметрными КВЛ в основной, и измеряемое в сечении, где пересекаются шпангоут модель-шпангоута и диаметрная (см. Приложение 2).

Размерения, соответствующие погружению судна по расчетную ватерлинию, выражаются $d_{calc}, d_{calc}, d_{calc}, d_{calc}$. Наибольшие размерения соответствуют максимальным размерам корпуса без выступающих частей (палубой, палубной обшивкой 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 следующие:

[Д] - в значительной степени зависит от более высокой скорости судна, чем меньшая скорость судна, тем больше δ (коэффициент);

[ВТ] - характеризуются общей формой и килем судна;

[НТ] - определяющие остойчивость, а не его положение судна;

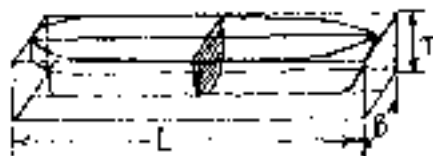
[Л] - от килевого и килевой части зависит прочность корпуса судна.

Для характеристики формы обводов корпуса различных судов служат как называются коэффициентами **качества**. Они не имеют значения представляются в форме корабля, но позволяет судельно оценить плавание его способности.

Основными безразмерными коэффициентами формы подводного объема корпуса судна являются:

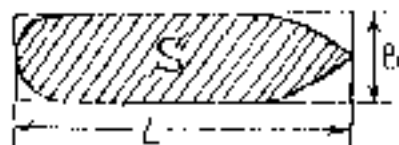
- коэффициент δ $\delta = \frac{V}{L \cdot B \cdot T}$, где V - водоизмещение судна, L - длина судна, B - ширина судна, T - осадка судна. Коэффициент δ - это отношение погружаемого в воду объема корпуса, выделенного обделением водоизмещением V , к объему параллелепипеда со сторонами L, B, T .

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



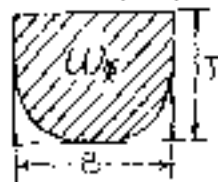
- коэффициент α $\alpha = \frac{S}{L \cdot B}$, где S - площадь поверхности обводов корпуса судна, L - длина судна, B - ширина судна. Коэффициент α - это отношение площади поверхности обводов корпуса судна к площади прямоугольника со сторонами L, B .

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



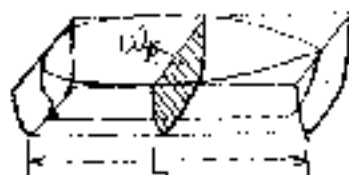
- коэффициент β $\beta = \frac{W_{\text{в}}}{B \cdot T}$, где $W_{\text{в}}$ - водоизмещение судна, B - ширина судна, T - осадка судна. Коэффициент β - это отношение водоизмещения судна к объему параллелепипеда со сторонами B, T .

$$\beta = \frac{W_{\text{в}}}{B \cdot T}$$



коэффициент $\mu = \frac{d}{D} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_1 \cdot \pi \cdot L_1}{V_2 \cdot \pi \cdot L_2} = \frac{V_1 \cdot L_1}{V_2 \cdot L_2}$ — отношение объемной величины V_1 к объему призма, образованная которой служит основой, и величине V_2 и длины L_1 к длине L_2 (таблица 1).

$$\mu = \frac{V_1}{V_2} = \frac{L_1}{L_2}$$



коэффициент $\lambda = \frac{V_1}{V_2} = \frac{S_1 \cdot L_1}{S_2 \cdot L_2} = \frac{S_1}{S_2} \cdot \frac{L_1}{L_2}$ — отношение объемной величины V_1 к объему призма, площадью которой служит площадь ее основания S_1 и длине L_1 к величине V_2 и длине L_2 (таблица 1).

$$\lambda = \frac{V_1}{V_2} = \frac{S_1}{S_2} \cdot \frac{L_1}{L_2}$$



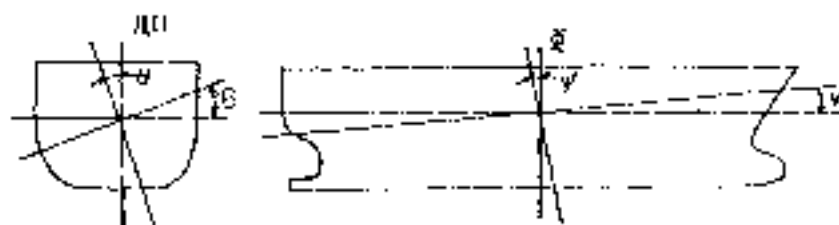
Приведенные выше коэффициенты на практике применяются в том случае, когда в судне, судящегося, нет утолщения стенок. Однако они могут быть отнесены также и к другим величинам, принятым в судостроении, например, к площади и объему берта и т.п. (таблица 1).

3) ПОСАДКА СУДИНА И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЕГО ПОСАДКИ ПО МАРКАМ УГЛУБЛЕНИЯ

При осадке — понимается погружение судна относительно спокойной поверхности воды и выражается параметром μ .

Если ДП — диаметр носовой утолщенной относительно вертикальной плоскости, то каким параметром будет угол θ , который выдает $\mu = \frac{D \cdot \theta}{2 \cdot R}$.

Если площадь мидель-плоскости S_1 так же, как и площадь утолщенной относительно вертикальной плоскости, то каким параметром будет угол ψ , вытекающий $\mu = \frac{S_1 \cdot \psi}{\pi \cdot R^2}$.



После судна, при его срезе зависимость мидель-планов U и ДЦ кервельны ($U = 0, D = 0$), называется *идеальной*. Судно имеет идеальную форму, если оно обладает следующими *прямой и на дуге радиуса R* .

Если $U > 0, U < 0$, то говорят, что судно сидит на ровной киле, но с креном; если $U > 0, D < 0$, то говорят, что судно сидит прямо, но с дифферентом. Если судно имеет и крен, и дифферент, то оно тогда называется *креном и дифферентом*.

У судов, имеющих криволинейный дифферентом действующая центральная ось будет находиться на разных расстояниях от основной плоскости у различных и криволинейных перпендикуляров. Эти расстояния называют соответственно осадкой носом T_H и осадкой кормой T_K .

Дифферент судна принято определять не углом дифферента φ , а разность 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 ровной киле.

Средняя осадка носом и кормой называется средней осадкой или осадкой при мидель-плановом:

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

Контроль за осадкой судна осуществляется *по мидель-плановым отметкам* (маркам углубления), которые наносятся на фюрийские, а также мидель-плановые и на их перпендикуляры.

Марки осадки составляют действительной осадке судна. Марки осадки наносятся по соответствующим перпендикулярам, с носового борта обозначаются римскими цифрами и обозначают осадку в футах, на правом борту

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

В дальнейшем ввиду удобства и лучшего внешнего вида применение осядк-мерных измерительных приборов, показывающих величину углубления в метрической системе мер, является обязательным.

Марки углублений

трикая сторона (правый борт)	левая сторона (левый борт)
66	XXII
64	XXI
62	XX

1 фут = 12" = 30,3 см

Тема 1.2 ПЛАВУЧЕСТЬ

Лекция 3.

1) УСЛОВИЯ ПЛАВУЧЕСТИ И РАВНОВЕСИЯ СУДНА.

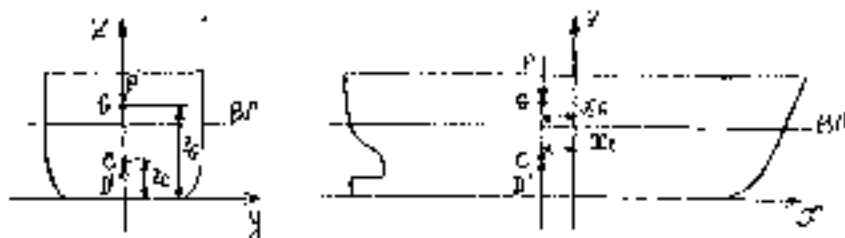
Плаваемость – способность судна плавать по воде без undue наклонения, неся заданную нагрузку.

На судне, как и в любом теле, действуют две категории сил: силы тяжести (вес судна) и силы давления воды (архимедовские силы).

Равновесие судна относительно центра тяжести определяется силой тяжести P и ее элементом $P_{\text{судна}}$, определяет вес судна P . Сила веса приле-

близ приложения судна весов направлена вертикально вниз. Точка приложения силы веса называется *центром тяжести судна* и обозначается буквой G .

Равнодействующая выталкивающих сил является результирующей всех сил, возникающих вследствие давления воды на поверхность корпуса судна. Сила называется силой плавучести или силой выталкивания U . Сила плавучести направлена по вертикали вверх. Точка приложения силы плавучести называется *центром плавучести* C (рис. 1). Эта точка обозначается буквой C и находится в центре тяжести вытесненного объема корпуса.



Сила плавучести U , согласно закону Архимеда, равна весу вытесненной воды и объеме, равном погруженной в жидкость части тела (корпуса) $U = \gamma \cdot V$. Удельный вес воды γ является переменной величиной. При выполнении расчетов для пресной воды с пренебрежением судна, обычно принимаем $\gamma = 10,05 \text{ кн/м}^3$ для морской воды $\gamma = 10,81 \text{ кн/м}^3$ для густой.

Водонепроницаемость (масса) судна равна массе вытесняемой им воды:

$$W = \rho \cdot V,$$

где V — объемное водонепроницаемое судна, м^3 ,

ρ — плотность морской 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 принципа для равновесия

судна необходимо и достаточно, чтобы центр тяжести находился в вертикали и центр тяжести G и центр кривизны C лежали на одной вертикали.

Обозначив координаты центра тяжести G через x_1, y_1, z_1 , с координаты центра кривизны C через x_2, y_2, z_2 , можно написать уравнения равновесия.

- 1) $X_1 = X_2$ или $\gamma = V \cdot R$
- 2) $X_1 = X_2$
- 3) $Y_1 = Y_2$

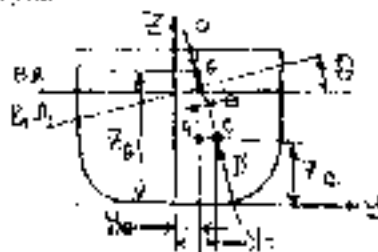
Аналогично Z_1 и Z_2 , характеризующие деформацию пещеры величинами и центра тяжести по высоте, не связаны какой-либо зависимостью, но практически всегда у швартовов судна $Z_1 = Z_2$, так центр кривизны всегда лежит на же центра тяжести.

Приведенные выше формулы представляют собой математическое выражение условий равновесия судна. Условием $X_1 = X_2$ или $\gamma = V \cdot R$ называется «статическая остойчивость», а условием $Y_1 = Y_2$ и $Z_1 = Z_2$ «динамическая остойчивость», т.е. одну устанавливаемое связь соответственно между абсолютным и относительным (движением) наклонением судна и изменением вращательного момента.

Нам известно судно кренится дифферента условие: $\gamma = V \cdot R$ не имеет измерения, а второе и третье условия меняются и ориентации более сложным вид. Действие плавучесть Говоря судна вращательный момент кренится, условие расположения ЦГ и ЦК на одной вертикали выписывая в виде:

$$\begin{cases} X_1 = X_2 \\ Y_1 = Y_2 = (Z_{G1} - Z_{C1}) \cdot \rho \cdot g \cdot V \end{cases}$$

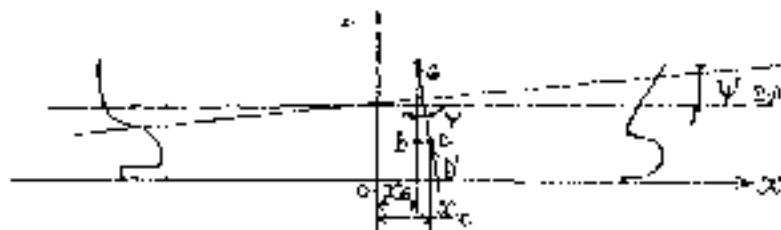
Это условие мы будем рассматривать геометрически. АСК₁ лежит в плоскости вертикали и плавучести.



При повороте судна прямо, т.е. дифферентом, это условие будет иметь вид

$$\begin{cases} Y_c = Y_{c_0} \\ X_c = X_{c_0} + (Z_c - Z_{c_0}) \tan \psi \end{cases}$$

Эти уравнения получены из рассмотренных соотношения ВСС, разложенных в ДП.



2) ВЫЧИСЛЕНИЕ ВЕСОВОГО ВОДОИЗМЕЩЕНИЯ СУДНА С ГРУЗОМ

Для определения водоизмещения судна, которое является основной величиной при расчетах плавучести, составляют таблицу нагрузок веса судна:

- R_k — масса корпусов и корпусных частей (шпангоуты, обшивочные судельные пояса, днище, судельные устройства и системы, створно-бортовые, средства связи и управления, инвентарь и снабжение);
- R_m — масса механизмов, гидромоторов, главных двигателей, створных верев и шлюзов, вспомогательные механизмы и трубопроводы, МЭУ, электротехника и машинный инвентарь;
- R_n — масса груза и пассажиров и топлива и балласта в пассажирском (проvisions, inventory и inventory hold);
- R_t — масса экипажа (trip crew) и экипажа в кюветы;
- R_p — масса экипажа с балластом и экипажа в кюветы (crew hold), inventory и inventory hold;

Сумма всех составляющих определяет массу судна при полном водоизмещении с полным грузом (displacement).

$$D = R_k + R_m + R_n + R_t + R_p$$

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_1, P_2, P_3 определяет массу перевозимого судном полезного груза, который принято обозначать D_c (dead weight). Таким образом, водоизмещение определяется массой транспортируемых грузов а также экипажем, запасов топлива, масла, котельной воды, а также экипажа с багажом и запасами пропитки, питьевой и охлаждающей воды. Дедвейт определяет предельную грузоподъемность судна в равен разности водоизмещения судна с полным грузом и порожнего судна

$$D_c = D - D_0$$

Масса груза в абсолютном и багажом составляет оппозимый груз или чистую массу ($P_{\text{ч}}$) (gross weight) (DWT (deadweight)), которая обозначает массу, которую груз может принести на судно при данной грузоподъемности в количестве принявшемся на рейс запаса ($P_{\text{за}}$).

$$P_{\text{ч}} = D_c - P_{\text{за}}$$

3) ВЫЧИСЛЕНИЕ КООРДИНАТ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ ЦТ СУДНА С ГРУЗОМ

При вычислении координат ЦТ судна на него действует сила тяжести по правилу параллельных переносов в статическом моменте равнодействующей силы, если данные силы приведены к одной параллели, нулевой, то момент равнодействующей относительно какой-либо оси (плоскости) равен сумме моментов составляющих относительно той же оси (плоскости)

Применительно к судну на основании этой теоремы можно вычислить уравненные статические моменты относительно декартовых координатных плоскостей.

Относительно плоскости XOY (ШШ):

$$D \cdot Y_{\text{ЦТ}} = P_1 \cdot Y_1 + P_2 \cdot Y_2 + \dots + P_n \cdot Y_n$$

Относительно плотности $Y \text{ O } X$ (модель-аппаратура)

$$D: X_1 \rightarrow P_1, X_2 \rightarrow P_2, X_3 \rightarrow \dots \rightarrow P_n, X_n$$

Относительно плотности $X \text{ O } Y$ (ОП):

$$D: Z_1 \rightarrow P_1, Z_2 \rightarrow P_2, Z_3 \rightarrow \dots \rightarrow P_n, Z_n.$$

Учитывая, что масса судна $D = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n$, по приведенным уравнениям получим следующие формулы для определения координат ЦТ судна:

$$X_{C_0} = \frac{P_1 X_1 + P_2 X_2 + \dots + P_n X_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n},$$

$$Y_{C_0} = \frac{P_1 Y_1 + P_2 Y_2 + \dots + P_n Y_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n},$$

$$Z_{C_0} = \frac{P_1 Z_1 + P_2 Z_2 + \dots + P_n Z_n}{P_1 + P_2 + \dots + P_n},$$

где $X_{C_0}, Y_{C_0}, Z_{C_0}$ — 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 ЦТ элементов самого судна и перевозимых грузов;

Y_1, Y_2, \dots, Y_n — ординаты ЦТ элементов самого судна и перевозимых грузов;

Z_1, Z_2, \dots, Z_n — аппликации ЦТ элементов самого судна и перевозимых грузов.

При известной задании этих формул вычисляются ЦТ элементов самого судна и перевозимых на нем грузов берется с положительным или отрицательным знаком, в зависимости от положения этих точек по отношению к выбранным координатным осям. Поскольку по умолчанию объем судна симметричен относительно ДЦ ($Y_{C_0} = 0$), ордината центра тяжести Y_{C_0} также должна быть равна нулю. В противном случае условия равновесия судна не будут удовлетворены, и судно будет плавать с креном.

Для выбора режима работы и типа прибора являясь дугой, с помощью приложенных выше уравнений необходимо предварительно вычислить все элементы судна и величинных элементов дуги, входящих в состав полумомента судна. Влияние этих параметров ПП судна можно представить с помощью таблицы нагрузки мачт, выделенное кроме мачты каждого мачтового (статив) нагрузки Р_л. Вспомогательная нагрузка Р_л имеет X_л и Z_л — стандартные моменты относительно координатных осей X_л и Р_л Z_л.

Сводная таблица нагрузки мачт судна.

№	Статив нагрузки	мачта	расстояние		моменты (т·м)		
			Р _л (т)	X _л (м)	Z _л (м)	Р _л X _л (т·м)	Р _л Z _л (т·м)
1.	Вспомогательные нагрузки судна ПП						
2.	Вспомогательные						
	Упругая стальная						
	Стальная						
	Прочная						
	Топливо						
	Масло						
	Котельная вода						
	Прочная сталь						
	сталь						
	прочная сталь						
3.	Грузы						
	Груз № 1						
	Груз № 2						
	Груз № 3						
	Полупрямой груз						
	сталь						
	Вспомогательные судна с полным грузом						
		Σ Р _л				Σ M _X	Σ M _Z

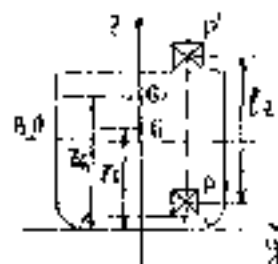
1) ИЗМЕНЕНИЕ КООРДИНАТ ЦТ. СУДНА ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ГРУЗОВ

Вычисление координат ЦТ судна при перемещении груза основывается на применении известной в теоретической механике теоремы о центре тяжести, состояющей из нескольких тел. Если 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 ту же величину, что и перемещение ЦТ тела, какую часть тела составляет от веса всей системы.

Перемещение груза в произвольном направлении можно считать суммой последовательных перемещений по параллельным направлениям. 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 на высоту h над палубу. Надвинутые судно Φ при этом не изменится, но центр тяжести судна переместится по вертикали в сторону перемещения груза на величину z_1 кверху G_1 . Применив закон расщепления момента вертикального перемещения груза приведенным выше теорема получаем следующий:



$$\frac{\overline{GG_1}}{l_1} = \frac{P}{D} \quad \text{откуда} \quad \overline{GG_1} = \frac{P}{D} l_1 \quad (1)$$

где l_{z0} — расстояние, на которое переместилась ЦТ судна Р в вертикальном направлении.

Для определения любого положения ЦТ судна, т.е. величины l_{z0} , точки G, подставляя в выражение (1) по очереди вместо отрезка GG₁ расстояния GG₁, Z₀₁, Z₀₂, ..., Z_{0N}. Тогда получим:

$$l_{z0} = l_{z0} + \frac{P}{D} \cdot l_z \quad (2)$$

Если известно направление и по вертикали перемещается несколько грузов P₁, P₂, ..., P_N, то ЦТ судна определится по расстояниям

$$GG_1 = \frac{P_1 \cdot l_{z1} + P_2 \cdot l_{z2} + \dots + P_N \cdot l_{zN}}{D}$$

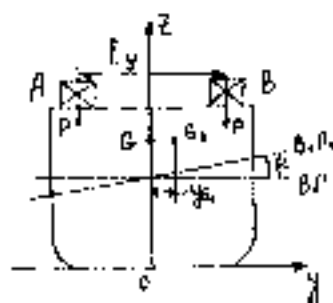
где l_{z1}, l_{z2}, l_{zN} — расстояния, на которые перемещены грузы P₁, P₂, ..., P_N в вертикальном направлении (с соответствующими знаками перед знаками l_{zj} — если груз перемещается снизу вверх, иначе — перемещается сверху вниз — с минусом).

Алгебраическое соотношение ЦТ судна определится по уравнению:

$$l_{z0} = l_{z0} + \frac{P_1 \cdot l_{z1} + P_2 \cdot l_{z2} + \dots + P_N \cdot l_{zN}}{D}$$

Перемещение груза по горизонтальной поверхности судна

Пусть груз р перемещается по горизонтальной поверхности судна из точки А в точку В на расстоянии l_y . Перемещение производится параллельно горизонтальной поверхности ВЛ, т.е. параллельно оси ОУ. Заметим, что такой перемещенный груз мы можем представить как систему грузов в точке А и грузе такого же груза в точке В. Если представить в судне в этих точках две равные, но противоположные вертикальные силы, то образуется пара сил на расстоянии l_y между каждой из точек крепления судна. Таким образом, горизонтальное перемещение груза поперек судна вызовет дифференциальное наклонение



уделн , и вертикальный вымет покоем B_1D_1 , где выметится осадка судна. При перемещении груза поперек судна в горизонтальном направлении ЦТ судна, расположенный в точке O , переместится в O_1 в том же направлении. Расстояние, на которое переместится ЦТ судна, по аналогии с предыдущим случаем, определяется выражением:

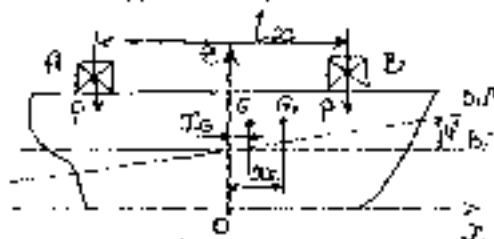
$$\overline{OO_1} = \frac{P}{D} \cdot l_{\Sigma},$$

где l_{Σ} — расстояние, на которое переместится ЦТ груза в причитанном направлении поперек судна. В случае переноса нескольких грузов P_1, P_2, \dots, P_n расстояние, на которое переместится ЦТ судна, может быть найдено с помощью формулы

$$\overline{OO_1} = \frac{P_1 \cdot l_1 + P_2 \cdot l_2 + \dots + P_n \cdot l_n}{D},$$

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 знаками l_i при перемещении груза слева направо, иначе берется с плюсом, при перемещении справа налево — с минусом).

Перемещение груза по горизонтали внутри судна.



Допустим, что груз P перемещается по горизонтали внутри судна из точки A в точку B на расстоянии l_x . Как и 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 результирующий перенос груза приводит к образованию пары сил на высоте l_x . Момент этой пары сил вызывает дифферент судна, но вследствие чего вертикальные взгер-

длина ЦТ означает новое положение P_1, A_1 . При перемещении груза ЦТ судна переместится из точки O в точку G_1 по горизонтальной параллельно направлению перемещения груза P . Применяя обратную выте методику, можно определить величину этого перемещения

$$OG_1 = \frac{P}{D} \cdot l_1$$

где l_1 расстояние между точкой подвешения ЦТ груза и горизонтальным направлением движения. Масса M ЦТ судна в его новом положении будет:

$$X_{сд} = X_0 + \frac{P}{D} \cdot l_1$$

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

$$OG_1 = \frac{P_1 \cdot l_1 + P_2 \cdot l_2 + \dots + P_n \cdot l_n}{D}$$

тогда обратная выте методику ЦТ судна будет:

$$X_{сд} = X_0 + \frac{P_1 \cdot l_1 + P_2 \cdot l_2 + \dots + P_n \cdot l_n}{D}$$

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

Для расчетов дифферента и остаточности грузовой судны, необходимо знать положение ЦТ каждой партии груза относительно X и Z осей, т.е. ЦТ определяется как центр тяжести партии груза.

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

Чертеж судна по ДП с малым шагом горизонтальной 1:200, по вертикали 1:100 на миллиметровой бумаге. Все грузовые помещения разбиты на клетки размером 5×5 м. Числа клеток по каждому грузовому помещению (4) обозначаются цифрами (см. Приложение 3).

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

$$M_{гр}(i, j) = \frac{W_{гр}(i, j)}{N_{гр}(i, j)} \cdot 100\%,$$

где W — объем сырья, N — количество клеток.

Зная масштабный объем клеток M и объем занимаемой группы, определяем число клеток при условии упаковки группы:

$$N_{гр} = \frac{W_{гр}}{M_{гр}(i, j)},$$

где $W_{гр}$ — объем группы.

Все значения вносим в таблицу.

Наименование комбината	N прис	W прис	M прис	ре. мат. $W_{гр}$	$N_{гр}$	клеток $W_{гр}$	$N_{гр}$	и т.д.
Трест № 1								
Гиндик № 1								
и т.д.								

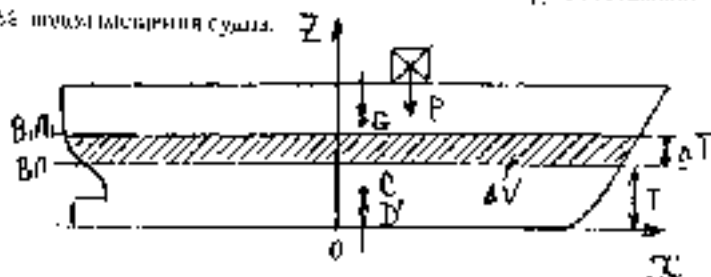
На основании составленной таблицы делаем чертеж размещения групп:



На схеме каждая группа маркируется индивидуальным количеством занимаемых клеток. После того как группа из клеток завершена, составляется модель в виде таблицы, указывающей на количество и по-улице (высота X и Z — в метрах) и численно в строку для таблицы группы и массу груза.

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

Допустим, что на судно принят груз P , т.е. такой груз, при приеме которого обвода корпуса можно считать практически неизменяющимися в пределах приращения осадки. Малым можно считать груз, составляющий 5 - 10% площади сечения судна.



При приеме груза P положение судна изменится на величину $\rho \Delta V$ прием. величина ΔV определяется объемом воды между батерлиниями B_1A_1 и B_2A_2 .

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

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

Объем дополнительного объема ΔV можно рассматривать как объем цилиндра, основанием которого является площадь батерлинии 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 выведена в формулу (2) со знаком минус. Следовательно, приращение осадки будет также отрицательным, т.е. осадка судна уменьшится на величину ΔF .

При расчете практически судна, связанном с определением изменения средней осадки судна при приеме или снятии груза, часто пользуются величиной q_{100} — предельно допустимой средней плотности массы (тонна/тонна) груза, от приема или снятия которого осадка судна изменится на один сантиметр.

Для того чтобы получить выражение для q_{100} , рассмотрим приращение объема ΔV вытесняемой в случае приема груза.

Если принять объем судна в районе действующей вкратности прямого сечения, то приращение объема ΔV воды вытеснения при $\Delta F = 0,01$ см составит (л/м): $\Delta V = 0,01 \cdot S$

Масса воды в объеме этого слоя, равная ее полной массе $q_{100} \cdot \Delta V$, будет

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

После подстановки полученного выражения в формулу (2) получим выражение для определения приращения средней осадки

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

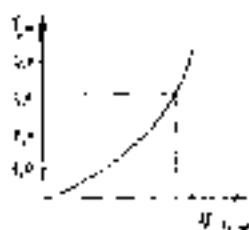
Аналогичным способом можно определить массу груза, вызывающую осадку судна на 1 дюйм. В этом случае

$$\Delta F = 1 \text{ дюйм} = 2,54 \text{ см} \quad \text{и тогда}$$

$$q_{100 \text{ дюйм}} = \frac{\rho \cdot S}{39,37} \quad (6)$$

Из выражений (3) и (6) видно, что величина q пропорциональна площади вкратности S . После отсчета площади вкратности является переменной величиной, так как меняется в зависимости от осадки судна. Следовательно, число q — тоже переменная величина.

Можно построить кривую изменения тоннажа судна (или дюймов) осадки. Для того чтобы определить, как изменится осадка F судна при приеме или



свойств материалов груза P , необходимо по указанной кривой найти значение $v_{1,0}$ при осадке T_1 , затем, пользуясь формулой (4), найти соответствующие осадки судна:

$$T_1 = T_0 + \frac{P}{100 \cdot \delta_{1,0}} \quad (7)$$

2) ИЗМЕНЕНИЕ ОСАДКИ СУДНА ПРИ ИЗМЕНЕНИИ ПЛОТНОСТИ ВОДЫ

При переходе судна из одной водной среды в другую изменяется ее плотность (плотность) окружающей воды. При изменении в воде плотности ρ и ρ_1 осадки судна соответственно будут:

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

где V — объемное значение осадки на переходе в воду другой плотности,

V_1 — объемное значение осадки после перехода.

Приравняв 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 значение осадки можно выразить через главные размеры L , B , T и коэффициент обшивки δ :

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

При малых изменениях объемного значения осадки, например при изменении плотности воды, длина, ширина и коэффициент обшивки можно считать неизменными. В этом случае значение V и V_1 можно считать равными и считать изменение 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 плотности в воду другой плотности осадка его изменяется примерно обратно пропорционально плотности воды.

Изменение объема ΔV при изменении определяется с помощью выражения

$$\Delta V = V_1 - V = \frac{D}{\rho_1} - \frac{D}{\rho} = D \left(\frac{1}{\rho_1} - \frac{1}{\rho} \right) \text{ или } \Delta V = V \cdot \frac{\rho - \rho_1}{\rho_1}.$$

Изменение объема ΔV можно также рассчитать как объем слоя с основанием, равным площади действующей поверхности S (практически неизменной) и высотой, равной разности осадки, то есть, равной изменению средней осадки $\Delta \Gamma$, т.е. $\Delta V = S \cdot \Delta \Gamma$.

Тогда:

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

Откуда

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

При переходе сульфы от морской воды ($\rho = 1,025 \text{ г/см}^3$) в морскую ($\rho = 1,025 \text{ г/см}^3$) формулу (1) принимаем вид:

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

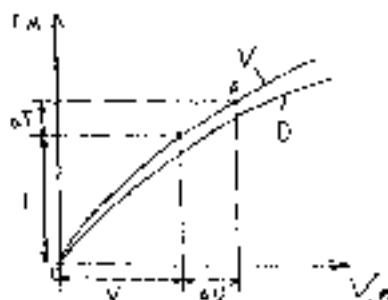
Так как числитель второго сомножителя равен нулю отрицательная, изменение осадки $\Delta \Gamma$ также будет отрицательным, и сульфиды на поверхности сульфы уменьшатся.

При переходе сульфы от морской воды в преслую, формула (1) имеет вид

$$\Delta \Gamma = \frac{D}{S \cdot 1,025} \cdot \frac{1,025 - 1,6}{1,025} = -0,575 \cdot \frac{D}{S}.$$

В этом случае изменение осадки будет положительным, сульфиды на поверхности сульфы увеличатся.

1) КРИВАЯ ВОДОИЗМЕЩЕНИЯ, ГРУЗОВОЙ РАЗМЕР И ГРУЗОВАЯ ШКАЛА



Для определения водоизмещения судна при любой действующей нагрузке строют кривую, выражающую зависимость водоизмещения от осадки судна. При этом предполагается, что судно имеет прямую носовку. Для построения такой кривой строят сначала кривую объема вытесняемой воды, в зависимости от

осадки судна по известной расчетной кривой. На этом же графике строят кривую водоизмещения, которую получают путем умножения действительных объемов вытесняемой воды на коэффициент, равный плотности воды, или путем непосредственной переноски графика масштабом по горизонтальной оси. При выделении судна из воды встает вопрос о характеристике плавающего тела, называемая $\Delta R, \Delta B, \Delta C, \Delta D, \Delta E, \Delta F, \Delta G, \Delta H, \Delta I, \Delta J, \Delta K, \Delta L, \Delta M$. Эта кривая представляет собой ту же кривую водоизмещения, только отсчет осадки от нуля начинается с осадки, соответствующей водоизмещению погруженного судна (нижняя часть кривой отбрасывается).

Пользуясь кривой объема вытесняемой воды (или грузовой размер) необходимо следовать образом. Пусть начальное водоизмещение судна равно V , а соответствующая ему осадка — T . Проведем через P отсчет распределение ΔV объема водоизмещения $\Delta V = P \cdot \rho$. Отложив значение ΔV на ось абсцисс прямо от значения водоизмещения V и полученной точке проведем вертикаль. Точку A пересечения этой вертикали с кривой отсчета

ности водонивелирования створом по территории на реверсивной, где по шкале осалок \bar{Y} находим новую осадку судна и заданную величину приращение осадки ΔY . В случае ствия в грунте мысленно удаляем створ от осалки до оси абсциссы не вправо, а влево от точки, отмеченной \bar{Y} перпендикулярному водонивелированию V .

Таким образом, кривая водонивелирования в грунтовой разрезе дает возможность определить водонивелирование судна при данной створ осалки или наоборот, осадку судна при заданном водонивелировании без промежуточных расчетов. С помощью этих кривых можно определить оптимальные значения осадки при приеме или ствия в грунте и т.п.

Часто для этой же цели пользуются *«Грунтовыми разрезами»*, которая состоит из пяти осадок судна в различных положениях, тоннажа 1 см осалки, которая может дифференцироваться на 1 см и т.д.

Грунтовый разрез состоит из двух частей: первая часть является тем же самым характеристикам и масштабу при размещении осалки судна в пресной воде, а вторая - при размещении осалки в морской воде.

Грунтовая таблица является основным документом, из которой устанавливается осадка судна, в зависимости от его грузовой постройки и количества тоннажа ревернта (см. Приложение 4).

ЛОПЕРЕЧНАЯ ОСТОЙЧИВОСТЬ

Лекция 7.

1) ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.

Делителю и делителю — одно из важнейших промежуточных качеств судна, с которым связаны чрезвычайно важные вопросы, касающиеся безопасности плавания. Утрата остойчивости может всегда означать гибель судна и очень часто экипажа. В отличие от изменения других промежуточных качеств увеличение оставшихся не проявляется следующим образом. Если, как судно, как правило, не подвергается угрожающей опасности до последнего момента перед опрокидыванием. Поэтому и учебно-методический раздел теории корабля необходимо уделять самое большое внимание.

Для того чтобы судно плавание с данным равносильным положением относительно поперечной киле — оно должно не только учитывать возмущениями равновесия, но и быть способным сопротивляться внезапным силам, стремящимся вывести его из равновесия по киле, а после прекращения действия этих сил — возвращаться в первоначальное положение. Следовательно, равновесие судна должно быть устойчивым тем, другими словами судно должно обладать достаточной остойчивостью.

Таким образом, остойчивость — это способность судна, выведенное из первоначального равновесия воздействием системы, вновь вернуться в первоначальное положение равновесия после прекращения действия этих сил.

Остойчивость судна связана с его равновесием, которое служит основой развития последней. Если равновесие судна устойчивое, то судно обладает повышенной остойчивостью, если же равновесие безразличное, то судно обладает нулевой остойчивостью, наконец, если равновесие судна неустойчивое — оно обладает отрицательной остойчивостью.

В этой главе будут рассмотрены поперечные наклоны судна в плоскости шкель-шкельгута.

Остойчивость при поперечных наклонениях, т. е. при наклонении крена, называется поперечной. В зависимости от угла наклона судна поперечная остойчивость делится на остойчивость при малых наклонениях (до 10-15 град.) — при слабых наклонениях; остойчивость в остальной части при больших углах наклона.

Наклонения судна происходят под действием пары сил — тяжести с одной стороны и выталкивающей пары судна вокруг продольной оси — будем называть X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 — Мкр.

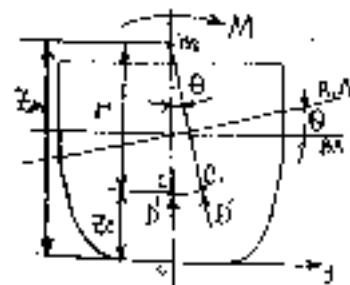
Если Мкр. приложена к судну, то возникает поперечное отклонение — количество вращения в результате упругих деформаций, а следовательно, и сил инерции. По остойчивости при этом наклонении различается X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 .

Кривизна момента действия упругих деформаций приклонения крену наклоненно упругости упругая и инерционная сила. Остойчивость, проявляющаяся под углом наклона, называется X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 .

Статическая остойчивость характеризуется количеством восстанавливающей энергии, которой стремится вернуться судно в первоначальное положение равновесия. Динамическая остойчивость характеризуется работой упругих моментов от начала и до конца движения.

Рассмотрим равновесие при поперечных наклонениях судна. Будем считать, что в равновесии ось тяжести судна имеет вертикальное положение. В этом случае сила подержания W действует в ДЦ и направлена в точку С — центр тяжести судна.

Допустим, что судно под действием кривизны момента под углом отклонения на малый угол θ . Тогда центр тяжести переместится из точки С в точку С'. Если подержания, вертикальную составляющую действующей инерционной W_1, W_2 будет направлена под углом θ к диаметру



рачной плоскости. Линии действия гравитационного и поперечного сил поддержки пересекутся в точке m . Эта точка пересечения линий действия силы поддержки при безразличном равновесии наклоненной плавающей судна называется поперечным метацентром.

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

Радиус кривизны кривой перемещения центра тяжести в поперечной плоскости называется поперечным метацентрическим радиусом. Он определяется расстоянием от поперечной метацентра до центра тяжести. Силою называется буквой r .

Поперечный метацентрический радиус может быть вычислен с помощью формулы:

$$r = I_x / V,$$

где поперечный метацентрический радиус равен моменту инерции I_x площади ватерлинии относительно продольной оси, проходящей через центр тяжести этой площади, деленному на соответствующее этой ватерлинии значение объема штепселя V .

2) УСЛОВИЯ ОСТОЙЧИВОСТИ

Допустим, что судно, находящееся в прямом поперечном равновесии и плавающее по ватерлинии $ВВ_1$, в результате действия внешнего кренящего момента $M_{кр}$ наклонилось так, что исходная ватерлиния $ВВ_1$ с точкой действия сил тяжести $В_1$ образует малый угол θ . Вследствие изменения формы корпуса распределение гидростатических сил давления, действующих на эту часть корпуса, также изменится. Центр тяжести судна переместится в сторону крена и перейдет из точки $С$ в точку $С_1$.

Сила поддержки D^1 , оставаясь неизменной, будет направлена вертикально вверх, перпендикулярно новой действующей ватерлинии, а ее линия действия пересечет $В_1$ в горизонтальном поперечном метацентре m .

Положение центра тяжести судна остается неизменным, а сила веса P^1

будет перпендикулярна той же вертикали B_1D_1 . Таким образом, силы P и D' , параллельные друг другу, но направленные в противоположные стороны, образуют пару сил с плечом CK , где точка K — основание перпендикуляра, опущенного из точки C на направление действия силы поддержания.

Пара сил, образуемая весом судна и силой поддержания, стремятся возвратить судно в первоначальное положение равновесия, и называется восстанавливающей парой. а момент этой пары — восстанавливающим моментом $M_{вр}$.

Вопрос об устойчивости наклоненного судна решается следующим образом: если после отклонения от положения равновесия восстанавливающий момент положительный, то судно устойчиво, если же отрицательный — 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.

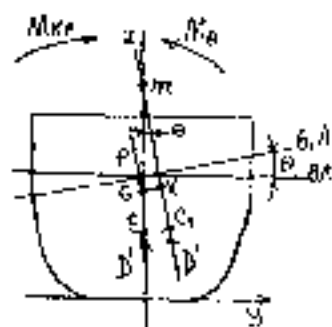


Рис. 1

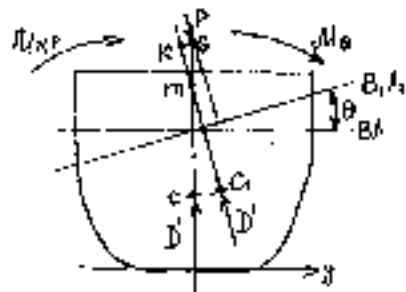
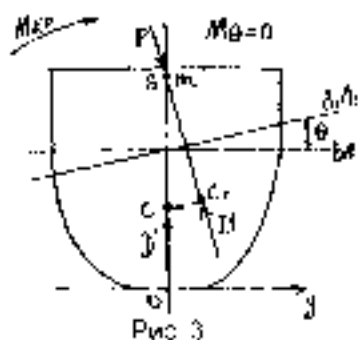


Рис. 2

На рис. 2 показан противоположный случай, когда восстанавливающий момент отрицателен (т.е. судно неустойчиво). Силы стремятся еще больше отклонить судно от положения равновесия, т.е. направление его действия совпадает с направлением действия внешнего крутящего момента $M_{кр}$. В этом случае судно $\theta < \theta_0$ и $\theta > \theta_0$.

Теоретически всегда допустимо, что восстанавливающий момент при на-

клонения судна равна нулю, т.е. сила веса судна и сила поддержания равно действуют на одной вертикали, как это показано на рис. 3.



ми. Об устойчивости судна (рис. 4) при поперечной метации при доходе к центру тяжести (рис. 1) — то судно устойчиво,

если поперечный метациент расположен выше центра тяжести (рис. 2, 3) судно устойчиво.

Отсюда вытекает понятие $M_{\theta} = \rho \cdot V \cdot g \cdot (x_G - x_C) \cdot \sin \theta$, где x_G — поперечная метациент реального центра тяжести судна и x_C — поперечная метациент реального центра судна в равновесном положении для поперся.

Поэтому как метациент реальный (рис. 1) определяется расстоянием от центра тяжести (G) , до поперечного метациента (C) , т.е. отрезком m_i . Этот отрезок является положительной величиной, т.к. и ЦТ и поперечный метациент не изменяют своего расположения при малых поворотах. В связи с тем, его удобно принимать в качестве критерия начальной устойчивости судна.

Если поперечный метациент будет находиться выше центра тяжести судна, то поперечный метациент реальный является положительной. Тогда условие устойчивости судна можно дать в следующей формулировке:

Судно устойчиво, если его поперечный метациент реальный положительна. Таким определением удобно тем, что оно позволяет судить об устойчивости судна, не рассматривая его метациента, т.е. формуле крива равновесия

Отсутствие поперечного метациента приводит к тому, что при прекращении действия кренящего момента судно остается в наклонном положении, т.е. судно находится в безразличном равновесии.

Таким образом, по изменению положения поперечного метациента при ЦТ G можно судить о величине поперечного метациента или, иными словами,

нулю, когда все стабилизирующие моменты взаимно компенсируются. Чтобы установить, какими данными необходимо располагать для получения значения поперечной метacentрической высоты, обратимся к рис. 4, на котором показана относительное расхождение центра тяжести C , центра тяжести C_0 и поперечной метacentрической судна, являющейся танкажелезобетонной перевернутой поперечной остойчивости. Из рисунка видно, что поперечная метacentрическая высота h может быть определена по одной из следующих формул:

$$h = r_0 - a, \quad h = Z_0 - r - Z_{00}, \quad h = Z_{00} - Z_0$$

Поперечная метacentрическая высота определяется с помощью всевозможных равенств. При выводе поперечной метacentрической Z_{00} может быть найден по метacentрической диаграмме. Основные трудности при определении поперечной метacentрической высоты судна возникают при определении аппроксимации центра тяжести Z_0 .

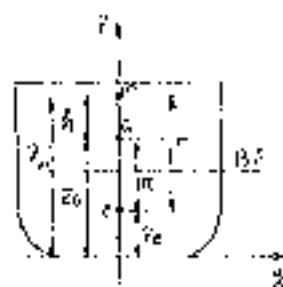
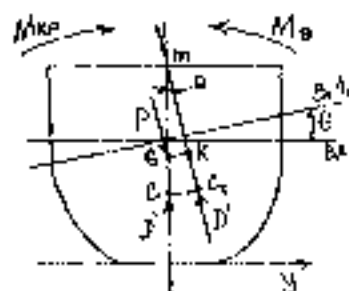


Рис. 4

Л е к ц и я В.

1) МЕТАЦЕНТРИЧЕСКАЯ ФОРМУЛА НАЧАЛЬНОЙ ПОПЕРЕЧНОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ

В результате действия некоторого внешнего момента $M_{вн}$ вместе с появлением крена возникает восстанавливающий момент $M_{в}$. В случае судна с положительной остойчивостью $M_{в}$ действует в сторону противоположную действию внешнего момента $M_{вн}$. Поскольку судно будет продолжать до тех пор, пока алгебраическая сумма обоих моментов не станет равной нулю. Поскольку моменты действуют в противоположные стороны, то



условие будет выполняться, если восстановительный момент станет равен опрокидывающему: $M_{\text{в}} = M_{\text{кр}}$. Восстанавливающий момент определяется произведением силы на плечо, т.е.:

$$M_{\text{в}} = D \cdot GK \quad (1),$$

Плечо GK называют плечом восстанавливающего момента или

плечом восстановления и обозначают буквой $l_{\text{в}}$.

Угол между линиями действия силы подвешивания и ДП равен углу крена θ , поскольку стороны этого угла перпендикулярны к вертикалям B_1B и B_1A_1 . С другой стороны, арксинус угла является хордовой встанци-тресковой высотой, которая обозначается буквой h . Тогда из прямоугольного треугольника B_1GK следует:

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

Подставив равенство (2) в (1) находим выражение для плеча наибольшего момента $M_{\text{в}}$ при малых углах крена.

$$M_{\text{в}} = D \cdot h \cdot \sin \theta \quad (3)$$

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

$$M_{\text{в}} = D \cdot h \cdot \theta \quad (4)$$

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

Как видно из метакентрической формулы поперечной остойчивости, восстанавливающий момент пропорционален поперечной метакентрической высоте h . Как всегда, бы следует стремиться к тому, чтобы судно имело возможно большее h . Однако представляется увеличение h неблагоприятно сказывается на характере качки судна — она становится весьма сравнительно частой вызывает большие моменты инерции. Это отрицательно сказывается на состоянии экипажа, а главное при такой качке большие вероятности смещения груза и потери остойчивости, чем при плавной качке.

2) МЕТАЦЕНТРИЧЕСКИЕ ДИАГРАММЫ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Для того, чтобы легко и быстро определить значения значения напряженности метacentра Z_m в произвольной метacentрической точке T при любой осадке и водоизмещении судна, составляется особая диаграмма, которая называется метacentрической диаграммой. При построении этой диаграммы используются значения минимального значения Z_c и поперечных метacentрических радиусов Z_m и Z_c вычисленных для нескольких осадок судна. Поперечный метacentрический радиус определяется по метacentрической диаграмме в следующем порядке. На вертикальной оси откладываем оську T (рис. 1, а), проводим горизонтальную линию до пересечения со вспомогательной прямой и через точку пересечения K проводим вертикаль. Осадка на вертикали, равной расстоянию от горизонтальной оси до точки K до кривой Z_c , дает значение для значения метacentрического радиуса, равной расстоянию от горизонтальной оси до кривой Z_m — значение аппроксимации поперечного метacentра. Поперечный метacentрический радиус определяется как разность отсчетов Z_m и Z_c , т. е. $r = Z_m - Z_c$.

На рис. 1, б) приведен другой тип метacentрической диаграммы, которая отличается от описанной выше отсутствием вспомогательной изогнутой прямой и разновремением осей абсцисс. Метacentрический радиус при помощи этой метacentрической диаграммы определяется в такой последовательности. На вертикальной оси откладываем оську T проводим горизонтальную линию, соединяем точку K с кривой Z_c до пересечения ее с

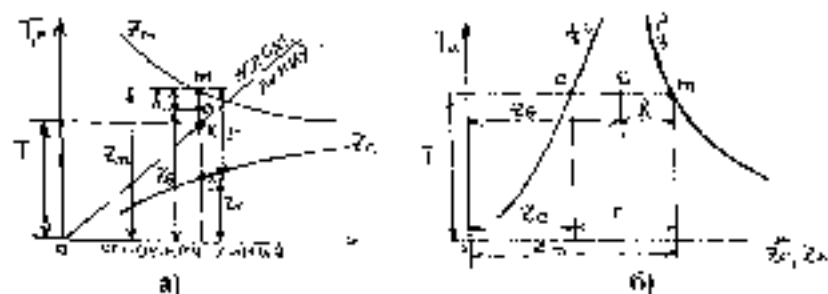


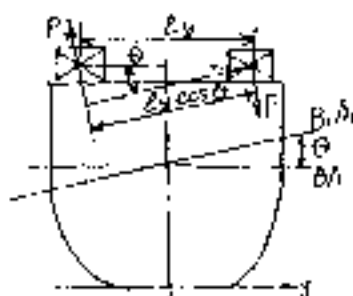
Рис. 1.

кривыми Z_0 и Z_{00} и измеряют расстояние от точек пересечения, т.е. точек e и e_0 , до вертикальной оси. Эти расстояния в выбранном масштабе определяют значения или длины Z_0 и Z_{00} , поперечный метacentрический радиус представляют как разность площадей Z_{00} и Z_0 .

Существуют и другие типы метacentрических диаграмм. От диаграмм, приведенных на рис. 1, они отличаются только тем, что кроме кривых Z_0 и Z_0 . На них наносятся кривые волноизменения D и V , которые часто припрямляются за упомянутое выше полное или частичное линии, необходимые при определении метacentрического радиуса.

Л е к ц и я 9.

1) КРЕН СУДНА ПРИ ПОПЕРЕЧНОМ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ГРУЗА



Рассмотрим перемещение на судне груза P в поперечном направлении на расстояние l . Такое перемещение груза вызывает крен и смещение Ц.Т. судна в направлении, параллельном линии перемещения груза P . Начальная поперечная устойчивость при этом не изменится, т.к. линиями Ц.В. и Ц.Г.

а также метacentрический радиус и метacentрическая высота не будут изменены приращением. Сила тяжести судна, приложенная в новом Ц.Г., и сила поддержания, приложенная в новом Ц.В., будут действовать по одной вертикали, независимо узварно полой элерации $B_1 \Delta_1$.

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

$$M_{\text{гр}} = P \cdot l \cdot \sin \theta$$

Восстанавливаемый момент можно определить по несимметричной формуле остойчивости. Судно находится в равновесии под действием известной системы сил. Ветровому моменту $M_{вв}$ и $M_{вд}$ также решит:

$$P \cdot l_{\text{в}} \cdot \cos \theta = D \cdot h \cdot \sin \theta$$

Решив это уравнение относительно θ , подставим формулу для определения угла крена при поперечном перемещении груза:

$$\operatorname{tg} \theta = \frac{P \cdot l_{\text{в}}}{D \cdot h}$$

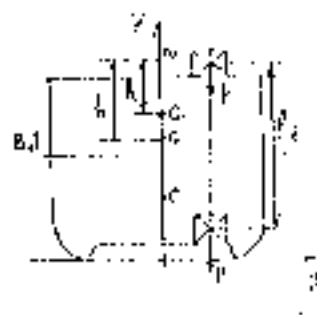
Преобразуя угол крена θ , последнее выражение можно записать в виде:

$$\theta = \frac{P \cdot l_{\text{в}}}{D \cdot h}$$

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, находящемся в равновесии, вертикально перемещен груз P на расстояние l . Поскольку несущая способность судна от перемещения груза не меняется, первое условие равновесия будет соблюдено (судно по-прежнему будет оставаться в равновесии). Однако изменится второе условие равновесия механики. ЦТ судна переместится в точку G_1 , находящуюся на одной вертикали с прежним положением ЦТ судна G . Сама вертикаль пройдет, как и прежде, через ЦТ судна C . Тем самым будет соблюдено второе условие равновесия судна только, при вертикальном перемещении груза судно не изменило своего поперечного равновесия (не повлиял на крен дифферент).



Рассмотрим теперь, какие последствия перемещения груза вытекают. Выте-

ду того, что форма погруженного в воду корпуса судна и форма площади заграждения не изменились, положение ЦТ и поперечного метacentра (τ) при перемещении груза по вертикали остается неизменным. Перемещается только ЦТ судна из точки G в точку G_1 . Отрезок GG_1 может быть найден с помощью выражения:

$$GG_1 = \frac{P \cdot l_2}{D}$$

Если бы перемещение груза поперечной метacentрической высотой было h_1 , то после его перемещения она изменилась на величину GG_1 . В данном случае и изменение поперечной метacentрической высоты $\Delta h = GG_1$ имеет отрицательный знак, т.е. перемещение ЦТ судна по направлению к поперечному метacentру, положение которого, как мы установили, остается неизменным, уменьшает метacentрическую высоту. Следовательно, новое значение поперечной метacentрической высоты будет:

$$h_1 = h - \frac{P \cdot l_2}{D} \quad (1)$$

Очевидно, что в случае перемещения груза вниз перед которым значком правой части уравнения новой метacentрической высотой h_1 , должен быть поставлен знак минус (-).

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 существенно меньше, у судна с большим поперечным сечением, чем у судна с малым D . Поэтому на больших судах перемещение относительно большого груза неопаснее, чем на малых судах.

Может оказаться, что значение GG_1 перемещения центра ЦТ судна будет больше самой величины h . Тогда величина поперечной остойчивости 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, происходят изменения средней осадки судна вследствие изменения распределения, повышения крена и дифферента, из-за изменения линии действия силы веса, относительно линии действия силы вытеснения, и изменение устойчивости, в результате изменения положения ЦТ и ЦВ.

Здесь о влиянии на посылку и устойчивость судна приема некоторого груза P в любую точку A с координатами X_p, Y_p, Z_p можно рассуждать на две более простые задачи.

В первой из них рассматривают влияние на посылку и устойчивость приема груза P , если ЦТ приемлемого груза находится в ДП и на одной вертикали с центром тяжести действующей калер-линии.

Во второй задаче рассматривают изменение посылки судна при переносе этого же груза на горизонталь. Такой перенос, как было показано раньше, не отражается на статической устойчивости, поэтому ниже рассматривается только первая задача.

На посылку судна прием груза P , ЦТ которого расположен в ДП на расстоянии z_p от условной калер-линии. До приема груза судно имело возмещение D_0 и посылку T . После приема груза водонепроницаемое судно стало $D_1, D_0 + P$ и осадка $T_1, T + \Delta T$. При приеме груза изменилось положение все три точки, характеризующие поперечную устойчивость: центр тяжести — из-за изменения осадки судна, следовательно, и форма погружающейся части объема корпуса судна; центр вытеснения — вследствие изменения плавучести судна, а поперечный момент инерции — вследствие изменения формы поперечного сечения и объема, погруженной в воду части корпуса судна.

Метацентрическая высота, характеризующая устойчивость судна, вследствие всех названных причин, может быть следующим образом вычислена:

$$\Delta h = \frac{P}{D_0 + P} \left(z - \frac{\Delta T}{2} \right) + h_0(z_p).$$

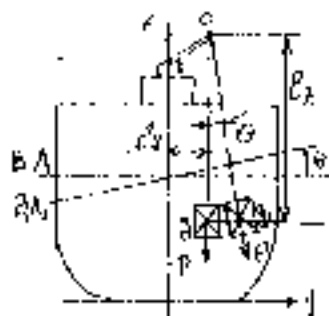
Новое вычитание поперечной метacentрической высоты после приема или снятия (расхождения) груза будет:

$$h_1 = h - \Delta h = h + \frac{z \cdot P}{D_{00} \cdot g} - \left(\frac{\Delta G}{g} + h \cdot \Delta \rho \right).$$

Здесь знак (+) соответствует приему груза, знак минус — снятию (расхождению).

Л е к ц и я 10

1) ВЛИЯНИЕ НА ОСТОЙЧИВОСТЬ СУДНА ПОДВЕШЕННЫХ ГРУЗОВ



Допустим, что на судне имеется груз В, закрепленный в точке О, расположенной на расстоянии L от ДЦ. Если груз закрепить в точке g — его ЦТ, то при крене судна груз останется на месте и первоначальная 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 , а линия

подвеса груза примет положение перпендикулярно плоскости кренной катальной В, Л₁. Угол между линией подвеса g_1O до крена и gO после крена равен θ .

Такое перемещение груза, как это видно из рисунка, создает изменчивую по крену остойчивость.

$$\Delta M = P \cdot l_1 \cdot \sin \theta \quad (1)$$

где l_1 — расстояние от точки крена до перпендикулярного положения ЦТ груза.

Так как весь момент дейст. сил в сторону крепа, то восстанавливающий момент уменьшается: $M'_{II} = M_{II} - PM$. Поскольку $M_{II} = D \cdot E \cdot \sin \theta$, то

$$M'_{II} = D \cdot E \cdot \sin \theta - P \cdot l_2 \cdot \sin \theta = D \cdot E \cdot \left(1 - \frac{P \cdot l_2}{D \cdot E} \right) \cdot \sin \theta \quad (2)$$

Выражение в скобках представляет собой коэффициент металцентрической жесткости для неподвижного груза:

$$k_1 = E \cdot \frac{P \cdot l_2}{D \cdot E} \quad (3)$$

Если направить массу подвижного груза в противоположные стороны по направлению к металцентрической жесткости неподвижного груза, будет:

$$\Delta h = \frac{P \cdot l_2}{D} \quad (4)$$

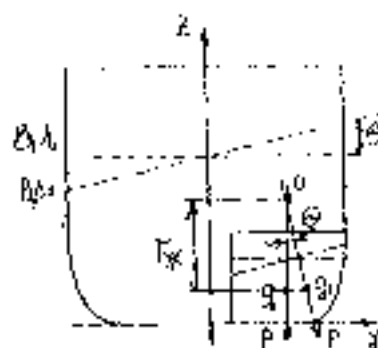
Таким образом, наличие на судне подвижного груза приводит к уменьшению жесткости металцентрической балки, а следовательно, к уменьшению жесткости вращающего момента.

Сравнив полученные выражения с формулой, учитывающей изменение металцентрической жесткости при вертикальном перемещении груза, убеждаемся, что они идентичны. Это означает, что влияние подвижного незакрепленного груза P на остойчивость равноценно влиянию такого же неподвижного груза $P \cdot \frac{l_2}{D}$, которого перемещен в точку подвеса O .

Из формулы (4) также следует, что вертикальные поправки Δh зависят от того, где в данный момент находится груз, но не отрыва его от палубы. Изменение металцентрической жесткости происходит в момент отрыва груза от палубы. Сам процесс подъема и опускания груза не влияет на остойчивость судна. Поэтому при вычислениях поправки Δh длина радиуса l_2 определяется длиной, измеренной от ЦТ груза, лежащего на поверхности двойного дна или на палубе, до точки подвеса.

2) ВЛИЯНИЕ НА ОСТОЙЧИВОСТЬ СУДНА ЖИДКИХ ГРУЗОВ СО СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

На судах всегда имеется жидкий груз (например вода, топливо, грузная вода различного назначения и т.д.), а на плавильных судах — жидкий перегонный груз. Если жидкий груз поведется заполняет отведенный ему объем (цистерну, танк) — при качании судна он будет вести себя как твердый непрерывноагрегатный груз. Влияние такого груза на остойчивость аналогично влиянию, которое оказывает на остойчивость закрепленный твердый груз.



В действительных условиях плавания или судно выстроится или отскочит по различным причинам оказывается малооптимальным по остойчивости. В таком случае соверши, что смести жидкой свободную поверхность. При качании судна изменится форма объема жидкости в цистерне, а это и является причиной и остойчивости судна.

Допустим, что на судне имеется цистерна, частично заполненная жидкостью. Допустим, что судно накренилось, Ц.Т. жидкого груза находится в точке g . При крене жидкость в цистерне сместилась, Ц.Т. ее также сместился к стороне крена и занял новое положение (точка g_1). Ц.Е. жидкости одновременно жидкости Ц.В. заполненного объема цистерны, поэтому кривая $g-g_1$ представляет собой кривую Ц.В. радиус кривизны r_x кривой (по отношению к наклоненному судну) является метацентрическим радиусом, а точка O — метacentром (по отношению к жидкости) в данном крене. Следовательно, с точки зрения влияния на остойчивость, жидкий груз со свободной поверхностью и объем жидкостному грузу, точка центра которого расположена в метacentре, а длина полуса равна метацентрическому радиусу.

Подразья h — метацентрической высоте, учитывающей влияние свободной поверхности жидкости, будет:

$$M_0 = \frac{P \cdot i_0}{D} \quad (1)$$

Где $P = \rho_2 \cdot V_2$ — масса жидкости в цилиндре;
 V_2 — объем, занимаемый жидкостью;
 ρ_2 — плотность жидкости.

Угловое ускорение, гравитационная возмущения можно определить с помощью формулы $i_0 = i_0' / V_2$, где i_0' — момент инерции свободной поверхности жидкости относительно горизонтальной оси, проходящей через ЦТ. площади этой поверхности.

Если в формуле (1) подставить выражения для $P = \rho_2 \cdot V_2$, D , то она примет вид

$$M_0 = \frac{\rho_2 \cdot V_2 \cdot i_0'}{V_2} \quad (2)$$

Из формулы (2) видно, что поправка на влияние свободной поверхности жидкости всегда имеет отрицательный знак, т.е. свободная поверхность жидкого груза увеличивает инерцию так же, как и внешняя судна увеличивает момент инерции и следовательно по сравнению с жесткостью.

Основными факторами M_0 являются значения i_0' — зависящая от формы и размеров свободной поверхности. При большой площади свободной поверхности момент инерции i_0' велик, следовательно, поправка M_0 будет столь велика, что поперечная жесткость судна выводится за пределы и может стать даже отрицательной.

Момент инерции i_0' в зависимости от поперечного размера свободной поверхности можно уменьшить, если поперечный размер переборки уменьшить параллельно плоскости наклонения судна. Какое влияние оказывает такое изменение переборки на устойчивость судна, видно из следующего примера.



Пусть этот осек имеет равную массу и будем считать, что свободная поверхность представляется форму прямоугольника, как это чаще всего бывает.

Если дана ширина b и высота b_1 то момент инерции относительно оси Ox об-

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

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

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

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

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

Если установить две продольные переборки и определить суммарный момент инерции свободной площади каждого отсека, то можно убедиться, что переборки уменьшают отрицательное влияние свободной поперечности жилого трюма на остойчивость пропорционально квадрату числа отсеков.

Итак, посылка является тем же рекомендацией по устранению или уменьшению отрицательности влияния свободной поперечности жилого трюма на остойчивость судна.

1. При логистике жилого трюма необходимо стремиться к тому, чтобы при открытии отсека были задействованы (загружены) почти все отсеки (заполненные на 95 % и более).

2. Раскодировать реальные запасы следует сначала по верхним отсекам, а затем - по нижним, причем выбирать их надо по очереди по разным отсекам, а не одновременно по нескольким.

3. При балластировке нельзя принимать заборную воду сразу и все жидкие балластные отсеки.

4. Во время рейса следует избегать приема забортной воды в балластные танки и ее удаление в стих. Особенно опасна такая операция для судна с малой метацентрической высотой, например для лесовозов с трюмом леса на палубе. Балластировку можно производить в трюм или на борт - убежище, а в море - дождаться благоприятных случаев с соответствующей расчетной операцией остойчивости.

5. При балластировке судна приемом воды в кормовые трюмы, через ют-отрелек проходит туманель, трейного цеха, не следует доводить уровень выше уровня

3) ВЛИЯНИЕ НА ДОСТОЙЧЕСТВО НАСЫПНЫХ ГРУЗОВ

Груз, способный перевертываться, снижает устойчивость судна вследствие динамического действия на него груза.

Если тяжелый груз переместится к какому-либо перемещаемому грузу, которые находятся в движении при маятниковом качении судна, то тяжелый груз придет к своему месту только в том случае, когда угол крена судна превышает так называемый $\alpha_{\text{г}} = \frac{d}{2} \cdot \frac{g}{v} \cdot \frac{m}{m + d \cdot k \cdot v}$, где d — диаметр груза, v — угол крена, при котором тяжелый груз находящийся в куче, еще остается в куче (см. Приложение 2).

Динамика смещения груза весьма сложна. Но, учитывая небольшие качки, можно считать, что тяжелый груз, что не может соскочить за счет собственного веса на устойчивое судно и при качке судна придет лишь к выравниванию поверхности груза, обтекающейся при повороте. Увеличение количества перевертывающегося груза с увеличением угла крена происходит неравномерно, а с резким перегибом при некотором угле крена от боковой поверхности скак сразу в достояние человека. При некоторых углах крена груз вообще не смещается, а сходит со стеллажа сразу боковой поверхностью, причем лишь образующая поверхность груза, как правило, бывает насквозь с небольшим повышением в борту, на который приходится крен. Переходное грузы вызывает перемещение ЦГ груза в сторону крена и, следовательно, уменьшение устойчивости судна. Судно, получившее крен, может, такой крен и может опрокинуться в случае увеличения крена и в противном случае либо другого крена это возможно.

Отсутствие в настоящее время надежных теоретических и экспериментальных данных по динамике смещения являющихся грузов не позволяет строго реально оценить их влияние на устойчивость судна. Поэтому мы ограничимся в данной работе сведениями о характере влияния скатывающихся грузов на устойчивость судна.

Сущность различия при учете плавучих мер и в отношении смещения являющихся грузов:

- различие в зависимости от угла и в зависимости от величины перегиба. Они должны быть приняты на во внимание при проектировании

ишня смежная" в твинтоках также переборки устанавливаем от палубы до палубы. Переборки должны быть достаточно прочными, соответствующим образом закрепленными и изолированными для данного груза.

Устройство над грузовой палубой имеет питатель достаточной емкости (2,5 - 8 % вместимости трюка):

- при частичном яло. земни трюка - выравнивание яло. трюка и укладка сверху мешков с тем грузом

4) ИЗМЕНЕНИЕ ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА ПРИ ПОСАДКЕ НА ГРУНТ

Изменение остойчивости судна при посадке на грунт обусловлено двумя факторами: действием реактивной силы грунта на корпус судна, равнодействующая в точке касания груза, равного по весу реакции грунта. Снятие груза с линии вызывает реакце смещения вверх ЦТ судна, т.е. уменьшает остойчивость.

Допустим, что судно перекачивание имело водоизмещение D . После посадки на грунт осадка его уменьшилась на ΔT и соответственно изменилась водоизмещение на величину $P = \rho \Delta V$, определяемую объемом отпавшей воды ΔV . Поскольку реакция грунта R равна по модулю отрицательной силе тяжести отпавшей воды, она может быть выражена в виде:

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

Действие реактивной силы грунта на корпус равносильно действию судна на груз ΔT , которое расположено на высоте $Z_R = 0$. Тогда, если воспользоваться формулой для определения новой метacentрической высоты при снятии груза с судна, можно определить новое значение метacentрической высоты при посадке судна на грунт:

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

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

1) ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОПЕРЕЧНОЙ МЕТАЦЕНТРИЧЕСКОЙ ВЫСОТЫ СУДНА ПУТЕМ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЫТА КРЕНОВАНИЯ

При построении судна, особенно незначительных размеров, не имеет смысла метод возмущений, расхождение между расчетными и действительными движениями лодки. ЦТ судна и метациентрической высоты. Измерение этим методом представляет собой практические трудности и введением ЦТ крестообразного судна путем проведения так называемого опыта кренования.

Опыт кренования производится следующим образом: судно строится серийно, каждое по две судна строит, а также возвыс судна в серийной постройке. Кроме того, опыту кренования по очереди каждое судно вехам криволинейного движения или переоборудования и судна, устойчивость в которых не исследуется, является самодельным.

Опыт кренования основан на выполнении формулы, определяющей угол крена при перекачке груза и известной формулы для вычисления. Зная массу груза P , перекачиваемого в крен, криволинейном направлении, известное перекачка l_p , выдвинутые судна D и угол крена θ , вычисления после перекачки груза, можно вычислить метациентрическую высоту судна:

$$H = \frac{P \cdot l_p}{D \cdot \lg \theta} = \frac{M_{кр}}{D \cdot \lg \theta} \quad (1)$$

где $M_{кр}$ - креновый момент, вызванный перекачкой груза.

Максимальная высота, которой принято называть крен - балластом, определяют известными, извест l_p - износительным измерением, водозащитные D по кривой водозащитная или масштабу. Балласт похиты измерительной осью судна в момент кренования.

Определение в результате опыта значение угла θ и подстановка его в формулу (1), получим метациентрическую высоту судна H . Затем можно вы

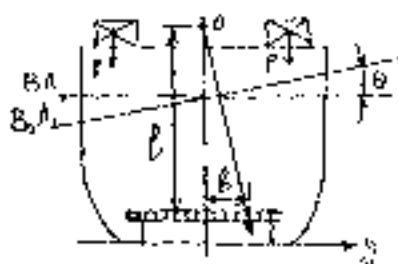
числитель и знаменателю Z_{01} НЭ, предварительно измеренных по метанетрическим диаграммам величину Z_{01} :

$$Z_{01} = Z_{01} \cdot 5 \quad (7)$$

Опыт крепления производится в сухом помещении при спокойном состоянии поверхности воды и отсутствии течения. Скорость ветра не должна превышать 3 м/с. Судно не должно касаться стенки причала, грунта или каких-либо других предметов.

Следует проводить крепление по высоте судна, но со снижением, приближаясь к свесам мачт. Диаметры разности элементов должны быть обеспечены либо в виде стоек. Начальная крен не должен превышать $0,5^\circ$ град.

Крен-биллак: принимаю на судно в заданном количестве, чтобы обеспечить максимальные углы крена ± 4 град.



Для определения углов крена используются весовые гири с подвижными грузами, сообщая гири различным наклоном рампками различных наклонов и другими средствами. При увеличении весов на бортах судна длина гири должна быть 4,0 - 6,0 м, а на малых - не менее

1,5 м. Грузы песка, установленные на палубе причальной, из двух взаимно перпендикулярных палубных, опускают в бак с водой или маслом, чтобы желобчатая палуба прекратилась. Весов должно быть не менее двух (лучше три). Места крепления гири выбирают на днище судна. Для учета условий крена, вблизи нижнего конца веска, укрепляют горизонтальную деревянную рейку с нанесенной шкалой. Угол крена, соответствующий определенному крену θ биллака, определяют по формуле

$$\theta = \theta' \cdot \frac{b}{l},$$

где b - отклонение веска, измеренное по рейке;

l - длина веска, измеренная от точки подвеса до шкалы, по которой определяют угол крена.

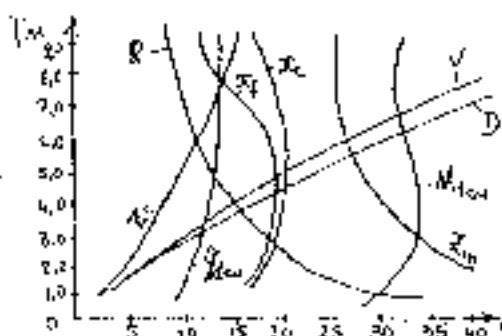
2) КРИВЫЕ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ЧЕРТЕЖА

Кривые элементов теоретического чертежа представляют собой диаграмму, позволяющую определить зависимость изменения значений теоретических элементов судна ($V, X_C, Z_C, Z_{ин}, X_1, M_{100}, R, M_{100}$) от его ширины.

Поскольку речь идет об элементах судна, связанных с плавучестью и остойчивостью, т.е. с плавучей судна, то в совокупности кривые можно считать кривыми плавучести и остойчивости (рис. 1). (Приложение 1-9)

Следует заметить, что к элементам теоретического корпуса кривые основных элементов плавучести и остойчивости при малых углах наклона следует отнести также геометрические характеристики обводов и в первую очередь коэффициенты неплотности корпуса судна (коэффициент обвода по линии b , коэффициент полноты палубы M_{100}), коэффициент полноты оконечности M_{100} и т.д. Поэтому кривые этих элементов также включены в кривые элементов теоретического чертежа.

Количество кривых на диаграмме может доходить до 15-20. Для того чтобы определить необходимые значения элементов теоретического чертежа по кривым плавучести и остойчивости, на оси абсцисс нужно отметить точку, соответствующую выбранной ширине. Провести вертикаль, параллельную оси абсцисс. От ее точки пересечения с прямой, соответствующей кривой от линии отсчета в выбранном масштабе определяются необходимые элементы теоретического чертежа.



3) ОСТОЙЧИВОСТЬ ПРИ БОЛЬШИХ УГЛАХ КРЕНА. ПЛЕЧО ОСТОЙЧИВОСТИ

На предыдущих этапах рассматривалась устойчивость судна при наклонении его от пологости равновесия на малые (линейные) углы крена. При этом в основу изучения теории начальной устойчивости были положены следующие допущения: при крене судна перемещение ЦМ происходит по дуге окружности.

Полученный метацир проводится в точку, которая является пересечением окружности и вертикали, проходящей через точку равновесия при наклонении, т.е. является пересечением метацир с осью равновесия. Равновесием называется положение, в котором пересекаться по прямой, проходящей через ЦТ, площади поверхности, разделенной в ЦМ судна.

Однако в процессе эксплуатации судна часто возникают наклонения на большие углы крена. В этих случаях применение меретральных правил становится неприменимым к точным результатам. Поэтому была разработана теория устойчивости судна при больших углах наклонения.

При больших углах наклонения судно нельзя считать прямолинейным в пределах имеющейся формы поверхности обшивки, симметрия валающей и валающей частей корпуса каковой ватерлинии значительно нарушается, что приводит к смещению пересечения двух равноплечных ватерлиний. Пересечение ЦВ при больших углах крена проводится уже не по дуге окружности, а по кривой переменной кривизны. Это равносильно тому, что пересечение метацир не состоится в той же точке на ЦМ, как это было при малых углах крена, а состоится в новую точку. Следовательно, в расстояние между метациром и ЦВ — переменной метацир — расстояние.

Выводом является переменной величины. Из сказанного следует, что метацир — переменной величины уже не может служить критерием начальной устойчивости. По этой причине, различия в формулах при больших углах крена, нельзя пользоваться метацир — переменной формулой начальной устойчивости и всеми вытекающими на ее основании формулами, в которые входит вычисление переменной метацир — переменной величины.

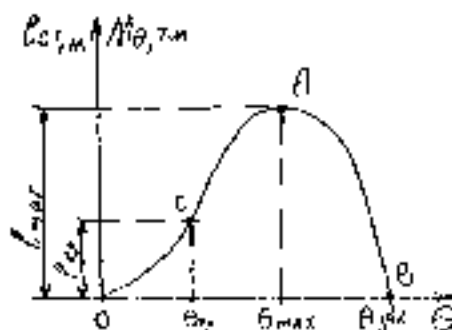
Восстановительный момент, являющийся мерой статической остойчивости судна при больших углах крена, будет равен $M_{\text{в}} = G \cdot l_{\text{в}}$.

Основная задача расчета остойчивости при больших углах крена сводится к определению плеча $l_{\text{в}}$ восстановительного момента в зависимости от угла крена θ .

Л е к ц и я 12.

1) ДИАГРАММА СТАТИЧЕСКОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ И ЕЕ СВОЙСТВА

Для срединного угла крена (показывающего результирующее действие на судно кренящего момента, стрелки кривой, выражающей зависимость плеча статической остойчивости от угла крена судна). Построение в плоскости θ и $l_{\text{в}}$ в прямоугольной системе координат (на оси абсцисс — складываемый угол крена (показательные — крен, отрицательные — влево от начала осциллограммы), а по оси ординат — плечи статической остойчивости. В точках на осциллограмме, соответствующих критическим углам крена, восстановительный перпендикуляр и на них вертикальной связи со статической универсальной диаграммой отрезки плеч статической остойчивости. Полученные (по осциллограмме) плавной кривой, которая называется *диаграммой статической остойчивости судна* и *кривой остойчивости судна*.



кривой и ярко выраженный максимум.

Наибольшие значения при этом, характерные для неповрежденного судна, образуются влечением закона остойчивости, точку O (начало координат), стрелки, которую и полагается условно считать равной единице, точку A,

где λ — коэффициент статической устойчивости и восстановительный момент имеет максимальные значения: точку В. определяемую как $\lambda_{\text{кр}} = \lambda_{\text{кр}1} \cdot \lambda_{\text{кр}2} \cdot \lambda_{\text{кр}3} \cdot \lambda_{\text{кр}4} \cdot \lambda_{\text{кр}5} \cdot \lambda_{\text{кр}6} \cdot \lambda_{\text{кр}7} \cdot \lambda_{\text{кр}8} \cdot \lambda_{\text{кр}9}$.

Равенство нулю числителя судна надлежит при расчете критического и восстановительного моментов. Чтобы воспользоваться диаграммой статической устойчивости для определения угла крена, возникающего под действием заданного критического момента $M_{\text{кр}}$, необходимо найти точку кривизны момента $l_{\text{кр}} = M_{\text{кр}} / D$. Увеличив радиусы кривизны судна можно найти, и в таком случае $l_{\text{кр}} = l_0$. Точка $l_{\text{кр}}$ откладывается в соответствующем масштабе на оси горизонтальной диаграммы и проводится тангенс к данной точке до пересечения с кривой. В точке пересечения восстановительный момент равен критическому, и следовательно, судно находится в равновесии в заданном положении. Точка пересечения перпендикуляра, опущенного из точки С, с горизонтальной осью диаграммы определяет угол крена.

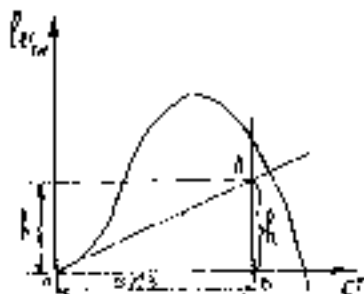
Диаграмма статической устойчивости строится для конкретного судна и соответствует определенным условиям: положению Ц.В. по отношению к Ц.П. и давлению воды и изменению водоизмещения для дельтата Δz . То диаграмма статической устойчивости приобретает другой вид. Это обстоятельство необходимо следует иметь в виду, и прежде, тем пользоваться диаграммой для решения каких-либо вопросов, касающихся устойчивости данного судна, необходимо обратить внимание на все соответствующие имеющейся нагрузке судна. Каждое судно должно быть снабжено конкретным диаграммой статической устойчивости, характеризующих устойчивость судна при различных частотах воздействия бурных нагрузок.

Диаграммы статической устойчивости различаются формой кривизны, но все они обладают некоторыми *общими свойствами*:

1. Нижней частью диаграммы статической устойчивости представляет собой прямую законную линию. Это значит, если изобразить две формулы вычисления тангенса момента, с помощью промежуточной формулы поперечной устойчивости, применительно к началу дельта Δz углов крена, и формулу восстановительного момента, справедливую для любых углов крена, т.е.

$$\begin{aligned} M_R &= D \cdot h \cdot \theta \quad \text{и} \quad M_H = D' \cdot M_{\text{кр}} \\ \text{откуда} \quad \theta &= \frac{M_{\text{кр}}}{h} \end{aligned}$$

При малых углах крена поперечная метacentрическая высота — постоянная величина, поэтому связываем между углом статической остойчивости $\angle_{ст}$ и углом крена θ . При малых углах крена является линейной и выражается прямой линией.



2. Отрезок перпендикуляра, опущенный из точки C на ось абсцисс, накладывается на вертикальный диаметр (57,3 град) от начала осей координат, по точке пересечения его с начальными касательной к кривой, определяется диаметр статической остойчивости по кривую метacentрическую высоту h , которую в масштабе штег статической остойчивости $h_{ст}$.

Однако графически определить метacentрическую высоту h по диаметре статической остойчивости не удается, так проведение касательной к кривой не может быть выполнено с необходимой точностью.

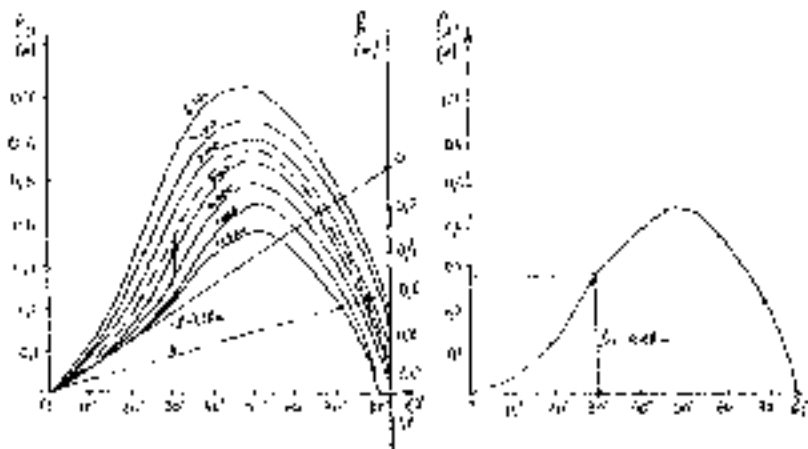
3. Воспользуясь тем же кривой диаграммы статической остойчивости характеризует устойчивость положе на равновесия судна и такеловый — все условия.

2) УНИВЕРСАЛЬНАЯ ДИАГРАММА ОСТОЙЧИВОСТИ

В судовых условиях часто возникает необходимость определения расчет и оценку устойчивости судна. Для построения диаграммы статической остойчивости судна выполняются расчеты ряда документов. К этому же делу законодательной документации относятся интерпретируемые кривые и формы. Или $h, \theta, \theta_{ст}, \theta_{к}, \theta_{р}, \theta_{д}, \theta_{з}$ и универсальной диаграммы статической остойчивости, основанные на предельных проекциях судна на основные системы координатных расчетов (см. Приложения 10-11).

Универсальная диаграмма размещает стрелы диаграммы статической остойчивости судна без каких-либо пропорциональных расчетов. Она представляет собой набор диаграммы статической остойчивости для различных положений судна в пределах от полного взвешивания судна порожнею до полного взвешивания.

3) ПОСТРОЕНИЕ ДИАГРАММЫ СТАТИЧЕСКОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ ПО УНИВЕРСАЛЬНОЙ ДИАГРАММЕ



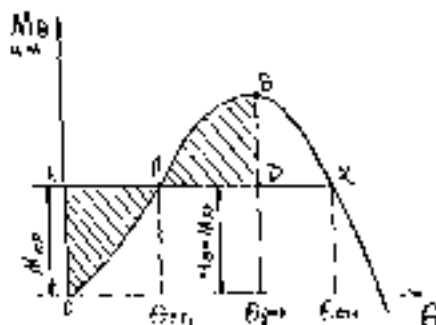
Пример построения диаграммы статической устойчивости по универсальной диаграмме устойчивости для конкретного случая загрузки судна при $D = 8500 \text{ т}$, $h = 9,6 \text{ м}$

Лекция 13.

1) ДИНАМИЧЕСКАЯ ОСТОЙЧИВОСТЬ И ДИАГРАММА ДИНАМИЧЕСКОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ

При статическом приложении кренящего момента восстанавливающий момент постепенно увеличивается вместе с возрастанием угла крена, и эти моменты в конце уравновешивают друг друга в течение всего процесса статического накрениния 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 устойчивости прямой линией ЭК (вариантов два (так действует, например, на судно внезапный порыв ветра (шквал), обрыв тяжелого груза, подвешенного на кантеле, на вывешенной дуге при гребной стреле, обрыв буксирной троса). При действии этого момента судно быстро нагревается.



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

$$A_{кр} = A_{в} \quad (1)$$

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

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

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

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

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

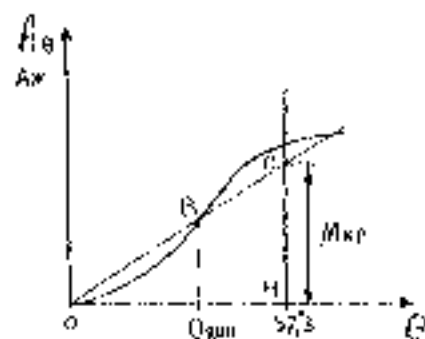
Как видно из рисунка, обе площади являются подобными, поэтому приходим к выводу, что равенство работ кренящего и

восстанавливается его момент будет совпавшим, если выстроим динамический график $M_{кр} = f(\theta)$ и $\dot{\theta}_{кр} = f(\dot{\theta})$ будут равны.



на вращающемся криве. Определить динамический угол кривы по двум графикам статической и динамической можно лишь приближенно. Однако, если вынести с динамической ось отсчета, равную статическому моменту $M_{кр}^{ст}$, и вынести с статической ось отсчета, равную динамическому моменту $M_{кр}^{д}$, то в результате получится кривая, представляющая собой зависимость угла кривы от статического момента от угла кривы.

Построение такой диаграммы, связывающей статический момент кривы с динамическим углом кривы, производится следующим образом. На ось отсчета выносятся несколько точек, соответствующих различным углам кривы. В каждой точке вычерчивается перпендикуляр до пересечения с кривой диаграммы статической жесткости. Затем эти рубки соединяются плавной кривой (рис. 6). Разложив эту графически составленную кривую



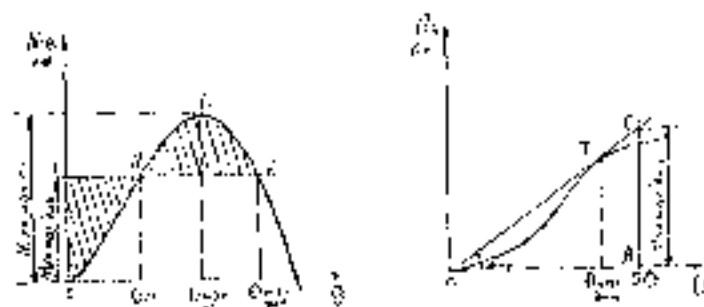
при накрестии судят от отрезка по величине $(\theta - \theta_{кр}^{ст})$ до значения угла кривы, на котором амплитуда $\dot{\theta}_{кр}$ совпадает с амплитудой, которая в заданном масштабе определяет численные значения $\dot{\theta}_{кр}$ и $\theta_{кр}$. Если ординат соединить плавной кривой, которая является диаграммой динамической жесткости при данном состоянии нагрузки судна. Чтобы определить динамический

угол крена на диаграмме динамической остойчивости следует отложить на ось абсцисс (или радиан) и по полувертикали KT установить перпендикуляр, на котором в масштабе работы откладывается широта $HC = M_{кр}$. Соединив точку C прямой с началом координат, получим график кривых поворота и кренящего момента. Абсцисса точки пересечения прямой OC с диаграммой динамической остойчивости (точка B) определяет величину угла $\theta_{дин}$.

Связь между диаграммой динамической остойчивости может быть решена на графике, если отбросить динамический равнодействующий кренящий момент $M_{кр}$ по заданному углу крена $\theta_{зад}$.

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

Предельные максимальная суммарная диаграммы 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 быстрее нарастание кренящего момента к углу более опасно, чем медленное.

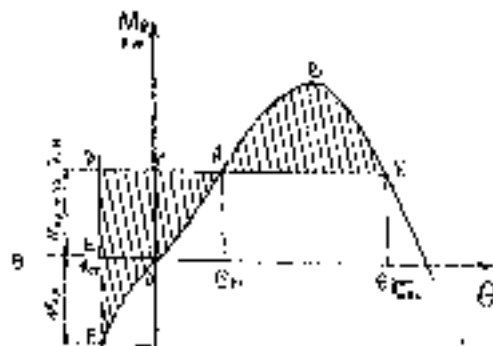
Рассмотрев теперь, как изменится действие инерционного кренящего момента, мы увидим, что при продолжении, в отпущенном состоянии

шио судна соответствует углу крена θ (прямое изображение). Между тем в практике эксплуатации судов бывают случаи, когда крен судна действительно о кренящем моменте судна уже находится в неустойчивом положении в результате действия какой-то кренящей силы (в этом случае при равновесии угол динамический). В зависимости от величины $M_{кр}$ возможны два случая:

- 1) Судно плавают с заданным углом крена и том же направлении, в котором действует внешняя кренящая сила.
- 2) Судно имеет заданный крен в сторону, противоположную действующей внешней кренящей силе.

Обратимся к рисунку в качестве примера, будем считать, что максимальный опрокидывающий момент для вторых, более опасных случаев.

Выясним при какой кренящей силе, при каком динамическом угле крена достигнет значения статической угловой устойчивости, т.е. равновесия, выполняется $M_{кр} = M_{ст}$ и $\theta_{кр} = \theta_{ст}$, $M_{кр} = M_{ст}$ и $\theta_{кр} = \theta_{ст}$ и $M_{кр} = M_{ст}$ и $\theta_{кр} = \theta_{ст}$.

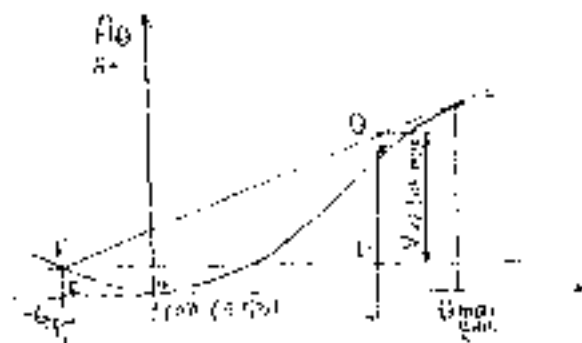


Допустим, что судно имеет крен $\theta_{кр}$ и действует переопрокидывающее действующим моментом $M_{кр}$. Кроме того, на судно действует максимальный кренящий момент $M_{кр, макс}$ в направлении, противоположном $M_{кр}$, т.е. судно имеет крен на тот борт, со стороны которого потенциально внешняя кренящая сила.

В этом случае максимальный опрокидывающий момент определяется следующим образом. Для равновесия статический момент равен нулю и $M_{кр} = M_{ст}$.

дальность от центра тяжести вращающегося тела на участке, равном углу крена $\theta_{\text{КЛ}}$. Затем на перпендикуляр, проведенный в абсолютном направлении от центра крена $\theta_{\text{КЛ}}$, чертим на уменьшенную точку Е криволинейную вертикальную линию до пересечения с скалярной осью (точка Е) — это проекция оси висуса. Показатели отклонения от такте положение на высоте центра ПК, параллельно оси абсцисс, чтобы распределенные моменты ПДА и ДПК оказали равновесие. Изданная ось висуса ОС показывает, куда и насколько моменты равноудаленных паракрутов компенсируют $M_{\text{КП}} \sin \theta_{\text{КЛ}}$. При установившемся крене судна на угле $\theta_{\text{КЛ}}$ отклонение вертикальной криволинейной кривой от $M_{\text{КП}}$ абсолютная точка Е — это величина угла крена $\theta_{\text{ДПК}} \sin \theta_{\text{КЛ}}$, который при этом реализуется судне.

По два равнодействующих относительно центра тяжести отрезка, дающих равномоменты и вызываемому им крену определяют соответствующим образом



Продолжая эти данные в область отрицательных значений абсцисс, на уменьшенную длину $\theta_{\text{КЛ}}$ каем с аналогичным значением откладываем точку Е, соответствующую огибающей нулю углов крена $\theta_{\text{КЛ}}$, и через нее проводим вертикальную линию до пересечения с ней равнодействующей Г. По точке Г проводим касательную ГВ и горизонтальную прямую, параллельную оси абсцисс, на которую складываем отрезок ГР, равный отрезку равновесия $(> 7,3$ град). На точке Р устанавливаем как вертикальный отрезок висуса к длине ГВ и точке Q. Отрезок PQ в масштабе оси висуса равен минимальному опрокидывающему моменту $M_{\text{КП}} \sin \theta_{\text{КЛ}}$. При наличии паракрутов крен судна на угле $\theta_{\text{КЛ}}$ абсолютная точка Т дает величину угла крена $\theta_{\text{ДПК}} \sin \theta_{\text{КЛ}}$, называемого коэффициентом $k_{\text{ДПК}}$.

Расчет плеч и построение диаграмм статической и динамической устойчивости в номограмме *Лилляквиста*.

На рисунке *р.с.д.д.д.* — это кривые плеч формы l_{ϕ} , выражающие зависимость значений плеч формы от взаимного сдвига судна и угла крена. Эти кривые имеют следующий вид:

С помощью номограммы выстроены кривые значения плеч формы l_{ϕ} для различных углов крена θ при заданном взаимном сдвиге судна и затем найдены плечи статической устойчивости по формулам:

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

где $a = Z_{\Sigma} / Z_C$.

Затем эквивалентные плечи динамической устойчивости l_{Σ}^* и θ , учитывая, что диаграмма динамической устойчивости является интегральной кривой от диаграммы статической устойчивости.

Приведем результаты расчетов плеч статической и динамической устойчивости в следующей таблице:

расчетные величины	численные значения в градусах								
	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°
l_{ϕ}	0	1	1	1	1	1	1	1	1
$\sin \theta$	0	0,174	0,342	0,500	0,643	0,766	0,866	0,939	0,985
$a \cdot \sin \theta$	0	0,174	0,342	0,500	0,643	0,766	0,866	0,939	0,985
$l_{\Sigma} = l_{\phi} \cdot a \cdot \sin \theta$	0	0,174	0,342	0,500	0,643	0,766	0,866	0,939	0,985
$\sum_{\text{min}} l_{\Sigma}$	0	0,174	0,342	0,500	0,643	0,766	0,866	0,939	0,985
$l_{\Sigma}^* = \frac{1}{2} \Delta \theta_{\text{max}} \sum_{\text{min}} l_{\Sigma}$	0	0,174	0,342	0,500	0,643	0,766	0,866	0,939	0,985
$\Delta \theta^{\circ} = 10^{\circ}$		$\Delta \theta_{\text{max}} = 0,174$		$\frac{1}{2} \Delta \theta_{\text{max}} = 0,087$					

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 СУДА.

Остойчивости, которая проявляется при предельных наклонениях судна, т.е. при дифференте, называется *продольной*.



Посмотря на то, что угол дифферента судна редко достигает 10 град., а обычно составляет 2 – 3 град, продольное качение относится к малым колебаниям линейным дифференциальным при небольшой длине судна $L=150$ м угол наклоения 1 град. соответствует углу поворота дифферента равному 2,67 м. В связи с этим в практике обслуживания при судон поправке, относящихся к дифференту, более важна, чем высота при равной высоте перепада поскольку у трансверсала судна с верховым валом отклонением валах различении продольная остойчивость все равно остается.

При предельном наклонении судна на угол α происходит поперечный пер Ц.П. перемещается из точки C_1 в точку C_2 и линия действия выталкивающей силы направлена к центру тяжести материков, судно деформируется угол ψ к вертикали так же направленные. Данная линия переопределяется по всему направлению в сил. поперечный переопределяется в точке.

Точка пересечения линии действия сил выталкивания при бездействии малом наклонении в предельной близости к наклонению $M_{р} \sin \alpha \approx M_{р} \sin \beta$ $M_{р} \sin \beta \approx M_{р} \sin \alpha \approx M_{р} \sin \beta$

Радиус кривизны кривой перемещения ЦВ в продольной плоскости называется продольным *метациентрическим* радиусом R , который определяется расстоянием от продольного метacentра до ЦВ.

Формула для вычисления продольного метациентрического радиуса R аналогична поперечному метациентрическому радиусу, $R = I_T / V$, где I_T – момент инерции площади ватерлинии относительно поперечной оси, проходящей через ее ЦВ, функция Y ; V – объемное водсжатие судна.

Продольный момент инерции площади ватерлинии I_T значительно больше поперечного момента инерции I_X . Поэтому продольный метациентрический радиус R всегда значительно больше поперечного r . Ориентировочно считается, что продольный метациентрический радиус R приблизительно равен длине судна.

Основное положение устойчивости заключается в том, что восстанавливающий момент является моментом пары, образованный силой веса судна и силой поддержания. Как видно из рисунка в результате приложения действующего в ДН внешнего момента, называемого *дифференциальным дифференциальным моментом* $M_{\Delta\varphi}$, судно получило наклонение на малый угол дифференциала φ . Одновременно с повышением угла дифференциала возникает восстанавливающий момент $M_{\Delta\varphi}$, действующий в сторону, противоположную повороту дифференциального 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: $M_{\Delta\varphi} = M_{\Delta\varphi}$.

Восстанавливающий момент в данном случае будет

$$M_{\Delta\varphi} = D \cdot GK \quad (1)$$

где GK – поперечный момент, называемый *вектор продольной устойчивости*.

Из приведенного треугольника GMK получаем:

$$GK = MG \cdot \sin \varphi + H \cdot \sin \varphi \quad (2)$$

Подставляя в последнее выражение величина $MG = H$ определяем положе-

Изменение продольного метacentра плав. Ц. Г. судна и называется дифферентом и метастабильностью в осевом пл.

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

$$M_{\text{диф}} = D \cdot H \cdot \sin \varphi \quad (3)$$

Где произведение $D \cdot H$ — коэффициент продольной остойчивости. Исходя из того, что продольная метacentрическая высота $H = R - a$, формулу (3) можно записать в виде:

$$M_{\text{диф}} = D \cdot (R - a) \cdot \sin \varphi \quad (4)$$

Где a — расстояние Ц. Г. судна над его Ц. В.

Формулы (3), (4) являются абстрактными расчетными формулами продольной остойчивости.

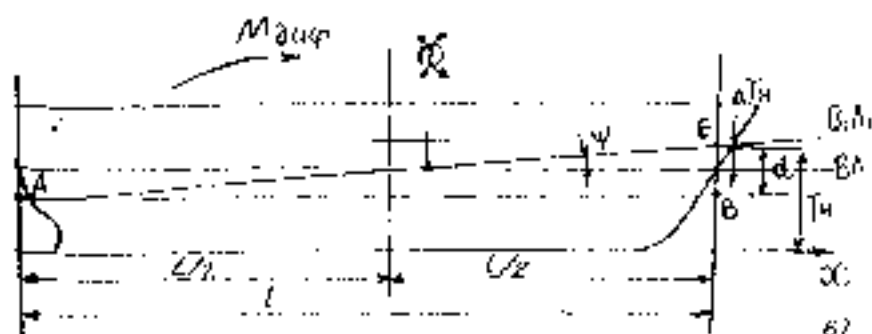
Ввиду малости угла дифферента и угловых формулах, вместо $\sin \varphi$ можно подставить угол φ в радианах и тогда:

$$M_{\text{диф}} = D \cdot (R - a) \cdot \varphi \quad \text{или} \quad M_{\text{диф}} = D \cdot (R - a) \cdot \alpha$$

Поскольку величина радиуса кривизны метacentрической кривой R во много раз больше поперечной α , продольная метacentрическая высота H и следовательно судно во много раз больше поперечной B , поэтому, если у судна обеспечена поперечная остойчивость, то продольная остойчивость обеспечена (не совсем).

2) ДИФФЕРЕНТ СУДНА И УГОЛ ДИФФЕРЕНТА.

В практике работы наклоненные судна в продольной плоскости, связанных с изменением дифферента, вместе с углом дифферента принято пользоваться тангенсом дифферента, значение которого определяется как разность осей судна по своим корням, т.е. $\tan \alpha = T_{\text{д}} - T_{\text{к}}$.



Дифференциально считать положительным, если осадка судна δ больше, чем выстой, дифференциально — наоборот. В большинстве случаев судно имеет дифференциал на корму.

Предположим, что судно, вращаясь на ровной поверхности ВД, под действием поперечного момента получила дифференциал δ и действующая центробежная сила поворачивает ВД. На формулы для восстановления момента имеем:

$$\varphi = \frac{M_{\perp}}{D \cdot H}$$

Приведем пунктирную линию АВ, параллельную ВД, через точку пересечения бортового дерайзера с осью В₁Д. Дифференциал δ определяется углом В₁С (рис. 10) и формула ДИФ. Остаток:

$$\text{и } \varphi = \varphi' + \delta / L$$

Сравним полученные выражения, выучим:

$$\delta = \frac{M_{\perp}}{D \cdot H} \quad \text{или} \quad M_{\perp} = \delta \cdot D \cdot H$$

3. ИЗМЕНЕНИЕ ДИФФЕРЕНТА ПРИ ПРОДОЛЬНОМ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ГРУЗА

Рассмотрим методы определения осадки судна при действии на него дифференциальной силы, возникающей вследствие перемещения груза в продольном направлении.



Допустим, что груз P перемещен вдоль судна на расстоянии l_x . Перемещение груза, как уже указывалось, может быть связано приближением к судну

момента партия. В каждом случае этот момент будет дифференциальным и равным $M_{\text{инт}} = R \cdot l_1 \cdot \cos \varphi$. Уравнение равновесия при предельном перемещении груза (равенство дифференциальных моментов, очевидно, может быть) имеет вид:

$$R \cdot l_1 \cdot \cos \varphi = D \cdot H \cdot \sin \varphi$$

$$\text{откуда } \operatorname{tg} \varphi = \frac{R \cdot l_1}{D \cdot H}$$

Поскольку малое падение судна происходит вокруг оси, проходящей через ЦТ и Е, можно получить следующие выражения для моментов относительно осей X_1 и X_2 :

$$\Delta M_{X_1} = G \cdot \left(\frac{l_1}{2} + X_1 \right) \cdot \operatorname{tg} \varphi = \frac{R \cdot l_1}{D \cdot H} \cdot \left(\frac{G}{2} + X_1 \cdot G \right)$$

$$\Delta M_{X_2} = G \cdot \left(\frac{l_1}{2} + X_1 \right) \cdot \operatorname{tg} \varphi = \frac{R \cdot l_1}{D \cdot H} \cdot \left(\frac{G}{2} + X_1 \cdot G \right)$$

Отсюда видно, что моменты в корме при перемещении груза вперед судна будут:

$$I_{\text{II}} = T + \Delta M_{X_1} = T + \frac{R \cdot l_1}{D \cdot H} \cdot \left(\frac{G}{2} + X_1 \cdot G \right)$$

$$I_{\text{K}} = F + \Delta M_{X_2} = F + \frac{R \cdot l_1}{D \cdot H} \cdot \left(\frac{G}{2} + X_1 \cdot G \right)$$

Если учесть, что $\operatorname{tg} \varphi = \frac{d}{4 \cdot L}$ и $\cos D \cdot H = \sin \varphi = \frac{M_{\text{инт}}}{M_{\text{суд}}}$, можно записать:

$$I_{\text{II}} = T + \frac{R \cdot l_1}{100 \cdot M_{\text{суд}}} \cdot \left(\frac{G}{2} + X_1 \cdot G \right)$$

$$I_{\text{K}} = F + \frac{R \cdot l_1}{100 \cdot M_{\text{суд}}} \cdot \left(\frac{G}{2} + X_1 \cdot G \right)$$

где T — сила судна при обжатии на револьвенте;

$M_{\text{суд}}$ — момент дифференциальной судна на 1 см;

Узнав значение X_1 можно по принятым элементам параллельного чертежа, причем необходимо строго учитывать знак перед X_1 — для раскладки

ная точки F и по оси абсцисс величина X_2 отменяется положительной, а распределенные точки G в корму от миделя - отрицательной.

Центр I_2 также считается положительным, если груз переносится на противоположную часть судна; при переносе груза в корму плечо I_2 считается отрицательным.

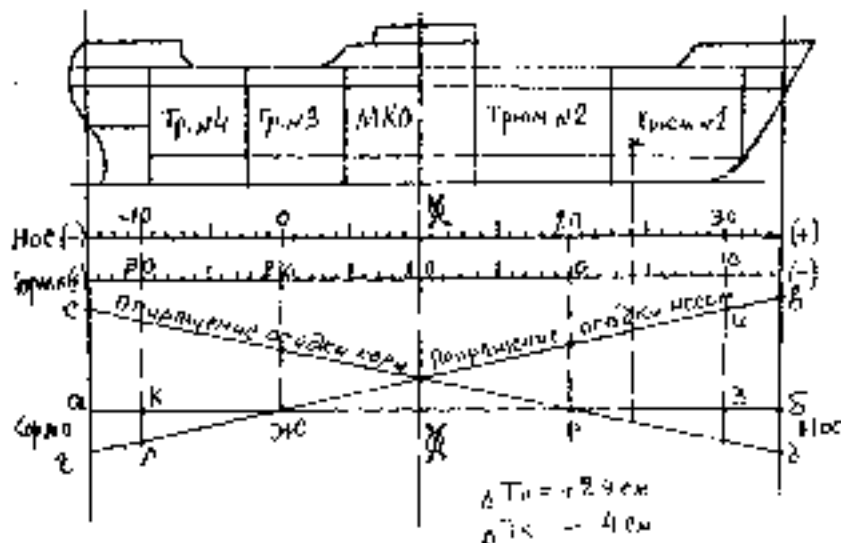
4) ШКАЛА ИЗМЕНЕНИЙ ОСАДКИ ОКОНЕЧНОСТЕЙ ВСЛЕДСТВИЕ ПРИЕМА 100 ТОНН ГРУЗА

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

В основе построения таких шкал и таблиц лежат следующие соображения. Изменение осадки оконечностей судна при приеме груза сводится к увеличению средней осадки на величину ΔT и изменения осадок оконечностей ΔT_H и ΔT_K величиной ΔT в зависимости от местонахождения принятого груза, а величины ΔT_H и ΔT_K при данной осадке и фиксированной массе груза P будут изменяться пропорционально абсциссе ЦТ принятого груза X_P . Поэтому, выполнив такую зависимость для каждой величины изменения осадки оконечностей от приема груза ставится в соответствие ΔT и затем возможно перенести координаты построить шкалу или таблицу изменения осадки оконечностей судна от приема груза массой, например, 100 т. Значения ΔT , ΔT_H , ΔT_K вычисляются по формулам (см. Приложение 14, 15).

По полученным графикам осадки оконечностей судна строим график изменения этих осадок от приема указанного груза.

Для этого на прямой ab намечаем положение ялель - индикатора и складываем в выбранном масштабе ab (в нос) и ac (в корму) поперек длину судна. Из полученных точек экстенсивируем перпендикулярно линии ab . На нашем перпендикуляре откладываем вверх стрелку bd , изображающий в выбранном масштабе вычисленное изменение осадки носом при приеме груза в носу. Аналогично на кормовом перпендикуляре откладываем вниз стрелку ce , изображающий вычисленное изменение осадки носом при приеме груза в корму. Соединив точки d и e , получаем график изменения осадки носом от приема груза массой 100 тонн.



Таким же образом при выдвиге вострагнет графика измерения осадки судна жердой от причема груза. Зная отрезок ab в принятом масштабе и парадокс изменения осадки корабля при приеме груза МКВ и носу, а отрезок ac при приеме груза в корпус.

Приведем пример градуировки шкалы. Над графиком (или под ним) проводим две прямые линии для нанесения шкалы изменения осадки, например — для носа, и нижнюю — для корпуса. На каждой из них отмечаем точки, соответствующие значениям осадки, указанные в таблице (точками a и b). Затем между линией ab и графиком ab и bc подбираем такие отрезки, длина которых в принятом масштабе была бы равна 30 или 10 см изменения осадки. Такими отрезками при градуировке шкалы "через" будут отрезки ab и bc . В результате измерения на шкале деления 30 и 10. Расстояние между 0 и 10, 10 и 20 делится на 10 равных частей. Размеры этих делений на разных участках шкалы должны быть одинаковыми.

Используя график ab , задавая любым способом стрелки шкалы осадки корпусом. При практических расчетах строят несколько шкал и измерения результатов размещают от причема 100 тонн груза. Чаще всего строят шкалы для трех осадок (включая меньшую) осадки державки и судна — осадки судна и полного груза 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, непременной формулой, требующие значительных затрат времени. Кроме того, эти формулы содержат диаметры, 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 осадки носом и кормой представляет собой два семейства кривых постоянных осадок носом T_n и кормой T_k . По оси абсцисс отложена величина возмущения D , но не суданит – галлические милиметры, а для удобства измерения суданитов видель шпацията M_x . Показательные значения моментов M_x соответствуют дифференту на нос, а отрицательные – дифференту на корму (см. Приложение 16, 17).

Пункты дуге линии на диаграмме соответствуют различному дифференту судна. На диаграмме осадок вынесены также при какой высоте воды при входе на рейвты, и проводены вспомогательная линия, позволяющая определить водоизмещение при различных значениях водоизмещения.

1.5. НЕПОТОПЛЯЕМОСТЬ

Л е к ц и я 16.

1) ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О НЕПОТОПЛЯЕМОСТИ

Делением судна на отсеки, обеспечивается способность судна сохранять долговечность и остойчивость при затоплении отсеков или нескольких отсеков обрубанных внутри корпуса судна вмонтированными переборками, палубами и платформами.

Поскольку при затоплении отсеков судна, предполагается повреждение при этом временно затопляемых отсеков, приводит к изменению характеристик остойчивости и осадки судна, управляемости и ходкости. Перенос предельные силы плавучести по длине судна вызывает дополнительное напряжение в корпусе судна, который должен сохранять при этом постоянную прочность. Кроме того, решение задачи обеспечения непотопляемости транспортно-го судна затрагивает ряд самых важных технических эксплуатационных характеристик.

В процессе расчета непотопляемости определяются особенности судна и остойчивости судна после затопления отсеков или нескольких отсеков различных отсеков. Если оказывается, что аварийный критический набор воды аварийно-го судна, индивидуальной особенности, поврежденности судна, а также в предельных предельных требованиях непотопляемости, то непотопляемость судна должна обеспечиваться. В противном случае приходится прибегать к дополнительным мерам обеспечения остойчивости.

2) СПОСОБЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НЕПОТОПЛЯЕМОСТИ

Непотопляемость, как одна из важнейших качеств судна, обеспечивается конструктивными и предупредительными мерами, а также техническими мероприятиями.

Конструктивно непотопляемость обеспечивается, размещением переборок, палуб и платформ. Палубы, декектерий, дюралевые и стальные водонепроницаемые переборки, принимающие на себя вес судна и груза, являются конструктивно непотопляе-

мость судна обеспечивается также устройством на судне осушительных систем, мерительных труб, водомерных шкафов закрытой и т.п. Большое значение для обеспечения заданной плавучести, остойчивости и прочности судна после затопления отсеков имеет также правильный выбор соотношения главных размерений судна.

Не менее важное значение для обеспечения непотопляемости имеют предупредительные организационно-технические мероприятия. Наиболее важными из них являются: правильная установка лючков, обшивка вблизи палубы непотопляемости; систематическая и тщательная подготовка по обеспечению непотопляемости; поддержание в исправном состоянии всех водомерных шкафов закрытой (зеркал, люков, гермопаней, клапанов и т.д.); строгое соблюдение инструкции по приему и расходу жидкой груши; индивидуальная защита в условиях штормовой погоды и устранению свободных поверхностей живых груш; регулярный контроль водомерных шкафов корпуса судна путем замеров уровня жидкости в льяльных ящиках 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). Особо важно сохранить достаточную положительную остойчивость после аварии. Известно, что потеря судном плавучести в результате внезапного затопления является процессом относительно медленным; опрокидывание же судна вследствие потери остойчивости происходит внезапно и обычно влечет за собой гибель судна и человеческие жертвы.

Таким образом, обеспечение непотопляемости транспортное судно осуществляется большей частью за счет предупреждения, так и предупредительного характера, решение которых представляет значительные трудности.

В зависимости от характера затопления различают три категории затопленных отсеков: отсеки первой категории, затопленные полностью; отсеки второй категории, затопленные частично (имеющий свободную поверхность живых груш), но не сообщавшийся с забортной водой; отсек третьей категории, затопленный частично и сообщавшийся с забортной водой через переборку в дежурной обшивке.

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

заполнены отсеком первой категории, проникая в них забортная вода может рассматриваться как принятый на судно твердый груз, тогда элемент на посадку и остойчивости судна могут быть определены по формулам, по которым определяется эти элементы при приеме твердого груза.

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

Облегчить сложные расчеты при затоплении отсека третьей категории, имеющего свободную поверхность, и сообразившись с забортной водой через пробонину. В этом случае во избежание воды в отсеке размещается три элемента: посадка судна, а посадка, в свою очередь, зависит от количества принятой воды. Такие расчеты выполняются также 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 размещения водонепроницаемых переборок. Такая проверка имеет своей целью установить соответствие их размещения тем требованиям, которые предъявляются регламентом. Для корпусов трехмерных судов нормирование посадок также выполняется по тем же правилам, что и для одномерных. Однако в отличие от переборки палубы переборки на расстоянии $2b$ мм ($2b$ дюйма) от носовой оконечности судна. Устанавливать пределы нулю нагрузку переборками, так, не имея допусков, чтобы даже при повреждении судна была почва потерян.

Таким образом, критерием непотопляемости судна после затопления является или группа отсеков является положение наравности сложной предельной длины погружения. Решение вопроса об удовлетворении этому критерию сводится к установлению такой предельной длины крепления и различных частях корпуса судна (предельной длины отсека), при котором указанное условие будет соблюдено. $(L_{дл} \leq L_{п} \leq L_{пв} + b_{дл} - L_{дл} \leq L_{п} \leq L_{пв} + b_{дл} \leq L_{пв} + b_{дл} \leq L_{пв} + b_{дл})$ называется длина некоторого условного отсека, при котором указанное условие не нарушается, а переборки касаются предельной длины погружения, не превышая ее.

1. 6. БЕЗОПАСНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДНА

П е к ц и я 17.

1) ЗАПАС ПЛАВУЧЕСТИ СУДНА.

Для обеспечения неопасности плавания судно должно обладать определенной потенциальной плавучестью $\sigma_{\text{п.п.к.д.м.п.у.в.к.т.р.с.т.о.}}$, характеризующей величиной воспроизводимой для воды $\sigma_{\text{в.к.т.р.с.т.о.}}$ различия между фактической действующей катеринной. Следовательно, запасом плавучести можно считать то количество грузов (или воды), которое судно может принять сверх уже находящегося на нем до полной потери плавучести.

Запас плавучести обычно выражается в процентах от фактической катеринной с полным грузом, т.е. является относительным запасом плавучести. Если воспроизводимой для воды фактической объем корпуса обозначить через $V_{\text{ф.к.}}$, то относительный запас плавучести выражается отношением:

$$A = \frac{V_{\text{п.п.к.д.м.п.у.в.к.т.р.с.т.о.}}}{V_{\text{ф.к.}}} \cdot 100\%$$

Относительный запас плавучести различен у судов разных типов и составляет: для пассажирских судов - около 80 %, сухогрузов - 75 - 80 %, танкеров - 15 - 25 %.

Сохранение запаса плавучести и его конструктивное обеспечение является важнейшей задачей для всякого судна. Достаточный запас плавучести в процессе проектирования и постройки судна достигается рядом конструктивных мероприятий, к числу которых относятся: обеспечение достаточной высоты надводной борты, устройство водонепроницаемых закрытых и раздельных судна на отсеки продольные водонепроницаемыми переборками и палубами. При отсутствии последних, любой повреждение верхней части судна может привести к полной потере запаса плавучести и гибели судна. Запас плавучести в этом случае конструктивно не обеспечен.

2) ВЕЛИЧИНА НАДВОДНОГО БОРТА

Увеличение высоты надводного борта связано с работой надводного борта, чем она больше, тем больше запас плавучести. Поэтому высоту надводного борта судна принимают в качестве основного параметра для расчета плавучести и регламентации запаса плавучести в определенной степени соотносят к нормированию минимальной высоты надводного борта, обеспечиваемой с точки зрения обеспечения плавучести судна.

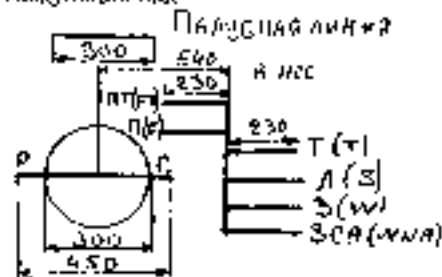
Допустимая высота надводного борта, именуемая в "Принципах грузовой маркировки судов" (1974 г.) *минимальная высота надводного борта*, обеспечивается судну *запас плавучести*, который считается достаточным для безопасного плавания в определенных районах и в определенное время года. Высота безмерной надводного борта устанавливается для каждого судна в зависимости от его длины, коэффициента общей полноты, осадочности (предельной глубины) плавбы, высоты 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 экипажа от воздействия среды (покрытия decks, отверстий в бортах, лаублах и надстройках, средства доступа в судонные помещения; деэриные цитражения).

3) ГРУЗОВАЯ МАРКА

Чтобы избежать перегрузки судна при эксплуатации, установленные значения надводного борта фиксируют путем нанесения на каждом борту судна *грузовая марка*, состоящей из плавучей линии, т.е. линии грузовой марки и марок, размещаемых со стороны грузовой марки.

Разница между общей международной грузовой маркой и специфичными грузовой маркой, которые наносят на бортах судов различных типов (десктовы, пассажирские суда, яхты, плавания) и на различных типах суда, морские суда внутреннего плавания).

Грузовая марка имеет следующий вид:



В международную грузовую марку входит следующий ряд марок:

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

2. Зимняя Z (w - winter) - минимальный надводный борт, который получается увеличением высоты на 14% летней осадки.

3. Зимняя грузовая марка для северных районов - ЗСА (WNA - winter north Atlantic). У судов длиной более 100,5 м минимальный борт совпадает с нормальным зимним. У судов длиной менее 100,5 м он увеличен на 50 мм, т.е. условия плавания судов сравнительно малых размеров более жесткие.

4. Тропическая T (T - tropical) - получается путем увеличения летнего надводного борта на 14% летней осадки.

5. Грузовая марка для пресной воды ПП (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 ПТ (T - tropical fresh water) - ее получают уменьшением тропического надводного борта на величину изменения осадки при переходе из соленой воды в пресную.

Буквы РС на марке обозначают - реверсивная РС (R).

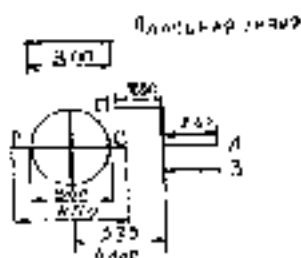
Для лесовозов существует специальная лесная грузовая марка, которая наносится левее знака грузовой марки. Она уменьшает надводный борт, т.к. лес придает судну дополнительную плавучесть.

Пассажирские марки обозначаются литерами С1, С2, С3 и т.д., расположенные перпендикулярно вертикальной линии вверху.

Существует специальная грузовая марка для судов вступившего в силу. Она имеет вид:

Назначение минимального надельного бортового судна зависит от района плавания этих судов.

Судам с сертификатом международные рейсы, район плавания которых называется "весь судовой район" относятся к "грузовой марке", которые существуют на русском и английском языках.



4) ТРЕБОВАНИЯ РЕГИСТРА К ОСТОЙЧИВОСТИ МОРСКИХ СУДОВ. НОРМЫ ОСТОЙЧИВОСТИ

Цель нормирования остойчивости судов – обеспечение надлежащей и достаточной остойчивости для безопасной плавания судов в эксплуатационных условиях.

Остойчивость судна определяется по отношению к динамическим критериям. По основному критерию остойчивости – безопасности плавания проверяют в нормальную погоду. Судно должно выдерживать, при воздействии одновременно действии динамически возмущающих воздействий ветра и бортовой качки при маневрировании в смысле остойчивости варианты нагрузки. Остойчивость судна считается достаточной, если динамически предельный критерий остойчивости ветра M_{KP} равен или превышает минимальное значение M_{min} или больше него, т.е. безопасность судна гарантирована при $M_{KP} \geq M_{min}$.

Отношение M_{KP}/M_{min} называется критерием погоды К и должен быть равен

$$K = M_{KP}/M_{min} \geq 1$$

Критерий остойчивости от давления ветра определяется по формуле:

$$M_{KP} = 0,1011 \cdot P_{в} S_{в} Z_{в}$$

где: P_R – условное расчетное давление ветра, Па;

S_H – площадь парусности, м²;

Z_H – отношение центра парусности от шлюбки действующей латерализии, м.

Давление ветра P_R определяется по таблицам “Пример классификации и постройки морских судов” Речного Регистра в зависимости от района плаванья и значения Z_H (для определения S_H , Z_H см. Приложение 18).

Опрокидывающий момент $M_{сдв}$ определяется по диаметре дельтаметеллоид или статической остойчивости, рассчитанной с учетом влияния свободной поверхности жидких грузов.

Остойчивость проверяется при всех вариантах нагрузки. Для судов тех типов, на которых существуют специальные указания, и число вариантов нагрузки, подлежащих проверке, указаны следующие: судно с полным грузом и полным запасами; судно с полным грузом и 10% запасом; судно без груза с полным запасами; судно без груза с 10% запасом.

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

Половые критерии погоды K Правил Регистра регламентируют параметры двараммы статической остойчивости. Согласно требованиям Правил, максимальная площадь двараммы статической остойчивости морских судов вестинг должна 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, характеризующий угол заката двараммы, должен быть не менее 60 град. У судов с отношением H/L более 0,0 возможен некачественный уменьшение угла заката, соответствующего максимальному плечу двараммы.

В качестве дополнительного условия достаточной остойчивости угол максимума двараммы 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.

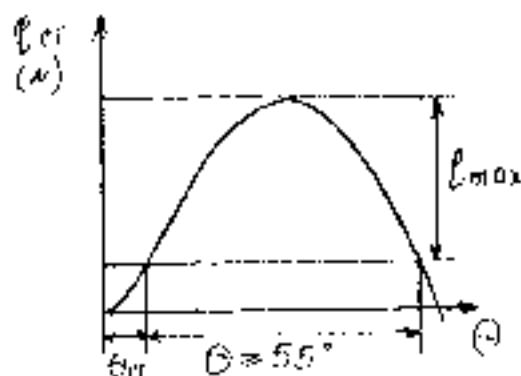
Нормы рассматриваемых общих критериев устойчивости Правил предусматривают ряд дополнительных критериев, обусловленных типом судна. Так, остойчивость пассажирских судов определяется для случая нахождения пассажиров на палубе и при повороте судна под действием рывка борта (вращение). Остойчивость буксиров проверяют при поворотах дальнопущим судном трал.

Таким образом, нормы требований Регистров остойчивости мерками непременности судна можно выразить так:

- 1) $K > M_1 / M_{100} > 1$;
- 2) $L_{100} > 0,25$ м (при $L < 80$ м);
 $L_{100} > 0,2$ м (при $L > 105$ м);
- 3) $\mu > 0$;
- 4) $\beta_{max} < 30^\circ$;
- 5) $\beta_{100} < 60^\circ$.

5) ТРЕБОВАНИЯ К ОСТОЙЧИВОСТИ СУДОВ, ПЕРЕВОЗЯЩИХ НАСЫПНЫЕ ГРУЗЫ

Согласно изложению Правил Регистра остойчивость судна, перевозящего насыпные грузы, считается достаточной, если угол статического крена судна $\beta_{ст}$ не превышает λ град, продолжительность двукратной статической остойчивости будет не менее 55 трал. Также, как для других судов $\beta < 0,1$ ст $\sim 0,2$ м (при $L > 105$ м), $K > 1$.



1) ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА ДЛЯ КАПИТАНА

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

Односторонней ответственности 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: обычно рекомендация и конкретные указания относительно эксплуатационных ограничений, которые необходимо выдерживать, чтобы обеспечить безопасность судна в отношении опрокидывания (здесь же принимаются меры по улучшению остойчивости судна), различные виды вспомогательные графики, таблицы, шкалы, диаграммы и другие материалы, необходимые для оценки остойчивости при возможных в эксплуатации, но не предусмотренных заранее, вариантах загрузки.

"Информация" составляется на материалы типичного крепления судна.

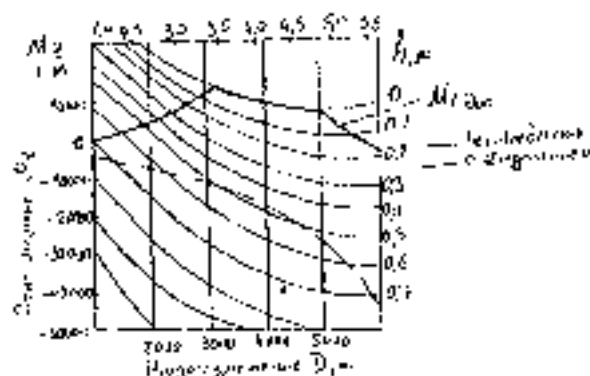
Данные, характеризующие остойчивость судна в типовых условиях загрузки, позволяют судноводе или без всяких расчетов количественно оценить остойчивость при наиболее часто встречающихся в эксплуатации состояниях загрузки или же при известном состоянии загрузки сопоставить остойчивость судна с тем, какой к нему и заранее установленной остойчивостью. В "Информации" имеются специальные стандартные бланки для каждого типичного случая загрузки, содержащие схему загрузки судна, таблицу загрузки масс, линию разму статической остойчивости и таблицу остойчивости судна. В последней указаны также пределы остойчивости (по углам и периодам) и дополнительные критерии остойчивости, при которых эксплуатация судна считается безопасной.

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

жих грузов, сведения о мерах предосторожности при перевозке пассажиров, а также пассажиры и ценные грузы.

Материалы для расчета остойчивости при нештатных случаях загрузки содержат: диаграмму предельных допустимых моментов; диаграмму предельных возмущений П.Т. судна; универсальную диаграмму постоичности; чертеж размещения грузов на судне; таблицу для оценки остойчивости судна на периоду боковой качки; диаграммы осадки плав и жерной.

2) ДИАГРАММА ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫХ МОМЕНТОВ



На вертикальной шкале диаграммы отложены статические моменты M_2 на грузы, размещенные по заданному плану размещения судна D_1 и средняя осадка T_{1r} .

На диаграмме нанесены кривые предельно допустимых моментов $M_{2, доп}$ с обозначением в баллах обоснования.

Таким образом, для любого числа принятого в диаграмме допустимых моментов, необходимо знать размещение судна D_1 и среднюю осадку и статический момент M_2 . Эти данные определяются в табличной форме (исходная таблица масс на грузы на судне).

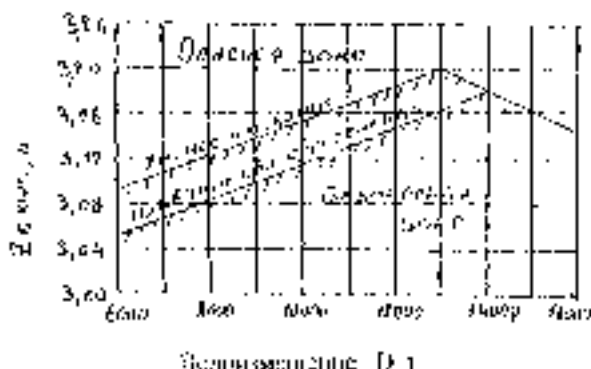
К заданному суднаемому значению статического момента M_2 принадлежат значения на графике свободная погрузочная судовых шлюзов. В обратном направлении значение M_2 сопоставляют при данном размещении D_1 с допустимым моментом $M_{2, доп}$ по предельной кривой, нанесенной на диаграмме допустимых моментов (см. Приложение 19).

Если разность $M_{\text{диф}} - M_{\text{суб}}^{\text{н}} \cdot \sigma_{\text{н}}^2$ отрицательная, то судно удовлетворяет требованиям норм устойчивости, если же эта разность положительна, то судно не удовлетворяет требованиям норм устойчивости и необходима правка или балластправка судна путем приема лаборной воды в балластные цистерны.

Половые крайние пределы допустимых моментов на курсе диаграммы записаны в крайних точках значений метацентрической высоты h .

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

Вместо диаграмм моментов по Правилам допускают помещать в "информацию" графики и таблицы допускаемых значений максимального возвышения Ц.С. судна в зависимости от возвышения декейта или средней осадки судна. В этом случае ось абсцисс устойчивости судна сводится к осевой составляющей $Z_{\text{д}}$ возвышающей шпангоута судна, с предельно допустимой шпангоутой $Z_{\text{доп}}^{\text{н}}$. Если окажется, что $Z_{\text{д}} < Z_{\text{доп}}^{\text{н}}$, то судно удовлетворяет требованиям норм устойчивости.



Значения предельно допустимой шпангоутой в зависимости от возвышения или осадки судна представляются в виде графиков. Таких графиков может быть несколько (для летнего плавания, для зимнего плавания в условных обозначениях и т.д.). Такие графики разбивают на зоны, соответствующие различным режимам плавания.

Если окажется, что при данных осевых нагрузках судна $Z_{\text{д}} > Z_{\text{доп}}^{\text{н}}$, то прибегают к балластровке путем выгрузки судна из предкризисных грузов.

Лекция 19.

1) ТРЕБОВАНИЯ РЕГИСТРА К НЕПОТОПЛЯЕМОСТИ МОРСКИХ СУДОВ

В пункте 8 главы 10 постановления о регистрационных требованиях к судам указывается, что регистрационные требования к постройке морских стальных судов — *Постройка судов*. Эти требования составлены с учетом положений Международной конвенции по охране человеческой жизни на море (1960).

Согласно *Постройка судов* судно считается удовлетворяющим требованиям к прочности в поврежденном состоянии, если расстояние между его главными поперечными переборками во время или допустимой вынужденной посадки, определенной по крайней допустимой длине отсека. Этот фактор повреждения не равен единице, равному или одной трети, то при проектировании судна, независимо от проверки расчетов переборок, должны быть выполнены расчеты его прочности в поврежденном состоянии. Результаты расчетов должны показать, что аварийная деформация ни в одной точке не превышает предельной линии нагрузки.

Постройка судов выдвигает ряд требований к устойчивости поврежденного судна. Эти требования относятся к деформации, если при повреждении одного, двух или трех любых смежных отсеков (в зависимости от значения фактора повреждения) на величину поперечная метастатическая высота, определенная методом постоянного водоизмещения, составляет не менее 0,033 ширины судна или 0,05 м (что бы ни было, что бы ни было).

Постройка судов указывает также, что угол крена поврежденного судна при незначительном возмущении до прекращения не должен превышать 15° для пассажирских судов и 12° для прочих судов.

Аварийная запертая должна входить до спрямления, но крайней мере, на 0,3 м ниже осередин, через внутренне шпангоуты дальнейшее расширение воды по судну, а после спрямления - ниже предельной линии погружения.

Для рамы с статической устойчивости поврежденного судна должен иметь действительную площадь участков с положительными значениями. При этом в конечной стадии затопления, а также после спрямления требуется обеспечить значение максимального плеча статической устойчивости не менее 0,1 м, а прокативность четки дисградины с положительными значениями при симметричном затоплении не менее 30°, и при несимметричном 20°.

2) ИНФОРМАЦИЯ О НЕПОТОПЛЯЕМОСТИ СУДА ДЛЯ КАПИТАНА

Правильно требует, чтобы при проектировании судна была разработана "информация по аварийной устойчивости и посадке судна", с помощью которой капитан сможет учитывать, при эксплуатации судна требования, связанные с непотопляемостью, и оценить реальное состояние судна при затоплении отсеков, для принятия необходимых мер по сохранению поврежденного судна. Эта "информация" должна быть приведена следующие:

- сведения о судне, схематический чертеж его продольного разреза, планы палуб и двойного дна, а также характерные поперечные сечения с указанием всех принципиальных переборок и шпангоутов, отсеков и пилон, характера закрытий этих отсеков и пилон, а также схемы систем, используемых при борьбе за живучесть судна;
- инструктивные данные по затоплению и балластировке судна с рекомендациями по ведению бортовому в отношении принятия решения по отсекам распределенной грузовой массой. одновременно учесть соотношение условий дифферента, устойчивости и прочности судна и цели, указания на случаи опасных повреждений и их причины, при которых приближение правого не удовлетворяется;
- схему результатов расчетов симметричного и несимметричного затоплений, в которой должны быть приведены данные об относительной

рийной оценке, критерии дифференци и математической выводе как для, так и в случае принятия мер по снижению судовой или судовой осе-
тийчивости, а также рекомендуемые меры и необходимые для их выполнения
времена, должны быть приведены в характеристиках динамичности ста-
бильности остойчивости для судна с учетом затенения судна.

Такая "информация" составляется на основании результатов опытно-
испытательных судна и по данным "информации об остойчивости судна".

3) СПОСОБЫ И ПРИБОРЫ КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВАНИЯ ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА

Для оценки остойчивости судна в экстремальных условиях
Расселлер рекомендует применять следующие приборы. Существует мно-
го различных конструкций таких приборов. В основу опыта положены принци-
пы пневматической системы равновесия с раздаточной прибором (как правило,
разной конструкции) с валом с двумя или тремя дисками, рас-
положенными на конструктивной основе и установленными индивидуальными по-
борками на судне. Другие приборы основаны на принципе измерения
нагрузки судна с помощью датчиков, чувствительных к направлению стру-
жмы. В их числе можно отметить и электронные приборы, основанные на
электронном измерении нагрузки судна.

Все приборы, предназначенные для контроля остойчивости судна, делят-
ся на две основные группы.

К первой группе относятся приборы для измерения поправки на остой-
чивость до начала загрузки судна. Исходными данными для приборов этой
группы являются величины, входящие в состав нагрузки массы судна: дей-
ствие или поперечное, моменты относительно гоула M_x и M_y и дейст-
вие M_z массы принимаемых или снимаемых грузов, включая анкерный
вес и другие. Кроме того, существенно внесет поправка, учитывающая
длину свободных поверхностей жидких грузов.

На основании указанных выше данных и данных приборов опре-
деляется следующие характеристики остойчивости: осадка встан, поправки

и среднюю, угол качата и угол максимального плеча диаграммы статической устойчивости, максимальное плечо, безразмерную метacentрическую высоту.

К наиболее распространенным приборам первого типа относятся прибор устойчивости и дифферента Баллодвельемана и прибор устойчивости и дифферента Кюльера, прибор ПУЭОС-1, шведский прибор "Сталевикатр".

Вторую группу составляют приборы, позволяющие контролировать устойчивость во время реверса. Основными на них являются периодические судно или углов крена, эти приборы имеют следующую систему для получения исходных данных и соответствующую часть, обрабатывающую эти данные и впоследствии выдает результат вычисления.

Некоторые данные обычно служат углы крена судна при неуспешно заданном крене или моменте или период, собственных колебаний судна. С помощью таких приборов получают значительные индикаторы центра тяжести и метacentрической высоты и по этим данным по вычислительным приборам "вычисляем" всю диаграмму статической устойчивости или ее начальный участок.

Наиболее распространены приборы, функционирующие на измерении периода колебаний судна.

Принцип действия приборов другого типа основан на зависимости между углом удерживаем при фиксированной киле и метacentрической высотой. К таким приборам относятся, например, маятниковые приборы.

В настоящее время большинство вопросов, связанных с загрузкой судна, расчетом площади и устойчивости судна и т.д. могут быть автоматизированы с помощью персональных компьютеров при наличии соответствующих программ. Наличие данных перечисленных микрокомпьютер дает большие возможности и в значительной мере упрощает процесс расчетов. Главная задача в этой ситуации не допустить "эффект передоверия прибору". Иначе сам человек, являющийся вычислительную технику, должен сам в совершенстве владеть тем программой, которая ему помогает работать с помощью прибора. (Пример расчета загрузки судна с помощью персонального компьютера приведен в Приложении 20.21).

2.1. УПРАВЛЯЕМОСТЬ

Лекция 20.

1) ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Управляемость судна – это способность судна сохранять заданное направление движения, т.е. быть устойчивым на курсе или иметь возможность судноводителя подействовать рулем. Таким образом, управляемость объединяет две задачи: судна – устойчивость на курсе и поворачиваемость.

Устойчивость на курсе – это способность судна сохранять прямолинейное направление движения в соответствии с заданным курсом. *Поворачиваемость* – это способность судна поворачивать направление движения и двигаться по заранее заданной судноводителем криволинейной траектории.

Взвезд на судно, совершающее движение в том направлении, оказывает влияние многие факторы – ветер, волны, течение, неравномерность забиты крейных ветвей и руля и т.п. Их действие трудно выводится количественному учету, но все они стремятся вывести судно из заданного направления движения. Практически же способность судна держаться на курсе зависит от суммарного воздействия всех ветвей руля. При этом, чем сильнее удар переборки руля и чаще переборка в единицу времени, тем болейшей устойчивостью на курсе обладает судно.

Анализ рулевого воздействия на судно на курсе и требования по ее

обеспечению, можно установить, что это качество судна находится в некоторой противоречии с другим его качеством – поворотливостью. Как известно, всякое улучшение устойчивости на курсе связано с ухудшением поворотливости и наоборот. Поэтому 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 боковые смещения судна (дрейф) и поворачивать его вокруг продольной (врез) и поперечной (лифферент) осей.

Средства управления подразделяются на основные и вспомогательные. Основные средства – рули, поворотные насадки, криволинейные 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 ГД. 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 выловы и другие суда, работающие на ограниченных дистанциях, 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 транзитных, сохранение устойчивости на курсе – это фактор, обеспечивающий их экономическое продвижение, так как плохая устойчивость на курсе неизбежно удлиняет рейсовое время, которое служит одним из основных эксплуатационных показателей транспортных судов.

2) ДЕЙСТВИЕ РУЛЯ НА СУДНО.

При движении судна в результате переключения пера руля на угол α , на нем создается давление потока воды, которое вызывает результирующая разность давлений со стороны потока на внутреннюю и внешнюю поверхности крыла. Кроме сил давлений на внешнюю поверхность крыла вдоль хорды профиля действуют силы сопротивления, обусловленные вязкостью жидкости.

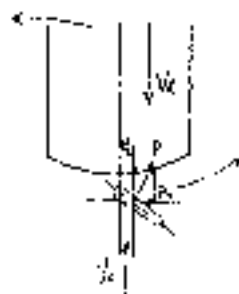
Результатом действия всех сил давления и сил сопротивления можно считать одну равнодействующую R , которая называется равнодействующей гидродинамических сил, действующих на крыло. Силу R принято характеризовать ее проекциями на направление скорости движения потока R_x и на направление, перпендикулярное ему. Проекция силы R на направление скорости потока V_c называется *длина гидродинамического сопротивления* R_x , а проекция той же силы на направление, перпендикулярное скорости потока — *длина гидродинамического сопротивления* R_y .

Очевидно, что сила лобового сопротивления R_x направлена в сторону, противоположную движению судна, вызывает торможение судна и уменьшение, таким образом, его скорости. Сила R_y направлена перпендикулярно ДЦ и вызывает на перелом лоды смещение кормы судна влево. Сила R_y по своей сути обеспечивает разворот судна при переключении руля

на переднем лоды



на левом лоды



При переключении пера руля на угол, меньший 10° , под действием R_y происходит незначительное, а сила лобового сопротивления R_x , уменьшаясь, вызывает скорость судна, увеличивается. На потоку на практике угол переключения руля, как правило, не бывает больше 10° .

Практика плавания показывает, что управляемость на заднем ходу в 2-3 раза выше, чем на переднем, а во многих случаях суда вообще не управляются даже в узких специфич. водах.

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 переключена перекладка руля на задний угол. В результате судно начинает совершать движение по криволинейной траектории.

Криволинейная траектория, которую описывает центр тяжести судна при переключке руля на задний угол, в дальнейшем удерживании его в этом положении, изображается $ABJKLJ'K'J''L'$.

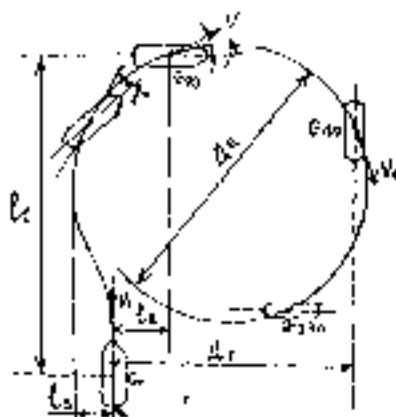
Различают три периода циркуляции: маневренный, переходный и период установившейся циркуляции.

Маневренный период циркуляции определяется началом и концом переключения руля, т.е. по времени совпадает с продолжительностью переключения руля. В этот период судно продолжает двигаться практически прямолинейно. Переходный период циркуляции начинается с момента окончания переключения руля и заканчивается, когда элементы движения принимают установившийся характер, т.е. прекратил изменяться во времени. Период установившейся циркуляции начинается с момента окончания переходного периода и длится все время, пока руль судна находится в переключенном положении.

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

$U_{\text{дв}} \text{ и } U_{\text{п}} \text{ — скорости движения судна в } \text{ м/с } \text{ и } \text{ км/ч}$. Диаметр окружности, описываемой судном в установившейся фазе циркуляции, который называется также поворотом судна на 90° – 180° .

$U_{\text{и}} \text{ и } V_{\text{и}} \text{ — скорости } \text{ м/с } \text{ и } \text{ км/ч}$ — циркуляции. Длительнейшее расстояние между положениями диаметральной плоскости судна в начале поворота и ее же тем же самым положением в конце поворота на 180° .



Вектор l_1 — расстояние, на которое смещается центр тяжести судна в направлении первоначального курса от точки изначальной 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 первоначального поворота.

Значение момента циркуляции, вычисляемых в дингах диаметра циркуляции D_0 , лежит в относительно узких пределах и для судов различных типов итажается следующим образом:

$$D_1 = (0,9 + 1,2) \cdot D_0$$

$$l_1 = (0,6 + 1,3) \cdot D_1$$

$$l_2 = (0,25 + 0,5) \cdot D_2$$

$$l_3 = (0 + 0,1) \cdot D_0$$

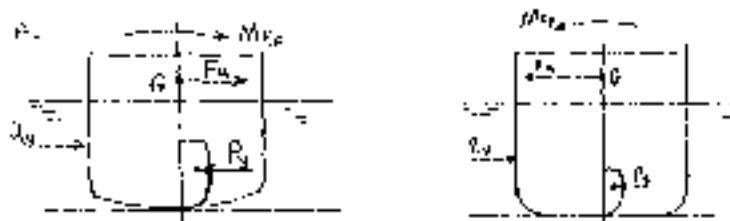
Для морских транспортных судов D_0 составляет 4–6 длин судна. Кроме указанных моментов к характеристикам циркуляции относят:

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 переключить руль, то в первый момент после начала переключения на судно действуют следующие силы: поперечная составляющая R_y сил, действующих на руль; поперечная составляющая R_x сил, действующих на погруженную часть корпуса

судна, поперечная составляющая центростремительной силы инерции судна λ_{\perp} .
 Движение действия этих сил направлено в сторону поворота судна.



вращательный момент вокруг центра в первой ус. отбивающейся циркуляции.

Все условия вращательного движения вращательных плоскостей по высоте таким образом в первой момент после прекращения пути суммарной момент всех приведенных сил вызывает поворот крен судна на тот борт, на который переключен руль. В результате такого закрепления судна действия поперечной составляющей R_{λ} на руль вызывает дрейф судна и обратной смещением λ_{\perp} относительно судна в сторону, противоположную повороту. Траектория циркуляции покажет, что при этом смещении дрейфа судна и поворота крен судна не при материализации в состоянии устойчивости и вращательного движения судна, но при материализации в состоянии устойчивости судна вращательного движения судна в сторону поворота.

По мере изменения кривизны траектории центростремительная сила увеличивается, а затем уменьшается, λ_{\perp} уменьшается. Вращательное действие на противоположное. Скорость проходит характерные моменты быстрой R_{λ} и постепенно увеличивается за дрейфа и увеличивается моменты от сил R_{λ} и за снижения скорости судна. В результате изменения характера действия указанных сил и моментов, судно снова выравнивается, а затем начинает крениться в сторону, обратную направлению переключения руля. Причем угол крена становится тем больше, чем больше скорость судна на циркуляции, угол переключения руля и чем меньше сопротивление вытеснения судна.

В результате такого крена и действия поперечной составляющей R_{λ} на руле диаметральной плоскости судна на циркуляции не совпадает с касательной к кривизненной траектории движения центра тяжести, т.е. образуются углы дрейфа λ_{\perp} . Если судно находится внутри крайней циркуляции, и корма выводится во внешнюю сторону λ_{\perp} увеличением скорости судна углы дрейфа

ра уменьшается. Если наличие угла дрейфа судна на циркуляцию занимает только часть безалайе ширины судна. Это необходимо учитывать при маневрировании в узкости. При приеме поворота вследствие циркуляционного действия дрейфа и появления угла дрейфа возрастает сопротивление воды движению судна, что приводит к уменьшению скорости. Потеря скорости на циркуляции в некоторых случаях может достигать 30%.

2.2. К А Ч К А

Л е к ц и я 21.

1) ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Качкой судна называются периодические движения, совершаемые судном относительно наклонения равновесия. В основном качка возникает под действием гидродинамических сил, обусловленных взаимодействием эффектом бокового волнения.

Целью изучения качки судна и ее законов – выявить вредные воздействия качки и разработать рациональные мероприятия по предупреждению или смягчению этих последствий. Степень подверженности судна качке характеризуется его мореходностью: чем меньше судно подвержено качке, тем оно более мореходно.

К основным последствиям качки относятся: уменьшение скорости судна вследствие увеличения сопротивления воды движению судна и ухудшения режима работы движителей, возникновение лобовых ударов, выходящих за пределы инерции и ударов 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, выталкивание палубы, затрудняющее обслуживание механизмов и отдельных устройств, расположенных на палубе и выше нее; ухудшение усло-

Кино-плывок колебание, $y = y_0 \sin(\omega t + \varphi)$, $y_0 = 0,2$ м, $\omega = 2\pi / T$ — число полных колебаний судна за время t в сек. Период и частота качки связаны соотношением: $T = 2\pi / \omega$.

2) КАЧКА СУДНА НА ТИХОЙ ВОДЕ

Качка судна на тихой воде, которая прекращает свое прекращение действия — вынужденные колебания, определяется собой свободные (свободные) колебания. Рассмотрим три основных вида качки, которые на спокойной воде теоретически могут существовать независимо друг от друга: бортовую, килевую и вертикальную.

В бортовой качке — бортовой качкой на тихой воде называют вынужденное колебательное движение судна вокруг продольной оси с попеременным креном на левый и правый борт. Такого качку можно вызвать, например, выходя на палубу с борта на борт, обхватами выносом трубы с правой или левой стороны.

Бортовая качка судна на тихой воде характеризуется амплитудой бортовой качки D_0 и периодом свободных колебаний T_0 .

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

где $C = 0,36 - 0,45$ — коэффициент, значение которого зависит от типа судна; B — ширина судна; h — метацентрическая высота. Это выражение называется *коэффициентом качки* (формула). Чем меньше относительная высота h , тем больше период качки. Например, для отрезочной метацентрической высоты судна на период 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 относительной высоты судна уменьшает период качки судна, т.е. чем больше метацентрическая высота h , тем меньше период качки T_0 .

Килевая качка — *вертикальная качка* — килевой качкой судна на тихой воде называют вынужденные колебательные движения судна относительно поперечной оси, вытекающие из неравновесия дифферента по корме и носу.

Физическая сущность приданных колебаний приливной качке остается такой же, как и при бортовой, хотя пружинные колебания имеют некоторые особенности. Например, они быстрее гаснут из-за бокового смещения воды. Как показывает опытные данные, для полной остановки судна при килевой качке на тихой воде требуется лишь 3 - 5 периодов.

Килевая качка характеризуется амплитудой ψ_p и периодом собственных колебаний T_p :

$$T_p = 2,4 \sqrt{L}, \quad \text{где } L - \text{длина судна}$$

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

Вертикальные качки судна на тихой воде представляют поступательные движения судна вдоль вертикальной оси, вызываемые поперечными ускорениями и угловыми осадками.

Вертикальная качка, как самостоятельный вид колебаний, возникает только в том случае, если Ω, Γ включено в ядро слоя будет находиться на палубе вертикали с ЦТ судна. Это условие практически несущественно, поэтому вертикальная качка обычно сопровождается килевой. Переходы собственных колебаний вертикальной и килевой качки на тихой воде происходят весьма редко.

3) КАЧКА СУДНА НА РЕГУЛЯРНОМ ВОЛНЕНИИ

Движение судна бортовой качкой судна на регулярном волнении может быть представлена как сумма двух гармонических колебаний: собственных колебаний с частотой ω_p бортовой качки на тихой воде без учета сопротивления воды и вынужденных колебаний с частотой волнения ω и амплитудой качки ρ_{ω} .

На регулярном волнении, которое имеет место, например, при мертвой воде или при качке в доке судна в открытом бассейне, на искусственно созданных регулярных волнах, собственные колебания быстро затухают вследствие сопротивления воды, а колебания судна до затухания некоторого времени становятся чисто вынужденными. Амплитуда вынужденных колебаний при бортовой качке без учета сопротивления воды, вследствие малости колебаний истории качки, может быть вычислена по формуле:

$$U_m = \alpha_0 \cdot \frac{1}{1 - \frac{\sigma^2}{\Omega_0^2}} \quad \text{Так как } \sigma = 2\pi/\tau, \text{ а } \Omega_0 = 2\pi/T_0,$$

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

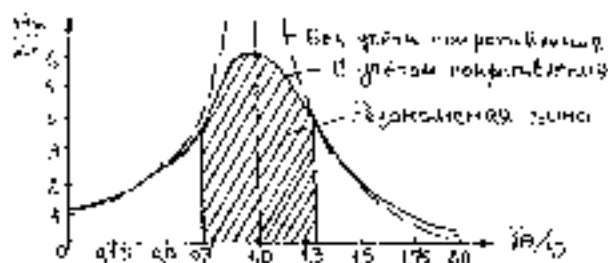
где U_m — амплитуда качки,

α_0 — наибольший угол волнового склона;

T_0 — период собственных колебаний судна;

τ — период волны.

Отношение U_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**.

На 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 только в том случае, когда отношение периодов находится в интервале $0,70 \leq T_0/\tau \leq 1,3$; вне этой области влияние сопротивления невелико.

Рассматриваемый случай качки является наиболее опасным. Если судно

не обесценил достигнутые приемы скомбинированности, то режим не может привести к потере устойчивости и сдвину каботажной судны. Однако вследствие образования устойчивости мерзлых слоев оптимизации угла, формирующего сопротивление действия дельтаиры и приложенного давления ветра, по углам крепления бортовой катки, исходя из предположения, что судно движется на реулярном волнении в условиях режима с приложением дельтаиры к борту.

Классификация бортовой катки судна – Гибкая судно раскручивается при движении, в один единичный катковую катку. Физическая судно, по явлениям, происходящим при движении бортовой катки, правит судно одинаково, так характер движения судна не меняется, а сны, действующие на него, со своей природой остаются теми же.

Физика условия катковой катки судна на жестком волнении от условия бортовой катки. При катковом катке сопротивление окружающей среды на катке было бы больше, чем при бортовой. Поэтому свободные колебания при катковой катке будут быстрее. Практически катковую катку можно считать состоящей из двух параллельных колебаний.

Неследствие из теории катки не является тем, что судно жестко движется вертикальной каткой, при этом катковом волнении друг на друга и на характеристики катковой судна существенно.

Поскольку даже при режиме движения судна катковой катки отменяется невелика, можно утверждать, что практическое значение для судна имеет не столько сама катка, сколько ее связь с судном, а именно, нагрузка и встречная нагрузка с каткой – гидродинамических ударов бортовой катки судна в воду. Указанные явления, а также увеличение рубки катки в направлении в направлении обожженной катки – рубкой катки арктической и катковой катки (до 50%) увеличение сопротивления судна, что обуславливается скапливанием в катке катковом показателя. Увеличение скапливания ощущается на протяжении от 1-1,5 длины судна. Ударяя о воду судно, возникает сопротивление корпуса, переходящим в катковом. По мере увеличения катки в катке судна удары в катке, что нередко приводит к повреждению дельтаиры. Поэтому при возможности катки ударов судно можно уменьшить, сводя катку катки катки катки.

Лекция 22.

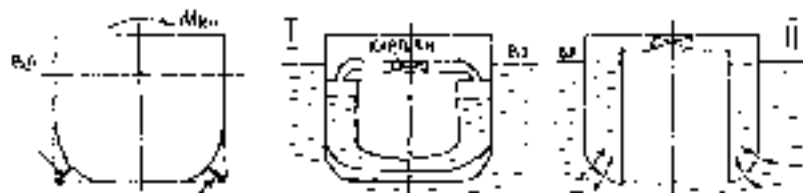
1) УСПОКОИТЕЛИ КАЧКИ.

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

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

Успокоители качки делятся на пассивные и активные. Действие рабочих органов пассивных успокоителей основано на создании стабилизирующего момента за счет вытеснения движимой судном среды при качке, т.е. при их установке возникает необходимость в значительных затратах энергии. В активных успокоителях переменный стабилизирующий момент создается при помощи особых механизмов, управляемых специальным регулирующим устройством, которое, в свою очередь, реагирует на колебания судна. Активные успокоители более эффективны, но на их работу нужно затрачивать довольно большую энергию.

Несколько слов о бортовых В число пассивных успокоителей качки относятся скруточные килевые и бортовые удерживающие устройства.



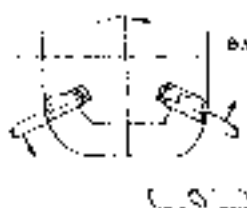
Скруточные килевые являются наиболее простыми и эффективными среди типов уменьшения бортовой качки и поэтому находят самое широкое применение.

Пассивные успокоительные устройства могут быть двух типов: закрытого, не взаимодействующего с окружающей средой (I рис.) и открытого, взаимодействующего с

сборкой вала (Пруда) Цистерна-машинку выключают жерой (1 жерой толчком) и следуют кавалом. Пассивные успокоительные цистерны стабилизируют эффект жерой при резкой кавале. При некоторых условиях и резких переключениях жерой такие успокоители могут привести к увеличению амплитуды кавалы. Наличие стабилизирующей жерой в цистернах также неблагоприятно влияет на стабильность судна. Вследствие указанных причин пассивные цистерны в дальнейшем время практически не используются.

Активные успокоительные цистерны стабилизируют судно. Активные успокоительные цистерны стабилизируют судно. Активные успокоительные цистерны стабилизируют судно.

Активные успокоительные цистерны стабилизируют судно. Активные успокоительные цистерны стабилизируют судно. Активные успокоительные цистерны стабилизируют судно.



Практика показывает, что бортовые рули целесообразно применять при скоростях, превышающих 10-15 узл. В этом случае бортовые рули приводят к падению, в том числе (в несколько раз) снижению амплитуды бортовой кавалы.

Активные успокоительные цистерны обычно выполняют в виде цистерны U-руда. Для рассудивания движения жерой применяют либо вальсы, установленные в вальсовом канале, либо колдуловы, расположенные в вальсовом канале. Уравнение вальсов и на вальсовом канале осуществляется с помощью специальной автоматики таким образом, чтобы можно было регулировать дозу жерой из одной цистерны в другую и обеспечивать требуемое изменение стабилизирующего момента. Эффективность установки не зависит от скорости судна: цистерны или вальсы умеряют кавалу на ходу и на стоянке. Недостатки активных цистерн: сложность конструкции, высокая стоимость, применение сложной регулирующей аппаратуры, снижение грузоподъемности судна и необходимость заграждения деформаций мачты.

Гирьки $g_1, g_2, g_3, \dots, g_n$ (рис. 2.10) вращаются вокруг вертикальной оси в раме. Гирьками устанавливаются вертикально. Краем судна при бортовой качке вытывает штирел ось гирьковода - так называемую прелессю гирьковода. Вследствие этого возникает $g_1, g_2, g_3, \dots, g_n$ *и т.д.* момент, который является стабилизирующим моментом уравновешивания. Гирькопроводческие успокоители могут быть как пассивными, так и активными. У пассивного успокоителя прелессия возникает как реакция на качку судна. В активных успокоителях прелессия 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 ориентироваться по изменению метацентрической высоты судна при различных условиях стоянки якоря. Такая необходимость возникает, например, по мере расширения заливов пресной воды и т.п. Однако, когда требуется измерить метацентрическую высоту балласта. Снаряжение позволяет делать 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 , и коэффициент C по формуле, выведенной из кинематической формулы:

$$h = 4 \cdot C^2 \cdot \frac{g^2}{T^2} \quad (2.1)$$

Период качки T , можно определить с помощью часов затухающих свободных колебаний судна гирьководными кренсграфами либо инклинометрами, снабженными счетчиками времени.

Практически период качки T , можно определить следующим образом. Когда судно находится в одном из крайних наклоненных положений, включается секундомер. Отсчет 10 полных колебаний, включая также секун-

димер в момент выезда судно прикладн в исходное наклонное положение. Перiode T_0 определяется, расчитав означанное по секундомеру время на 10.

Описанный приближенный способ дает удовлетворительные результаты при осуществлении судне свободных поворотовых жидких грузов, а также в том случае, когда поправка на их влияние составляет не более 2% метацентрической высоты для данной нагрузки.

Результат вычисления метацентрической высоты \bar{h} зависит от угла наклона радиуса вращения коэффициента ϵ , входящего в выражение для \bar{h} . Для этого необходимо принимать его значение не известным значением коэффициента ϵ' , для односторонних или бивальных по конструкции судов. Коэффициент $\epsilon' = 0,36$ и $0,31$ в зависимости от типа судна.

2.3. ХОДКОСТЬ И ДВИЖИТЕЛИ

Лекция 23.

1) ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Ходкость судна — называется способность судна развивать заданную скорость заданным движением 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 фактической сущности возникновения сил сопротивления среды движению судна; изучению тазовых, отражаемых и моментных сил сил, определенное значение трогий взаимосвязи между формой обводов корпуса, силами гидротолчения, скоростью судна и необходимой мощностью паротурбинской установки.

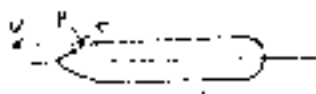
Во второй части изучаются типы движителей, принципы их выбора и методы расчета. Конечной целью исследования является выбор также сочетания элементов движителя, при которых для достижения заданной скорости судна требуется минимальная мощность судового энергетической установки.

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 направлении, противоположном направлению движения.

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 поверхности судна.



Проецируя все элементарные силы трения на направление скорости движения судна и суммируя их по всей смоченной поверхности, получим результирующую силу трения — сопротивление трения R_{τ} , обусловленное вязкостью воды.

Результатом действия сил давления на различные элементы поверхности судна M , acting по всей смоченной поверхности, является *сила давления* R_{ρ} , которое обуславливается наличием вязкости воды.

Давления по поверхности судна распределяются неравномерно: в носовой части они больше, в кормовой — меньше. Такой перепад давлений порождает скоростные явления, которые в каждой очереди различаются над каждой частью. Первая часть — *создание в носовой части* R_{ρ} вызванная наличием вязкости жидкости, вторая — *образование в кормовой части* R_{ρ} является от инерционности итерных движений жидкости, вызванных движущимся судном.

Каждое судно имеет по численным выступающие части (руни, крепительные выступы, трюмных валов, судовые яли и т.д.). Сопротивление воды, вызванное ими, называют *силой сопротивления* R_{ρ} . Кроме того, судно испытывает *силу сопротивления* R_{ρ} , распределенное по палубной поверхности движущегося судна.

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

$$R = R_{Tr} + R_M + R_D = R_{HЧ} + R_{BЧ} \quad (1)$$

Для определения каждой составляющей полного сопротивления применяются различные методы. Сопротивление трения определяется расчетным путем на основании теории пограничного слоя. Сопротивление формы и волнивое сопротивление, объединенные под общим названием сопротивления сопротивления волнения $R_{BЧ}$, определяются экспериментальными методами путем испытания моделей судов в опытных бассейнах.

В практических расчетах полное сопротивление движению судна вычисляется по формуле:

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

где C — коэффициент полного сопротивления,

S — площадь поверхности гонимого корпуса,

$S_{HЧ}$ — площадь поверхности выступающих частей;

ρ — плотность воды;

V — скорость судна.

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

$$C = C_{Tr} + C_M + C_D + C_{HЧ} + C_{BЧ}, \quad \text{или} \quad C = C_{Tr} + C_D + C_{HЧ} + C_{BЧ}$$

где $C_{HЧ}$ — коэффициент остаточного сопротивления.

Следовательно, полное сопротивление судна равно:

$$R = (C_{Tr} + C_D + C_{HЧ} + C_{BЧ}) \cdot \frac{\rho \pi V^2}{2} \cdot (S + S_{BЧ}) \quad (3)$$

3] ОСНОВНЫЕ СОСТАВЛЯЮЩИЕ ПОЛНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЮ СУДНА

Сопротивление волнения — трение. 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 скорость частиц жидкости изменяется от нуля на поверхности тела (нагнетательный слой) к максимальной скорости

наблюдается только 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 *Re* *Re* $\frac{\rho V \delta}{\mu}$ $\frac{\rho V L}{\mu}$.

$$Re = \frac{V \cdot L}{\nu},$$

где *V* – скорость движения жидкости, м/с;

L – длина сула, м;

ν – коэффициент кинематической вязкости, м²/с.

При значительных небольших значениях *Re* (при *Re* < 4 · 10³) в пограничном слое наблюдается ламинарный режим течения жидкости. При таком режиме молекулы слоя жидкости движутся в поперечном, приблизительно параллельном направлению течения, и никаких вращений частиц жидкости из слоя в слой не происходит, следовательно, слои жидкости как бы скользят друг по другу, только под действием действия молекулярных сил сцепления (силы трения), а следовательно, и в движении вытеснений в поперечном сечении пограничного слоя.

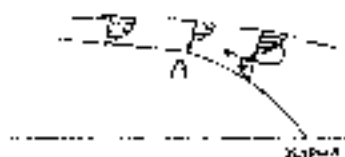
При так называемом критическом числе *Re*_{крит} ≈ 5 · 10³ происходит переход ламинарного пограничного слоя в турбулентный. Турбулентность характеризуется тем, что частицы потока, двигаясь по главному направлению – вдоль тела, совершают хаотичное движение – поперек пограничного слоя. При этом уже происходят перемещения жидкости из одного слоя в другой, который приводит к интенсивному перемешиванию слоев жидкости и, как следствие, выравниванию скоростей потока в поперечном, что вымывает соответствующее уменьшение сопротивления. Таким образом, при турбулентном режиме обтекания сила 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, влияющие на сопротивление трения сула необходимо учитывать. В нем шероховатость обусловлена: качеством окраски, волнистостью наружной обшивки; наличием местных неровностей в виде выщербленных поверхностей, заклепочных соединений и коррозийных разрушений лако-

от жарушной обшивки. Обрастание подводной поверхности судна очень сильно увеличивает нежидкость и тем самым уменьшает скорость судна. Неполнота обрастания зависит от многих факторов: температуры воды, ее солености, времени года, района плавания, соотношения количества водных и стояночных дней, скорости судна, расстояния обшивки в д. 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 очищение судна в обжитой части подводной части корпуса и покрытия его противобрастающими красками. Заметка подводной части корпуса судна может производиться и без докования судна на воде водолазами. Обращение судна в этом случае является значительно быстрее, так как корпус не был вскрыт соответствующими красками.

С. Д. Р. Т. И. Д. Е. И. С. Д. Р. М. Д. Условно определяемых корпусом материальной энергии потока из-за действия сил вязкости достаточно велики, эти частицы жидкости вблизи корпуса, не доходя до остершения, перекатываются, а под действием возрастающего давления могут начать двигаться против заблаговещенного течения.



Возникающей встречной силой жидкости оглушает взаимодействие с тонет поверхности судна, при этом к корпусу вода и образуются вихри. Точка А, в которой начинается отслаивание пограничного слоя, называется точкой отрыва пограничного слоя.

Нерегулярное шхерообразование 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.

Результатно, что сопротивление формы в значительной степени зависит от положения точки отрыва пограничного слоя по длине судна — чем более

систем сравнительных буксировочных испытаний модели судна с вытесляющими корпус и без оных в открытых бассейнах.

Вододымовые сопротивления в воде. Сопротивление воздуха $R_{\text{вк}}$, действующее на судно складывается из сопротивления надводной части корпуса, надстроек, рубок и других надубинных сооружений. Основную часть сопротивления (до 60 - 80 %) составляют надстройки, которые по своей конфигурации приближаются к широко раскрытым телам.

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

Средства передвижения — называются специальными устройствами, которые преобразуют энергию славных двигателей в движущую силу (толкательную), необходимую для преодоления сопротивления среды движению судна и обеспечения заданной скорости его движения.

По принципу действия судновые движители являются гидрореактивными, т.к. они создают движущую силу за счет реакции масс воды, отбрасываемых рабиными деталями движителя — винтами — в сторону, противоположную движению судна.

В настоящее время на судах транспорта применяются следующие основные типы судовых движителей: гребной винт, гребное колесо, крылатый и водометный движители.

Гребной винт — является основным типом движителя для морских судов. Он состоит из нескольких лопастей, расположенных вступанце параллельных угловых ряблениках друг от друга. Число лопастей гребных винтов колеблется от 2 до 6. В целях предотвращения вибраций жерновой окантовки одноцилиндровых судов, число лопастей гребного винта принимают не менее четырех. Диаметр гребных винтов крупных современных судов достигает 6 м.

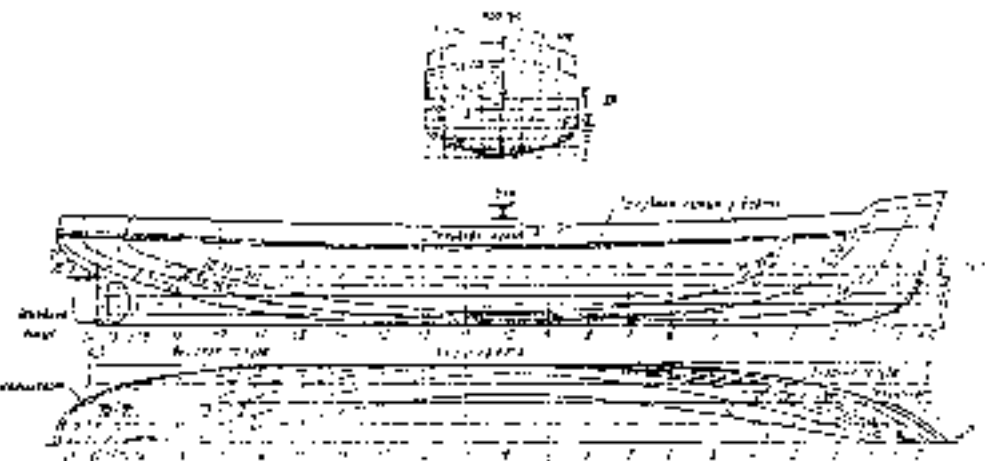
Различают три основных конструктивных типа гребных винтов: цельные винты (цельнолитые), винты со съёмными лопастями (сборные) и винты с съёмными лопастями — винты регулируемого шага (ВРШ).

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 правого и левого вала. В отличие от лопастей ВФШ у винтов регулируемого шага (ВРШ) лопасти могут поворачиваться вокруг своей продольной оси и изменять шаг, что обеспечивает возможность использования по любой скорости движения при оптимальной скорости вращения на любом режиме движения судна.

Ресурс гребного винта складывается из особенностей его геометрии (различия характеристик диаметра, шага, дискового отношения и числа лопастей), обеспечивающих наиболее высокие прибулавываемые количества судна в основном режиме его эксплуатации. Так, транспортному судну указанные характеристики должны обеспечить максимальную скорость, для рыболовного – наибольшую тягу на гребном винте в режиме ходовых маневров и в режиме дрейфа.

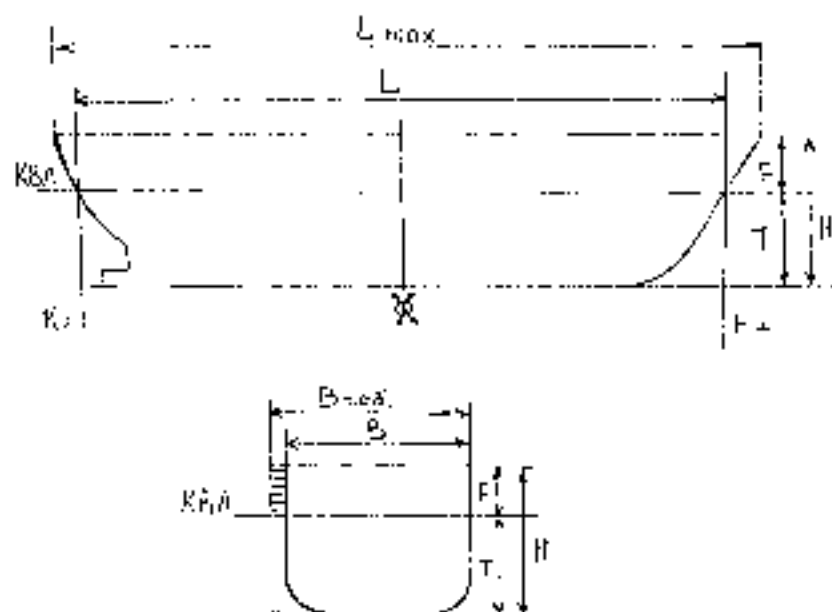
Преимущества и недостатки ВРШ по сравнению с обычным винтом заключаются в том, что можно не изменять положение лопастей у ВРШ можно менять шаг, увеличивая или уменьшая частоту и направление вращения гребного винта, а винт может работать до нуля, а затем до полного значения хода. Это позволяет значительно уменьшить диаметр винта, что дает возможность уменьшить диаметр винта и диаметр гребной трубы, а также диаметр диаметр по лопастям винта, что делается исключительно выгодно, время поворота судна от одного режима движения к другому значительно сокращается. Это улучшает маневренные качества судна, улучшает управляемость движением. Но ВРШ значительно сложнее по конструкции, что увеличивает его надежность и увеличивает стоимость. ВРШ имеют худшие КИД, большие же размеры, чем обычные винты, что увеличивает их стоимость.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1



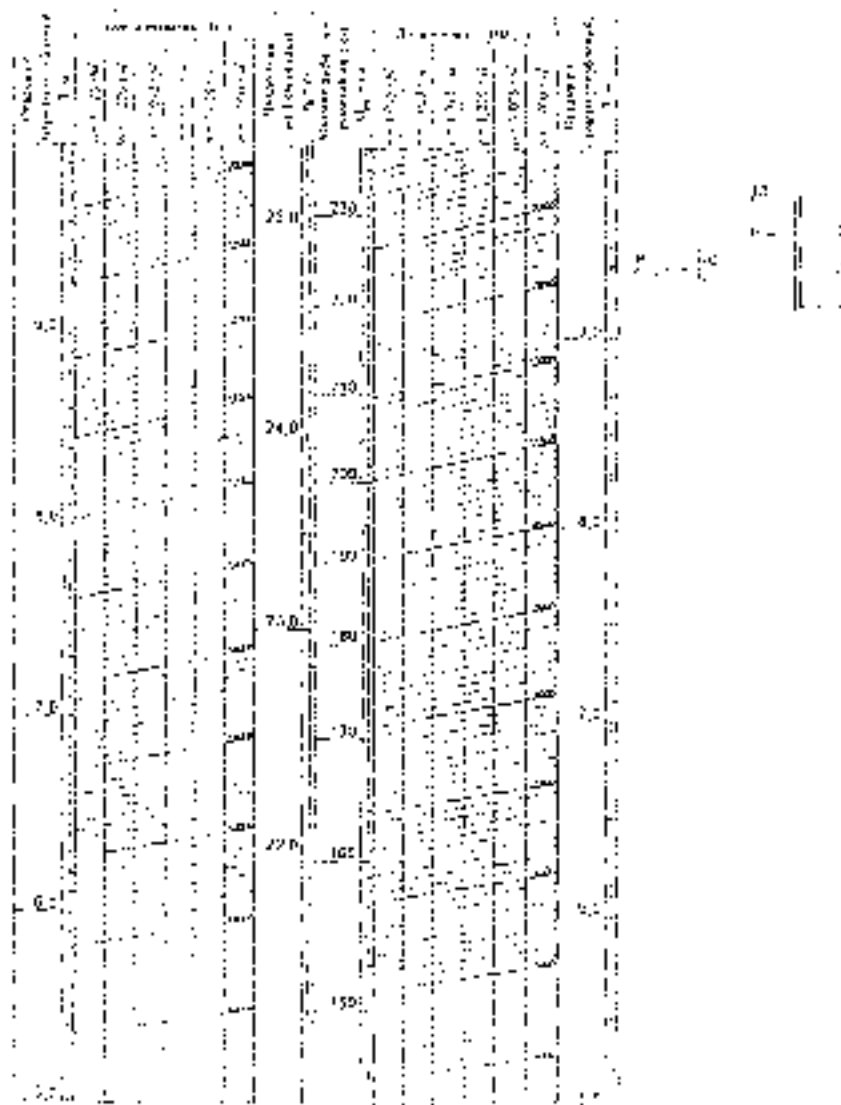
Измерениями сечения судна

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

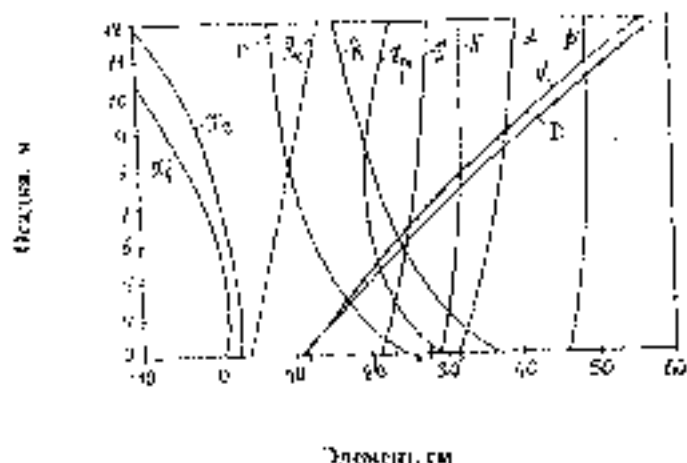


- H — общий вертикальный,
- K — кормовой нулевой диаметр,
- L — длина борта,
- B — ширина борта,
- H — высота борта,
- Γ — высота надводного борта,
- T — осевая

ПРИЛОЖЕНИЕ 4



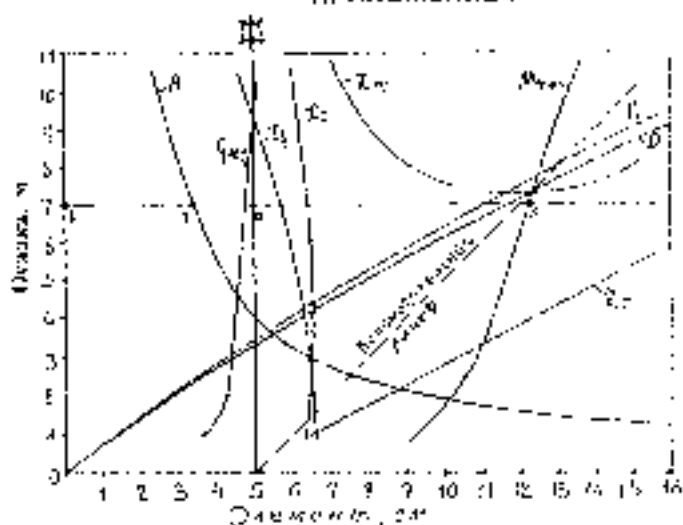
ПРИЛОЖЕНИЕ 6



Крышная цементная теоретическая чертёжная сушка

- r - радиус внутренней металлической трубы, r см = 6,5 см;
- R - радиус внешней металлической трубы, R см = 10 см;
- S - радиус инертности, S см = 100 см²;
- Z_1 - расстояние ЦВ от крана, Z_1 см = 0,5 м;
- Z_m - расстояние между трубой от крана, Z_m см = 0,5 м;
- V - объёмные влажность, V см = 500 м³;
- D - диаметр дымоотвода, D см = 80 см;
- α - коэффициент теплопроводности инертности, α см = 0,02;
- β - коэффициент теплопроводности β , β см = 0,02;
- σ - коэффициент излучения площади поверхности трубы σ , σ см = 0,02;
- λ_1 - расстояние ЦВ от крана, λ_1 см = 0,5 м;
- λ_2 - расстояние ЦВ от дымоотвода, λ_2 см = 0,5 м;

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

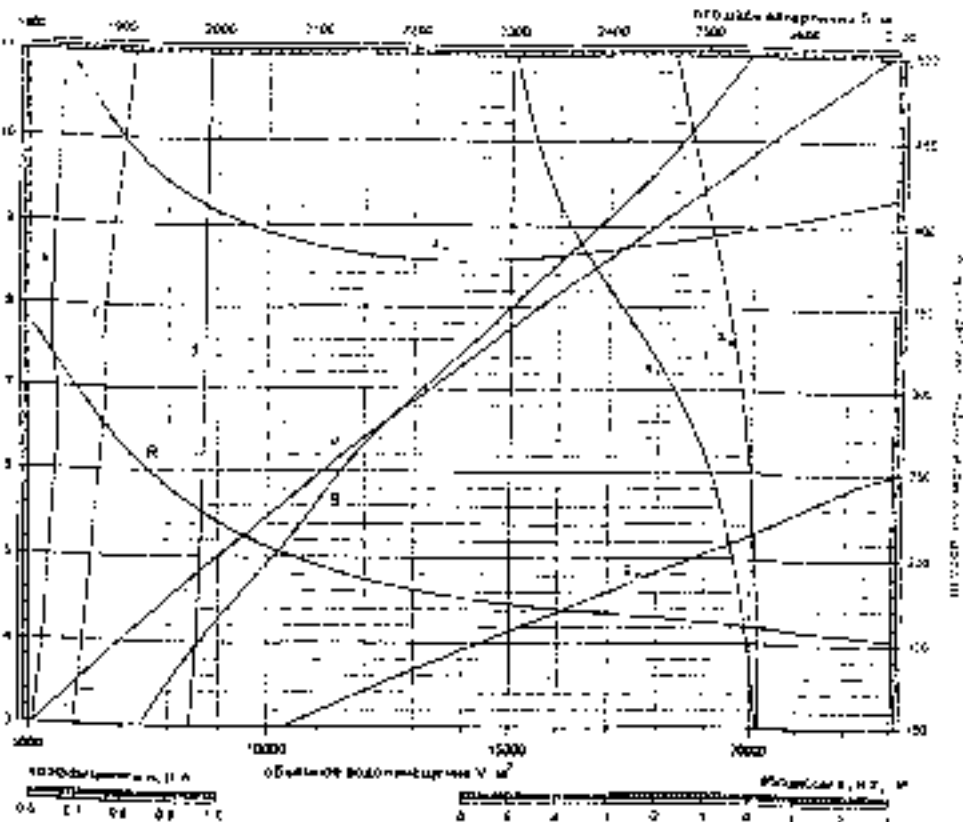


Кривые элементов термодинамической цепи бури

- V — диаметр вентуризатора (в см) $\Phi = 0,1$; $V = 1000$ м³;
- D — диаметр бурового ствола (в см) $\Phi = 10$; $D = 1000$ м;
- Z_1 — высота 3-й плавучей платформы (в м) $Z_1 = 1,0$ м;
- Z_2 — высота ЦВ от вала (в м) $Z_2 = 0,5$ м;
- Z_3 — высота ЦВ от вала (в м) от поверхности (в м) $Z_3 = 1,0$ м;
- Z_4 — высота измерительной вышки от поверхности (в м) $Z_4 = 1,0$ м;
- $Z_{1,2}$ — высота вышки (в м) от поверхности (в м) $Z_{1,2} = 4,0$ м;
- $M_{1,2}$ — момент инерции вышки (в м²) $M_{1,2} = 2$ т·м²;
- R — радиус шара (в м) $R = 10$; $R = 50$ м.

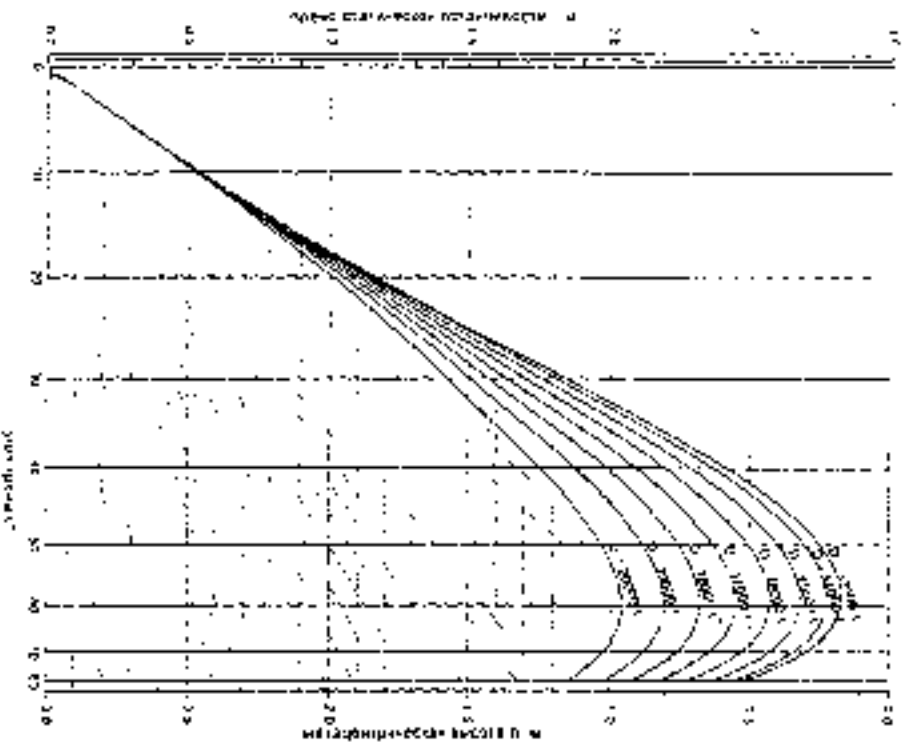
ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Кривые энтальпии и энтальпийного напора при $t_{\text{с}} = 0^{\circ}\text{C}$ (таблица 1)



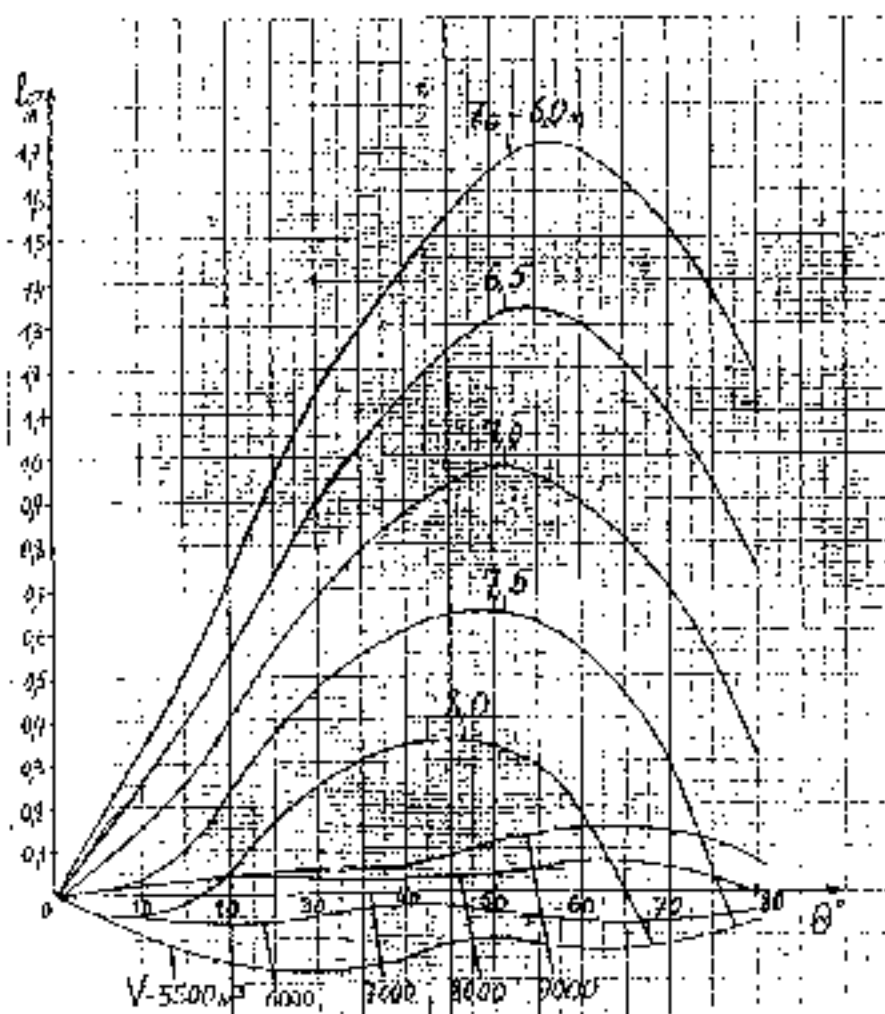
ПРИЛОЖЕНИЕ 10

Гидродинамический расчет для ЛАВТ РЛП "Андрей" (2, 10) августа 1974 г.
 от К. Ставров



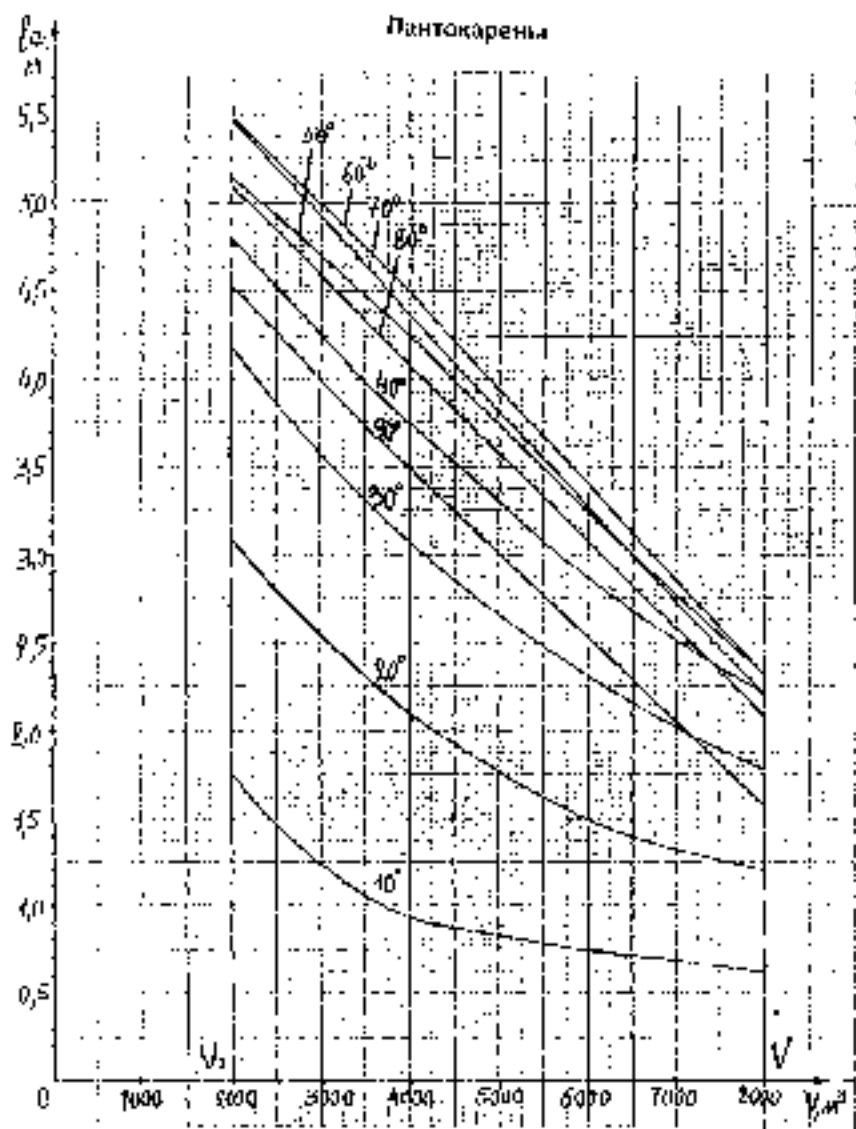
ПРИЛОЖЕНИЕ 11

Универсальная диаграмма статической устойчивости
(второй тип)

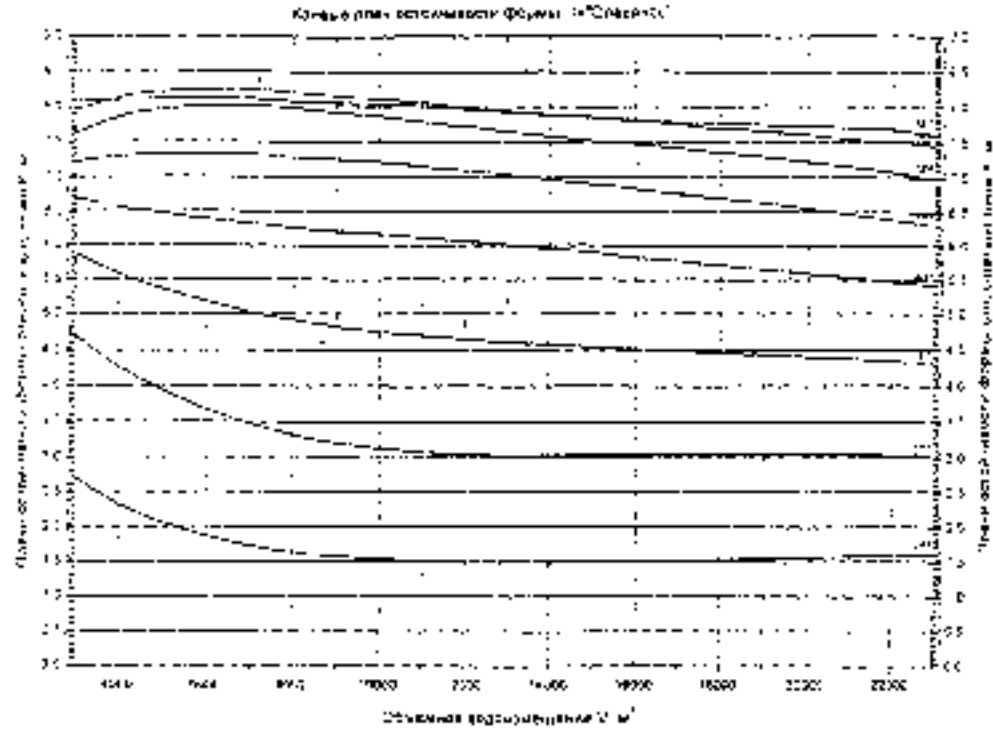


ПРИЛОЖЕНИЕ 12

Лантокарены

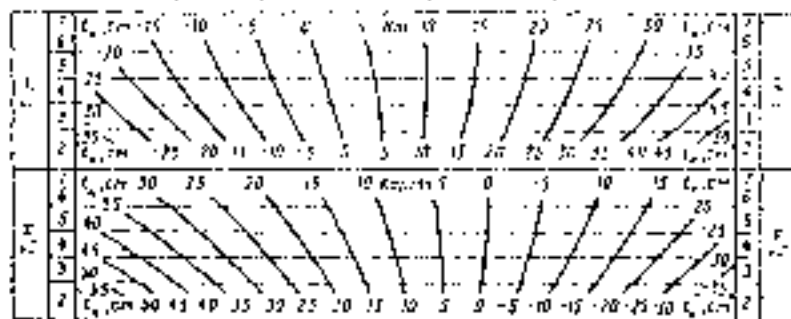
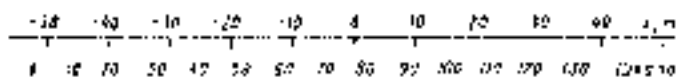
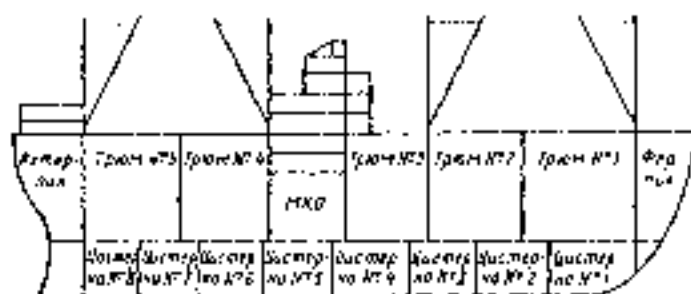


ПРИЛОЖЕНИЕ 13



ПРИЛОЖЕНИЕ 14

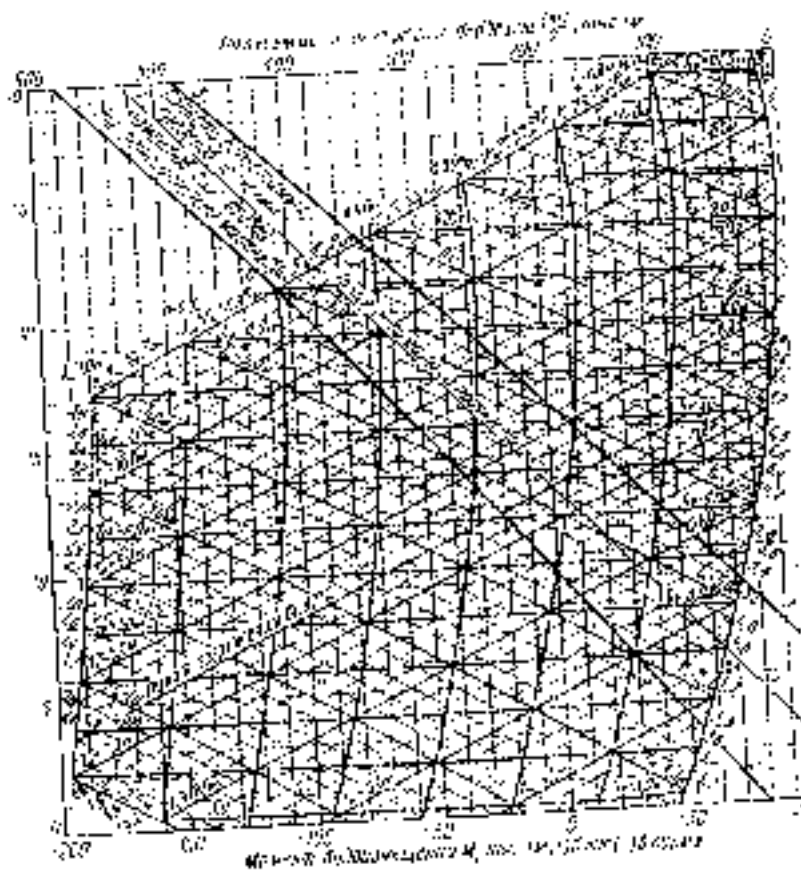
Кривые мгновенной осадки оконечностей от приёма 100 т груза,
сравнительные с соответствующими точками судна



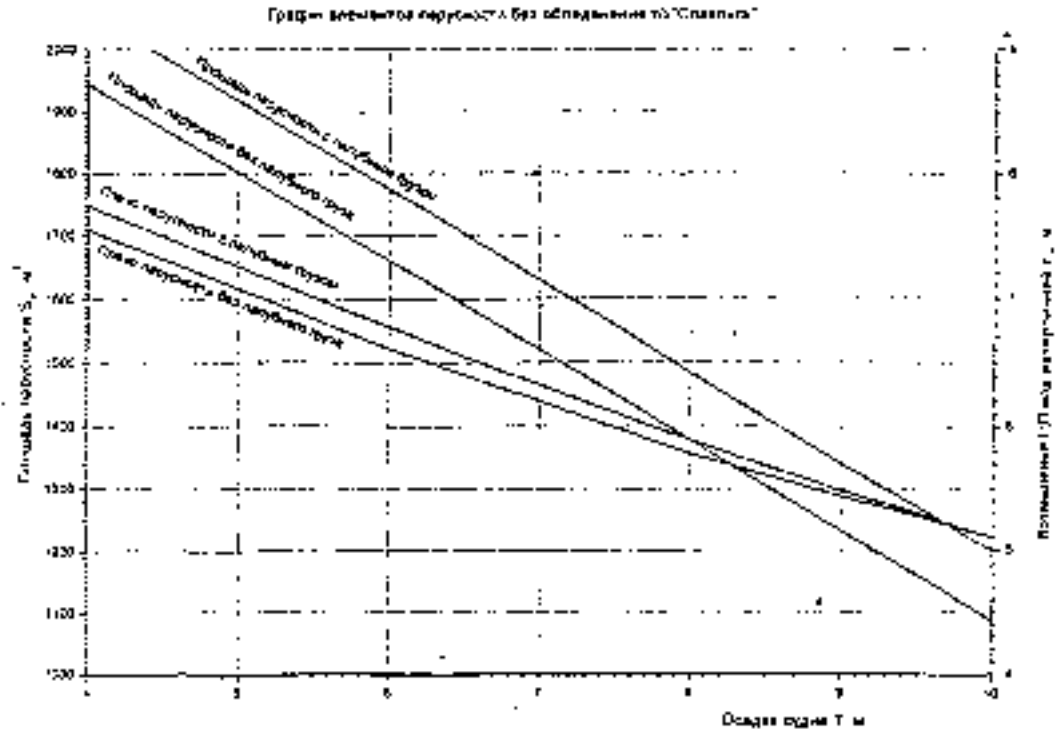


№ п/п	Наименование	Единица измерения	Значение
1	Длина	м	10,00
2	Ширина	м	2,50
3	Высота	м	1,50
4	Объем	м ³	37,50
5	Масса	т	15,00
6	Средняя плотность	т/м ³	0,40
7	Средняя скорость	км/ч	10,00
8	Средняя температура	°С	15,00
9	Средняя влажность	%	60,00
10	Средняя жесткость	Н/мм ²	100,00
11	Средняя прочность	Н/мм ²	200,00
12	Средняя вязкость	Па·с	0,10
13	Средняя теплопроводность	Вт/м·°С	0,10
14	Средняя теплоемкость	Дж/кг·°С	1000,00
15	Средняя теплоизоляция	м ² ·°С/Вт	1,00
16	Средняя звукоизоляция	дБ	10,00
17	Средняя звукопоглощение	м ²	1,00
18	Средняя звукоотражение	м ²	1,00
19	Средняя звукопередача	дБ	10,00
20	Средняя звукопоглощение	м ²	1,00
21	Средняя звукоотражение	м ²	1,00
22	Средняя звукопередача	дБ	10,00
23	Средняя звукопоглощение	м ²	1,00
24	Средняя звукоотражение	м ²	1,00
25	Средняя звукопередача	дБ	10,00
26	Средняя звукопоглощение	м ²	1,00
27	Средняя звукоотражение	м ²	1,00
28	Средняя звукопередача	дБ	10,00
29	Средняя звукопоглощение	м ²	1,00
30	Средняя звукоотражение	м ²	1,00
31	Средняя звукопередача	дБ	10,00
32	Средняя звукопоглощение	м ²	1,00
33	Средняя звукоотражение	м ²	1,00
34	Средняя звукопередача	дБ	10,00
35	Средняя звукопоглощение	м ²	1,00
36	Средняя звукоотражение	м ²	1,00
37	Средняя звукопередача	дБ	10,00
38	Средняя звукопоглощение	м ²	1,00
39	Средняя звукоотражение	м ²	1,00
40	Средняя звукопередача	дБ	10,00
41	Средняя звукопоглощение	м ²	1,00
42	Средняя звукоотражение	м ²	1,00
43	Средняя звукопередача	дБ	10,00
44	Средняя звукопоглощение	м ²	1,00
45	Средняя звукоотражение	м ²	1,00
46	Средняя звукопередача	дБ	10,00
47	Средняя звукопоглощение	м ²	1,00
48	Средняя звукоотражение	м ²	1,00
49	Средняя звукопередача	дБ	10,00
50	Средняя звукопоглощение	м ²	1,00
51	Средняя звукоотражение	м ²	1,00
52	Средняя звукопередача	дБ	10,00
53	Средняя звукопоглощение	м ²	1,00
54	Средняя звукоотражение	м ²	1,00
55	Средняя звукопередача	дБ	10,00
56	Средняя звукопоглощение	м ²	1,00
57	Средняя звукоотражение	м ²	1,00
58	Средняя звукопередача	дБ	10,00
59	Средняя звукопоглощение	м ²	1,00
60	Средняя звукоотражение	м ²	1,00
61	Средняя звукопередача	дБ	10,00
62	Средняя звукопоглощение	м ²	1,00
63	Средняя звукоотражение	м ²	1,00
64	Средняя звукопередача	дБ	10,00
65	Средняя звукопоглощение	м ²	1,00
66	Средняя звукоотражение	м ²	1,00
67	Средняя звукопередача	дБ	10,00
68	Средняя звукопоглощение	м ²	1,00
69	Средняя звукоотражение	м ²	1,00
70	Средняя звукопередача	дБ	10,00
71	Средняя звукопоглощение	м ²	1,00
72	Средняя звукоотражение	м ²	1,00
73	Средняя звукопередача	дБ	10,00
74	Средняя звукопоглощение	м ²	1,00
75	Средняя звукоотражение	м ²	1,00
76	Средняя звукопередача	дБ	10,00
77	Средняя звукопоглощение	м ²	1,00
78	Средняя звукоотражение	м ²	1,00
79	Средняя звукопередача	дБ	10,00
80	Средняя звукопоглощение	м ²	1,00
81	Средняя звукоотражение	м ²	1,00
82	Средняя звукопередача	дБ	10,00
83	Средняя звукопоглощение	м ²	1,00
84	Средняя звукоотражение	м ²	1,00
85	Средняя звукопередача	дБ	10,00
86	Средняя звукопоглощение	м ²	1,00
87	Средняя звукоотражение	м ²	1,00
88	Средняя звукопередача	дБ	10,00
89	Средняя звукопоглощение	м ²	1,00
90	Средняя звукоотражение	м ²	1,00
91	Средняя звукопередача	дБ	10,00
92	Средняя звукопоглощение	м ²	1,00
93	Средняя звукоотражение	м ²	1,00
94	Средняя звукопередача	дБ	10,00
95	Средняя звукопоглощение	м ²	1,00
96	Средняя звукоотражение	м ²	1,00
97	Средняя звукопередача	дБ	10,00
98	Средняя звукопоглощение	м ²	1,00
99	Средняя звукоотражение	м ²	1,00
100	Средняя звукопередача	дБ	10,00

ПРИЛОЖЕНИЕ 17

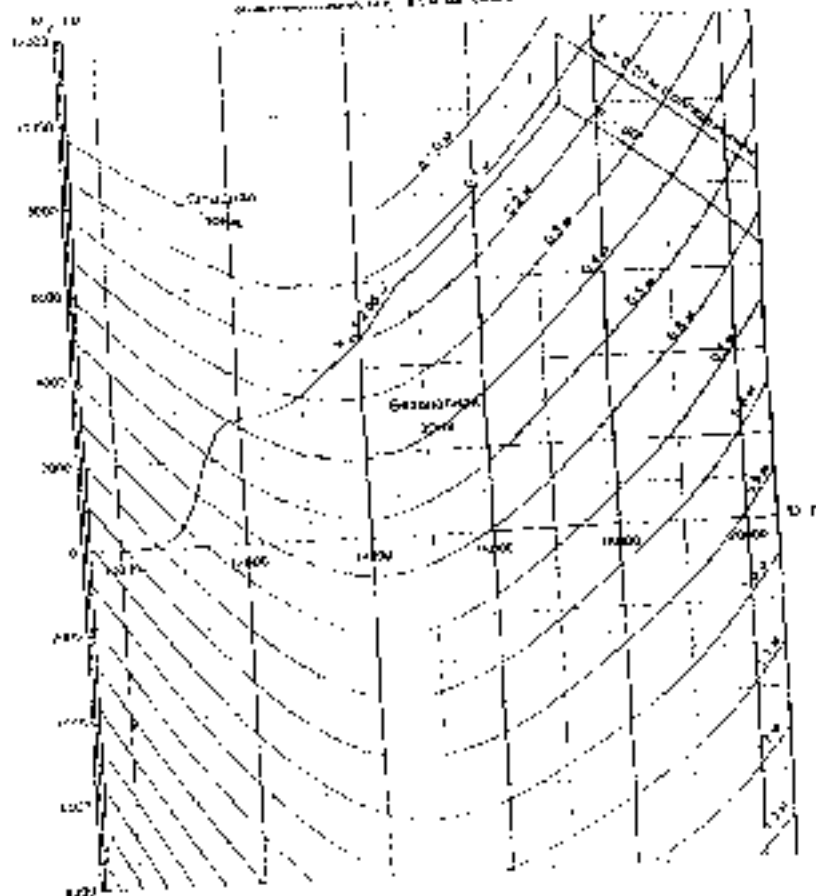


ПРИЛОЖЕНИЕ 18



ПРИЛОЖЕНИЕ 19

Диаграмма для расчета коэффициента α по формуле (1) для различных значений β и γ при $\alpha = 1$



M.V. 'CHINA POWER'

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

HENG NAVAL ARCHITECT
E CONSULTANT LTD.

10/F Tower A-1 Sun Yip Street, CN Wan Hong Kong
Tel 29159420
Fax 29159420



PETER C.
& MARINE

1807 E Commerce
Tel 214 668 0000
Fax 214 668 0000

ПРИЛОЖЕНИЕ 21

M V TOPPA POWER
Young No. 11
03-21-1992

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

" Cargo Item "	Quantity (CB)	%	S.G. (DENSITY)	Weight (LBS)	L.C.B. (CB)	MCG (CB)	TCG (CB)	GM44 (LBS)
No. 1 Cargo Hold	205720.0	100.0	45.000	92607	-187590	17400	0.000	2951.1
No. 2 Cargo Hold	205720.0	100.0	45.000	92607	104306	18490	0.000	3213.3
No. 3 Cargo Hold	29484.4	15.2	45.000	1321	-32070	7208	0.000	9288.1
No. 4 Cargo Hold	284000.0	100.0	45.000	94778	30080	14380	0.000	5588.7
No. 5 Cargo Hold	253700.0	100.0	45.000	11700	170310	35470	0.000	3171.1
Sub Total	963184.4			208014	-78083	14377	0.000	20801.3
DEW								
	Quantity (CB)	% <td style="text-align: right;">Weight (LBS)</td> <td style="text-align: right;">L.C.B. (CB)</td> <td style="text-align: right;">MCG (CB)</td> <td style="text-align: right;">TCG (CB)</td> <td style="text-align: right;">GM44 (LBS)</td> <td></td>	Weight (LBS)	L.C.B. (CB)	MCG (CB)	TCG (CB)	GM44 (LBS)	
" Water Ballast Tank "								
Fwd Ballast								
No. 1 D.B.1 (S) & T.S.1 (S)								
No. 1 D.B.2 & W.F.1 (S) & T.S.1 (S)								
No. 1 D.B.3 & W.F.2 (S) & T.S.1 (S)								
No. 4 D.B.1 & T.S.1 (S)								
No. 4 D.B.2 & T.S.1 (S)								
Aft Ballast								
Deck Tank								
No. 3 Cargo Hold								
Sub Total								
" Fresh Water Tank "								
Wash Water Tr. (S)	8872.5	88.2	1.021	9070	181400	2828	4.787	781.4
Wash Water Tr. (S)	8872.5	88.8	1.028	9070	181550	2887	4.888	782.8
Potable Water Tr. (S)	8873.4	91.5	1.000	8873	243200	4078	1.000	149.3
Sub Total	26518.4			17950	366350	9793	1.787	873.5
" Fuel Oil Tank "								
No. 2 D.B.1 (S) & T.S.1 (S)								
No. 2 D.B.2 (S) & T.S.1 (S)								
No. 2 D.B.3 (S) & T.S.1 (S)	5380.0	84.1	1.574	1360	-37430	1881	32488	1281.8
No. 2 D.B.4 (S) & T.S.1 (S)	4380.0	84.1	1.548	1360	-37430	1881	31808	1281.8
No. 5 D.B.1 (S) & T.S.1 (S)	5800.0	72.1	1.188	1525	118140	1728	-14348	3480.0
No. 5 D.B.2 (S) & T.S.1 (S)	5800.0	72.1	1.188	1525	118140	1728	-14348	3480.0
C-13 (S) Tr. (S)	4000.0	80.8	1.570	370	188870	27440	0.000	110.0
C-13 (S) Tr. (S)	4000.0	80.8	1.570	370	188870	27440	0.000	110.0
Sub Total	24380.0			850	26700	4547	8783	9411.6
" Diesel Oil Tank "								
No. 5 Top Side Tr. (S)	8042	25.5	1.185	185	125088	4027	-32808	1248
No. 5 Top Side Tr. (S)	8042	25.5	1.185	185	125088	4027	-32808	1248
O.O. Storage Tr. (S)								
O.O. Storage Tr. (S)								
Sub Total	16084			360	125088	8054	0.000	2496
" Light Weight "								
" Cargo & Ballast "								
				5728.0	28185	30430	0.000	
				-157.8	-17548	-8178	0.000	0.0
TOTAL				20806.0	-11818	25882	-8218	10587.6
NOTES								
Sea Water S.G.	1.020			Fuel Oil Density	0.926 (1140)			
Fresh Water Density	1.025 (1140)			Deck Oil Density	0.870 (1140)			
Fresh Water Density	1.001 (1140)			Lab Oil Density	0.920 (1140)			

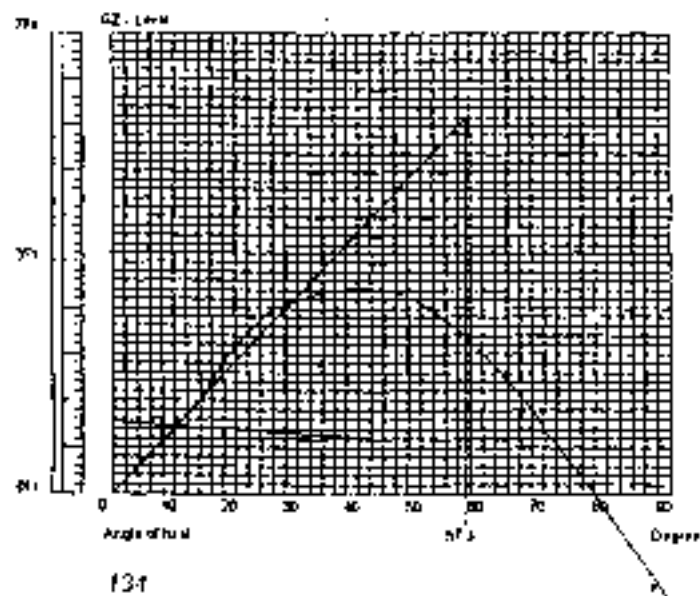
ПРИЛОЖЕНИЕ 22

И. В. Сидя, Руденко
Выпуск №. 9
13.11.1988

Trim and Stability Information

Trim Information			Stability Information			
Displacement	(t)	27988	Range of Stability	(Deg)	77.970	
Centre of Gravity	(ft)	33.107	Maximum GZ	(ft)	2.917	
Deck C.P.	(ft)	33.286	Angle of Max. GZ	(Deg)	40.820	
Deck A.P.	(ft)	32.992				
Deck Metac.	(ft)	35.08	Residual Dynamic Stability (4-Deck)			
Tot	(ft)	-0.79	Area under Curve	Amplitude	Required	
M 0	(ft)	11.14	0 to 30 degrees	0.338	0.056	
M 15	(ft)	11.49	0 to 45 degrees	0.368	0.060	
M 30	(ft)	0.300	0 to 60 degrees	0.152	0.030	
M 45	(ft)	3759.940				
M 60	(ft)	7.407	Heeled Angle	(Deg)	40.820	
T.P.	(ft)	85.154	Heel Angle by Wind	(Deg)	0.077	
F.C.M.	(ft)	31.560	Max Angle (B. P.D.C. limit)	(Deg)	10.000	
X.G.	(ft)	25.867	Area 40° heel, average		0.169	
G.M.	(ft)	5.798	Area 0° (Dynamic Stab)		0.371	
G.Ce	(ft)	0.371	Ratio C (Area 0°) Area A)		1.907	
M.Ce	(ft)	20.034				
K.G. (Max. Permissible)	(ft)	9.379	Trim-Heeling Moment	Actual	Allowed	
Ga.M.	(ft)	5.281	(LT ft)	2909.3	3406.3	
Transverse	(ft)	180.073				

Statcal Stability Curve



ПРИЛОЖЕНИЕ 23

М.П. Обл. Увл.
Выпуск №
03.21.104

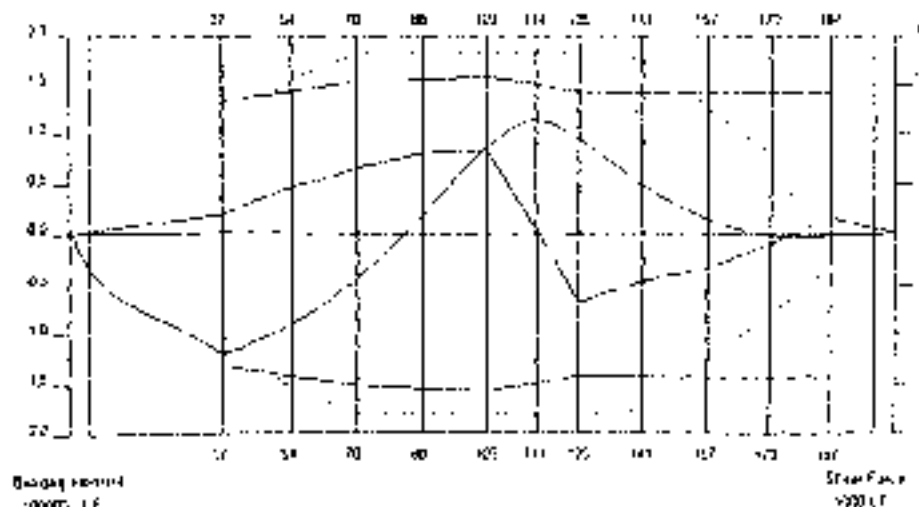
Bending Moment and Shear Force Table

Stake No	Dist. from Left End (ft)	Shear Force		Bending Moment		Status	
		Actual (kN)	% Maximum absolute	Actual kN-m	% Maximum absolute	ST	BT
27	87.00	328.7	13.52	1714.1	117.25	OK	NO
54	173.50	976.5	39.38	3003.1	203.36	OK	OK
70	274.377	1515.6	61.00	4382.1	311.11	OK	OK
86	378.371	1820.0	73.08	5762.3	421.11	OK	OK
102	478.368	1877.3	74.08	6821.1	471.11	OK	OK
114	540.887	25.3	1.01	11424.1	81.30	OK	OK
125	578.734	1374.3	54.00	3432.1	21.00	OK	OK
141	580.730	822.8	33.49	4741.8	33.00	OK	OK
152	607.734	888.1	34.25	13807.1	10.94	OK	OK
172	675.244	-307.8	-7.28	3325.1	3.21	OK	OK
187	680.841	321.7	12.85	2782.1	9.60	OK	OK

Appx Adm Shear Force 3185.0
 Appx Max Shear Force 1875.2 (73) at 11 to 172

Appx Adm Bending moment 13725.0
 Appx Max Bending moment 6821.1 (114) at 7 to 141

Bending Moment and Shear Force Diagram



СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бедняк Ф.М., Мудряковский А.М. Основы теории судов. – 2^е. Судостроение. 1978.
2. Горюнов А.М., Изюмский В.М. Устройства и системы теории морских судов. – 2^е. Судостроение. 1971.
3. Бельковский Б.В. Практические расчеты морских судов качества судна. – М.: Транспорт, 1978.
4. Акимов Л.Р. Грузовые суда. – Одесса: Липитар, 1999.
5. Правила классификации и постройки морских судов Регистра Украины.
6. Мельник В.П. Эксплуатационные расчеты морских судов. Характеристики судна. – М.: Транспорт, 1993.
7. Мельник В.П., Сидель В.Г., Станислав П.В. Эксплуатационные расчеты морских судов качества судна. – М.: ВОО "Керченский мореходский факультет", 1987.