

Глава I. ОСТОЙЧИВОСТЬ СУДНА

§ 1. ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ ОБ ОСТОЙЧИВОСТИ

Остойчивостью называется способность судна, выведенного из положения равновесия под воздействием внешних сил, снова к нему возвращаться по прекращении этого воздействия. В зависимости от характера внешних сил остойчивость делают на статическую и динамическую. Областью статической остойчивости являются случаи постепенного наклонения судна, когда силами инерции и сопротивления воды можно пренебречь. К области динамической остойчивости относятся быстрые наклонения судна, когда необходимо учитывать действие сил инерции и сопротивления воды.

Существуют понятия «остойчивость при малых наклонениях судна» (начальная остойчивость) и «остойчивость при больших наклонениях». Законы начальной остойчивости сохраняют справедливость только до определенного угла крена. Величина этого угла зависит от типа судна и состояния его нагрузки. Так, у судов с малой начальной остойчивостью (пассажирские суда и лесовозы) предельный угол крена составляет $8-10^\circ$, у танкеров и сухогрузных судов с большой начальной остойчивостью — $25-30^\circ$.

Важнейшими факторами, влияющими на остойчивость, являются расположение центра тяжести и центра величины судна. Центр тяжести судна постоянно сохраняет свое положение при данном расположении грузов и не зависит от угла крена. Он может сместиться только при изменении нагрузки судна после грузовых операций, приема или расхода судовых запасов, смещения грузов от качки, обледенения и т. п. Центр величины является

центром тяжести погруженного объема судового корпуса. В этой точке приложена равнодействующая выталкивающих сил водной среды. При крене изменяется форма погруженной части корпуса и, следовательно, центр величины перемещается.

Рассмотрим рис. 1, на котором изображены величины, используемые в расчетах остойчивости. Центр тяжести судна находится в точке, обозначенной ЦТ. Здесь приложена равнодействующая веса судна или весового водоизмещения Δ . Эта сила всегда направлена по вертикали вниз. В точке А находится центр величины в прямом положении судна. При крене он перемещается в точку ЦВ. Здесь приложена теперь равнодействующая выталкивающая сила воды γV , равная произведению объемного веса воды γ на объем погруженной части корпуса V и направленная всегда по вертикали вверх. Если судно находится на плаву, $\Delta = \gamma V$.

Как видно из рисунка, пара сил Δ и γV направлена так, что стремится вернуть судно в прямое положение. Кратчайшее расстояние между направлением действия сил Δ и γV называют плечом восстанавливающего момента, или плечом статической остойчивости. Величина восстанавливающего момента

$$M_b = \Delta l. \quad (1)$$

Центр кривизны линии, по которой перемещается ЦВ при крене судна, называется метацентром. На рисунке он обозначен МЦ. Взаиморасположение центра тяжести, центра величины и метацентра характеризуется следующими расстояниями: z_c — возвышение ЦВ; z_g — возвышение ЦТ; z_m — возвышение МЦ; r — начальный метапорт.

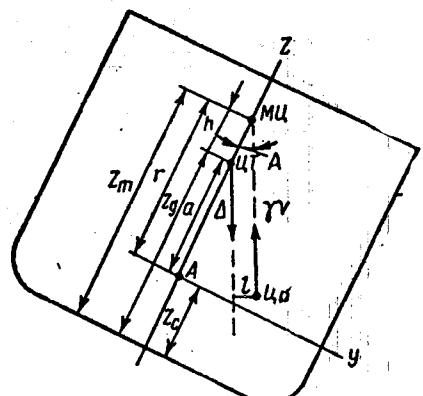


Рис. 1

лический радиус; или расстояние между МЦ и ЦВ; a — возвышение ЦТ над ЦВ; h — метацентрическая высота, или возвышение МЦ над ЦТ. Эти величины связаны между собой следующими соотношениями:

$$h = z_m - z_g = r + z_c - z_g = r - a. \quad (2)$$

Из рис. 1 очевидно, что судно будет остойчиво и сможет вернуться в прямое положение, если восстанавливающий момент больше кренящего, а ЦВ находится между линией действия Δ и наклоненным бортом. В противном случае судно опрокинется.

При небольших углах крена метацентрический радиус остается постоянным, и поэтому для плеча восстанавливающего момента может быть применено выражение

$$l = h \sin \Theta, \quad (3)$$

где Θ — угол крена.

Тогда

$$M_b = \Delta h \sin \Theta. \quad (4)$$

Произведение Δh называется коэффициентом остойчивости.

Равенство (4) известно под названием метацентрической формулы остойчивости. Ею можно пользоваться для решения практических вопросов при углах крена судна не более 12° .

Таким образом, величинами, которые при данном водоизмещении позволяют судить о значении восстанавливающего момента, т. е. об остойчивости судна, являются метацентрическая высота и плечо статической остойчивости.

При больших углах крена, вследствие изменения формы погруженной части корпуса, перемещение ЦВ происходит по кривой, не являющейся дугой окружности, с радиусом r . Иногда этот радиус обозначается буквой ρ .

§ 2. КРИВЫЕ ЭЛЕМЕНТОВ ТЕОРЕТИЧЕСКОГО ЧЕРТЕЖА

Сведения о величинах, необходимых для расчета остойчивости, можно получить при помощи кривых элементов теоретического чертежа. Иногда эти кривые называют гидравлическими.

Разные проектные организации дают на чертеже различное количество кривых. Их число колеблется обычно в пределах от 7 до 20. Однако даже при самом минимальном числе кривых приводится кривая возвышения метацентра z_m , которую иногда называют метацентрической диаграммой. У судов, построенных за границей, иногда эта кривая обозначается через KM , KM_b или $z_c + S$. Обычно кроме z_m приводятся кривые возвышения

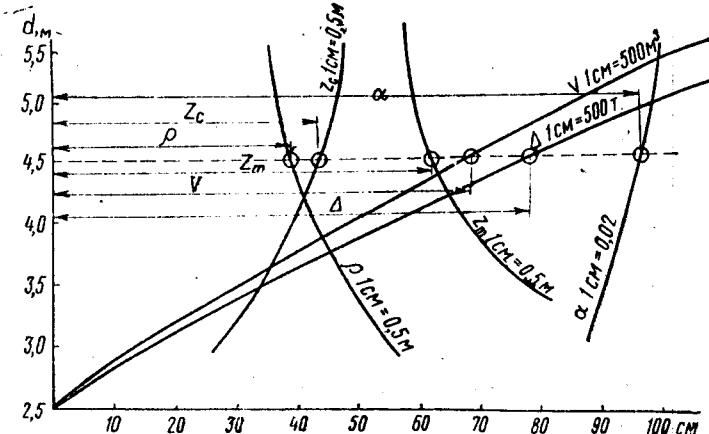


Рис. 2

центра величины z_c и метацентрического радиуса ρ . Кроме того, с кривых можно снять некоторые величины, используемые при расчете остойчивости по различным приближенным формулам: весовое и объемное водоизмещение, коэффициенты полноты ватерлинии, моменты инерции относительно продольной оси и т. п. Значения этих величин приводят в зависимости от осадки судна, которую наносят на чертеж по оси ординат. Ось абсцисс разбивают на сантиметры, и она служит масштабной линейкой. Проведя горизонтальную линию, соответствующую данной осадке судна, можно найти расстояние от оси ординат точки пересечения этой линии с нужной кривой.

Для каждой кривой на чертеже приводится свой масштаб, при помощи которого получают значение нужного элемента в соответствующей размерности. На рис. 2 приведены некоторые кривые элементы теоретического

чертежа и пунктиром показано снятие значений соответствующих величин для заданной осадки.

Встречается другой вариант построения кривых элементов теоретического чертежа (рис. 3), когда их значения откладываются по вертикали. Для пользования диаграммой такого вида необходимо провести из начала координат под углом 45° вспомогательную прямую. Отыскание необходимых элементов производится следующим

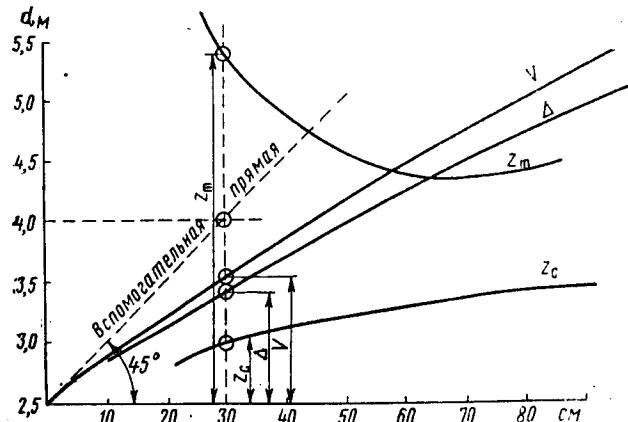


Рис. 3

образом. Из точки на оси ординат, соответствующей заданной осадке, проводят горизонтальную линию до пересечения со вспомогательной прямой. Из полученной точки проводят вертикальную прямую до пересечения с кривыми нужных элементов. Расстояние по вертикали от оси абсцисс до полученной точки пересечения в соответствующем масштабе будет равно искомому значению того или иного элемента.

§ 3. МЕТАЦЕНТРИЧЕСКАЯ ФОРМУЛА ОСТОЙЧИВОСТИ

В § 1 приведена метацентрическая формула остойчивости (4). При малых углах, не превосходящих $15-20^\circ$, синус угла приближенно равен самому углу, поэтому метацентрическую формулу можно записать в упрощенном виде:

$$M_b = \Delta h \Theta, \quad (5)$$

где Θ — угол крена, рад.

Если значение Θ выражено в градусах,

$$M_b = \frac{\Delta h \Theta}{57,3}. \quad (6)$$

Формулами (5) и (6) с достаточной для практики точностью можно пользоваться при небольших углах крена.

Метацентрическая формула остойчивости благодаря своей простоте имеет очень широкое распространение. Но при ее использовании нужно соблюдать осторожность, так как в ряде случаев она может привести к большим ошибкам. Точность формулы зависит от угла крена и отношения метацентрической высоты к метацентрическому радиусу. При малой метацентрической высоте, т. е. при малом значении отношения $\frac{h}{r}$, и при больших углах

крена Θ ошибки расчетов по формулам (4) и (5) резко возрастают. Поэтому не рекомендуется пользоваться этими формулами для расчетов при $\Theta > 12-15^\circ$. При таких углах ошибка M_b может достигать 10—30%. Формулу (4) можно записать в таком виде:

$$M_b = \Delta h (1 + \delta) \sin \Theta, \quad (7)$$

где δ — относительная погрешность формулы.

Приближенные значения δ для разных Θ и $\frac{h}{r}$ приведены в табл. 1.

Таблица 1

Θ°	0.01	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
1	0,020	0,002	—	—	—	—
2	0,061	0,006	0,003	0,002	0,002	—
3	0,137	0,014	0,007	0,005	0,003	0,003
4	0,244	0,024	0,012	0,008	0,006	0,005
5	0,382	0,038	0,019	0,013	0,010	0,008
6	0,550	0,055	0,028	0,018	0,014	0,011
7	0,756	0,076	0,038	0,025	0,019	0,015
8	0,993	0,099	0,050	0,033	0,025	0,020
9	1,260	0,126	0,063	0,042	0,032	0,025
10	1,550	0,155	0,078	0,052	0,039	0,031
15	3,590	0,359	0,180	0,120	0,090	0,072

§ 4. ДИАГРАММЫ ОСТОЙЧИВОСТИ

Метацентрическая формула остойчивости не может быть применена при больших углах крена, но именно такие углы и представляют особый интерес для расчетов, связанных с остойчивостью. Эти расчеты можно выполнить по диаграммам статической или динамической остойчивости.

Диаграмма статической остойчивости. Для любых углов крена плечо восстановливающего момента

$$l = y \cos \Theta + z \sin \Theta - z_g \sin \Theta, \quad (8)$$

где y и z — координаты ЦВ для системы координат с началом в точке A (см. рис. 1).

Первые два члена в правой части формулы (8) зависят только от формы подводной части корпуса и угла крена. Их сумму иногда называют плечом остойчивости

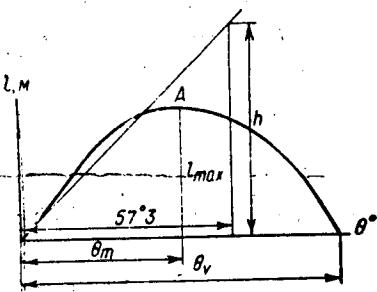
формы, или плечом водоизмещения. Третий член правой части зависит от положения ЦТ по высоте и угла крена. Его называют плечом остойчивости веса.

Для всякого конкретного случая загрузки и посадки данного судна плечо остойчивости l зависит только от угла крена. Изобразив такую за-

висимость графически, получаем диаграмму статической остойчивости (рис. 4). По оси абсцисс диаграммы отложены углы крена (в градусах), по оси ординат — плечи остойчивости (в метрах). Иногда по оси ординат откладывают не плечи, а произведение водоизмещения на плечо, т. е. восстановливающий момент в тонно-метрах [см. формулу (1)].

Запас остойчивости судна характеризуется площадью, ограниченной кривой плеч остойчивости и осью абсцисс. В нормах остойчивости устанавливают минимально допустимые пределы наибольшей величины плеча остойчивости l_{\max} угла Θ_m , соответствующего l_{\max} угла

Рис. 4



заката диаграммы Θ_v . Диаграмма статической остойчивости дает полную характеристику остойчивости судна. С этой диаграммы можно снять все необходимые данные об остойчивости, в том числе и метацентрическую высоту. Для определения метацентрической высоты по диаграмме проводят касательную к начальному участку диаграммы и восстанавливают перпендикуляр из точки на оси абсцисс, соответствующей величине $57^{\circ}3'$. Отрезок перпендикуляра от оси абсцисс до его пересечения с касательной будет метацентрической высотой в масштабе плеч остойчивости.

Диаграмма статической остойчивости удобна для расчетов, связанных с креном судна под действием сил, медленно изменяющих свою величину со временем. В таких случаях силами инерции можно пренебречь. Примером такого крена является крен от сместившегося груза, от затопленного помещения, от сильного, но постоянного ветра, равномерного натяжения буксирного троса и т. п.

Если кренящая сила быстро изменяется во времени, ее действие порождает большие силы инерции. Такие кренящие силы возникают при шквале, рывке буксирного троса и т. п. В этих случаях удобнее пользоваться диаграммой динамической остойчивости.

Кривые плеч остойчивости формы l_Φ , построенные для различных углов крена в функции от объемного водоизмещения судна V , называются пантокаренами (рис. 5). Проведя вертикаль через заданное значение V , снимают значение l_Φ для различных углов крена Θ .

Располагая пантокаренами, очень легко получить диаграмму статической остойчивости. Для этого необходимо знать осадку и метацентрическую высоту. С кривых элементов теоретического чертежа по осадке снимают z_m , z_c и V . По V для различных углов крена от 10° до 90° с интервалом в 10° с пантокарен снимают плечи формы l_Φ . Затем рассчитывают величину $a = z_m - h - z_c$ и вычисляют

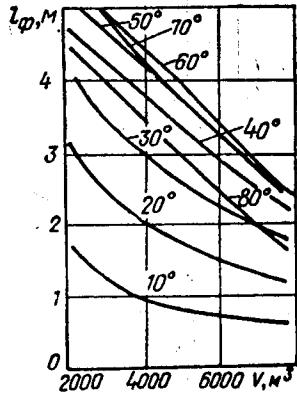


Рис. 5

плечи остойчивости веса $l_b = a \sin \Theta$ для тех же Θ , для которых ранее получили l_Φ . После чего плечи диаграммы статической остойчивости находят как $l = l_\Phi - l_b$.

Диаграмма динамической остойчивости. При рассмотрении вопросов остойчивости можно исходить не из моментов сил, а из той работы, которую эти силы должны проделать, чтобы накренить судно на некоторый угол. Работа, произведенная при наклонении судна, пропорциональна изменению при крене возвышения ЦТ над ЦВ, т. е.

$$T = \Delta l_d, \quad (9)$$

где T — работа, тм;

Δ — водоизмещение судна, т;

l_d — изменение при крене вертикального расстояния между ЦТ и ЦВ, м.

Величину l_d называют плечом динамической остойчивости. Плечо динамической остойчивости зависит от угла крена Θ ,

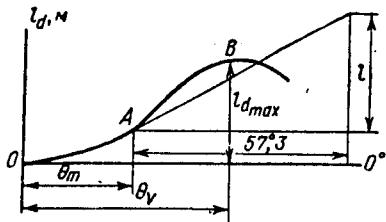


Рис. 6

формы погруженной части корпуса и распределения находящихся на судне грузов. Значение l_d можно определить по формуле

$$l_d = y \sin \Theta - z \cos \Theta - (1 - \cos \Theta) a, \quad (10)$$

где y и z — координаты ЦВ;

a — расстояние между ЦТ и ЦВ по оси z .

Отложив по оси абсцисс углы крена Θ , а по оси ординат плечи динамической остойчивости l_d или работу T , получаем диаграмму динамической остойчивости (рис. 6).

Точка A перегиба диаграммы динамической остойчивости соответствует максимуму диаграммы статической остойчивости, а положение наибольшего плеча l_d в точке B соответствует точке заката диаграммы статической остойчивости. Построив в любой точке диаграммы динамической остойчивости касательную, отложив от этой точки по горизонтали отрезок, равный одному радиану

($57^{\circ}3$), и восстановив из конца этого отрезка перпендикуляр до пересечения с касательной, получим графически величину плеча статической остойчивости. Таким образом, диаграммы статической и динамической остойчивости взаимно обратны.

Очень просто получить диаграмму динамической остойчивости по имеющейся диаграмме статической остойчивости, или наоборот, если воспользоваться табл. 2.

Таблица 2

Θ°	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$\frac{l}{l_d}$	11,36	6,02	3,79	2,57	1,75	1,15	0,67	0,34	0,07

В ней приведены для углов крена от 10 до 90° отношения между плечами статической остойчивости l и динамической остойчивости l_d , полученные статистическим путем.

§ 5. НЕКОТОРЫЕ ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ С ПОМОЩЬЮ ДИАГРАММЫ ОСТОЙЧИВОСТИ

Определение по диаграмме статической остойчивости угла крена, который получит судно от перемещения груза в поперечном направлении

Величина кренящего момента от смещения груза $M_{п.г}$ определяется формулой (31), по которой рассчитываем $M_{п.г}$ для различных углов крена Θ . Если по оси ординат диаграммы статической остойчивости нанесены моменты, можно сразу провести кривую $M_{п.г}$. Если по оси ординат нанесены плечи, их можно получить делением $M_{п.г}$ для каждого угла на Δ , которое имеет судно в заданный момент, т. е.

$$l = \frac{M_{п.г}}{\Delta}. \quad (11)$$

В результате нанесения l на диаграмму получим некоторую кривую abc (рис. 7). Точка c не представляет ин-

тереса, поскольку находится на нисходящей ветви диаграммы и соответствует состоянию неустойчивого равновесия. Напомним, что накренить судно, не опрокинув его, путем несимметричной загрузки на угол более Θ_{\max} нельзя. Привести судно в состояние неустойчивого равновесия (нисходящая ветвь диаграммы) при статическом действии M_{kp} можно только искусственно, накреняя и

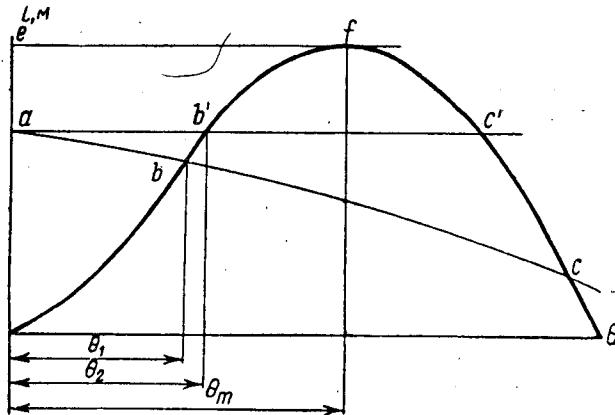


Рис. 7

одновременно удерживая его от опрокидывания. Судно под действием заданного M_{kp} , займет положение, соответствующее точке b , т. е. крену Θ_1 . Если величина M_{kp} не зависит от Θ , например при равномерном натяжении буксирного троса, его действие изобразится прямой $ab'c'$ и соответствующий угол крена будет Θ_2 . Поскольку разница между Θ_1 и Θ_2 при круто восходящей ветви диаграммы будет невелика, иногда для упрощения можно пренебречь зависимостью M_{kp} от Θ при смещении груза и считать M_{kp} постоянным (прямая $ab'c'$).

Получение необходимого обнажения борта

Такую задачу приходится иногда решать при ремонтных работах на судах. Решение аналогично предыдущему, но выполняется в обратной последовательности.

Предварительно вычисляют необходимый угол крена для того, чтобы из воды вышла нужная часть обшивки.

Для этого высоту борта, которая должна выйти из воды, делят на половину ширины судна:

$$\operatorname{tg} \Theta = \frac{2D_{ob}}{B}. \quad (12)$$

Затем откладывают значение Θ на оси абсцисс диаграммы (рис. 8), восстанавливают из полученной точки a

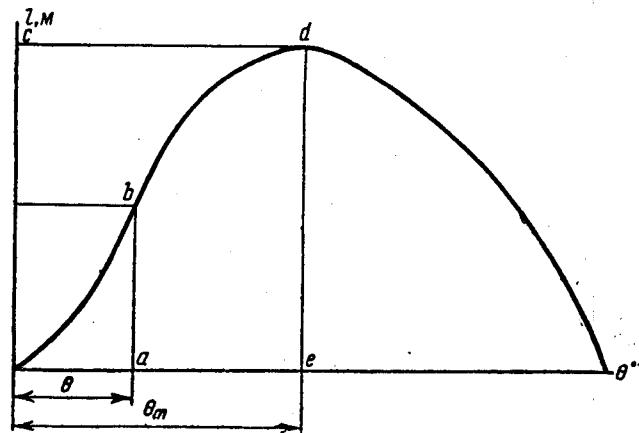


Рис. 8

перпендикуляр до пересечения с диаграммой. Таким образом находят точку b , через которую проводят горизонтальную линию до пересечения с осью ординат — получают l и переходят к кренящему моменту:

$$M_{kp} = \Delta l.$$

После этого подбирают необходимый вес груза p_i и плечо его переноса l_i , чтобы создать нужный M_{kp} . Если для накренения судна необходимо принять на борт дополнительный груз $\delta\Delta$, кренящий момент следует вычислить вновь с учетом этого груза:

$$M_{kp} = (\Delta + \delta\Delta)l. \quad 458229$$

Если угол Θ из формулы (12) получится больше Θ_{\max} , то накренить судно на заданный угол переносом груза нельзя — оно опрокинется.

Формула (12) дает надежный результат лишь при малых углах крена.

Следует помнить, что прием на судно дополнительного груза вызывает изменение диаграммы статической остойчивости и пользоваться прежней диаграммой нельзя.

Определение наибольшей величины статически приложенного кренящего момента, который может выдержать судно не опрокидываясь, и крена, который оно при этом получит

Для решения этой задачи проводят касательную к самой высокой точке диаграммы (линия cd на рис. 8). В точке c читают значение l , которое умножают на Δ , и получают наибольший допустимый M_{kp} . Опустив перпендикуляр dl из точки касания на ось абсцисс, снимают с нее значение угла крена Θ_{max} , который судно получит под действием наибольшего допустимого M_{kp} .

Определение угла крена судна от мгновенно приложенного M_{kp} при отсутствии начального крена

Примером мгновенно приложенного M_{kp} является действие шквала. Кренящий момент от шквала рассчитывается по формуле (14). Затем находят плечо $l = \frac{M_{kp}}{\Delta}$

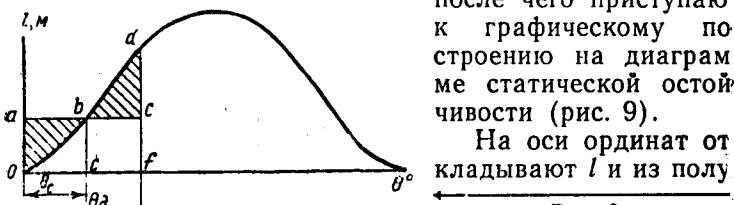


Рис. 9

ченной точки a проводят горизонтальную линию. Затем проводят вертикальную линию df так, чтобы площади oah и bcd были равны. Равенство площадей устанавливают на глаз. Точка f даст угол Θ_d динамического крена на налетевшего шквала, а точка e — угол статического крена Θ_c , который имеет судно, если ветер дует с той же силой, но непрерывно.

Та же задача на диаграмме динамической остойчивости решается, как показано на рис. 10. На оси абсцисс откладывают 1 rad и из точки b восстанавливают перпендикуляр ab длиной $l = \frac{M_{kp}}{\Delta}$. Полученную точку a соединяют с началом координат. Из точки e пересечения прямой oa с диаграммой опускают перпендикуляр ef . Точка f определяет значение динамического угла крена Θ_d . Затем параллельно oa проводят касательную к диаграмме.

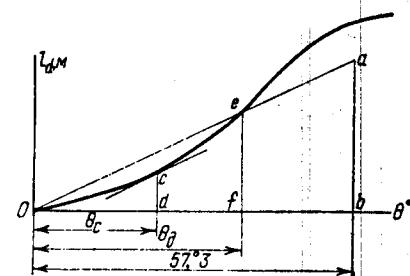


Рис. 10
Из точки касания c опускают перпендикуляр cd . Точка d определит угол статического крена Θ_c от ветра постоянной силы.

Определение угла крена от внезапно приложенного M_{kp} при наличии начального крена по направлению действия M_{kp}

Примером такого варианта действия M_{kp} является шквал, налетевший на поднятый борт судна, имеющего крен от смещения груза.

Отложив по оси абсцисс угол первоначального крена судна, из полученной точки a (рис. 11) восстанавливают перпендикуляр. От точки его пересечения с диаграммой откладывают $l = \frac{M_{kp}}{\Delta}$. Через точку c проводят горизонтальную линию. Подбирают такое положение вертикальной линии eg , чтобы площади bcd и def были равны. Точка g определяет значение динамического угла крена Θ_d .

Эта же задача на диаграмме динамической остойчивости решается следующим об-

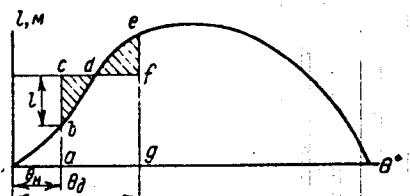


Рис. 11

разом (рис. 12). По оси абсцисс откладывают угол первоначального крена Θ_n и получают точку a , из которой восстанавливают перпендикуляр до пересечения с диаграммой. Через точку пересечения b проводят горизонтальную линию длиной 1 рад. Из точки c восстанавливают перпендикуляр, на котором откладывают плечо cd первоначально крена. Если оно неизвестно, точку d получают как пересечение перпендикуляра из точки c и касательной к диаграмме в точке b .

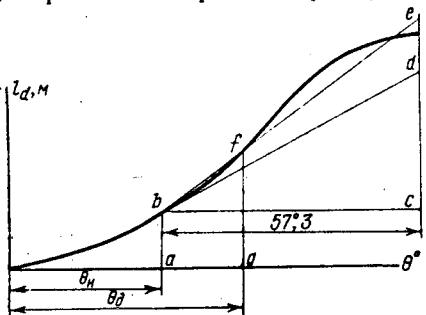


Рис. 12

На диаграмме динамической остойчивости (рис. 14) эта задача решается так. Странят влево от начала координат симметричную начальную ветвь диаграммы, затем откладывают первоначальный крен Θ_n и восстанавливают из точки a перпендикуляр ab . От точки b проводят горизонтальную линию bc длиной 1 рад. Через точку c

зонтальную линию и затем подбирают такое положение перпендикуляра eg , чтобы площади bcd и def были равны. Положение точки g укажет величину динамического крена.

На диаграмме динамической остойчивости (рис. 14) эта задача решается так. Странят влево от начала координат симметричную начальную ветвь диаграммы, затем откладывают первоначальный крен Θ_n и восстанавливают из точки a перпендикуляр ab . От точки b проводят горизонтальную линию bc длиной 1 рад. Через точку c

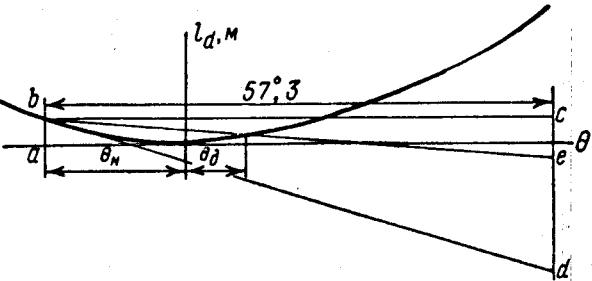


Рис. 14

для грамме в точке b . От точки d откладывают плечо ed дополнительного внезапно приложенного M_{kp} и соединяют b и e прямой. Найдя точку пересечения f прямой с диаграммой, опускают из нее перпендикуляр на ось абсцисс. Точка q определит величину динамического крена Θ_d .

Определение угла крена от внезапно приложенного M_{kp} при наличии начального крена в направлении, противоположном действию M_{kp}

Такие условия могут быть при сильном шквале, налетевшем на опущенный борт судна, имеющего начальный крен.

Влево от начала координат симметрично строят начальный участок диаграммы статической остойчивости (рис. 13). На оси асбцисс откладывают Θ_n . Через точку a

проводят перпендикуляр длиной $cb = l = \frac{M_{kp}}{\Delta}$. От точки c проводят гори-

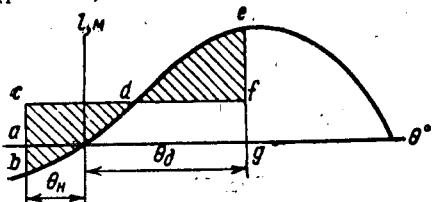


Рис. 13

проводят вертикальную линию, на которой вниз откладывают плечо начального крена. Если оно неизвестно, строят касательную в точке b и находят точку пересечения d этой касательной с вертикальной линией. От точки d откладывают плечо ed внезапно приложенного M_{kp} и соединяют точки b и e . Перпендикуляр на ось асбцисс из точки пересечения прямой be с диаграммой даст величину динамического крена.

§ 6. НОРМИРОВАНИЕ ОСТОЙЧИВОСТИ

Требования к остойчивости судов регламентируются специальными нормами остойчивости. Основные требования советских норм в сокращенном виде приведены в настоящем параграфе.

При наихудшем, в смысле остойчивости, варианте нагрузки судно должно, не опрокидываясь, противостоять одновременному действию ветра и бортовой качке. Остой-

чивость считается по критерию погоды K достаточной, если

$$K = \frac{M_c}{M_v} \geq 1, \quad (13)$$

где M_c — минимальный опрокидывающий момент;

M_v — кренящий момент от действия ветра.

По формуле (13) остойчивость проверяют для нескольких вариантов нагрузки судна, которые могут встретиться в процессе его эксплуатации. Кренящий момент от ветра в этой формуле

$$M_v = 0,001 p_v A_v z, \quad (14)$$

где M_v — кренящий момент от ветра, тм;

p_v — условное расчетное давление ветра, кг/м²;

A_v — площадь парусности, м²;

z — расстояние между центром парусности и действующей ватерлинией, м.

Условное расчетное давление ветра можно найти в табл. 3 в зависимости от z и района плавания судна.

Таблица 3

Район плавания	z, м							
	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
Неограниченный	—	72	80	88	94	99	103	107
Ограниченный I	—	41	46	50	53	56	58	60
Ограниченный II	18	20	22	24	26	27	28	29

Продолжение

Район плавания	z, м					
	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0 и более
Неограниченный	110	113	116	119	122	124
Ограниченный I	62	64	66	68	70	71
Ограниченный II	30	31	32	33	34	35

Суда ограниченного района I могут плавать круглый год по всему бассейну Белого, Балтийского, Черного, Азовского, Каспийского морей и Татарского пролива. В других морях для них установлены следующие максимальные удаления от портов-убежищ: в Японском и Баренцевом морях с мая по август — 200 миль, остальное время года 100 миль; в Беринговом, Карском морях, море Лаптевых, Восточно-Сибирском, Чукотском морях и утихоокеанского побережья СССР — 100 миль; в Охотском море с июня по август — 200 миль, остальное время года — 100 миль. Для судов ограниченного района II установлены границы плавания, приведенные в табл. 4.

Минимальный опрокидывающий момент можно определить по диаграмме статической или динамической остойчивости, для чего предварительно рассчитывают условную расчетную амплитуду бортовой качки.

Эта амплитуда рассчитывается для условий, когда судно потеряло ход и управление и находится на нерегулярном волнении лагом к волне.

Для судна без сколовых и брусковых килей

$$\Theta_{1,r} = X_1 X_2 Y, \quad (15)$$

где X_1 и X_2 — безразмерные множители;

Y — множитель, град.

Значения X_1 , X_2 и Y выбираются из табл. 5, 6 и 7 соответственно.

Для судна с килями

$$\Theta_{2,r} = k \Theta_{1,r}. \quad (16)$$

Величину k выбирают из табл. 8.

В табл. 5, 6, 7 и 8 d — осадка судна; c_b — коэффициент общей полноты; A_k — общая площадь килей.

По условному расчетному значению амплитуды качки Θ_m определяют M_c , пользуясь диаграммой статической или динамической остойчивости.

При определении M_c по диаграмме динамической остойчивости (рис. 15) вправо от начала координат откладывают Θ_m . Из полученной точки K восстанавливают перпендикуляр до пересечения с кривой (точка A'). Через A' проводят линию, параллельную оси абсцисс, и по ней влево от A' откладывают отрезок $AA' = 2\Theta_m$. Из точ-

Таблица 5

Отношение $\frac{B}{d}$	2,4 и менее	2,5	2,6	2,7	2,8	2,9	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5 и выше
X_1	1,00	0,98	0,96	0,95	0,93	0,91	0,90	0,88	0,86	0,84	0,82	0,80

Таблица 6

c_B	0,45 и менее	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70 и более
X_2	0,75	0,82	0,89	0,95	0,97	1,00

Таблица 7

Район плавания	$\frac{V_{h_0}}{B}$									
	0,04 и менее	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13 и выше
Неограниченный	24,0	25,0	27,0	29,0	30,7	32,0	33,4	34,4	35,3	36,0
Ограниченнный I и II	16,0	17,0	19,7	22,8	25,4	27,6	29,2	30,5	31,4	32,0

Таблица 8

$\frac{A_K}{LB}$	0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,6	4,0 и выше
κ	1,00	0,98	0,95	0,88	0,79	0,74	0,72	0,70

ки A проводят касательную AC к кривой динамической остойчивости. По направлению AA' из точки A откладывают отрезок, равный 1 рад, и находят точку B , из которой восстанавливают перпендикуляр до пересечения с линией AC . Отрезок BE будет равен M_c , если по оси ординат отложена работа, или плечу M_c , если по оси ординат отложены плечи остойчивости. В последнем случае, умно-

жив плечо остойчивости на весовое водоизмещение судна, получают M_c . Если касательную провести к кривой нельзя, проводят прямую от точки A до верхней конечной точки диаграммы. Все остальные построения повторяются.

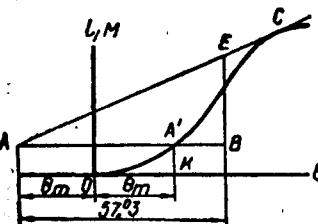


Рис. 15

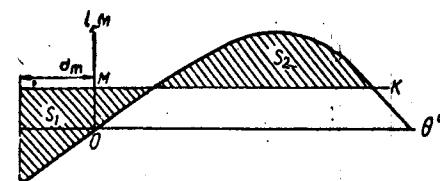


Рис. 16

При определении M_c по диаграмме статической остойчивости (рис. 16) диаграмму продолжают в область отрицательных абсцисс на участке, равном Θ_m , и проводят параллельно оси абсцисс прямую MK так, чтобы площади S_1 и S_2 были равны.

Ордината OM будет минимальным опрокидывающим моментом, если по оси ординат отложены моменты, или плечом минимального опрокидывающего момента, если по оси ординат отложены плечи остойчивости. В этом случае, умножая OM на весовое водоизмещение судна, получают M_c .

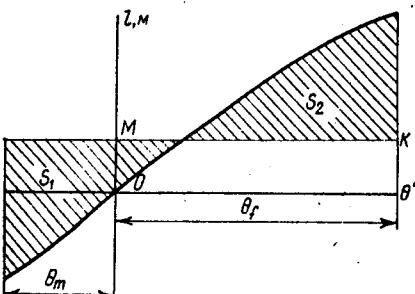


Рис. 17

Если диаграмма остойчивости обрывается на угле заливания Θ_f (рис. 17 и 18), то из крайней верхней точки диаграм-

Рис. 18

грамм опускают перпендикуляр на ось абсцисс; и тог да S_2 ограничивается кривой статической остойчивости прямой MK и этим перпендикуляром. В остальном построение прежнее.

Диаграммы остойчивости должны удовлетворять ряду требований. Максимальное плечо диаграммы статической остойчивости судов длиной, равной или меньше 80 м, должно быть не менее 0,25 м, а судов длиной более 105 м — 0,20 м при крене не менее 30°. Закат диаграммы статической остойчивости должен происходить при крене не менее 60°.

Диаграммы статической остойчивости, построенные для случая обледенения, должны иметь закат при Θ не менее 55°. При обледенении l_{\max} должно быть не менее 0,2 м, при Θ_m — не менее 25° для судов ограниченного района плавания.

Судам с соотношением $\frac{B}{D} > 2$ разрешается плавание при уменьшении угла заката на величину $\delta\Theta_v$ (табл. 9) и угла максимума диаграммы на величину $\frac{\delta\Theta_v}{2}$.

В табл. 9 входят с величиной $\frac{B}{D}$ и критерием K .

Таблица 9

$\frac{B}{H}$	К					
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5 и более
2,0	0	0	0	0	0	0
2,1	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0
2,2	0	0,8	1,6	2,4	3,2	4,0
2,3	0	1,2	2,4	3,6	4,8	6,0
2,4	0	1,6	3,2	4,8	6,4	8,0
2,5	0	2,0	4,0	6,0	8,0	10,0
более						

Судно должно удовлетворять приведенным выше требованиям с учетом влияния свободных поверхностей в диаграммах статической остойчивости. Начальная метацентрическая высота всех судов при всех вариантах нагрузки, за исключением судна порожнем, с учетом свободных поверхностей жидкого грузов, должна быть положительной.

При расчетах остойчивости в число цистерн, учитываемых при подсчете влияния жидкого груза, включаются те, в которых по условиям эксплуатации могут одновременно возникать свободные поверхности. Из числа возможных сочетаний цистерн со свободными поверхностями выбирают такие, которые создают наибольший суммарный кренящий момент $\Sigma \delta M$ от переливания жидкости при крене судна 30°. Для вычисления δM_{30} по каждой цистерне можно воспользоваться формулой

$$\delta M_{30} = v_t b_t \gamma \sqrt{c_b} l_{30}, \quad (17)$$

где

v_t — полная емкость цистерны, м³;

b_t — габаритная ширина цистерны, м;

γ — объемный вес жидкого груза в цистерне, т/м³;

$c_b = \frac{v_t}{a_t h_t c_t}$ — коэффициент полноты цистерны;

a_t — габаритная длина цистерны, м;

c_t — габаритная высота цистерны, м;

l_{30} — безразмерный коэффициент, определяемый по табл. 13 для $\Theta=30^\circ$ в зависимости от отношения $\frac{b_t}{a_t}$.

В расчет не включаются цистерны, удовлетворяющие условию

$$\delta M_{30} < 0,01 \Delta_{\min}, \quad (1)$$

где Δ_{\min} — водоизмещение судна без груза (с 10% запасов), т.

Обычные остатки жидкого грузов в опорожненных цистернах не принимаются во внимание.

К пассажирским судам предъявляются дополнительные требования. Начальная метацентрическая высота пассажирского судна должна быть такой, чтобы при реально возможном скоплении пассажиров у одного борта на самой верхней, доступной пассажирам палубе, угол крена был в два раза меньше угла заливания судна, или входа палубы в воду, или оголения скулы, смотря по тому, какой угол меньше. В любом случае угол крена не должен превышать 10°. Суммарный крен от циркуляции и скопления пассажиров не должен превышать $3/4$ угла заливания, или входа палубы в воду, или оголения скулы, или 12°, смотря по тому, какая из этих величин меньше.

Кренящий момент на циркуляции определяется по формуле

$$M_{kp} = 0,233 \frac{\Delta}{9,81} \frac{v_{0,8}^2}{L} \left(z_e - \frac{d}{2} \right), \quad (19)$$

где $v_{0,8}$ — скорость судна при выходе на циркуляцию, принимаемая равной 0,8 полного хода, м/сек; L — длина судна по грузовой ватерлинии, м.

Глава II. ИЗМЕНЕНИЕ ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА

§ 7. ПРИЕМ ИЛИ ВЫГРУЗКА ГРУЗА

Остойчивость судна зависит от взаимного расположения ЦТ и ЦВ. Каждая из этих точек может менять свое положение в процессе эксплуатации судна. Например, ЦТ смещается вследствие расхода судовых запасов, ЦВ — в условиях волнения, при посадке на мель. Изменение положения любой из этих характерных точек изменяет остойчивость судна, причем это изменение может быть весьма велико.

Изменение остойчивости при приеме или выгрузке груза определяется двумя методами: 1) при грузовых операциях с малым грузом (вес груза менее 10% водоизмещения); 2) при грузовых операциях с большим грузом (вес груза более 10% водоизмещения). Под грузом в данном случае понимается любой вид нагрузки, в том числе топливо, судовые запасы и т. п.

Изменение метацентрической высоты при грузовых операциях с малым грузом определяется по формулам:

$$\delta h = \frac{p}{\Delta + p} \left(d + \frac{p}{200q} - z_p - h \right); \quad (20)$$

$$\delta h = \frac{p}{\Delta + p} \left(d + \frac{\delta d}{2} - z_p - h \right), \quad (21)$$

где Δ — водоизмещение судна до начала грузовых операций, т;

p — вес груза (при погрузке принимается со знаком плюс, при выгрузке — со знаком минус), т;

d — осадка судна до начала грузовых операций, м;

δd — изменение осадки в результате грузовых операций, м;

q — число тонн на 1 см осадки;

z_p — расстояние между ЦТ груза и килем судна, м; h — метацентрическая высота до начала грузовых операций, м.

Новое значение метацентрической высоты h_n получается прибавлением к прежней метацентрической высоте поправки δh с тем знаком, который получился при решении по формулам (20) или (21):

$$h_n = h + \delta h. \quad (22)$$

Новое значение плеч диаграммы статической остойчивости в случае приема (выгрузки) малого груза определяется по формуле

$$l_1 = l + \frac{p}{\Delta + p} \left[\left(d + \frac{p}{200q} - z_p \right) \sin \Theta - l \right], \quad (23)$$

где l — прежнее значение плеча статической остойчивости, м;

l_1 — новое значение плеча статической остойчивости, м.

Если центр тяжести принимаемого (снимаемого) груза не совпадает с диаметральной плоскостью судна, его прием (снятие) вызовет изменение посадки судна на угол крена

$$\Theta^\circ = \frac{py}{(\Delta + p)(h + \delta h)} 57,3^\circ, \quad (24)$$

где y — расстояние между ЦТ груза и диаметральной плоскостью судна, м.

Из формулы (20) можно получить формулу для решения обратной задачи о количестве балласта, которое нужно принять для получения необходимого увеличения метацентрической высоты, по которой

$$p = \frac{\Delta \delta h}{d + x - z_p - h - \delta h}, \quad (25)$$

где Δ — водоизмещение судна до приема балласта, т;

δh — требуемое увеличение h , м;

d — осадка до приема балласта, м;

x — половина приращения средней осадки от приема балласта (приблизительно бывает от $\frac{d}{100}$ до $\frac{d}{50}$);

z_p — возвышение ЦТ балласта над килем судна, м;

h — первоначальная метацентрическая высота, м.

При погрузке (выгрузке) большого груза пользоваться приведенными выше формулами нельзя. Расчет остойчивости в этом случае следует выполнять при помощи кривых теоретического чертежа (рис. 19).

По оси абсцисс откладывают начальное водоизмещение (до грузовых операций) и по нему определяют соответствующую начальную осадку d .

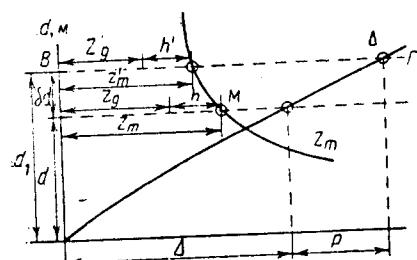


Рис. 19

Значение осадки d_1 . Значение h при начальном водоизмещении Δ должно быть известно. Тогда для осадки d снимают с чертежа значение z_m и находят $z_g = z_m - h$. Затем вычисляют новое значение z'_g по формуле

$$z'_g = z_g + \frac{p}{\Delta + p} (z_p - z_g), \quad (26)$$

где z_p — возвышение ЦТ принимаемого груза над килем, м.

На прямой VG , соответствующей новой осадке d , откладывают вычисленную величину z'_g в масштабе для z_m . Затем снимают новое значение метацентрической высоты

$$h' = z'_g - z_g. \quad (27)$$

Особенно тщательно надо рассчитывать остойчивость в случае принятия на палубу тяжеловесных грузов. Следует по возможности точнее установить их вес и положение центра тяжести. Даже незначительная на первый взгляд ошибка в этих величинах может существенно повлиять на конечный результат.

§ 8. ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ГРУЗА

Перемещение груза в продольном и поперечном направлениях изменяет посадку судна, но не влияет на его остойчивость. Перемещение в вертикальном направлении

изменяет остойчивость судна, но не влияет на его посадку. Перемещение груза p в вертикальном направлении приводит к изменению положения ЦТ, т. е. величины z_g . Положение метацентра при этом не меняется. Изменение метацентрической высоты определяется по формуле

$$\delta h = \frac{p}{\Delta} (z_0 - z_1), \quad (28)$$

где z_0 — первоначальное расстояние между ЦТ перемещенного груза и килем судна, м;
 z_1 — расстояние между килем судна и ЦТ груза после его перемещения, м.

Если груз поднимается, метацентрическая высота уменьшается, если опускается, — увеличивается.

Формулой (28) можно пользоваться при перемещении как большого, так и малого груза, в связи с тем, что изменение h происходит только за счет изменения z_g . Метацентрический радиус и отстояние ЦВ от киля остаются прежними.

Новые плечи диаграммы статической остойчивости вычисляют по формуле

$$l_1 = l - (z_{g1} - z_g) \sin \Theta, \quad (29)$$

где z_{g1} — новое возвышение ЦТ судна, м.

Подвешенные грузы являются близкими по характеру своего влияния на остойчивость к грузам, перемещенным в вертикальном направлении. Подвешенный груз уменьшает метацентрическую высоту на величину

$$\delta h = - \frac{p}{\Delta} l, \quad (30)$$

где p — вес груза, т;
 l — возвышение точки подвеса груза над центром тяжести того же груза, когда он находился на палубе, м.

Формула (30) справедлива для случая, когда груз до момента подъема находился на судне и его вес входил в величину Δ водоизмещения судна. Если же груз находился вне судна (например, на барже), то при его подъеме судовой стрелой или краном следует пользоваться формулой (20). При этом под величиной z_p следует понимать возвышение над килем точки подвеса груза, т. е. нока стрелы или крана.

з. л. р. Аксютин

При поперечном перемещении груза, если не изменяется возвышение его ЦТ над килем, изменение метацентрической высоты не происходит и возникает лишь кренящий момент

$$M_{\text{п.г}} = py \cos \Theta, \quad (31)$$

где p — вес перемещенного груза, т;

y — отстояние ЦТ перемещенного груза от диаметральной плоскости, м;

Θ — угол крена, град.

Для того чтобы заранее вычислить угол крена при перемещении груза, можно воспользоваться формулой

$$\operatorname{tg} \Theta = \frac{py}{\Delta h}. \quad (32)$$

Эта формула отличается от выражения (24) тем, что служит для расчетов, связанных с грузом, уже находившимся на судне и входившим в величину водоизмещения судна.

§ 9. ОБЛЕДЕНЕНИЕ

Существует несколько видов обледенения. Чаще всего обледенение возникает от водяных брызг, заносимых на судно ветром. Интенсивность льдообразования в этом случае зависит от крутизны и высоты волн, силы и курсового угла ветра, скорости хода и формы корпуса судна, температуры воздуха и воды. Обычно плотность льда намерзаемого на судовых конструкциях, достигает $0,85 \text{ г}/\text{см}^3$. Лед, образующийся от брызг морской воды, имеет повышенную плотность и большую силу сцепления с судовыми поверхностями. В этом случае его плотность находится в пределах $0,93$ — $0,96 \text{ г}/\text{см}^3$. Такой вид обледенения наблюдается при температуре воздуха от -4 до -7°C , силе ветра 6 баллов и более, температуре морской воды около 0° . При более низких температурах воздуха (-18°C и ниже) наблюдается другая форма обледенения. Вследствие очень быстрого охлаждения водяных капель они приобретают форму ледяных кристалликов уже в воздухе, не достигнув судовых поверхностей. Такое обледенение менее опасно, так как количество льда в этом случае не бывает большим, а плотность его невелика.

Лед, образующийся при заливании палубы большими массами воды, имеет пористое строение. Интенсивность

такого обледенения зависит от возможности стока воды с палуб. Загромождение палубы различными судовыми конструкциями, наличие палубного груза, обледеневшие лютики и шпигаты способствуют быстрому образованию льда на палубе.

Обледенение может происходить при замерзании влаги, осаждающейся из атмосферы (например, при тумане). В этом случае прежде всего лед образуется на такелаже, рангоуте, антennaх и других высоко расположенных частях судна. Наиболее интенсивное обледенение такого типа наблюдается при температурах воздуха от -1 до -5°C в густом тумане и при сильном ветре, но иногда бывает и при штилевой погоде. Опасность такого обледенения заключается прежде всего в высоком расположении центра тяжести намерзющего льда. Очень часто при этом происходит обрыв антенн и судно лишается радиосвязи.

При обледенении возрастает водоизмещение, увеличивается возвышение ЦТ, смешаются ЦВ и метацентр. Обледенение происходит в основном выше главной палубы и равнозначно принятию все более увеличивающегося палубного груза. Вследствие обычно неравномерного распределения веса льда появляется крен и дифферент. Основная масса льда на небольших судах (вместимостью до 500 брт) при движении их против ветра и волны распределяется примерно следующим образом: на палубе и палубных механизмах 50—65%; на бортах и фальшбортах 18—25%; на переборках надстроек 7—12%; на рангоуте и такелаже 8—15% и на прочих поверхностях 1—2%.

Обледенение грозит прежде всего потерей остойчивости, которая наступает у некоторых судов при достижении веса льда около 2% от водоизмещения судна. Для сравнения отметим, что потеря плавучести происходит обычно при весе льда 15—40% от водоизмещения. Начальный крен при обледенении очень быстро достигает опасной величины. В лабораторных условиях, на моделях, установлено, что опрокидывание может произойти при особо неблагоприятных условиях через 45 мин после начала обледенения. При направлении ветра с кормы метацентрическая высота уменьшается примерно в два раза медленнее, чем при ветре с носа, а центр тяжести образующегося льда располагается ниже. Наиболее

опасно направление ветра в бейдвинд около 30° . При провождающемся обледенением, получило крен $40-45^\circ$ этом образуется много льда с наветренного борта на ран ~~на~~ наветренный борт. Только после потери части палубы и такелаже. Судно в этом случае опрокидывается ~~в~~ при вдвое меньшем количестве льда по сравнению с ~~в~~ весом льда, образовавшегося при ветре прямо по носу.

Поскольку вес намерзшего льда и высота его ЦК в морских условиях не могут быть точно определены расчет остойчивости затруднен. Контроль остойчивости удобнее осуществлять в этом случае по периоду бортовой качки (см. § 19). Необходимо немедленно организовать оконку льда, начиная ее сверху, а судно привести в наиболее подходящее по обстановке положение относительно ветра и волнения. Для освобождения палуб, надстроек и оборудования от льда можно использовать пар, горячую воду, стационарные и переносные воздухоподогреватели и т. п.

В Информации об остойчивости, выдаваемой на суда, остойчивость рассчитана в двух вариантах: без учета и с учетом обледенения. В последнем случае принимают количество льда, равное $30 \text{ кг на } 1 \text{ м}^2$ горизонтальных поверхностей и $15 \text{ кг на } 1 \text{ м}^2$ площади парусности. Такие нормы применяются для судов, плавающих севернее $66^\circ 30' \text{ с. ш.}$ и южнее 60° ю. ш. В остальных районах зимней сезонной зоны нормы обледенения в два раза меньше.

Фактическое обледенение часто значительно превышает предусмотренное нормами. Так, на СРТМ «Меркурий» при обледенении в проливе Скагеррак фактический вес льда составил почти 74 т вместо 17 т по нормам. В результате значение h_0 стало ниже расчетной на 19 см и критерий погоды K уменьшился до величины $0,57$. Во время экспедиции на СРТ «Академик Бэр» в 1968—1969 гг. на Дальнем Востоке количество льда на вертикальных поверхностях превышало 47 кг , а на горизонтальных — $57 \text{ кг на } 1 \text{ м}^2$.

Морская практика знает немало случаев опрокидывания судов в условиях сильного обледенения. Примером аварии такого рода служит гибель 19 января 1965 г. четырех средних рыболовных траулеров «Бокситогорск», «Севск», «Себеж» и «Нахичевань» в Беринговом море. Опрокидывание произошло в условиях 10—12-балльного ветра, сопровождавшегося морозами до 21° .

В декабре 1962 г. западногерманское судно с грузом целлюлозы в трюмах и на палубе во время шторма, со-

гласно направлению ветра в бейдвинд около 30° . При провождающемся обледенением, получило крен $40-45^\circ$ этом образуется много льда с наветренного борта на ран ~~на~~ наветренный борт. Только после потери части палубы и такелаже. Судно в этом случае опрокидывается ~~в~~ при ветре прямо по носу.

Опрокидывание судна возможно не только при исключительно тяжелых гидрометеорологических условиях.

Иногда аварии происходят при ветре умеренной силы. Так, 31 декабря 1961 г. в районе о-вов Прибылова в Беринговом море пропал без вести траулер «К». Ветер в этот день достигал силы всего 5—6 баллов, море — 5 баллов. Температура воздуха доходила до -12 , -17°C . Произведенное расследование привело к выводу, что вероятнейшая причина гибели траулера — обледенение, приведшее к потере остойчивости.

§ 10. ПЕРЕХОД СУДНА В ВОДУ ДРУГОЙ СОЛЕНОСТИ

Переход судна в воду другой солености и, следовательно, другой плотности вызывает изменение его осадки. Значение z_g при этом остается прежним, но происходит перемещение метацентра, т. е. увеличение или уменьшение z_m . Следовательно, изменение солености воды приводит к изменению метацентрической высоты на величину, равную изменению z_m . Расчет изменения метацентрической высоты может быть выполнен по формуле

$$\delta h = \frac{\delta \gamma}{\gamma} (z_m - d), \quad (33)$$

где $\delta \gamma$ — разность объемных весов воды большей и меньшей солености, $\text{т}/\text{м}^3$;

γ — объемный вес воды большей плотности, $\text{т}/\text{м}^3$; d и z_m — осадка и возвышение метацентра над килем для воды, в которой судно находилось первоначально, м .

Изменение δh зависит от характера кривой z_m и осадки. При переходе из морской воды в пресную у судов с малой осадкой обычно происходит уменьшение метацентрической высоты, а при больших осадках может происходить некоторое ее увеличение. При переходе из пресной воды в соленую характер изменения будет обратный. Обычно изменения δh незначительны, а для судов с соотношением $\frac{B}{d}$ около 2,5 близки к нулю. Значения γ для некоторых морей приведены в табл. 10.

Таблица 10

Море	$\gamma, \text{ т/м}^3$	
	летом	зимой
Азовское	1,003	1,008
Балтийское	1,010	1,012
Баренцево	1,027	1,028
Белое	1,018	1,020
Берингово	1,023	—
Каспийское	1,005	1,010
Охотское	1,025	—
Черное	1,010	1,013
Японское	1,021	1,028
Океан (в среднем)	—	1,025

§ 11. ВЛИЯНИЕ ЖИДКОГО ГРУЗА

Влияние жидкого груза на остойчивость судна возможно в двух вариантах. Первый вариант: танк с жидким грузом запрессован, т. е. груз заполняет более 95% объема танка. В таком случае его влияние на остойчивость аналогично твердому закрепленному грузу. Второй вариант: танк с жидким грузом не запрессован, груз имеет свободную поверхность и при качке может перемещаться. В этом случае его влияние на метацентрическую высоту выражается формулой

$$\delta h = \frac{\gamma_{\text{ж}} k ab^3}{\Delta}, \quad (34)$$

где $\gamma_{\text{ж}}$ — объемный вес жидкого груза, т/м^3 ;

k — безразмерный коэффициент, зависящий от формы свободной поверхности; его значения приведены в табл. 12;

a — длина танка на уровне поверхности жидкости, м;

b — наибольшая ширина танка на том же уровне, м.

В табл. 11 приведены некоторые виды жидкого топлива и их объемные веса.

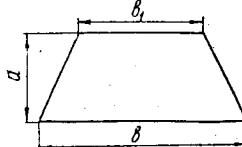
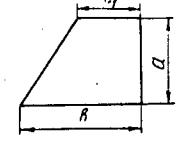
Учитывая большое влияние, оказываемое жидкими грузами на остойчивость, некоторые суда снабжаются Инструкцией по приему и расходованию жидких грузов.

При ее отсутствии указания по приему и расходованию жидких грузов приводятся в Информации об остойчивости.

Таблица 11

Название топлива	$\gamma, \text{ т/м}^3$	Название топлива	$\gamma, \text{ т/м}^3$
Бензин	0,71—0,76	Керосин	0,78—0,88
Дизельное топливо	0,86—0,88	Соляровое масло	0,88—0,90
Моторное топливо	0,86—0,90	Мазут	0,89—0,92

Таблица 12

Форма свободной поверхности (вид сверху)		
$\beta = \frac{b_1}{b}$		
k		

1.0	0,0833	0,0833
0,9	0,0716	0,0780
0,8	0,0615	0,0716
0,7	0,0527	0,0678
0,6	0,0453	0,0652
0,5	0,0390	0,0636
0,4	0,0338	0,0623
0,3	0,0295	0,0605
0,2	0,0260	0,0559
0,1	0,0232	0,0466
0,0	0,0208	0,0278

Диаграмму статической остойчивости на влияние свободных поверхностей можно исправлять следующим образом. Для цистерн, в которых есть свободные поверхности, определяют безразмерные коэффициенты l_e при различных значениях Θ из табл. 13 по отношению ширины цистерны b_t к ее длине a_t .

Таблица 13

θ	$\frac{b_r}{a_r}$							
	20	10	5	2	1	0,5	0,2	0,1
10	0,122	0,110	0,074	0,030	0,014	0,007	0,002	0
20	0,120	0,118	0,108	0,062	0,030	0,016	0,006	0,002
30	0,111	0,113	0,114	0,094	0,049	0,024	0,010	0,005
40	0,100	0,102	0,106	0,108	0,072	0,036	0,016	0,007
50	0,086	0,089	0,097	0,110	0,104	0,054	0,022	0,010
60	0,069	0,072	0,082	0,105	0,121	0,090	0,038	0,018
70	0,049	0,054	0,066	0,094	0,130	0,156	0,074	0,038
80	0,029	0,034	0,046	0,080	0,130	—	—	0,142
90	0,006	0,012	0,026	0,062	0,121	—	—	—

Затем находят для каждой цистерны значение δM по формуле (17) и суммарный момент по всем цистернам для данного угла крена $\Sigma \delta M_\theta$. После этого плечи исправленной диаграммы статической остойчивости находят по формуле

$$l = l' - \frac{\Sigma \delta M_\theta}{\Delta}, \quad (35)$$

где l' — плечо диаграммы без учета свободных поверхностей, м.

Поправку δl для плеч диаграммы статической остойчивости можно получить из выражения

$$\delta l = \delta h \sin \theta, \quad (36)$$

где δh — поправка метacentрической высоты, вычисленная по формуле (34).

Следует иметь в виду, что пользование формулой (36) дает хорошую точность только для цистерн с отношением ширины к высоте, примерно равным двум. По этой формуле поправки для высоких цистерн получаются заниженные по сравнению с фактическими, а для плоских цистерн двойного дна — завышенные.

Как видно из формулы (34), изменение метацентрической высоты происходит особенно быстро с увеличением ширины отсека. В морской практике бывают случаи, когда приходится балластировать судно, принимая забортную воду в сухогрузные трюмы. Если это делается в кормовых трюмах, не следует принимать воду выше тоннеля гребного вала, который будет выполнять роль продольной переборки.

Часто для повышения остойчивости принимают во время шторма забортную воду в балластные танки. Принятию такого решения должен предшествовать обязательно расчет, так как в первое время после начала приема балластной воды уменьшение h от появившихся свободных поверхностей в ранее пустых танках может оказаться большим, чем увеличение h от приема груза в нижнюю часть корпуса судна. В результате характеристики остойчивости не только не улучшаются, а наоборот, ухудшаются.

Характер изменения остойчивости при приеме жидкого груза изображен на рис. 20. По оси ординат отложены значения коэффициента остойчивости Δh , а по оси абсцисс — величина τ , определяющая степень заполнения отсека.

Значение τ равно отношению возвышения t над килем уровня свободной поверхности в заполняемом отсеке к осадке судна, т. е.

$$\tau = \frac{t}{d}.$$

Если $\tau < 1$, уровень жидкости в отсеке ниже уровня забортной воды. Именно так бывает при заполнении балластных днищевых танков. Как видно из рисунка, в этом случае падение остойчивости происходит особенно резко. На рисунке изображены две кривые изменения коэффи-

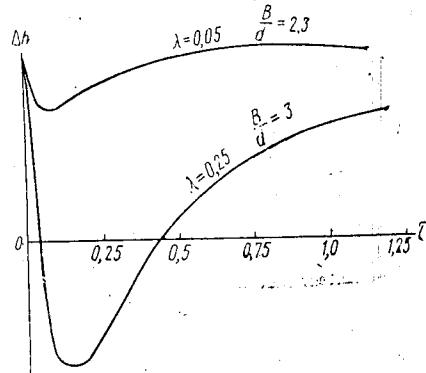


Рис. 20

циента остойчивости в зависимости от отношения $\frac{B}{d}$ и относительной длины λ заполняемого отсека, т. е.

$$\lambda = \frac{a}{L},$$

где a — длина заполняемого отсека.

Чем длиннее отсек и чем шире судно, тем сильнее происходит падение Δh в первый момент заполнения. При неблагоприятном сочетании λ и $\frac{B}{d}$ значение Δh может стать даже отрицательным. Поэтому принимать балласт следует не во все танки сразу, а поочередно, чтобы избежать одновременного появления свободных поверхностей в нескольких отсеках. Примером неумелого приема жидкого балласта, которым пытались улучшить остойчивость судна, является авария теплохода «Большевик Каспия» в 1955 г.

«Большевик Каспия» вышел в рейс Баку—Красноводск с грузом 400 т селитры. После отхода судна появился крен от 3 до 8° попутно на оба борта. Крен выравнивали заполнением водой междудонных танков, которые, однако, не запрессовывались. В продолжение нескольких часов плавание проходило без происшествий. Затем судно неожиданно накренилось на левый борт на 20° . При попытке выровнять крен приемом воды в танк правого борта образовался крен 10° на правый борт. После приема воды в танк левого борта появился крен 39° на левый борт, затем крен увеличился, и судно опрокинулось. Ветер в момент аварии был 4—5 баллов, волнение — 3 балла. Причина аварии — недостаточная начальная остойчивость судна, ухудшенная наличием свободных поверхностей в танках. Появление свободных поверхностей способствовали неправильные действия экипажа судна.

Основные правила безопасного приема балласта при штормовом плавании следующие:

нельзя начинать балластировку, не произведя расчета остойчивости и влияния на нее принимаемого балласта;

если в танках, кроме расходных, уже есть свободные поверхности, то по возможности эти танки следует запрессовать еще до начала балластировки;

принимать балласт одновременно только в один танк или в одну пару танков, если прием в один вызовет заметный крен;

начинать нужно с заполнения танка, свободная поверхность в котором даст наименьшую поправку к метацентрической высоте. Обычно такими танками являются

концевые танки. Они не парные, расположены в диаметральной плоскости и имеют в плане форму трапеции или треугольника;

прямоугольные танки в средней части корпуса заполняются, как правило, последними;

прием балласта нужно вести с максимальной быстрой, полностью используя производительность насосов;

начав принимать балласт в какой-либо танк, ни в коем случае не прекращать этой операции до полной его запрессовки. Только убедившись, что танк заполнен, можно переходить к заполнению следующего.

§ 12. ЗАТОПЛЕНИЕ СУДОВЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

Возможны три вида затопления судовых помещений.

1. Объем отсека затоплен полностью, свободных поверхностей нет. Примером такого затопления может служить случай, когда произошло полное затопление помещения через пробоину, впоследствии закрытую пластырем. Такое затопление аналогично приему на судно твердого груза, и его влияние на остойчивость можно рассчитать по формулам, приведенным в § 7.

2. Объем отсека затоплен частично, существует свободная поверхность, но сообщения с забортной водой нет. Такой случай также возможен после заделки пробоин, затопления трюма через вскрытые люки или скопления воды в помещениях во время тушения пожара. В этом случае влияние затопления аналогично действию жидкого груза. Изменение остойчивости при этом происходит не только вследствие появления свободных поверхностей, влияние которых рассмотрено в § 11. Одновременно судно приняло дополнительный груз воды, и его водоизмещение стало иным, поэтому изменение метацентрической высоты можно определить по формуле

$$\delta h = \frac{p}{\Delta + p} \left(d + \frac{\delta d}{2} - h_0 - z_p - \frac{\gamma kab^3}{p} \right), \quad (37)$$

где p — вес влившейся воды, т;

Δ — водоизмещение судна до затопления отсека, т;

d — осадка до затопления отсека, м;

δd — изменение осадки в результате затопления, м;

h_0 — метацентрическая высота до затопления отсека, м;

z_p — возвышение ЦТ влившейся воды над килем, м;

γ — объемный вес влившейся воды (см. табл. 10),
 t/m^3 ;

k — коэффициент из табл. 12;

a — длина затопленного отсека, m ;

b — ширина затопленного отсека, m .

Вес влившейся воды можно получить несколькими путями. Во-первых, по аварийной осадке можно с кривых теоретического чертежа снять новое водоизмещение Δ_1 . Тогда $p = \Delta_1 - \Delta$. Во-вторых, можно определить вес воды исходя из затопленного объема. При этом следует иметь в виду, что затопленный объем практически редко соответствует объему влившейся воды, так как всегда в помещениях есть какие-то предметы, оборудование, груз и т. п. Поэтому нужно учитывать коэффициент проницаемости судовых помещений и трюмов, заполненных грузом. Коэффициентом проницаемости называется отношение объема воды, которая может влиться в помещение, к полному объему этого помещения:

$$\mu = \frac{V_n - V_r}{V_n},$$

где μ — коэффициент проницаемости;

V_n — объем помещения, m^3 ;

V_r — находящийся в затопленном отсеке суммарный объем груза, оборудования и т. п., в который не может проникнуть вода, m^3 .

Можно воспользоваться следующими значениями коэффициентов проницаемости:

Помещения, занятые механизмами, электростанциями	0,85
Жилые помещения и кладовые запаса	0,95
Пустые цистерны, порожние и рефрижераторные трюмы-кладовые	0,98
Порожние рефрижераторные трюмы	0,93
Автомобили без упаковки	0,95
Агломераты железных руд	0,19—0,23
Апатиты	0,18
Бокситы	0,26
Бочки	0,37—0,52
Бумага в рулонах	0,23
Джут	0,45—0,69
Каталика в бухтах	0,85
Каучук в кипах	0,09
Консервы в ящиках	0,30
Лес	0,35
Марганцевая руда	0,16
Масло в ящиках	0,20
Мука в мешках	0,29

Пробка в кипах	0,24
Рис в мешках	0,43
Сельскохозяйственные орудия	0,82—0,91
Табак в кипах	0,44—0,54
Сталь листовая	0,68—0,74
Сталь прутковая	0,56
Стальные трубы	0,95—0,99
Хлопок	0,15—0,18
Цветной металл в чушках	0,42—0,60
Целлюлоза в кипах	0,37
Цемент в мешках	0,41
Чай в ящиках	0,81
Чугун в чушках	0,71

Для получения объема влившейся воды следует умножить объем, занимаемый грузом, на коэффициент проницаемости. При этом нужно помнить, что приведенные выше значения μ относятся только к той части трюма, которая занята данным грузом. Если трюм заполнен неполностью, подиалубные пустоты нужно учитывать отдельно.

Крупная авария от потери остойчивости в результате затопления судовых помещений произошла в феврале 1942 г. в Нью-Йоркском порту на турбоэлектроходе «Лафайет» (бывшая «Нормандия»). За несколько дней до окончания ремонта на судне в верхних надстройках вспыхнул пожар. «Лафайет» горел около суток. Применившаяся пожарными вода в большом количестве скопилась в верхней части судна, в результате чего появился угрожающий крен, который постепенно увеличивался. Через несколько часов судно окончательно потеряло остойчивость и, опрокинувшись на левый борт с креном 80° , легло на причал.

3. Отсек имеет свободную поверхность и сообщается с забортной водой. Примером служит трюм, затопление которого произошло через пробоину и уже закончилось, т. е. уровень воды в помещении стал равен уровню забортной воды, или, иными словами, осадке судна. Расчет остойчивости в таком случае усложняется. Для относительно небольших отсеков изменение метацентрической высоты определяется по формуле

$$\delta h = \delta z_c + \delta r = \frac{p}{\Delta} \left\{ d + \frac{z_d}{2} - z_p - \frac{\gamma \left[i_x + y_s^2 \left(1 + \frac{s}{S-s} \right) \right]}{p} \right\}, \quad (38)$$

где i_x — момент инерции площади затопленного отсека, m^4 ; определяется по формуле $i_x = k l b^3$; значения входящих в нее величин аналогичны формуле (34);

y_s — расстояние между центром площади затопленного отсека и диаметральной плоскостью судна, m ;

s — площадь затопленного отсека, m^2 ;

S — площадь ватерлинии, m^2 (находится по формуле $S = \alpha LB$; коэффициент полноты ватерлинии α можно получить с кривых элементов теоретического чертежа).

Влияние относительной длины $\frac{a}{L}$ затопленного от-

сека третьего типа и отношения $\frac{B}{d}$ на изменение коэффициента остойчивости Δh изображены на рис. 21, где горизонтальной пунктирной линией изображено первоначальное значение Δh . Как видно из рисунка, остойчивость узкого судна при затоплении длинного отсека, сообщающегося с забортной водой, может даже возрасти. При коротком отсеке она практически не изменяется. У широкого судна значение остойчивости при затоплении короткого отсека падает сильнее, чем при затоплении более длинного.

Потеря остойчивости при затоплении отсека, сообщающегося с забортной водой,— частое явление при столкновении судов, торпедировании их и т. п. Крупнейшей аварией такого ро-

да, произошедшей в 1956 г., является столкновение вблизи Нью-Йорка итальянского пассажирского лайнера «Андреа Дориа» со шведским судном «Стокгольм». В результате пробоины в борту у итальянского судна оказались затопленными многие помещения ниже ватерлинии, и судно опрокинулось.

На рис. 22 изображено опрокинувшееся у причала

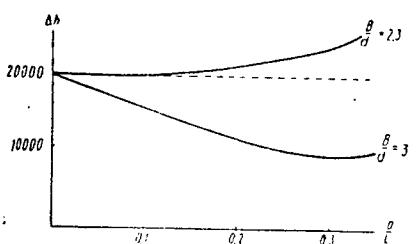


Рис. 21

в Пирее пассажирское судно «Агамемон». Судно после ремонта принимало бункер. Танки были пустые, лацпорты открыты, в корпусе в районе ватерлинии было отверстие. Во время приема балласта «Агамемон» накренился, вода стала проникать внутрь корпуса через незакрытые отверстия, и судно опрокинулось.

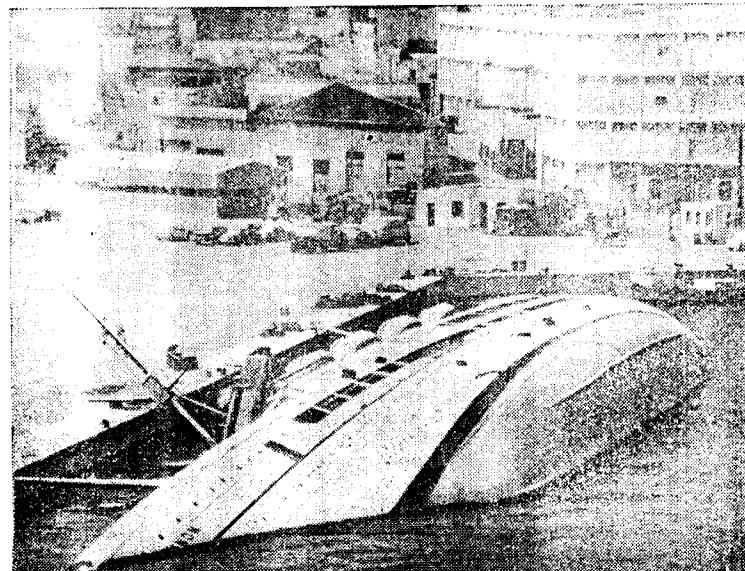


Рис. 22

Наибольшую опасность представляет затопление отсеков второго и третьего видов. Опасность эта тем больше, чем выше над килем расположен затопленный отсек. Нужно стремиться всеми мерами ограничить распространение воды по судовым помещениям, а если затопленные помещения находятся на верхних палубах,— спустить воду вниз.

§ 13. ПОСАДКА НА МЕЛЬ

Вследствие посадки судна на мель изменяются его осадка, крен, дифферент, а также остойчивость. Вертикальная реакция грунта по своему действию аналогична снятию с судна груза R с возвышением его ЦТ над килем

$z_k=0$. Изменение метацентрической высоты δh поэтому может быть получено подстановкой в формулу (20) значений $p=-R$ и $z_p=0$.

Тогда получим:

$$\delta h = -\frac{R}{\Delta - R} \left(d + \frac{\delta d}{2} - h \right), \quad (39)$$

где

$$R = 100q \delta d. \quad (40)$$

Таким образом, из формулы (39) видно, что при посадке судна на мель его остойчивость всегда уменьшается. Если судно имеет значительную килеватость, пользование формулой (39) может привести к большим ошибкам, так как, полагая $z_p=0$, пренебрегают возможностью существенного расстояния по высоте между местом касания грунта и основной плоскостью.

Уточнить δh можно только после определения координат точки касания грунта. Сделать это можно по формулам:

$$X_R = \frac{100m\psi}{R}. \quad (41)$$

$$Y_R = \frac{(\Delta + R)h_1}{R} \operatorname{tg} \Theta, \quad (42)$$

где X_R — отстояние точки касания от миделя, м;

ψ — дифферент, м;

m — момент, дифферентирующий судно на 1 см, т/см;

Y_R — отстояние точки касания от диаметральной плоскости, м;

h_1 — новое значение метацентрической высоты, определенное как $h_1=h-\delta h$; величина δh найдена из формулы (39);

Θ — угол крена.

Можно m снять с кривых теоретического чертежа. Если такой кривой на чертеже нет, но есть грузовая шкала, то с меньшей точностью значение m можно найти из выражения

$$m \approx 7,2 \frac{q^2}{\gamma B}. \quad (43)$$

Если нет и грузовой шкалы, можно воспользоваться еще более приближенными формулами:

$$m \approx 0,00043\gamma BL^2; \quad (44)$$

$$m \approx \frac{1}{70}\Delta. \quad (45)$$

Если на судне нет грузовой шкалы, возникает трудность с применением формулы (40), так как нельзя найти q . В таком случае следует найти приближенное значение q по формуле

$$q \approx 0,008\gamma LB. \quad (46)$$

Определив X_R и Y_R , по имеющимся на судне чертежам уточняют расстояние по вертикали между местом касания грунта и килем судна. После этого повторяют вычисления δh по формуле (20), где полагают $p=R$, а z_p заменяют на z_R . Из формулы (39) следует, что улучшить остойчивость судна, севшего на мель, можно, уменьшив давление на грунт, т. е. переместив груз в ту часть судна, которая относительно его ЦТ противоположна точке касания грунта.

§ 14. ОСТОЙЧИВОСТЬ ПРИ ДВИЖЕНИИ НА ПОПУТИНОМ ВОЛНЕНИИ

Когда судно находится на взволнованной поверхности моря, происходит изменение формы погруженной части корпуса при неизменном водоизмещении. Большинство судов имеет килеватость в носовой и кормовой частях и относительную прямостенность в районе миделя. При изменении на волнении высоты надводного борта в различных частях корпуса по его длине происходит изменение площади действующей ватерлинии. Это приводит к изменению момента инерции, который связан с метацентрическим радиусом соотношением

$$\rho = \frac{I_x}{V}, \quad (47)$$

где ρ — метацентрический радиус, м;

I_x — момент инерции площади действующей ватерлинии, м⁴;

V — объемное водоизмещение судна, м³.

В результате изменения ρ изменяется и метацентрическая высота. Установлено, что в некоторых случаях уменьшение h достигает 40% первоначального значения.

Влияние положения судна относительно гребня волны на диаграмму статической остойчивости показано на рис. 23. Пунктиром нарисована диаграмма статической остойчивости одного из судов на тихой воде, а сплошными линиями — диаграммы того же судна при положениях относительно волны, изображенных схематически под диаграммой. Из рисунка видно, что при положении судна на подошве волны происходит даже некоторое увеличение остойчивости.

Во всех других случаях диаграмма резко снижается, особенно при положении судна на гребне волны. Это наиболее опасно для судна.

Изображенные на рис. 23 положения судна на волне могут иметь место как на встречном, так и на попутном волнении. На встречном волнении гребень волны проходит очень быстро вдоль корпуса, и судно не успевает реагировать на уменьшение остойчивости; на попутном — волны гораздо медленнее перемещаются относительно судна. Судно может продолжительное время находиться на гребне волны, не меняя своего положения относительно ее. Это произойдет при равенстве скорости бега волны и скорости судна.

Для того чтобы произошло наибольшее уменьшение площади ватерлинии, а следовательно, метацентрической высоты, длина волны должна быть близка к длине судна. Наиболее неблагоприятным является попутное волнение с длиной волны около $0,8 L$ судна. В таком случае носовая и кормовая оконечности корпуса оказываются на подошвах двух соседних волн. Такое совпадение длин волн и судна наиболее реально для малых судов длиной менее 100 м.

Кроме уменьшения метацентрической высоты, во врем-

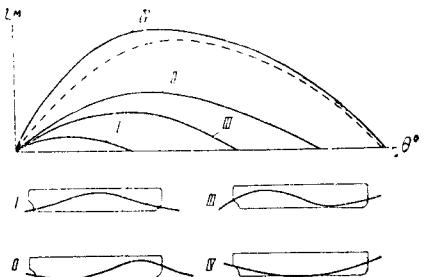


Рис. 23

мя оголения кормовой оконечности происходит ухудшение управляемости и возникает угроза внезапного разворота судна лагом к волне. Поэтому во время шторма следует обращать внимание на такие элементы волнения, как длина волн и скорость их бега. Если они совпадают с длиной судна и его скоростью, необходимо избегать следования на попутном волнении. Недопустим также начальный статический крен от несимметричности нагрузки. Почти незаметный на тихой воде, такой крен на попутной волне может очень быстро возрасти в 2—3 раза и привести к заливанию палубы, поздраенных отверстий, смешению груза и т. п.

Следует уменьшать скорость судна во время поворотов на волнении, так как крен, возникающий при циркуляции, на попутной волне может возрасти до недопустимой величины.

Примером аварии на попутном волнении служит гибель западногерманского судна «Ирен Ольдендорф» в ночь с 30 на 31 декабря 1951 г. в Северном море. Длина судна между перпендикулярами составляла 81,6 м, водоизмещение в момент аварии 4575 т. Опрокидывание произошло при ветре силой 8—9 баллов, развившем волны длиной от 60 до 80 м и высотой 5—7 м. Курсовой угол волнения 135°. Диаграмма статической остойчивости «Ирен Ольдендорф», построенная для условий нахождения на волне указанных выше характеристик, подтвердила неспособность судна выдержать в этих условиях приложенные к нему кренящие моменты.

Другое западногерманское судно опрокинулось при следовании на чисто попутном волнении (курсовый угол 180°). Высота волн достигала 8 м. У судна возник крен до 30°, оно потеряло управление и было затем развернуто лагом к волне, после чего внутренние помещения залило водой.

Длина судна составляла 55 м, ширина 9,6 м. Диаграмма статической остойчивости имела максимальное плечо всего 0,07 м, а угол максимума 10°.

Глава III. СУДОВЫЕ СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ОСТОЙЧИВОСТИ

§ 15. ИНФОРМАЦИЯ ОБ ОСТОЙЧИВОСТИ РЕГИСТРА СССР

В соответствии с требованиями Норм остойчивости на каждое судно должна выдаваться информация об остойчивости, содержащая все сведения для оценки остойчивости в эксплуатационных условиях.

Метацентрограф Севастьянова

Единственный отечественный измеряющий прибор, дающий фактическую метацентрическую высоту без каких-либо расчетов. Недостатком является получение результатов только после выхода из порта. Прибор разработан в Калининградском техническом институте рыбной промышленности и предназначен для использования на малых судах. Действие прибора основано также на измерении среднего периода качки. Шкала проградуирована сразу в значениях метацентрической высоты с отметкой критических значений. Пока существуют только опытные образцы прибора для промысловых судов.

Прибор остойчивости Венделя

Прибор изготавливается фирмой «Хотингер Месстехник», в настоящее время находится в стадии эксперимента.

Разработаны два типа этого прибора: один предизначен для работы на тихой воде, другой — на волнении. Прибор первого типа основан на измерении угла крена при заполнении водой специальной бортовой цистерны. На выходе прибор дает изображение диаграммы статической остойчивости в виде светящихся точек на экране. Прибор вводится в действие нажатием кнопки. Весь процесс получения диаграммы статической остойчивости полностью автоматизирован и занимает не более 5 мин.

Второй тип прибора основан на измерении угловых ускорений во время качки. Прибор вычерчивает на экране осциллографа начальный участок диаграммы статической остойчивости.

§ 18. КРЕНОВАНИЕ СУДНА

Для определения начальной метацентрической высоты и возвышения ЦТ порожнего судна, необходимых в дальнейшем для контроля остойчивости и составления Информации об остойчивости, производится опыт кренования. Кренование подвергаются все головные суда серии постройки на данном заводе и каждое пятое судно в серии, вновь строящиеся несерийные суда, суда после капитального ремонта и переоборудования, а также суда, остойчивость которых неизвестна или вызывает сомнения. Для проведения кренования назначается спе-

циальная комиссия из представителей заказчика (или судовладельца), завода, конструкторского бюро и местной инспекции Регистра СССР.

Кренование следует производить в тихую погоду, при отсутствии течения. Судно удерживается у причала двумя продольными швартовыми, которые перед производством отсчетов потравливаются, трап убирается. Во время опыта судно не должно касаться причала, грунта или другого судна. Как исключение, допускается кренование при стоянке на якоре. При этом из водоизмещения исключается вес якоря и якорной цепи, лежащей на грунте.

Судно должно быть по возможности в порожнем состоянии, но со снабжением, находящимся на штатных местах. Все предметы, которые при крене могут сместиться (например, стрелы), должны быть закреплены. Цистерны должны быть совершенно пустые. Допускается кренование с запрессованными цистернами. Кренование производят перемещением балласта или перебежкой команды.

При креновании балластом его вес должен составлять 0,5—1 % от водоизмещения. Твердый балласт в виде чугунных чушек, мешков с песком и т. п. заранее взвешивают и раскладывают на верхней палубе у бортов на четыре приблизительно равные группы, по две с каждого борта. Допускается кренование забортной водой, принимаемой в балластные цистерны. В этом случае необходимо тщательно определять вес и положение ЦТ принятого жидкого балласта. Возможно кренование с помощью тяжеловеса, вынесенного стрелой за борт судна.

Кренование перебежкой команды можно производить, если суммарный вес людей не менее 0,1—0,2% от водоизмещения судна. Каждый человек, участвующий в креновании, должен быть взвешен. При отсутствии такой возможности вес людей устанавливают опросом или принимают приблизительно равным 62—67 кг в летней и 65—70 кг в легкой зимней одежде.

До начала кренования составляют ведомость недостающих и излишних грузов на судне по отношению к их нормальному количеству. При этом указывают их расположение на судне по высоте и длине. Вес людей, участвующих в перебежках, рассматривается как излишний груз. Их ЦТ считают расположенным на палубе, по ко-

торой происходит перебежка. Углы крена фиксируют с помощью инклинометра Амаева, сообщающимся со- судами или весками. Описание работы с инклинометром Амаева в настоящей брошюре не приводится, так как его привозят на судно только на время опыта кренования и работает на нем береговой специалист.

Проще всего организовать наблюдения с помощью весков. Длина нити веска должна быть максимально возможной в условиях данного судна. На больших судах рекомендуется длина нити 4—6 м, на малых судах — не менее 1,5 м. Диаметр нити около 0,5 мм. Если вместо нити применяют проволоку, ее диаметр должен быть около 0,25 мм. Нить до начала наблюдений вытягивают подвешиванием груза. Количество весков должно быть не менее двух, установленных в разных местах судна. Во время наблюдений груз веска должен быть погружен в подставленный сосуд с водой или маслом для быстрейшего затухания колебаний.

Для отсчета углов крена в нижней части веска перпендикулярно нити подвеса устанавливают деревянную рейку с прикрепленной к ней полоской миллиметровой бумаги, на которую наносят шкалу в виде прямой линии с пронумерованными делениями через 1 см. Необходимо следить, чтобы нить веска не касалась рейки со шкалой.

После накренения судна, когда амплитуды колебания веска станут менее 1 см, не дожидаясь полного затухания колебаний, записывают в сантиметрах и долях сантиметра отклонения веска вправо и влево для нескольких полных качаний и вычисляют среднее арифметическое его отклонения. При наибольшем крене судна отклонение веска от среднего положения не должно быть меньше 15 см. Угол крена судна можно определить по формуле

$$\lg \Theta = \frac{k}{\lambda}, \quad (48)$$

где k — отклонение веска от среднего положения в единицах измерения длины веска;

λ — длина веска от точки подвеса до шкалы.

Для определения крена с помощью сообщающихся сосудов берут две стеклянные трубы диаметром 1—2 см и длиной 1—1,2 м и соединяют их резиновой трубкой длиной, примерно равной ширине судна. Трубы уста-

навливают вертикально в плоскости одного и того же шпангоута: одну у левого борта, другую у правого на одинаковой высоте над палубой. В одну из трубок наливают подкрашенную воду до тех пор, пока уровни в обеих трубках не установятся на одной высоте. Угол крена определяется по формуле (48), где k — изменение уровня воды в трубке после накренения судна, а λ — половина расстояния между трубками.

Необходимо как можно точнее определить водоизмещение судна, при котором производится кренование. Водоизмещение определяют по соответствующей кривой элементов теоретического чертежа, исходя из осадки. Следует иметь в виду, что такой способ может обеспечить необходимую точность только при отсутствии существенного дифферента. Осадку следует измерять по маркам углубления с шлюпки или плота возможно точнее. Отсчет берут с обоих бортов и затем осредняют для исключения влияния начального крена. Снятое с кривых теоретического чертежа объемное водоизмещение V переводят в весовое Δ по формуле

$$\Delta = \gamma V, \quad (49)$$

где γ — объемный вес воды, взятый из табл. 10.

Если кренование производится перемещением балласта, заранее размечают места, на которые должны становиться люди (или укладываться балласт) во время производства замеров. Рекомендуется располагать группы балласта так, как изображено на рис. 25, где римскими цифрами в прямоугольниках обозначены группы балласта, прямоугольниками без цифр — свободное от балласта место.

Если при переносах точно соблюдались установленные места расположения балласта, наблюдения № 2—4, 1—5—9, 6—8 должны совпадать. По окончании кренования величины отклонения весков, вес и плечо перенесенного балласта и посадку судна заносят в протокол кренования.

Углы крена при помощи инклинометра Амаева замеряют согласно специальной инструкции, прилагаемой к прибору. Инклинометр устанавливают поперек судна недалеко от миделя, вблизи диаметральной плоскости, на столе, жестко связанном с корпусом. Прибор записы-

вает поперечные колебания судна на ленте, с которой можно снять угол крена.

При любом способе проведения кренования метацентрическую высоту определяют по формуле

$$h = 57,3 \frac{pb}{\Delta \theta}, \quad (50)$$

где p — вес кренбалласта (или людей), т;

b — плечо перемещения груза (или перехода людей), м;

Δ — водоизмещение судна, т;

Θ — угол крена, град.

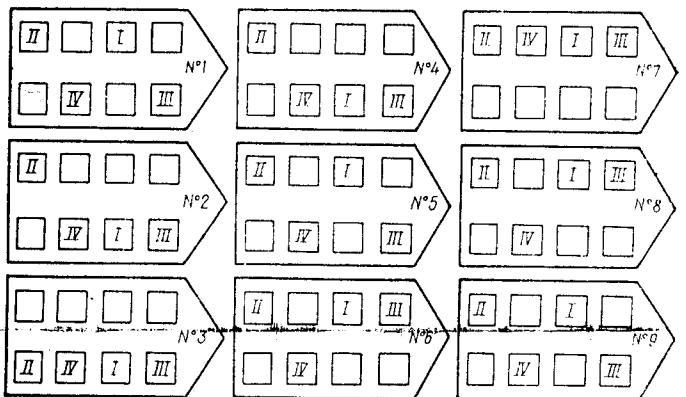


Рис. 25

С ленты инклинометра можно снять также величину периода свободных колебаний, по которым h определится согласно выражению (51). Способ этот менее точен. Его подробное описание приведено в § 19, так как он может быть применен и без инклинометра, по фиксации периода с помощью секундомера.

Выполняя расчет остойчивости при креновании, необходимо внимательно следить за правильностью производимых вычислений. В аварийной статистике известен случай, когда ошибка в расчетах при креновании привела к гибели судна.

При креновании парусно-моторного судна «Милфорд Крауч» ($L=30,9$ м, $B=5,9$ м, $D=2,8$ м, $d=1,2$ м), выполнявшего роль плавучего маяка, крен-балласт перемещался с диаметральной плоскости

к борту, а в расчете плечо ошибочно было принято от борта до борта, т. е. вдвое больше. Произошло это потому, что инженер, выполнивший расчет, не присутствовал на креновании и получил данные по телефону. В результате остойчивость была рассчитана с очень большой ошибкой. Например, по расчету закат диаграммы статической остойчивости наступал более чем при 90° крена, а на самом деле при $53,5^\circ$. Судно опрокинулось, попав в циклон.

§ 19. ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТАЦЕНТРИЧЕСКОЙ ВЫСОТЫ ПО ПЕРИОДУ БОРТОВОЙ КАЧКИ

Определение метацентрической высоты по периоду бортовой качки судна относится к числу приближенных способов, имеющих относительно невысокую точность. Ошибка может достигать $\pm 10-20\%$. Однако благодаря простоте этот способ широко распространен.

Метацентрическая высота должна определяться по периоду собственных колебаний судна, которые практически могут быть получены раскачиванием судна на тихой воде. При этом нужно следить, чтобы колебания были свободными и ничем не ограничивались. Швартовы, если судно стоит у причала, должны быть потравлены. Раскачивание можно вызвать перебежками команды с борта на борт, поднятием и опусканием стрелой какого-либо груза с причала и т. п. Люди, сделав несколько перебежек с борта на борт, затем выстраиваются в диаметральной плоскости судна. Вызванные таким образом колебания на больших судах почти незаметны, но в случае применения инклинометра достаточно хорошо фиксируются на ленте прибора. На небольших судах перебежками можно вызвать колебания, хорошо заметные глазом, период которых фиксируется обычным секундомером, который пускают в момент наибольшего наклонения судна на какой-либо из бортов и останавливают после того, как судно совершил несколько полных колебаний с борта на борт. Разделив общее время полных колебаний на их число, получают период. Напомним, что полным колебанием называется колебание между двумя последовательными одноименными накренениями судна, например максимальный крен на левый борт, затем на правый и снова на левый.

Определение среднего периода нужно производить не менее чем по трем раскачиваниям, в каждом из которых судно совершил 4—5 колебаний. Сила ветра во время измерений периодов качки не должна превышать

3 балла. Раскачивание судна можно производить при стоянке судна на якоре и в условиях легкого волнения. В последнем случае длина волны не должна быть более 0,2 ширины судна, если судно находится лагом к волне, и 0,2 его длины, если судно расположено поперек волны.

Определяя h_0 по периоду качки, надо помнить о влиянии мелководья. Близость грунта начинает сказываться, когда отношение глубины моря к осадке находится в пределах 4—5. При отношении около 2 это влияние значительно, а при отношении 1,5 период качки увеличивается более чем на 20%. Влияние мелководья проявляется сильнее на судах большого водоизмещения и возрастает с увеличением коэффициента полноты ватерлинии.

В эксплуатационных условиях вызвать свободные колебания судна на тихой воде довольно трудно, особенно у крупнотонажного судна. Обычно определяют период собственных колебаний по периоду качки на естественном волнении. Установлено, что в условиях нерегулярного волнения, а именно такое волнение является обычным, бортовая качка происходит со средним периодом, весьма близким к периоду собственных колебаний судна. Это позволяет производить определение метацентрической высоты по периоду бортовой качки на реальном волнении. Следует иметь в виду, что и в условиях волнения, и при специальном раскачивании судна перебежками команды можно рассчитывать на получение удовлетворительной точности только в том случае, если на судне отсутствуют свободные поверхности жидкости или если эти поверхности незначительны. Ненадежные результаты получаются при $h_0 < 0,2 \text{ м}$.

При качке судна на нерегулярном волнении наибольшие отклонения периода качки от периода собственных колебаний наблюдаются при колебаниях с малой амплитудой, поэтому не следует измерять периоды качки подряд. Нужно выбирать для наблюдений отдельные, хорошо выраженные колебания с относительно большой амплитудой. Ни в коем случае нельзя ограничиваться одиночным наблюдением. Необходимо измерить период не менее чем 10 колебаний и затем рассчитать средний период. Наблюдать более 20 колебаний не имеет смысла, так как при дальнейшем увеличении числа наблюдений точность определения среднего периода возрастает очень медленно.

Найдя средний период бортовых колебаний судна, рассчитывают метацентрическую высоту по одной из следующих формул:

$$h = \left(\frac{cB}{\tau} \right)^2; \quad (51)$$

$$h = \frac{4}{\tau^2} \left(\frac{B^2 c_B}{10,3\alpha^2} + \frac{D^2}{11} \right); \quad (52)$$

$$h = 39,48 \frac{A + \delta A}{\Delta \tau^2}, \quad (53)$$

где c — эмпирический коэффициент, зависящий от типа судна;

B — ширина судна, м ;

τ — период бортовых колебаний судна, сек ;

c_B — коэффициент полноты водоизмещения;

α — коэффициент полноты ватерлинии;

D — высота борта, м ;

A — момент инерции судна относительно продольной оси, $\text{тм} \cdot \text{сек}^2$;

δA — момент инерции присоединенных масс воды, $\text{тм} \cdot \text{сек}^2$;

Δ — водоизмещение, т .

Рассмотрим возможности получения в судовых условиях величин, входящих в эти формулы.

В формуле (51) ширина судна является величиной известной и постоянной, τ находят из наблюдений, приближенное значение коэффициента c зависит от типа судна:

Тип судна	c
Малое пассажирское	0,77
Пассажирское (водоизмещение 27 000 т)	0,81
Пассажирское (водоизмещение 40 000 т)	0,87
Грузовое порожнем	0,81
Грузовое в полном грузу	0,78
Рыболовный траулер	0,76
Буксир	0,76
Большой катер	0,80

Существует возможность получить более точное значение c . Для этого рассчитывают условную высоту борта D' с учетом надстроек по формуле

$$D' = D + 0,8 \sum h_n \frac{l_n}{L} + 0,3 h_p \frac{\Sigma l_p}{L}, \quad (54)$$

где D — высота борта, м;
 h_n — высота надстроек, м;
 l_n — длина надстроек, м;
 L — длина судна, м;
 h_p — высота рубок, м;
 l_p — длина рубок, м.

Правила измерения величин, входящих в формулу (54), ясны из рис. 26. Рассчитав D' по этой формуле, находят отношение $\frac{B}{D'}$, с которым входят в график, изображенный на рис. 27, и снимают с него вспомогательную величину μ . После чего вычисляют коэффициент c по формуле

$$c = 4\mu^2 \quad (55)$$

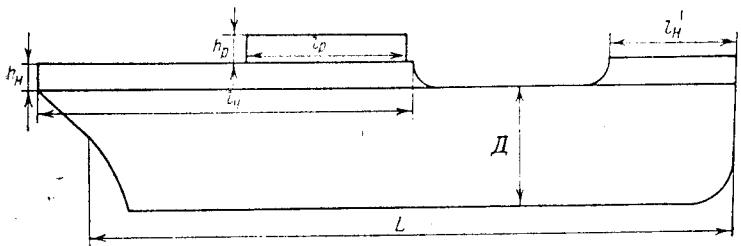


Рис. 26

Таблица 17

Название судна	c	Название судна	c
«Богдан Хмельницкий»	0,79	«Тисса»	0,76
«Ставрополь»	0,79	«Адмирал Ушаков»	0,75
«Полтава»	0,78	«Сергей Боткин»	0,75
«ДнепроГЭС»	0,78	«Арагви»	0,74
«Лениногорск»	0,77	«Белорецк»	0,74
«Ленинский комсомол»	0,77	«Фрязино»	0,74
«Измайл»	0,77	«Павлин Виноградов»	0,73
«Углеруральск»	0,76	«Дмитрий Пожарский»	0,72
«Смела»	0,76	«Краснодар»	0,72
«Джанкой»	0,76	«Чулым»	0,72

В табл. 17 приводятся значения коэффициентов c для некоторых судов нашего флота, вычисленные по описанной выше методике.

Еще лучше определить коэффициент c экспериментально, измерив τ при точно известной метacentрической высоте.

Можно избежать вычислений по (51), если воспользоваться номограммой, приведенной на рис. 28.

Ключ к пользованию номограммой указан пунктирной линией: от точки на шкале τ , соответствующей измеренному периоду, проводят горизонтальную линию до пересечения с линией ширины судна B . Из полученной точки проводят вертикальную линию до пересечения с кривой коэффициента c , а отсюда горизонтальную линию до пересечения со шкалой h_0 , на которой получают искомую метacentрическую высоту.

При использовании формулы (52) значения коэффициентов α и c_v снимают с кривых элементов теоретического чертежа.

Если используется формула (53), следует по осадке снять Δ с грузового размера или грузовой шкалы. Моменты инерции A и δA проще всего получить следующим образом.

1. Рассчитать момент инерции судна по формуле

$$A = \frac{\Delta}{117,7} (B^2 + 4z_g^2), \quad (56)$$

где z_g — возвышение ЦТ судна над килем, м.

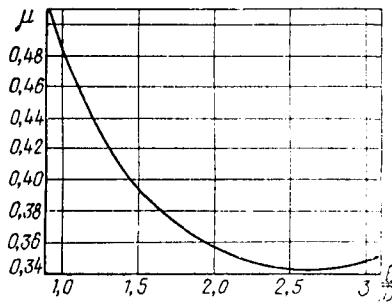


Рис. 27

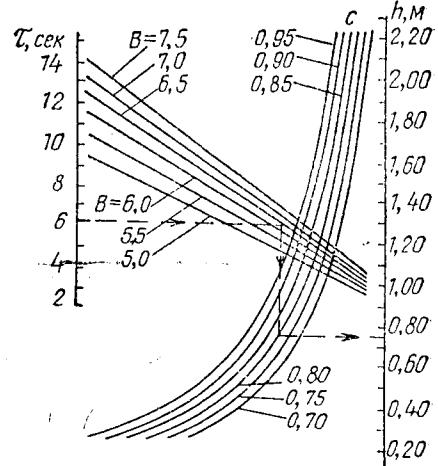


Рис. 28

2. Определить момент инерции присоединенных масс воды из выражения

$$\delta A = \frac{0,314}{c_v} AF, \quad (57)$$

где c_v — коэффициент полноты водоизмещения;

A — момент инерции судна по формуле (56),

$t m \cdot sek^2$;

F — вспомогательная безразмерная величина, снимаемая с номограммы В. В. Луговского (рис. 29) по α , c_v и $\frac{B}{d}$.

Пользование номограммой, приведенной на рис. 29, заключается в следующем:

1) на соответствующих шкалах отмечают точки для судовых значений $\frac{B}{d}$ и c_v ;

2) соединяют эти точки прямой и находят точку ее пересечения с нейшней шкалой O ;

3) отмечают на соответствующей шкале точку со значением α ;

4) соединяют точку α с точкой O ; пересечение этой прямой со шкалой F дает искомую величину F , которую и подставляют в формулу (57).

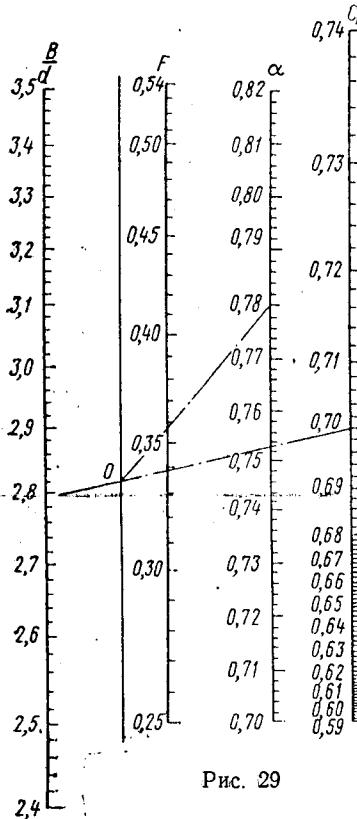


Рис. 29

§ 20. РАСЧЕТ ОСТОЙЧИВОСТИ ПО УГЛУ КРЕНА НА ЦИРКУЛЯЦИИ

Во время установившейся циркуляции судно движется с некоторым креном. При этом имеет место равенство кренящего и восстанавливющего моментов $M_{кр} = M_{в}$.

Значения этих моментов приведены в формулах (4) и (19). Приравняв эти формулы между собой и представив значение z_g через $z_m - h_0$, получим выражение

$$h_0 = \frac{0,233v_{0,8}^2(2z_m - d)}{gD_{ц} \sin \theta + 0,466v_{0,8}^2}, \quad (58)$$

где $D_{ц}$ — диаметр циркуляции, м.

Осадка судна d известна всегда. С кривых элементов теоретического чертежа по d снимается значение z_m . Скорость на циркуляции принимается равной 0,8 скорости на прямом курсе.

Если не представляется возможным измерить диаметр циркуляции $D_{ц}$, его можно вычислить по формуле

$$D_{ц} = 59,1 \frac{t}{\delta KK} v_{0,8}, \quad (59)$$

где δKK — изменение компасного курса, град;

t — время, за которое компасный курс изменился на δKK , сек;

$v_{0,8}$ — скорость судна на циркуляции, узлы.

При полной циркуляции замечается время, за которое δKK составит 360° .

Измерять угол крена можно любым доступным способом. В частности, для этой цели можно использовать систему сообщающихся сосудов, представляющую собой две стеклянные трубы, расположенные вертикально в плоскости одного шпангоута и соединенные между собой резиновым шлангом. Расстояние между ними по горизонтали должно выбираться побольше, порядка 5—8 м. Всю систему заполняют водой. Трубы должны иметь деления для снятия отсчетов.

Когда судно совершил циркуляцию сначала в одну, а затем в другую сторону при одинаковом отклонении пера руля, замечают положение уровня в одной из трубок. Так как судно обычно всегда испытывает небольшую качку, уровень воды в трубке колеблется. Поэтому при каждом измерении надо замечать возможно большее количество отсчетов уровня и затем их осреднить. Угол крена рассчитывается по формуле (48).

Если судно совершил циркуляцию только в одну сторону, то под k следует понимать разность уровней при

прямом движении судна и на циркуляции, а под λ — половину расстояния по горизонтали между трубками.

Расчет остойчивости по углу крена на циркуляции относится к числу приближенных, но, как показала его экспериментальная проверка, относительные ошибки в h_0 при правильной организации наблюдений и тщательных измерениях всех величин порядка 6%.

§ 21. РАСЧЕТ ОСТОЙЧИВОСТИ УПРОЩЕННЫМИ СПОСОБАМИ

Для того чтобы произвести расчет метацентрической высоты по

$$h = z_m - z_g = r + z_c - z_g, \quad (60)$$

необходимо получить z_m , r и z_c из имеющихся на судне кривых элементов теоретического чертежа. Для определения z_g нужно, кроме знания весов и плеч принимаемых (снимаемых) грузов, иметь величину z_g^0 для порожнего судна. Значение z_g^0 приводится в Информации об остойчивости.

Однако в силу особых обстоятельств на судне может не оказаться ни Информации об остойчивости, ни кривых элементов теоретического чертежа. В этом случае возможно получить приближенные значения r , z_c и z^0 по упрощенным формулам.

Для вычисления r существует больше десятка различных формул, обеспечивающих точность расчетов в пределах 6—15%. Из числа наиболее точных формул можно рекомендовать следующую:

$$r = \frac{jLB^3}{V} \quad (61)$$

где значение j выбирается в зависимости от α из табл. 18.

Таблица 18

α	0,66	0,70	0,74	0,78	0,82	0,86	0,90	0,94	0,98
j	0,0390	0,0433	0,0480	0,0529	0,0581	0,0634	0,0690	0,0746	0,0803

Кроме того, для транспортных судов можно рекомендовать формулы:

$$r = \frac{(0,72\alpha + 0,292)^3 B^2}{12a_B d}, \quad (62)$$

$$r = \frac{\alpha^2 B^2}{11,6 c_B d}. \quad (63)$$

Для промысловых судов хорошие результаты дает формула

$$r = \frac{LB^3 \alpha^3}{V 2(1+\alpha)(1+2\alpha)}. \quad (64)$$

Для пользования формулами (62), (63) и (64) необходимо знать α и c_B , которые не всегда могут быть известны. В таком случае можно воспользоваться выражением

$$r = 877 \frac{Bq^2}{L\Delta}, \quad (65)$$

где q — число тонн на 1 см осадки.

В крайнем случае применима совсем простая, но очень приближенная формула

$$r \approx 0,08 \frac{B^2}{d}. \quad (66)$$

Для расчета z_c также много формул, точность расчетов по которым лежит в пределах 2—10%.

Для транспортных судов более высокую точность дают формулы

$$z_c = \frac{d}{1 + \frac{c_B}{\alpha}} \quad (67)$$

и

$$z_c = \varepsilon d, \quad (68)$$

где коэффициент ε в зависимости от c_B снимается с графика на рис. 30.

Для промысловых судов рекомендуется формула

$$z_c = \frac{1}{3} \left(2,5 - \frac{c_B}{\alpha} \right) d. \quad (69)$$

Эта формула дает хорошие результаты и для транспортных судов.

Самым элементарным выражением для получения приближенного значения z_c является

$$z_c = \frac{7}{12} d. \quad (70)$$

Для облегчения расчетов при пользовании формулами (62), (63), (64) и некоторыми другими, которые здесь не приведены, составлена табл. 19, где приведены отдельные элементы этих формул, зависящих от α .

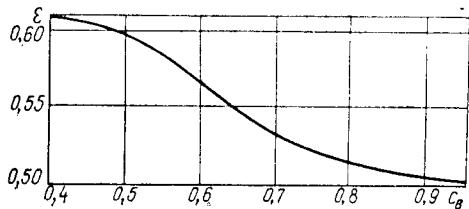


Рис. 30

Чтобы найти отстояние ЦТ от киля у порожнего судна, можно воспользоваться весьма приближенной формулой

$$z_g^{\circ} = kD. \quad (71)$$

В формуле (71) коэффициент k представляет собой зависимость между высотой борта D и z_g° , определенную статистическим путем для различных типов судов:

Тип судна

k

Океанские быстроходные пассажирские суда	0,60—0,63
Крупнотонажные грузовые суда трехстороннего типа	0,57—0,63
Крупнотонажные грузовые суда с гладкой палубой	0,54—0,60
Грузовые суда среднего тоннажа трехстороннего типа	0,56—0,60
Малые грузовые суда	0,66—0,72
Танкеры	0,56—0,60
Буксируемые суда	0,66—0,70

Однако приведенные значения k недостаточно точно отражают зависимость этого коэффициента от размеров судна, что приводит к большим (до $\pm 30\%$) ошибкам в величине z_g° . В зависимости от линейных размеров судна можно вычислить z_g° , пользуясь полученными ста-

α	α^2	α^3	$1+\alpha^4$	$0.008 + 0.0745\alpha^2$	$0.090\alpha - 0.02$	$(0.72\alpha + 0.292)^3$	$(2\alpha + 1)^3$	$2(1 + \alpha)^3$ $(1 + 2\alpha)$
0,858	0,7362	0,6317	1,5420	0,0628	0,0574	0,7530	20,04	10,10
0,848	0,7191	0,6098	1,5171	0,0616	0,0565	0,7353	19,59	9,95
0,840	0,7056	0,5927	1,4979	0,0606	0,0558	0,7212	19,25	9,85
0,834	0,6956	0,5801	1,4838	0,0598	0,0552	0,7110	18,99	9,80
0,833	0,6939	0,5780	1,4815	0,0597	0,0551	0,7092	18,85	9,75
0,830	0,6889	0,5718	1,4746	0,0593	0,0549	0,7040	18,22	9,73
0,825	0,6806	0,5615	1,4632	0,0587	0,0544	0,6955	18,61	9,65
0,822	0,6757	0,5554	1,4565	0,0583	0,0541	0,6903	18,48	9,63
0,820	0,6724	0,5514	1,4521	0,0581	0,0540	0,6870	18,40	9,60
0,819	0,6708	0,5494	1,4500	0,0580	0,0539	0,6854	18,36	9,50
0,810	0,6561	0,5314	1,4304	0,0569	0,0531	0,6704	17,98	9,47
0,808	0,6529	0,5275	1,4262	0,0566	0,0529	0,6671	17,90	9,45
0,807	0,6612	0,5255	1,4241	0,0565	0,0528	0,6653	17,86	9,44
0,800	0,6400	0,5120	1,4096	0,0557	0,0522	0,6540	17,58	9,35
0,797	0,6352	0,5062	1,4034	0,0553	0,0519	0,6490	17,45	9,31
0,795	0,6320	0,5024	1,3994	0,0551	0,0517	0,6459	17,37	9,28
0,792	0,6273	0,4968	1,3935	0,0547	0,0514	0,6410	17,25	9,25
0,790	0,6241	0,4930	1,3895	0,0545	0,0513	0,6379	17,17	9,23
0,786	0,6178	0,4856	1,3817	0,0540	0,0509	0,6314	17,08	9,20
0,785	0,6162	0,4622	1,3628	0,0539	0,0508	0,6299	16,97	9,16
0,780	0,6084	0,4745	1,3701	0,0533	0,0504	0,6219	16,78	9,12
0,770	0,5929	0,4565	1,3515	0,0522	0,0494	0,6064	16,39	8,99
0,760	0,5776	0,4390	1,3336	0,0510	0,0486	0,5910	16,00	8,86
0,758	0,5746	0,4355	1,3301	0,0508	0,0484	0,5880	15,93	8,80
0,750	0,5625	0,4218	1,3164	0,0499	0,0476	0,5759	15,62	8,75
0,740	0,5476	0,4052	1,2998	0,0488	0,0467	0,5611	15,25	8,62
0,730	0,5329	0,3890	1,2840	0,0477	0,0458	0,5466	14,89	8,50
0,720	0,5184	0,3732	1,2687	0,0466	0,0449	0,5322	14,53	8,39

тистическим путем следующими формулами. Для пассажирских, сухогрузных и промысловых судов хорошие результаты дает выражение

$$z_g^{\circ} = 0,462B - 0,3, \quad (72)$$

где B — ширина судна, м.

Для сухогрузных судов можно воспользоваться выражением

$$z_g^{\circ} = 0,608D + 1,5, \quad (73)$$

где D — высота борта, м.

Для промысловых судов зависимость между z_g^0 и D лучше представлена формулой

$$z_g^0 = 0,82D. \quad (74)$$

Соотношение между z_g^0 и осадкой судна по летнюю грузовую марку d достаточно хорошо описывается формулой

$$z_g^0 = 0,91d + 0,5, \quad (75)$$

которая одинаково пригодна как для сухогрузных, так и для промысловых судов.

Относительные ошибки при пользовании формулами (72—75) лежат в пределах 7—13%.

Глава IV. СОХРАНЕНИЕ ОСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ НЕКОТОРЫХ ГРУЗОВ

§ 22. ПЕРЕВОЗКА ЛЕСА

Как показывает статистика аварий, род перевозимого груза существенно сказывается на вероятности потери остойчивости судном. Чаще всего подобные аварии происходят при перевозке грузов, способных легко смещаться при качке или с большим погрузочным объемом, требующим для использования грузоподъемности судна принятия части груза на палубу. По этой причине часто теряют остойчивость суда с грузом леса. Обычно это происходит, когда количество перевозимого на палубе леса превышает допустимое для сохранения судном остойчивости. Поэтому погрузка леса должна сопровождаться особо тщательным контролем остойчивости. При погрузке руководствуются «Временными правилами перевозки лесных грузов на судах ММФ». Согласно этим правилам погрузка леса на палубу прекращается тогда, когда судно на спокойной воде при одновременном подъеме судовыми стрелами или кранами с одного борта 2—3 подъемов, весом каждый около 1,5 т, получит крен 3—4°. Всё балластные танки до начала погрузки запрессовываются. Выполнение этих рекомендаций должно обеспечить судну надлежащую остойчивость. Однако если ограничиваться только выполнением этих довольно общих пра-

вил, то не всегда будет полностью использована провозная способность судна.

Приведенное выше правило определения времени окончания погрузки обладает весьма малой точностью, так как не учитывает водоизмещения судна. Кроме того, вес подъема леса, как правило, известен лишь приблизительно, а точность определения по кренометру угла крена также невелика.

Для повышения провозной способности судна при обеспечении необходимой остойчивости следует поступать так. При погрузке леса нужно добиваться возможно более плотной укладки груза. Особенно это важно при погрузке в трюм, куда должны всегда грузиться более тяжелые сорта древесины. В течение погрузки каждые сутки следует замечать осадку судна на какой-либо определенный момент, а у порта брать данные о количестве погруженных за это время стандартов. По изменению осадки надо определить изменение водоизмещения Δ и средний вес одного стандарта по формуле

$$p_{ct} = \frac{\Delta}{n}, \quad (76)$$

где n — число погруженных за сутки стандартов.

В момент полной загрузки трюмов необходимо также замечать осадку и вычислить вес одного стандарта p_{ct} по средним весам p_{cp} , полученным для каждого суток. Исходя из грузовместимости трюмов в кипах W и количества погруженных в трюм стандартов n_{tr} , следует найти объем одного стандарта в трюме по формуле

$$\mu_{ct} = \frac{W}{n_{tr}}. \quad (77)$$

Для связи фактического случая загрузки с Информацией об остойчивости, выдаваемой на лесовозы типа «Павлин Виноградов» и «Волголес», находят погрузочный объем одной тонны лесного груза:

$$\mu_t = \frac{\mu_{ct}}{p_{cp}} t/m^3. \quad (78)$$

По значению μ_t из Информации об остойчивости выбирают вариант загрузки с примерными данными об

остойчивости, вариант запрессовки балластных танков и высоту каравана палубного груза. Исходя из высоты каравана H и полезной площади палубы S , определяют количество стандартов, которые могут быть погружены на палубу,

$$n_{\text{пал}} = \frac{SH}{\mu_{\text{ст}}} \tau / m^3. \quad (79)$$

При этом следует иметь в виду, что укладочный объем одного стандарта на палубе на 8—14% больше, чем в трюме. Так, например, средние укладочные объемы одного стандарта (в кубических метрах) при погрузке в Архангельске будут: в трюмах 6,55—6,70, на палубе 7,10—7,20; при погрузке в Игарке в трюмах 6,10—6,23, на палубе 6,90—7,15.

Во время погрузки леса на палубу нужно вновь несколько раз определить вес одного стандарта по формуле (76) и подкорректировать результаты формулы (79). Когда высота каравана достигает примерно $\frac{3}{4}$ расчетной, надо проверить остойчивость по углам крена, пользуясь формулой (50), в которой полагать p — вес подъема, b — расстояние от диаметральной плоскости до ЦТ поднимаемого груза. Для контроля полезно произвести расчет h другим способом, например так, как рекомендуется в § 15. Выбрав из Информации об остойчивости минимально допустимое значение h , рассчитывают угол крена Θ° , при котором следует прекратить погрузку,

$$\Theta^\circ = 57,3 \frac{pb}{\Delta h}. \quad (80)$$

При этом следует помнить, что во время рейса величина h подвержена изменениям, поэтому в формулу (80) подставляют h , завышенное с учетом уменьшения этой величины за счет появления свободных поверхностей и расхода топлива и воды к моменту прихода в порт разгрузки.

Выполнение расчета остойчивости согласно § 15 позволит определить действительно необходимое количество балласта. После этого можно решить, какие балластные танки следует запрессовать, а какие можно оставить пустыми. Все операции с балластом должны быть закончены до постановки судна под погрузку.

При выполнении грузовых операций береговыми кранами судно можно накренить, опуская подъемы леса на палубу, у борта судна.

Обычные кренометры имеют малую точность измерения углов. Поэтому при контроле остойчивости на основании формулы (80) лучше обеспечить более точное измерение углов. Для этого можно пользоваться приемами, описанными в § 19. Кроме того, возможно использовать для этой цели секстант, измеряя угол между планширом и каким-либо неподвижным предметом вне судна. Измеряя углы, нужно закрепить секстант в определенной точке на все время наблюдения. На судах, регулярно занимающихся перевозкой леса, полезно изготовить прибор, предложенный Кулешовым¹.

Определяя остойчивость лесовоза по периоду качки, нужно помнить, что при метацентрической высоте менее 0,2 м (а именно малые метацентрические высоты характерны для лесовозов) этот способ ненадежен.

Составляя грузовой план лесовоза, следует учитывать одно важное обстоятельство: нормы остойчивости требуют условия $h_0 > 0$. Однако при очень малых метацентрических высотах, хотя и достаточных для обеспечения безопасности самого судна, возникают большие углы крена и опасность потери палубного груза. Поэтому на лесовозах нужно стремиться максимально увеличивать метацентрическую высоту. Ниже приводятся краткие описания нескольких аварий судов с грузом леса, произошедших из-за нарушения правил эксплуатации.

Теплоход «Анта» в марте 1956 г. с грузом леса вышел из Окленда и направился в порт Гуда. После прохода маяка Эльба-1 теплоход встретил сильный северный ветер, развший большое волнение. Забортная вода стала попадать на палубный груз леса, и через некоторое время у судна появился крен на правый борт, который постепенно увеличивался. Откачка воды из льял правого борта результата не дала, и, когда крен достиг 15°, капитан распорядился заполнить водой один из танков левого борта. Несмотря на это крен продолжал увеличиваться. Вскоре из-за льда отказали насосы и прекратилась откачка воды. Крен быстро возрастал, и «Анта» вынуждена была зайти в порт Эмден, куда прибыла с креном 25° на правый борт. Лес на палубе обледенел и представлял собой сплошную массу.

Подошедшие буксиры-спасатели начали откачивать обнаруженную в трюмах воду. Через некоторое время «Анта» выравнялась и

¹ В. Кулешов. Более универсальный дифферентометр, изготовленный на теплоходе «Сретенск». «Морской флот», 1963, № 7, с. 19—20.

смогла продолжать рейс. Установлено, что потеря остойчивости была вызвана неправильной погрузкой: 37% леса находилось на палубе, причем высота его доходила до 2,2 м, в то время как, согласно инструкции, на палубу можно было грузить не более 24% леса и его высота не должна превышать 1,75 м. Выяснилось также, что люковые брезенты были порваны, и забортная вода, заливавшая палубный груз, проникла в трюм через щели между лючками.

Теплоход «Беролина» 18 июля 1960 г. снялся с якоря в порту Онега с грузом леса, часть которого в количестве 499,5 т находилась на палубе. Общий вес груза, топлива, воды и прочих запасов составлял 1600 т. 20 июля, после перехода при благоприятной погоде, «Беролина» с креном на левый борт 12° прибыла на рейд Мурманского порта. Здесь теплоход должен был пополнить запасы топлива, так как из имевшихся 11,6 т за переход Онега—Мурманск израсходовалось 4,4 т.

В Мурманске капитан, желая выровнять судно, дал распоряжение откачать часть балластной воды из третьего танка левого борта. Когда это выполнили, судно сразу легло на правый борт на 15°, крен постепенно увеличивался. Подошедшее спасательное судно отбуксировало «Беролину» на мелководье, где она окончательно легла на правый борт. После выгрузки леса и откачки воды из внутренних помещений теплоход отбуксировали сначала в Мурманск, а затем в Травемюнде.

Следственная комиссия признала виновным в аварии капитана, который перегрузил судно, отдал неправильное распоряжение об откачке воды из левого балластного танка и не позаботился о том, чтобы при угрожающем крене бортовые иллюминаторы были задраены.

Теплоход «Моенгери» 19 октября 1960 г. вышел из шведского порта Верберг в Киль с грузом круглого леса. Датские проливы теплоход прошел благополучно, будучи защищен в них от ветра и волнения. Выйдя в открытое море, через некоторое время он стал креняться на правый борт. Крен вскоре достиг 45°. Подонедчине суда пытались буксировать «Моенгери», но его крен продолжал увеличиваться, и в двух милях от Кильского плавучего маяка он опрокинулся.

При расследовании виновным был признан капитан судна, принявший на палубу 95 т леса из общего его количества 320 т, в то время как по инструкции разрешалось грузить не более 75 т. В результате возникший чрезмерный крен способствовал проникновению воды внутрь корпуса и потере остойчивости.

§ 23. ПЕРЕВОЗКА ЗЕРНА

В настоящее время остойчивость судов с зерновыми грузами регламентируется тремя документами: Международной конвенцией по охране человеческой жизни на море 1960 г., Правилами классификации и постройки морских судов Регистра СССР 1970 г. и Эквивалентом ИМКО 1969 г. Последний документ принят многими странами, в том числе СССР, в качестве равнозначенной замены главы VI Конвенции 1960 г. Однако некоторые положе-

ния Эквивалента ИМКО сформулированы недостаточно четко. Поэтому рядом государств на базе Эквивалента ИМКО разработаны национальные правила перевозки зерна. В СССР эти правила разработаны Регистром СССР и введены в действие 31 мая 1972 г. его циркуляром № 5.

Правилами предусматривается снабжение судов, перевозящих зерно, планами загрузки зерном и информацией об остойчивости, содержащей необходимые данные для самостоятельной проверки капитаном нетиповых случаев загрузки. Суда, не имеющие такой документации, должны грузиться по требованиям Конвенции 1960 г. или по правилам страны, где находится порт погрузки.

Международной стандартной формы судовой документации по перевозке зерна нет. В СССР в настоящее время действует форма документации, приведенная в приложении к циркуляру № 12 от 18 июня 1971 г. Регистра СССР. Ожидается снабжение судов документацией для перевозки зерна, составленной на базе машинных расчетов по требованиям Эквивалента ИМКО 1969 г., подготовленной с помощью компьютера «Минск-32».

Аналогичная программа имеется у канадской компании «Прокомсистем». Она составлена в двух вариантах: а) когда в судовой документации есть данные о кренивших моментах от пересыпания груза; б) когда таких данных нет. На выходе компьютер дает водоизмещение, метацентрическую высоту, угол статического крена и площадь диаграммы статической остойчивости после расчетного смещения зерна, а также величины расчетных крениющих моментов.

Компьютер не рассчитывает оптимальный вариант загрузки, а лишь проверяет удовлетворение Эквиваленту ИМКО 1969 г. составленного капитаном плана загрузки судна зерном. Если компьютер дает неудовлетворительный результат, приходится составлять план загрузки, изменять его и вновь проверять на машине. Так повторяется до тех пор, пока требования Эквивалента ИМКО 1969 г. не будут удовлетворены.

Эквивалент ИМКО 1969 г. требует, чтобы после наложения на диаграмму статической остойчивости, построенную с учетом влияния свободных поверхностей жидкого грузов, плеча условного расчетного кренившего момента M_{pp} от смещения зерна, соблюдалось два условия:

1) угол статического крена судна $\Theta_{\text{пр}}$ не превышал 12° (по циркуляру № 5 Регистра СССР требуется, кроме того, чтобы $\Theta_{\text{пр}}$ не превышал и угла входа палубы в воду Θ_p , если последний меньше 12°);

2) остаточная положительная площадь между кривыми плеч восстанавливающего и кренящего моментов до угла, соответствующего максимальной разности ординат этих кривых $\Theta_{\text{пр}}$ или 40° или угла заливания Θ_f , смотря по тому, какой из них меньше, была не менее $0,075 \text{ м} \cdot \text{рад}$ ($4,3 \text{ м} \cdot \text{град}$) (рис. 31).

Плечо $l_{\text{пр}}$ условного расчетного кренящего момента $M_{\text{пр}}$ от смещения зерна получается:

$$l_{\text{пр}} = \frac{M_{\text{пр}}}{\Delta}.$$

Расчетный кренящий момент $M_{\text{пр}}$ согласно Эквиваленту ИМКО определяется при условном смещении зерна на 15° в полностью загруженных помещениях и на

25° — частично загруженных. Расчетные величины подпалубных пустот учитывают одновременно пространства, оставшиеся после штиков и возникшие от усадки. Они принимаются равными $0,075 \text{ м}$ от нижней кромки набора крышки люка плюс пустоты внутри набора крышки.

Расчетная величина подпалубных пустот тем больше, чем выше подпалубная балка и чем больше расстояние от люка до борта или переборки отличается от 4 м в большую или меньшую сторону. Считается, что 4 м — оптимальная величина этого расстояния с точки зрения качества штиков. Плечо кренящего момента от смещения зерна изменяется в зависимости от угла крена по косинусоиде, которая в пределах крена от 0 до 40° заменяется прямой.

Определение кренящего момента и вся проверка остойчивости может быть выполнена упрощенным или

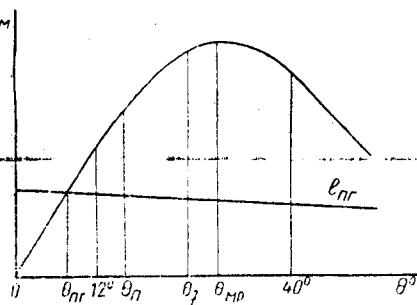


Рис. 31

уточненным способами. Различие между ними заключается в следующем. По упрощенному способу центры тяжести грузов в полностью загруженных помещениях при расчетах диаграммы статической остойчивости принимаются в центре объемов соответствующих помещений, без учета наличия подпалубных пустот. Центры тяжести грузов в помещениях, заполненных частично, принимаются по их фактическому положению в зависимости от глубины заполнения помещения.

В уточненном способе при нахождении центров тяжести грузов принимаются во внимание подпалубные пустоты. По сравнению с упрощенным способом он дает более благоприятные результаты, когда остойчивость судна лимитируется углом Θ_p . Поэтому при возможности следует пользоваться этим способом.

Рассмотрим несколько примеров потери остойчивости судами с грузом зерна.

Однопалубный теплоход «Бакинский комсомолец» 19 мая 1952 г. вышел из Новороссийска в Поти с грузом 560 т пшеницы. Чтобы не утопить грузовую марку, полностью откачали балласт и взяли на 17 т меньше воды и топлива. Метацентрическая высота составляла около 0,26 м.

После выхода в море судно испытывало плавную качку с амплитудой около 10° на каждый борт. Пятибалльный ветер через некоторое время усилился до 7—8 баллов, и капитан решил зайти в Геленджикскую бухту. При подходе к ней судно внезапно накренилось на левый борт до 40° . Управляемость была потеряна. Заполнить цистерны водой оказалось невозможным, так как насосы при таком большом крене вышли из строя. Капитан приказал открыть грузовой люк и штивать зерно на правый борт, но судно продолжало крениться, затем опрокинулось и затонуло в течение 5 мин.

Причинами аварии в данном случае явились: малая высота надводного борта, перегруз судна на 50 т (10% грузоподъемности), наличие в трюмах подпалубных пустот высотой 0,35—0,40 м, способствовавших смещению груза, отсутствие шифтингов в просветах грузовых люков в дополнение к шифтингам в трюме. Совокупность этих причин вызвала смещение груза в трюмах.

Однопалубный теплоход «Академик Карпинский» вышел из Калининграда в Амстердам в августе 1963 г. с

грузом 1400 т пшеницы. При выходе наблюдался крен 2° на правый борт. На следующий день после выхода крен возрос до 5—7°, а вскоре достиг 15°. Капитан заполнил забортной водой танк левого борта, но в результате неправильного маневрирования судно оказалось поставленным левым бортом к ветру, и крен возрос до 20° на правый борт. Сила ветра в это время составляла 7 баллов, волнение моря — 5 баллов. Вода стала заливать судно и через разбитые иллюминаторы в носовой части поступать в судовые помещения, создавая дифферент на нос. Была предпринята попытка штывать зерно, но крен продолжал возрастать, и команда покинула судно, когда оно почти лежало на борту. Судно опрокинулось.

Причина аварии — недостаточная остойчивость, смещение груза, которому способствовало плохое крепление верхних досок шифтингов. Кроме того, не была достаточно обеспечена водонепроницаемость корпуса: пробки мерительных трубок не держались в своих гнездах, воздушные трубки не имели герметичности, на палубе была трещина в районе грузовой лебедки.

§ 24. ПЕРЕВОЗКА НАВАЛОЧНЫХ ГРУЗОВ

Навалочные грузы относятся к сыпучим грузам. Сыпучие грузы делятся на две категории по степени опасности в отношении смещения: I категория (самая опасная) — грузы с углом естественного откоса 35° и меньше; II категория — грузы с углом естественного откоса более 35° (апатит, сухой гравий, известняк, камень, кокс, мел, сахар, селитра, соль, сульфаты аммония и натрия, торф, фосфоритная мука, щебень).

Угол естественного откоса определяется высыпанием груза объемом 1—2 м³ с высоты 2—2,5 м на горизонтальную плоскость через большую воронку. Следует иметь в виду, что угол естественного откоса зависит от формы, размеров, шероховатости и однородности частиц груза, его влажности, условий производства измерений. Поэтому углы естественного откоса могут меняться в широких пределах. Так, например, есть сведения, что этот угол для пшеницы изменяется в пределах от 16 до 38°, для угля — от 30 до 45°, для рудных концентратов — от 25 до 50°, для некоторых руд — от 30 до 45°. Особенностью навалочных грузов является уплотнение нижних слоев под тяжестью

верхних, поэтому центр тяжести штабеля груза не совпадает с его геометрическим центром. Это явление не для всех грузов исследовано с достаточной точностью, но уже имеющиеся данные позволяют судить о примерных величинах смещения центра тяжести. Так, для слоя серного колчедана высотой 4 м центр тяжести оказался на высоте 192 см вместо 200 см, как обычно предполагалось.

Ошибка от пренебрежения влиянием уплотнения навалочных грузов на положение ЦТ приводит к занижению значений метацентрической высоты, т. е. к ошибке в безопасную сторону. Однако иногда это дает нежелательное увеличение остойчивости, делает h_0 чрезмерной, а качку слишком порывистой.

При перевозке грузов, опасных в отношении смещения, руководствуются теми же правилами, как и при перевозках зерна, если $\mu > 1 \text{ м}^3/\text{т}$. При $\mu \leq 1 \text{ м}^3/\text{т}$ допускаются отклонения, согласованные с Регистром.

Особую опасность представляют навалочные грузы, у которых при повышенной влажности и под влиянием вибрации часть груза приходит в кашеобразное состояние, способствующее смещению. Такое явление наблюдается иногда в верхних, а иногда в нижних слоях груза. Этим опасным свойством обладают: мел, отходы гипса, железная руда, концентраты железорудные, цинковые, свинцовые и медные, лириты, мелкодробленый уголь, угольная пыль и криолит. Из перечисленных грузов особенно много перевозится железорудных концентратов.

По норвежским правилам, при перевозке этого груза необходимо устанавливать продольную переборку, а при влажности 3—5,5% — даже две. Если железорудный концентрат имеет влажность 7—9%, его можно перевозить только в отдельных небольших помещениях в нижней части трюма. Концентрат с влажностью более 9% перевозить нельзя.

Безопасная влажность для свинцового концентрата от 2 до 6,5%, а для цинкового — от 2 до 8%.

В январе 1964 г. теплоход «Умань» потерял остойчивость в Кадисском заливе вследствие смещения в трюмах груза железорудного концентратата. Авария произошла при волнении моря 4—5 баллов. Смещение груза, по заключению комиссии, было вызвано разжижением его нижнего слоя. Разжижение нижних слоев груза было установлено также на теплоходе «Северолес», принимавшем аналогичный груз в том же порту почти одновременно с теплоходом «Умань».

Были случаи разжигания и верхних слоев груза. Такое явление наблюдалось в декабре 1968 г. на теплоходах «Посыт» и «Ургенч» с грузом железорудного концентрата в Средиземном море. В результате возник постоянный крен у теплохода «Посыт» 8°, а у теплохода «Ургенч» 12°. Еще больший крен (до 18°) получил теплоход «Тикси» в результате разжигания верхних слоев цинкового концентрата. В разжигном состоянии оказалось до 40% груза. Перечень судов, оказавшихся в аварийной ситуации в результате разжигания грузарудных концентратов, можно было бы продолжить.

Большую опасность представляет также мелкодробленый уголь. Согласно английским правилам перевозки, при влажности угля меньше 15% допускается штикова таким образом, чтобы угол откоса по любому направлению не превышал 15°. При влажности 15—25% поверхность груза должна быть горизонтальной. Если влажность превышает 25%, трюмы следует оборудовать шифтингами, возвышающимися не менее чем на 0,3 м над поверхностью груза.

Поскольку влажность навалочного груза может значительно увеличиться во время рейса за счет отпотевания, проникновения влаги из атмосферы или забортной воды, необходимо обеспечить максимальную водонепроницаемость трюмов. Вентиляторы рекомендуется снять, а отверстия закрыть заглушками. Кроме того, необходимо тщательно следить за уровнем воды в льялах и регулярно производить из них откачуку. Перед погрузкой необходимо получить от грузобортпрапителя данные о влажности груза, которые полезно проверить на судне. Это легко сделать, высушив в хлебной печи пятикилограммовую пробу грузов. Пробу надо взвесить до и после просушки и таким образом найти процент уменьшения веса относительно первоначального.

Особую опасность представляет навалочный груз зимой. При хранении на открытых площадках или перевозке на железнодорожных платформах и в открытых вагонах он промерзает, смешивается со снегом. После погрузки в трюмы судна его влажность может увеличиться, особенно при переходе в более теплую климатическую зону.

Способность навалочных грузов уплотняться во время перевозки приводит к уменьшению объема груза, снижению его ЦТ и повышению метацентрической высоты судна. Само по себе это не опасно, но при этом увеличиваются подпалубные пустоты и возникают условия, способствующие смещению груза на качке. Эксперимен-

тальные данные показывают, что уплотнение навалочных грузов за счет статического давления верхних слоев значительно возрастает при динамическом уплотнении от вибрации корпуса судна. Способность груза изменить свой объем под действием этих причин характеризуется коэффициентом уплотнения.

$$k_y = \frac{G_y}{G_0} \quad (81)$$

где k_y — коэффициент уплотнения;

G_y — вес некоторого объема груза после уплотнения;

G_0 — вес того же объема груза до уплотнения.

Значения коэффициентов уплотнения отдельных грузов приведены в табл. 20.

Таблица 20

Груз	Коэффициент уплотнения	Груз	Коэффициент уплотнения
Бобы	1,13	Руда	1,14—1,15
Кокс	1,14—1,24	Селитра	1,17
Песок	1,16—1,29	Соль поваренная	1,12—1,24
Пшеница	1,05—1,13	Уголь каменный	1,20—1,21
Рис	1,17		

Возможность смещения сыпучего груза во время качки зависит от периода качки, т. е. от начальной метацентрической высоты.

Максимальное значение h_0 , обеспечивающее неподвижность груза, определяется формулой

$$h_0 \leq \frac{(f \cos \Theta - \sin \Theta) c^2 B^2 g}{\Theta (z + fy) (2\pi)^2}, \quad (82)$$

где f — коэффициент внутреннего трения сыпучего груса, связанный с углом естественного откоса α соотношением $f = \operatorname{tg} \alpha$;

Θ — амплитуда бортовой качки судна, рад;

z — возвышение частицы груза над центром тяжести судна, м;

y — расстояние частицы груза от диаметральной плоскости судна, м;

c — эмпирический коэффициент (см. § 19);

B — ширина судна, м;

g — ускорение силы тяжести (9,81 м/сек).

Таблица 21

Груз	Угол естественного откоса α	Коэффициент внутреннего трения f
Агломерат железной руды	45	1
Бобы	32	0,625
Гравий	25—45	0,466—1
Кокс	30—50	0,577—1,192
Кукуруза	35—40	0,7—0,839
Льняное семя	25	0,466
Подсолных	33—45	0,649—1
Пшеница	25—35	0,466—0,7
Рис	40	0,839
Руда железная	35—37	0,7—0,754
Сахар	50	1,192
Соль поваренная	30—50	0,577—1,192
Сульфат аммония	40	0,839
Уголь каменный	27—35	0,51—0,7
Уголь мелкий	35—45	0,7—1
Цемент	27—40	0,51—0,839
Ячмень	25—45	0,466—1

Расчет необходимо вести для частиц груза, наиболее подверженных смещению, т. е. лежащих на поверхности груза у бортов судна. Для них $y = \frac{B}{2}$.

В табл. 21 приведены значения углов естественного откоса и коэффициентов внутреннего трения некоторых грузов.

Следует помнить, что величина угла естественного откоса существенно зависит от многих обстоятельств, о чем уже говорилось выше. В частности, на него сильное влияние оказывает вибрация кордуса. В условиях вибрации угол естественного откоса уменьшается. Сильнее всего это влияние наблюдается у зерна, для которого вибрация уменьшает угол естественного откоса примерно вдвое.

Таким образом, при перевозке навалочных и сыпучих грузов необходимо обращать внимание не только на нижний, но и на верхний предел начальной метацентрической высоты.

Следует помнить, что физико-химические свойства насыпных и навалочных грузов и изменение этих свойств

во время перевозки морем еще недостаточно изучены. Поэтому необходимо не только строго соблюдать действующие правила перевозки, но и накапливать опыт таких перевозок, наблюдая за состоянием груза в различных условиях. Ниже приведены примеры аварий с навалочными грузами.

Однопалубный теплоход «Траквейр» 19 августа 1956 г. шел из Лейта в Голландию с грузом угля-штыба¹. На переходе он встретил ветер силой 7 баллов, стал испытывать сильную качку и начал крениться на подветренный борт. Для выпрямления судна капитан поставил его лагом к зыби, но крен продолжал увеличиваться и достиг 40°. Фальшборт левого борта ушел в воду, в трюм № 1 стала поступать вода. Оставаться на судне стало опасно, но из-за большого крена спустить шлюпки не представлялось возможным.

Команду снял подошедший на сигнал бедствия теплоход «Г». Попытки взять «Траквейр» на буксир окончились неудачей, и вскоре судно пошло ко дну.

Следственная комиссия признала возможной причиной аварии смещение из-за сильной качки влажного штыба в трюмах судна, чему могла способствовать сильная вибрация теплохода. Не исключена возможность попадания воды в кормовые жилые помещения. Шифтинги отсутствовали, так как судовладельцы, ссылаясь на многолетний опыт, считали невозможным смещение угля на малых судах в каботажных рейсах.

Теплоход «Ст. Магнус» шел с грузом угля и, находясь в ночь с 14 на 15 февраля 1962 г. в 60 милях западнее Клайпеды, внезапно накренился на 35° левого борта. Ветер в этот момент был юрд-юрдвест силой 6—7 баллов. Задолжением забортной водой танкера правого борта устранить крен не удалось. Между тем ветер усилился до 8—9 баллов, волнение увеличилось, забортная вода не сходила с палубы и перекатывалась через грузовые люки. Были поданы сигналы бедствия, и команда оставила судно.

Подошедший пароход, подобрав команду «Ст. Магнуса», взял его на буксир и направился в порт. Однако спасти судно не удалось: 16 февраля «Ст. Магнус» затонул. Комиссия по расследованию аварии признала действия капитана правильными, но обратила внимание на плохую штиковку угля в трюме № 1.

Кокс не относится к числу грузов, легко смещающихся при качке, но его часто перевозят на палубе. Иногда, стремясь максимально использовать дедвейт за счет осушения балластных танков, кокс грусят на палубу в количестве, ухудшающем остойчивость судна, чем ставят судно в чрезвычайно опасное положение. Несколько типичных аварий судов с грузом кокса описано ниже.

¹ Штыб — пылевидный уголь.

II. ПОПЕРЕЧНАЯ ОСТОЙЧИВОСТЬ

НА МАЛЫХ УГЛАХ КРЕНА.

Рассмотрим корпус судна, находящегося в воде. На него, как на всякое погруженное в жидкость тело, в конечном счете действуют равнодействующие двух сил: силы тяжести и силы поддержания. Равнодействующая сила тяжести \vec{L} приложена к центру тяжести судна C , а направлена вертикально вниз. Сила поддержания, или плавучести, приложена в каждой точке смоченной поверхности параллельно к ней. Эти силы зависят от плотности жидкости и глубины погружения. Их равнодействующая складывается приложенной в геометрическом центре погруженного объема G . Центр тяжести вытесненной жидкости, направленная вертикально влево \vec{G} , выталкивает из воды корпус судна с силой \vec{V} , равной весу вытесненной зоны. Точка "G" называется центром тяжести и крен. Если судно стоит без крена, то направление равнодействующих сил тяжести и силы поддержания совпадает диаметральной плоскостью (ДП). Они взаимно противоводействуют и равны по величине, т.е. взаимно уравновешены.

Выведем судно из положения равновесия. Приведем к нему кренящий момент в направлении отрёлки Мкр. (рис. 1).

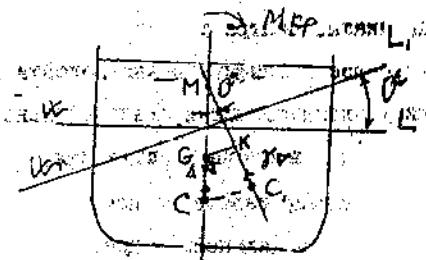


Рис.1

В этом центр тяжести с об'емом погруженной части корпуса перемещается в сторону наклоненного борта. Относительно новой ватерлинии L' , судно получит крен α . Считаем, что при наклонении судна не произошло никакого смещения грузов на его борту, центр тяжести остался в прежней точке G . В сравнении с первоначальным положением меняется направление равнодействующих сил тяжести и поддержания относительно ДП. Они по-прежнему оказываются перпендикулярны ватерлиниям (G, L'), но под углом α относительно ДП. Между направлением действия этих сил возникает плечо (-К - плечо статической остойчивости). В совокупности с парой сил это плечо создает момент. В зависимости от положения дополнительной точки "M" относительно центра тяжести т. G этот момент будет восстанавливущим (если точка "M" выше центра тяжести) или опрокидывающим, иначе, совпадающим по направлению с Мкр.

Точка М - точка пересечения направления равнодействующей силы поддержания и наклоном положения с ДП называется ПОПЕРЕЧНЫМ МЕТАЦЕНТРОМ. Метацентр находится на ДП только на малых углах наклонения, когда он вышел из воды и вошел в воду подводной части корпуса разны ($10^{\circ} - 12^{\circ}$). В общем случае метацентром называется точка пересечения направлений равнодействующих сил поддержания двух соседних наклонений. Физический смысл этой точки - точка, вокруг которой свободно плавающее тело совершает маятниковые колебания.

Возведение точки "M" над центром тяжести называется метацентрической высотой - h

$$h = Z_m - Z_g (1) \text{ или}$$

$$h = Z_m - Z_c (2)$$

где Z - попечечный м.ц. радиус оружности, по которой перемещается центр величины. Поперечный м.ц. радиус равен расстоянию по вертикали между метацентром и центром тяжести.

Метацентрическая высота считается положительной, когда т.М выше центра тяжести и отрицательной, когда метацентр ниже центра тяжести.

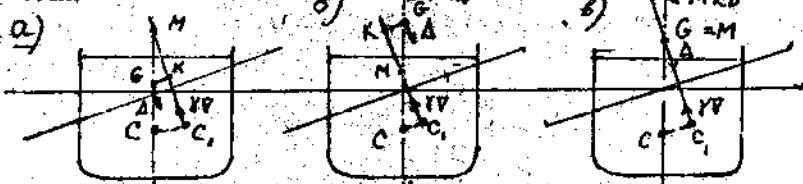


Рис.2

На рисунке 2 видно, что при наклонении судна по часовой стрелке в судне "а" возникает момент с противоположным часовой стрелке знаком, т.е. восстанавливающий, во втором случае "б" совпадающий с часовой стрелкой, т.е. опрокидывающий, в случае "в" судно находятся в положении безразличного равновесия - плеча нет, момента нет, судно остается с полученным креном не восстанавливаясь и не опрокидываясь.

Свободность судна, выведенного из положения равновесия, возвращаясь в исходное положение после снятия прошлого момента, называется остойчивостью.

Расстояние l_0 между направлением равнодействующих сил тяжести и силы поддержания называется поперечной статической остойчивостью l_0 .

На рис.1

$$l_0 = h \sin \alpha (3)$$

Эта формула имеет силу на малых углах крена, т.е. когда центр величины перемещения PC лежит "внутри" сечения судна в точке М на МЛ.

При установившемся равновесии величина $M_{\text{кр}}$ называется коэффициентом остойчивости.

$$M_{\text{кр}} = M_{\text{КО}}$$

следовательно

$$M_{\text{кр}} = \Delta \cdot h \cdot \cos \theta \quad (4)$$

где $\Delta \cdot h$ называется коэффициентом остойчивости.

С помощью приведенных формул достаточно для практики остойчивости можно решать ванные для будоводства задачи - по определению вероятного угла крена по известным $M_{\text{кр}}$, водонизмещению, м.д. высоте h :

$$\tan \theta = \frac{M_{\text{кр}}}{h} ; \text{ или}$$

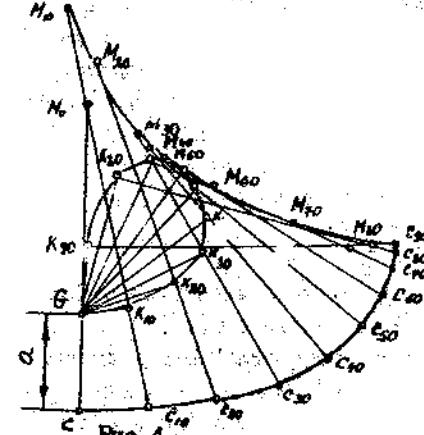
$$\theta = 57,3 \cdot \frac{A \cdot L}{h} \quad (5)$$

Можно определить метacentрическую высоту до известными: вес груза Р (приложенный, перемещенный, одеск и подъем плавки и т. д.), угол МЛ - L , водонизмещению A - возможному крену θ :

$$h = \frac{57,3 \cdot A \cdot L}{\Delta \cdot \theta} \quad (6)$$

II. ОСТОЙЧИВОСТЬ НА БОЛЬШИХ УГЛАХ КРЕНЯ

Как было отмечено выше, на больших углах наклонения поперечный метацентр не приходится на МЛ. Для сведения на рис. 4 приводится так называемая полярная диаграмма остойчивости, на которой изображена траектория перемещения метацентра при наклонении судна от 0° до 90° .



и траектория движений основания перпендикуляра, опущенного из центра тяжести G на направления линий действия силы плавучести.

$$M_{\text{кр}}$$

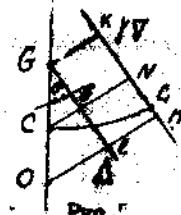


Рис. 5

Предположим, что к судну приложен остойчивый момент $M_{\text{кр}}$, при этом центр тяжести судна G остался на прежнем месте. В результате возник момент восстановления $M_d = \Delta \cdot l \cdot e$ (7)

где Δ - весовое водоизмещение,

l - путь статической остойчивости;

Из уравнения видно, что при данном водоизмещении величина восстанавливающего момента прямо пропорциональна плечу статической остойчивости. Следовательно, и дача величины плеча статической остойчивости может служить мерой статической остойчивости при углубленном водоизмещении.

Обратимся к рис.5

G - центр тяжести судна; C_1 - положение центра величины в прямом положении и при крене; θ - угол крена; l_X - плечо статической остойчивости; C_N - перпендикуляр, опущенный из центра величины в прямом положении на направление силы поддержания V ; l_Y - перпендикуляр, опущенный из точки N , лежащей на основной плоскости судна, на направление силы поддержания V .

Из рисунка видно, что

$$l_o = C_N - C_E \quad (8)$$

где C_E - плечо силы A относительно точки C_1 , и C_N - плечо силы V относительно той же "точки опоры".

Таким образом, мы "расщепили" плечо статической остойчивости на две составляющие - на плечо силы V , называемое плечом формы и плечо силы A , называемое плечом веса.

На практике встречаются различные варианты выбора "точки опоры", и поэтому плечо формы может быть относительно центра величины (l_o), относительно метцентра (l_m), относительно основной (l_x).

В зависимости от этого плечо статической остойчивости можно найти по формулам:

$$l_o = l_m + (l_x - l_m) \sin \theta \quad (9)$$

$$l_o = l_m + h \sin \theta \quad (10)$$

$$l_o = l_x - Z_g \sin \theta \quad (11)$$

Плечи формы включаются заранее и предлагаются в виде графиков или таблиц в зависимости от водоизмещения. Графики называются интерполяционными кривыми остойчивости формы (антодиаграммами). Типичный вид кривых l_{po} ($l_o = const$) показан на рис.6

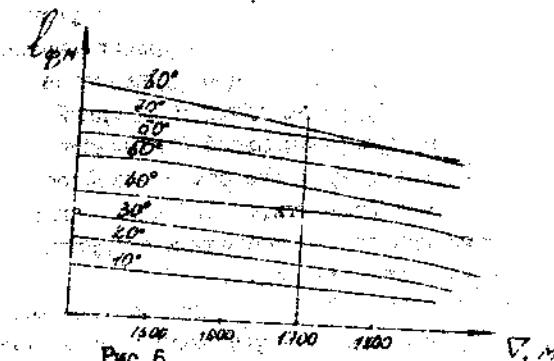


Рис.6

На рисунке чертежа этого документа, как обычно, указывается формула, одна из 3-х приведенных выше, для определения плеча статической остойчивости l_o .

IV. ДИАГРАММА СТАТИЧЕСКОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ (ДСО)

Диаграмма статической остойчивости (ДСО) выражает графическое значение восстановляющего момента или плеча статической остойчивости в зависимости от угла крена (рис.7)

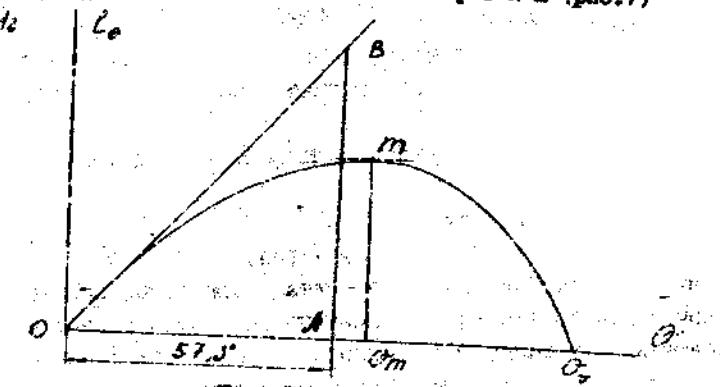


Рис.7

Какому диаграмм (точка m) соответствует угол крена, при котором главная (расчетная) палуба находит уровни спокойной воды. Угол крена (θ_m) соответствует положению судна, когда центр тяжести и центр величины ($O > O_m$) будут находиться на одной вертикали. В этом случае, как видно из диаграммы, плечо статической остойчивости равно нулю. Отметим, что, поскольку плечо статической остойчивости служит мерой статической остойчивости, то ДСО дает наглядную картину статической остойчивости при данном состоянию нагрузки судна, положении центра тяжести судна, плотности воды.

Характер начальной части ДСО может быть различным. У судов прямостенных с развалом борта в носу и корме диаграмма напоминает зерболу. Суда с малой начальной м.ц. высотой и большим надводным бортом имеют S -образную диаграмму. Суда с сильно развитыми надстройками имеют, иногда две максимума. У судов с отрицательной начальной м.ц. высотой начальный участок диаграммы при положительных значениях углов крена располагается ниже оси абсцисс. В этом случае судно плавает с креном θ . Площадь начального участка соответствует крену на ПБ, отрицательное - крену на ДВ.

Начальный участок диаграммы характеризуется метацентрической формулой остойчивости, согласно которой

$$M_o = \Delta \cdot h \cdot \sin \theta$$

, если же углы крена

$$M_o = \Delta \cdot h \cdot \theta$$

(I2)

представляет собой с геометрической точки зрения уравнение прямой, проходящей через начало координат в системе координат, используемой в ДСО.

Таким образом, мыслы следует считать углы в пределах линейной части ДСО.

Формулу (I2) можно представить

$$\ell = h \cdot \theta, \text{ если } \theta = 1 \text{ rad}; \quad h = l$$

- плечо статической остойчивости разно метасцентрической высоты. Для нахождения начальной поперечной метацентрической высоты необходимо провести касательную в точке "0" к кривой C и во всей области отложить отрезок, равный одному радиану. Метацентрическая высота определяется в масштабе плеч отрезком АВ (рис.7). Это свойство позволяет уточнить начальный участок ДСО.

Для решения обратной задачи - нахождения м.ц. высоты с помощью касательной - это свойство не применяется из-за малой точности. При положительной начальной остойчивости касательная к ДСО в начале координат идет выше оси O , при отрицательной - ниже (рис.8)

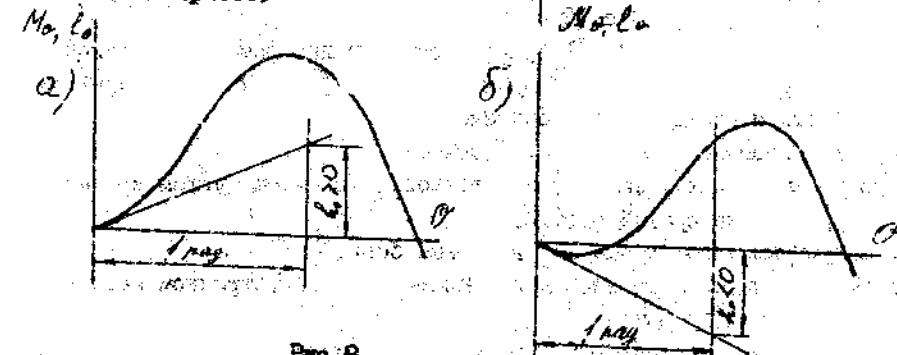
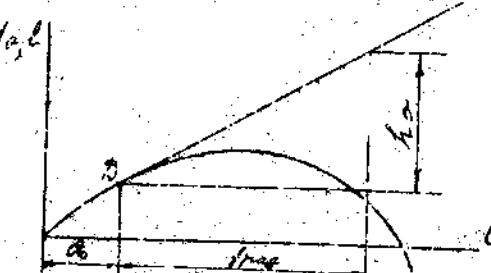


Рис.8

Если в некоторой точке A диаграммы при угле θ_A провести касательную к кривой $C(A)$ и на отрезке, параллельном оси абсцисс, отложить вправо отрезок, равный одному радиану, то в масштабе плеч получим значение "обобщенной" м.ц. высоты, которая дает возможность оценить остойчивость судна, плавающего с креном θ_m (рис.9).



Исходная за начальную ветвь ДСО имеет определенную условность, т.к. при весьма больших углах крена возможно смещение груза и перемещение ц.т. судна, а также нарушение непроницаемости подводной части корпуса. Угол, при котором открытое отверстие выходит в воду, называется углом заливания. Д.О. вправо от угла заливания показывается пунктиром или совсем обрывается. (рис.10).

M_{θ}, L_0

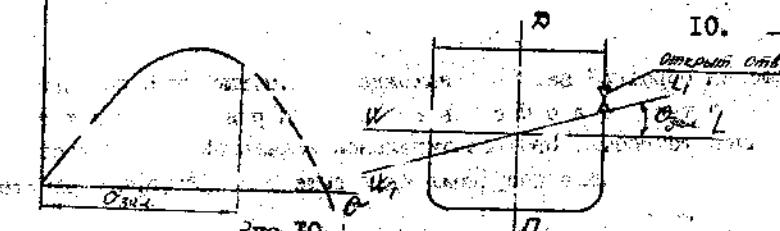


Рис.10

Для сведения на рис. II приводятся виды диаграмм статической остойчивости, встречающиеся из практике и в информацион об аварийной остойчивости и посадке (непотопляемости):

- при симметричном затоплении, $h > \alpha_0$
- при несимметричном затоплении отсеков с аварийным углом крена $\varphi_{al} = 7^\circ$ на правый борт, $h > 0$,
- с аварийным углом крена 10° на левый борт, $h > 0$,
- с отрицательной начальной м.п. высоты при симметричном затоплении относительно ДП
- с отрицательной начальной м.п. высотой при несимметричном затоплении относительно ДП затопления.

M_{θ}, L_0

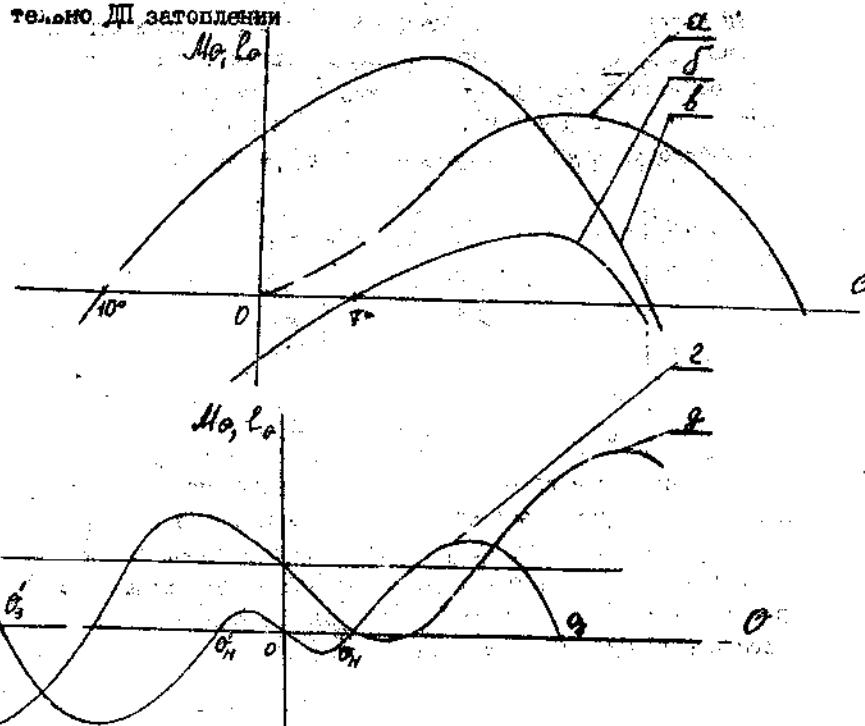


Рис. II

У. ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ СУДНА ПРИ ОТРИЦАТЕЛЬНОЙ НАЧАЛЬНОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ

Если начальная остойчивость судна отрицательна ($k < 0$), то прямое положение равновесия неустойчиво, и судно или получает начальный крен, или опрокидывается. При отсутствии подвижных грузов равновесие судна зависит от двух факторов: 1) формы обводов и исходной посадки судна, определяющих общий характер диаграммы статической остойчивости (зависимости $L_a(\theta)$); 2) абсолютной величины отрицательной начальной остойчивости.

Форма обводов большинства судов такова, что при малых абсолютных значениях $k < 0$ они получают только начальный крен, и лишь суда, имеющие круговые поперечные обводы, опрокидываются при любом значении $k < 0$. При большой абсолютной величине $k < 0$ опрокидываются суда с любой формой обводов. ДСО для случая, когда судно не опрокидывается при $k < 0$, а только получает начальный крен, показана на рис. II(г). При этом имеются два остойчивых положения равновесия с углами крена α_H и $\alpha_H' = -\alpha_H$. Судно плавает в любом из этих положений, переходя из одного в другое под действием внешних возмущений. Этот переход динамического характера называется переваливанием. Если углы крена невелики и ДСО имеет значительные по протяженности и величине ординат "положительные" участки (от α_H до α_3 и от α_H' до α_3'), то положение судна, плавающего с начальным креном, достаточно безопасно.

Чаще всего начальная остойчивость падает до отрицательной вследствие наличия на судне церкающихся при наклонениях жидкого груза со значительными свободными поверхностями, а также негравитационной загрузки, когда $Z_g > Z_m$.

С ростом абсолютной величины отрицательной начальной остойчивости начальный крен судна возрастает (рис. I2).

M_{θ}, L_0



Рис. I2

При недостатке начальной метапендикулярной высоты до критического значения $h_s = h_k$ судно, накренившись до угла $\varphi_k = \alpha_k$, оказывается в неустойчивом положении равновесия и опрокидывается.

- 16 -
 VI. СПОСОБЫ РАСЧЕТА И ПОСТРОЕНИЯ
 ДИАГРАММЫ СТАТИЧЕСКОЙ ОСТОЙЧИВОСТИ.

6.1. Построение ДСО по пантакаронам. Пантакароны или интерполяционные кривые, представляющие графики зависимости плеч формы от об'емного водоизмещения судна для различных углов крена, показаны на рисунке 6.

Для построения ДСО необходимо знать осадку и м.ц. высоту судна. По значениям средней осадки с кривых элементов теоретического чертежа снимают значения \bar{x}_n , \bar{x}_c и об'емное водоизмещение. Более точно об'емное водоизмещение получают по диаграмме осадок носом и кормой. Для соответствующего значения об'емного водоизмещения при различных углах крена обычно на каждые 10° и в диапазоне от 10° до 90° по пантакаронам получают значения плеч остойчивости формы. Затем рассчитывают для этих же углов размер плеча остойчивости веса. После чего вычисляют плечи диаграммы статической остойчивости для выбранных углов крена как разность между плечом остойчивости $\bar{x}_{\text{формы}}$ и плечом остойчивости веса.

Вычисления производятся в таблице, которая, например, для формулы (II) выглядит так:

θ°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
$\sin \theta$	0,172	0,342	0,500	0,642	0,766	0,866	0,940	0,995	I
$\bar{x}_c \sin \theta$									
$\bar{x}_n \sin \theta$									
l_c									

6.2. При наличии в "Информации об остойчивости" случая нагрузки, незначительно отличающегося по водоизмещению от рассчитываемого состояния нагрузки ($\pm 1\%$), величины плеч статической остойчивости, снятых с диаграммы статической остойчивости в "Информации об остойчивости", изменяются на величину δl , определяемую по формулам:

$$\delta l = (\bar{x}_n - \bar{x}_c) \sin \theta \quad (13)$$

$$\text{или } \delta l = (\bar{x}_n - \bar{x}_c) \sin \theta \quad (14)$$

При расчетах следует иметь в виду, что плечо статической остойчивости увеличивается с понижением центра тяжести судна и уменьшается с его повышением. Плечо статической остойчивости рассчитываемого положения нагрузки:

$$l_c' = l_c + \delta l \quad (15)$$

- 13 -
 6.3. Построение ДСО по универсальной диаграмме статической остойчивости (УДСО) (рис. 23).

УДСО имеет систему трех шкал сопоставимости форм для разных водоизмещений (средних осадок) судна и 3 шкалы:

- 1 - шкала плеч статической остойчивости;
- 2 - шкала углов наклонения в синусной мере;
- 3 - шкала азимутов ц. т. (м.ц. высот).

Чтобы построить ДСО, надо на первой шкале отложить " \bar{x} " или " \bar{x}_c " рассчитанные по таблице весовой нагрузки, затем провести прямую, соединяющую эту точку с началом координат.

Вертикальное расстояние между кривой, соответствующей расчетному водоизмещению и прямой дает плечо статической остойчивости на соответствующих углах. Найденные таким образом величины плеч восстанавливающих моментов используют для построения ДСО в равномерной шкале.

VI. ЗАДАЧИ, РЕШАЕМЫЕ С ПОМОЩЬЮ ДСО

При проектировании и эксплуатации судна диаграммы статической и динамической остойчивости используют для определения статических и динамических углов крена, возникающих при действии на судно кренящего момента. По диаграммам определяют также предельные допустимые кренящие моменты. Углы крена под статическим действием момента находят из условия статического равновесия — равенства кренящего и восстанавливающего моментов. Углы крена при динамическом действии моментов определяют из условия динамического равновесия — равенства работы кренящего и восстанавливающего момента. Углы крена, найденные в первом случае, — статические углы крена, определяемые во втором случае — называются динамическими углами крена.

7.1. Определение значений максимального статически приложенного кренящего момента, который может опрокинуть судно при данной нагрузке, не опрокидываясь.

Для этого необходимо провести параллельно оси абсцисс касательную к диаграмме и отыскать точку касания А (рис.12). Пересечение касательной с осью ординат в точке В дает значение максимального статического момента. Угол крена, соответствующий точке А, является максимальным, который судно может иметь при статическом действии кренящего момента, не опрокидываясь. Если на диаграмме нанесены значения восстанавливающего момента, их можно получить умножив значение плеч на водонапыление судна в тоннах.

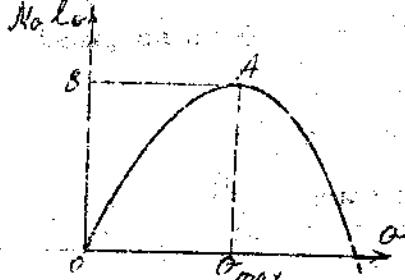


Рис.12

7.2. Определение угла крена от известного значения статически приложенного внешнего кренящего момента.

Отложив на шкале моментов известное значение кренящего момента $M_{кр}$ получим соответствующий ему крен судна θ_1 (рис.13).

На судне подобным методом решается задача определения угла крена, который получит судно от перемещения груза в поперечном направлении.

Для практических задач значение $\theta_{кр}$ от перемещившегося груза можно считать постоянным и выразить параллельной оси абсцисс прямой $M_{кр} \cdot \theta$, проведенной на расстояние $M_{кр} \cdot \theta$ от O .

$$\text{на расстояние } M_{кр} \cdot \theta$$

где R - перемещившийся груз, ℓ - плечо переноса. По такому же принципу решается и обратная задача.

7.3. Определение количества необходимого груза (балласта) для получения заданного угла крена.

Решение этой задачи необходимо при обнажении борта для ремонтных работ.

Предварительно вычисляют необходимый угол крена по формуле:

$$C_{sh} = \arcsin \frac{\ell \cdot H_{обн}}{B}, \quad (16)$$

Ноуб

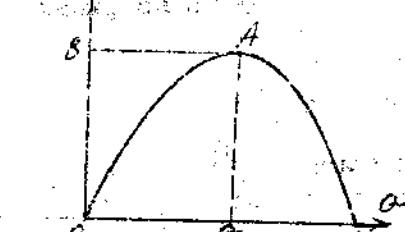


Рис.13

Ноуб - расстояние от заданной точки обнажения корпуса судна до действующей ВЛ.

В - длина судна.

Далее решать эту задачу можно, если $\theta_{обн} < \theta_{стак}$.

Затем по ДС получаем значение необходимого для создания крена кренящего момента Мкр.

из равенства $M_{кр} = R_{кр} \times l_{ср} \cdot M_{п}$ находим $R_{кр}$ - количество необходимого груза, которое следует принять на борт или снять с судна на расстоянии $l_{ср}$ от МЛ: $R_{кр} = \frac{M_{кр}}{l_{ср} \cdot M_{п}}$.

Этим методом можно пользоваться только на небольших углах крена и при малых значениях м.ц. высоты необходим большой груз для создания требуемого угла крена. Прием же большого дополнительного груза влечет за собой изменение ДС.

При малой остойчивости судну необходимо небольшое количество кренящего груза, и, следовательно, значительного изменения диаграммы не происходит.

Формула (16) может также быть использована для определения Ноуб, как высоты надводного борта - расстояния нижней кромки технологического выреза от ватерлинии при ремонте судов;

$$Ноуб = \frac{\theta \cdot B}{2 \times 57,3^{\circ}}, \quad (17)$$

где θ - допустимый угол входа в воду нижней кромки тех.выреза.

7.4. Определение угла крена от внезапно приложенного момента (динамического угла крена).

Внезапно приложенный кренящий момент может оказать опасным для потери остойчивости судна.

Под действием этого момента судно будет крениться до тех пор, пока работа кренящего момента не уравновесится работой восстанавливавшего момента. Образовавшийся при этом угол крена называется динамическим.

В отличие от статического наклонения, при котором в каждый момент времени издается разность кренящего и восстанавливавшего моментов, динамический момент в течение некоторого промежутка времени с начала его приложения может превышать восстанавливавший.

Динамический крен достигает своего наибольшего мгновенного значения тогда, когда работа кренящего момента полностью погашается работой восстанавливающего. В дальнейшем из-за сопротивления среды происходит постепенное затухание колебаний около положения статического равновесия судна.

Если внешний момент приложен мгновенно к судну, находящемуся в прямом положении, то для определения угла динамического крена необходимо отложить значение этого момента по оси ординат и провести через эту точку прямую, параллельную оси абсцисс (рис.14). Эта прямая пересечет диаграмму статической остойчивости в некоторой точке (точка А). Угол динамического крена θ_d определяется отрезком OA_1 на оси абсцисс, в пределах которого площадь ОВА между кривой восстанавливающих и прямой кренящих (ВА) плеч до точки их пересечения А будет равна плечу АДС после этой точки.

Определение динамического угла крена по ДСС связано с вычислением площадей сложных фигур. Чтобы найти значение угла крена, необходимо геометрически наметить его на диаграмме и проверить путем вычисления площадей, насколько удовлетворяется это условие. Важно не забывать внести исправления.

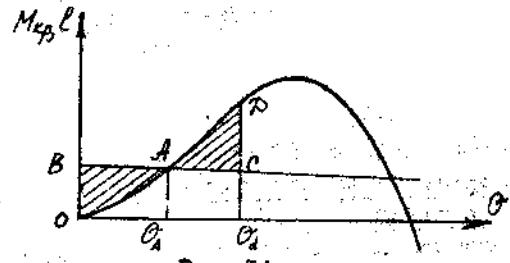


Рис. 14

Площадь диаграммы (на рис.14 эта площадь не защищена), расположенная выше кривой M_{cr} (BC), называется **запасом динамической остойчивости**.

Если динамический угол крена находится в пределах линейной части ДСС, то он равен θ_d величине удвоенному значению статического угла крена (при воздействии этого кренящего момента статически):

$$\theta_d = 2 \theta_s$$

$$\theta_d = 2 \frac{M_{cr}}{\Delta \cdot g} (\text{рад}) \text{ или } \theta_d = 2 \cdot 57,3 \cdot \frac{M_{cr}}{\Delta \cdot g} (\text{град})$$

7.5. Определение предельного динамического момента и предельного угла крена

При использовании диаграммы статической остойчивости опрокидывающий момент может быть определен из условия равенства работ опрокидывающего и восстанавливающего моментов с учетом анергии качки. Для этого диаграмма статической остойчивости (рис.15) продолжается в области отрицательных абсцисс на участок, равном амплитуде качки, и подбирается прямая МК, параллельная оси абсцисс, при которой защищенные *площади* S_1 и S_2 равны друг другу. Ордината ОМ будет опрокидывающим моментом, если по оси ординат отложены моменты, или плечом опрокидывающего момента, если на оси ординат отложены плечи остойчивости. В последнем случае для получения опрокидывающего момента необходимо ординату OM умножить на водонемещение судна.

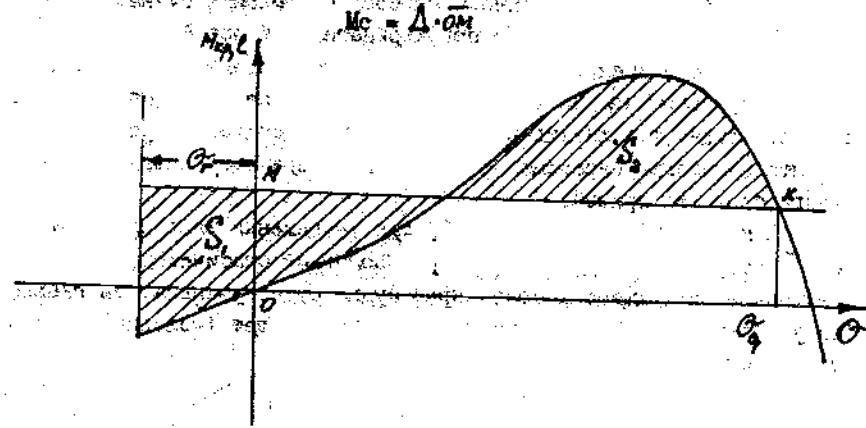


Рис. 15

Если диаграмма статической остойчивости обрывается при угле заваливания, то опрокидывающий момент определяется, также, как и выше, но с учетом площади диаграммы статической остойчивости до угла заваливания (рис.16).

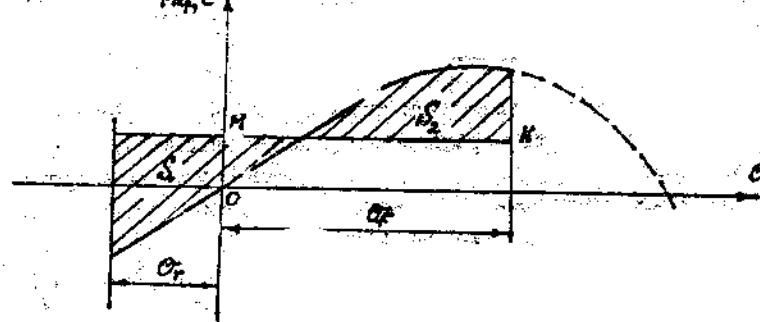


Рис.16

V.6. Динамика судна, имеющего отрицательную остойчивость.
Анализ недопустимого способа спрямления судна.

Что было сказано ранее при отрицательной остойчивости судна будет кренять с креном O_1 на какой-либо борт. Предположим, что судно плавает с креном O_2 на левый борт и принято недопустимое решение спрятать судно, т.е. ликвидировать крен путем создания кренящего момента с помощью перестановки грузов в поперечном направлении с левого борта на правый.

В начальный период (рис.17) при начальном угле крена от O_1 до O_2 спрятание судна будет проводиться статически, т.е. с увеличением кренящего момента крен судна будет уменьшаться плавно, без ускорения и положение равновесия судна будет (условно) устойчивым.

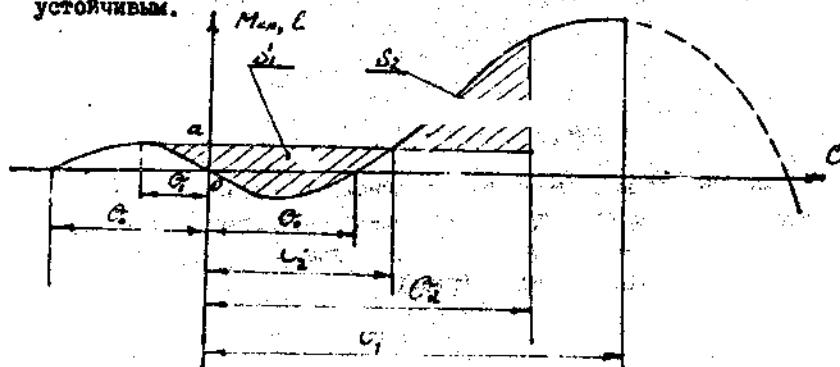


Рис.17

19
В момент достижения θ_1 на края в точках O_1 положение равновесия становится неустойчивым и динамическое равновесие утрачивается. В этот же самый момент судно будет динамически неустойчиво. В дальнейших промежуточных прямых положения, будущий угол крена O_2 будет оставаться между углом равенством $\theta_1 = \theta_2$. При этом отметим, что в начальном угле крена $O_1 = O_2$ восстановленный момент будет промигновенно пропадать, а после прохождения прямого положения судно начнет динамический угол крена O_2 . Будет меняться угол крена, то судно будет совершать затухающие бортовые колебания, и после их прекращения будет находиться в устойчивом положении равновесия с креном O_2 на правый борт. При этом $O_1 > O_2$.

Если же динамический угол крена O_2 будет больше угла крена O_1 , то судно склонится волнистые волны остойчивости.

При кренящемом механизме, при котором судно имеет динамическое наклонение, в масштабе имею разно отклонку O_2 .

Таким образом, спрятание судна, имеющего отрицательную остойчивость, гравитации или симметрии погребов:

- необходимо остойчивость уменьшить отрицательного значения М.б. высоты;

Путь корректировки недостаточной начальной остойчивости:

- уменьшение высоты ц.г. т.е. грузов посредством их перемещения выше;
- приводя балласт в листовые кирпичные для симметрическое относительное погребов (ДП);
- сброс избыточного груза с правого борта;
- выведение свободных подвижностей плавких грузов;

8. Задачи, решаемые по УДС (универсальной диаграмме статической остойчивости)

Универсальная диаграмма статической остойчивости служит для контроля и регулирования параметров ДСИ графическим способом

8.1. Определение угла статической остойчивости.

Задача решается в следующей последовательности:

- на шкале $Z_2(h)$ откладывается расчетное значение аппликаты I.т. судна (м.п. высоты) - точка "a";
- через точки a и o силуэтной шкалы проводят прямую;
- на силуэтной шкале находят точку b , соответствующую заданному значению угла крена. В полученной точке восстанавливают перпендикулья и продолжают его до пересечения с прямой для заданного водонеменения (весового или об"емного) и силуэтной прямой, которая может оказаться как выше, так и ниже силуэтной шкалы;

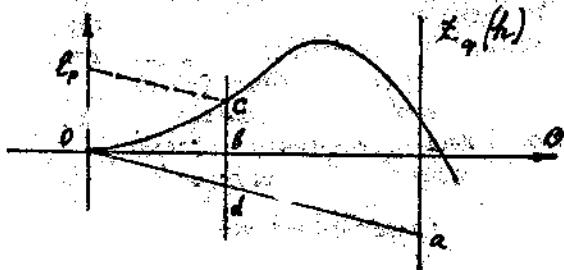


Рис.18

- снимают отрезок ab , с помощью масштаба переводят в метры, получают ℓ_a .

8.2. Определение статического угла крена при воздействии на судно кренящего момента.

1. Проводят прямую oa исходя из заданного значения $Z_2(h)$.
2. вычисляют значение σ , соответствующее равенству $M_e = M_o - \Delta \cdot \ell_a$
$$\sigma = \frac{M_e}{\Delta}$$
3. Откладывают значение σ на шкале Z_2 в виде отрезка (c) ;
4. проводят прямую o' с параллелью прямой oa ;
5. опускают перпендикулья из точки пересечения прямой o' с кривой плеч для заданного водонеменения (точка c);
6. Снимают значение σ в точке b . (рис.19).

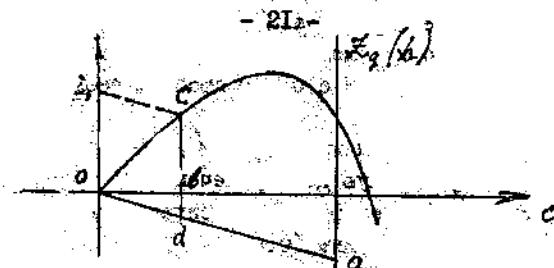


Рис.19

8.3. Угол отрицательной бортовой трошки.

Если при определении σ окажется, что участок кривой плеч будет располагаться ниже прямой oa , то это означает, что в пределах угла крена, при котором отрееком oa буде иметь место отрицательная остойчивость.

Судно будет плавать с креном OY на какой-либо борт (рис.20).

Необходимо проанализировать часть диаграммы, расположенную выше прямой oa , застрия внимание на таких показателях, как

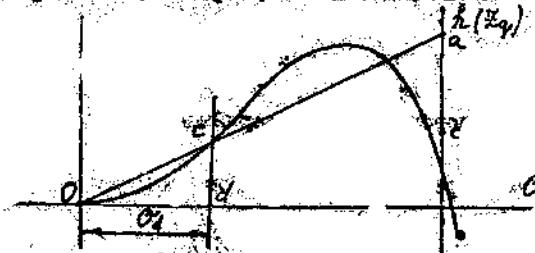


Рис.20

угол максимального срыва, угол срыва, максимальное плечо статической остойчивости.

Если эти величины удовлетворяют требованиям Регистра СССР к остойчивости, то для удовлетворения требованиям по h ($h > 905$) необходимо поправить п.т. до $Z_2 \leq Z_m - 905$ (или до $h > 905$).

8.4. Определение отрицательной максимальной м.д.высоты по УДС.

Известно, что причиной отрицательной начальной остойчивости является крен судна, который в разной мере может быть как на левый, так и на правый борт. Несмотря на то, что такого судна не хватает грузов с борта на борт положительных результатов не дает.

В этом случае не решая таблицу в основных нагрузках можно определить начальную м.п. высоту простым геометрическим построением:

1. откладываем на оси σ угол крена ($m.d$, т.с., 20);
2. проводим вертикальную прямую до пересечения с кривой плеч формы для определенного по средней осадке водонеменения судна (т.с.)

3. проводим отрезок Ос до пересечения его с вертикальной шкалой h (т.с.). Отрезок ос будет равен начальной м.п. высоте, расположение из точки h вверх от нуля по шкале м.п. высоты указывает на отрицательное ее значение.

Также можно определить h по УДС с правой вертикальной шкалой h . В этом случае по водонемению (или средней осадке) определяют X_m и по формуле $h = L - X_m$ определяют h .

8.5. Использование УДС при практическом решении по "пасению" аварийного судна.

Пример 1

В результате гибели пожара на судне оказався частично затопленным отсек "А", верхняя часть отсека продолжает гореть. Наличие свободной поверхности в аварийном отсеке вызвало аварийный угол крена σ_a .

Необходимо определить, возможно ли остановить переборку смежного с ним отсека "В" струей воды для предотвращения взрыва находящегося в нем груза. (рис. 21).

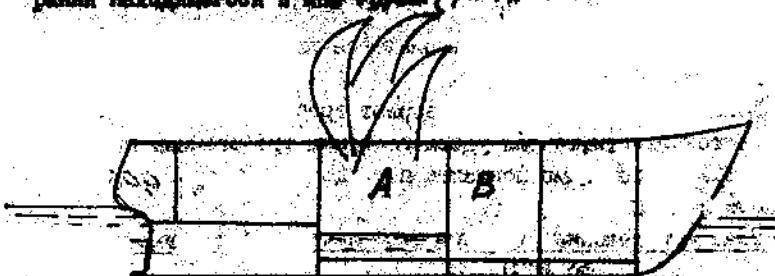


Рис.21

Исходные данные для расчета:

$$\Delta = 2990 \text{т}$$

$$T_{op} = 4,69 \text{м}$$

$$\sigma_a = 12^\circ$$

$$L = 10 \text{м (длина отсека "B")}$$

$$= 13,6 \text{м (ширина отсека "B")}$$

$$f_{\text{сп}} = 1,025 \text{ т/м}^3 \text{ (удельный вес морской воды)}$$

Решение:

Исходя из того, что аварийный крен явился результатом влияния свободных поверхностей воды в аварийном отсеке, поведущих к отрицательной начальной остойчивости.

Для решения задачи используем УДС:

1. откладываем на оси σ т.с., соответствующую 12° в масштабе 1:4000 (рис. 22).

2. проводим вертикальную прямую через т.с. до пересечения с кривой плеч формы для $T_{op} = 4,69 \text{м}$ (т.в.)

3. проводим наклонную прямую Ос и продолжаем ее до пересечения с вертикальной осью h (т.с.)

Точка с которой соответствует отсчет "-0,06м", покажет начальную м.п. высоту судна, имеющего отрицательную начальную остойчивость.

4. по формуле $h = -\frac{\sigma_a}{12^\circ} \cdot 4,69 \text{м}$

определяем уменьшение h из-за появления свободной поверхности в отсеке "В".

$$h = \frac{12^\circ \cdot 4,69 \text{м}}{12^\circ \cdot 2990 \text{т}} = -0,72 \text{м}$$

5. находим м.п. высоту с учетом свободной поверхности в отсеках "А" и "В" $h = -0,06 - 0,72 = -0,78 \text{м}$,

- откладываем вверх от нуля на оси σ .
6. проводим наклонную прямую Ос. Кривая плеч формы для $T = 4,69 \text{м}$ оказывается полностью ниже наклонной оси. Это соответствует диаграмме в прямоугольной системе координат, показанной на рис.

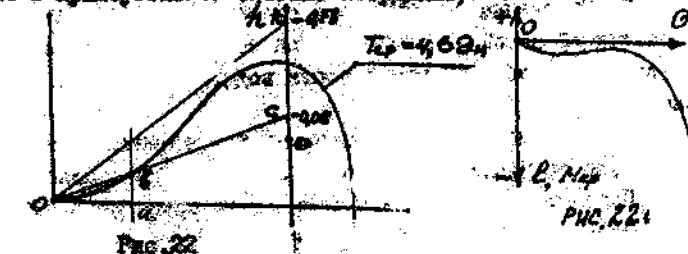


Рис.22

Рис.22

- судно опрокинется.

Водоизмещение опрокидывающих масс на длине аварийного судна допускает появление свободных поверхности в исключаемом отсеке "Р".

Необходимо и ясно добавить, что выше сказано предполагает свободную поверхность дополнительно к аварийному в любом другом отсеке судна. Особенно опасно для остойчивости трубы в воде в высоком расположении помещений, где отрицательное давление на д. о. превышает давление на саму свободную поверхность, так и проникновение больших масс воды с высоким расположением центром тяжести. Необходимо применять меры для удаления воды из бортов, трубы, сантехническое тело. Рисунок 2.

Анализ остойчивости УИС "Забайкалье" в случае гибели руля в труме № 3.

Исходные данные:

1. Водонаполнение $\Delta = 4500 \text{ т}$
2. Момент остойчивости основной $M_{\text{х}} = 1160 \text{ тм}$
3. Поправка к моменту остойчивости основной $\Delta M_{\text{х}} = 1160 \text{ тм}$ (свободная поверхность в трумах № 1, № 2, № 3, № 4, № 5, № 6)
4. Направленный момент относительно борта $M_{\text{х}}' = M_{\text{х}} + \Delta M_{\text{х}}$

$$M_{\text{х}}' = 4500 + 1160 = 5660 \text{ (тм)}$$

5. Допускаемый момент относительного основной $M_{\text{х}}'' = 45300 \text{ тм}$

6. $M_{\text{х}} < M_{\text{х}}''$, судно остойчиво.
7. $l_{\text{п}} = 0,47 \text{ м}$ (по диаграмме в зависимости от Δ и $M_{\text{х}}$).
8. Объем трума № 3 = 1000 м³.
9. Заполнение трума грузом = 1000.

10. Длина трума № 3 = 7 м.

II. Погружение трума № 3

I. Определены остойчивость судна в процессе затопления трума № 3 забортной водой. Рассчитаны величины статической практической и спредажной остойчивости свободной поверхности воде, допускаемой для трумов погружения в трумах № 3.

Задача решена с учетом изменения в это время, когда воды притекают к труму № 3, приближения трума к борту судна, удаления воды из трума трума № 3, и уменьшения водоизмещения трума № 3 трума № 3, который имеет место непоследовательно погружения.

Итак, $\Delta = 6495 \text{ т}$

I. Влияние свободной поверхности в аварийном отсеке:

$$\Delta h = - \frac{1.020 \times 16 \times 16 \cdot 4^3}{12 \times 6495} = - 0.77 \text{ (м)}$$

2. Исправленная и.д. высота

$$h_{\text{исп}} = 0,47 - 0,77 = - 0,3 \text{ (м)}$$

3. Согласно универсальной ДСО, угол крена, вызванный отрицательной начальной остойчивостью, для $h = -0,3$ и $\Delta = 6500 \text{ т}$

$$\sigma_{\text{ст}} = 22^\circ$$

II. Анализ влияния I. остойчивость судна свободной поверхности в смежных с аварийным рефотделениях и трумом № 4.

В процессе затопления трума № 3 из-за возможного неувязки отрицательного состояния его водонепроницаемых переборок и их фильтрации свободная поверхность может отставать в смежных отсеках: рефотделениях и труме № 4.

Появление свободной поверхности в этих отсеках от борта до борта вызывает дополнительное уменьшение и.д. высоты: $\Delta h = -0,45 \text{ м}$ (по рефотделению) и $\Delta h = -0,71 \text{ м}$ (по труму № 4).

в свою очередь со свободной поверхностью трума № 3 приводят к тому, что судно ДСО расположится полностью в отрицательной области плоскости статической остойчивости (под осью $\sigma_{\text{ст}}$ рис. 23)

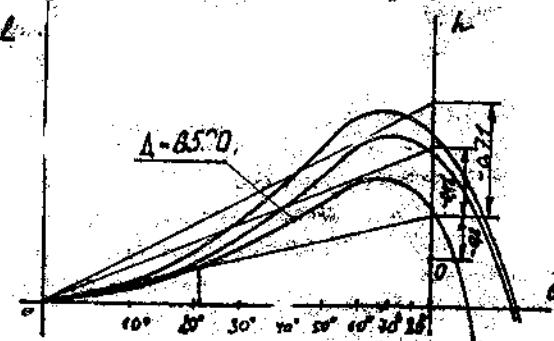


Рис.23

II. Полное затопление трума № 3

Определены величины веса притекающей в трум № 3 воды до полного его затопления:

$$P = \frac{1000 \times 100 \times 0,55 \times 1,025}{100} = 153,8 \text{ (т)}$$

где $\rho = 1,025 \text{ кг/м}^3$ - удельный вес морской воды.

2. Выложение центра притяжения воды относительно оси горизонта:

$$z_c = 4,0 \text{ мт} \quad (\text{то есть в 40% от высоты плавучести})$$

3. Момент притяжения воды относительно оси горизонта:

$$M_w = 152,0 \cdot 4,0 = 608 \text{ (кн\cdotм)}$$

4. Момент силы тяжести в зависимости от угла наклона в 3:

$$M_g = 40240 \cdot \sin \theta \quad (\text{кн\cdotм})$$

5. Выявление момента притяжения воды относительно оси горизонта в зависимости от угла наклона:

$$M_w = 608 \cdot \cos \theta \quad (\text{кн\cdotм})$$

6. Выявление момента силы тяжести относительно оси горизонта в зависимости от угла наклона:

$$M_g = 40240 \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta \quad (\text{кн\cdotм})$$

7. Выявление момента силы тяжести относительно оси горизонта в зависимости от угла наклона:

$$M_g = 40240 \cdot \sin^2 \theta \quad (\text{кн\cdotм})$$

8. Выявление момента притяжения воды относительно оси горизонта в зависимости от угла наклона:

$$M_w = 608 \cdot \cos^2 \theta \quad (\text{кн\cdotм})$$

9. Выявление момента притяжения воды относительно оси горизонта в зависимости от угла наклона:

$$M_w = 608 \cdot \cos^2 \theta \quad (\text{кн\cdotм})$$

10. Выявление момента притяжения воды относительно оси горизонта в зависимости от угла наклона:

$$M_w = 608 \cdot \cos^2 \theta \quad (\text{кн\cdotм})$$

11. Выявление момента притяжения воды относительно оси горизонта в зависимости от угла наклона:

$$M_w = 608 \cdot \cos^2 \theta \quad (\text{кн\cdotм})$$

12. Выявление момента притяжения воды относительно оси горизонта в зависимости от угла наклона:

$$M_w = 608 \cdot \cos^2 \theta \quad (\text{кн\cdotм})$$

13. Выявление момента притяжения воды относительно оси горизонта в зависимости от угла наклона:

$$M_w = 608 \cdot \cos^2 \theta \quad (\text{кн\cdotм})$$

14. Выявление момента притяжения воды относительно оси горизонта в зависимости от угла наклона:

$$M_w = 608 \cdot \cos^2 \theta \quad (\text{кн\cdotм})$$

15. Выявление момента притяжения воды относительно оси горизонта в зависимости от угла наклона:

$$M_w = 608 \cdot \cos^2 \theta \quad (\text{кн\cdotм})$$

16. Выявление момента притяжения воды относительно оси горизонта в зависимости от угла наклона:

$$M_w = 608 \cdot \cos^2 \theta \quad (\text{кн\cdotм})$$

17. Выявление момента притяжения воды относительно оси горизонта в зависимости от угла наклона:

$$M_w = 608 \cdot \cos^2 \theta \quad (\text{кн\cdotм})$$

18. Выявление момента притяжения воды относительно оси горизонта в зависимости от угла наклона:

$$M_w = 608 \cdot \cos^2 \theta \quad (\text{кн\cdotм})$$

19. Выявление момента притяжения воды относительно оси горизонта в зависимости от угла наклона:

$$M_w = 608 \cdot \cos^2 \theta \quad (\text{кн\cdotм})$$

20. Выявление момента притяжения воды относительно оси горизонта в зависимости от угла наклона:

$$M_w = 608 \cdot \cos^2 \theta \quad (\text{кн\cdotм})$$

Находящаяся в свободах сумма Σ' является интегральной суммой трех диаграмм статической остойчивости. Если $\delta C = 10^\circ$ выразить в радианной мере, то окончательное выражение для плеча динамической остойчивости:

$$l_d = 0,08726 \cdot \Sigma' \quad (19)$$

Вычисление производится в т. блоке:

θ	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
$C_{\text{ст.}}$	1,0	0,912	0,760	0,530	0,260	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
$\Sigma_{\text{инт.}}$, M	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
$\Sigma = 0,08726 \cdot \Sigma_{\text{инт.}}$	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Интегральное суммирование производится в порядке, указанном стрелками. Диаграмма статической остойчивости и диаграмма динамической остойчивости связаны интегральной зависимостью к поэтому значению максимума ДОО является точкой перегиба ДД, точка минимума ДД является точкой максимума ДОО (рис.23).

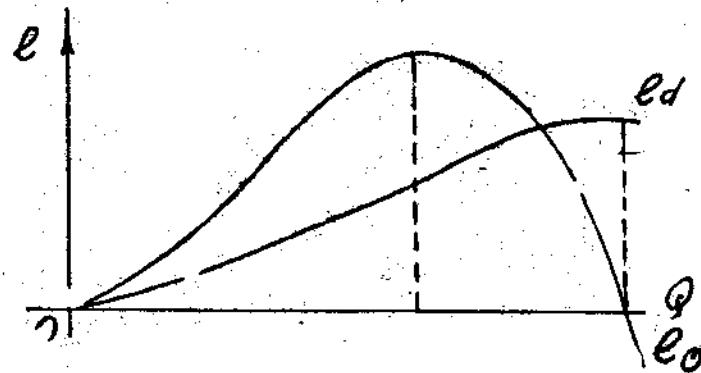


Рис. 23

Для получения ДОО можно использовать зависимость:

C	0°	10°	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°
$\Sigma_{\text{инт.}}$	11.36	2.02	0.27	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Уточнить начальную ветвь ДДС можно, используя свойство:

$\text{Od} = 2\text{Obm}$ (в пределах малых углов крена, т.е. в пределах участка ДДС, совпадающего с касательной в начале координат) (рис. 24)

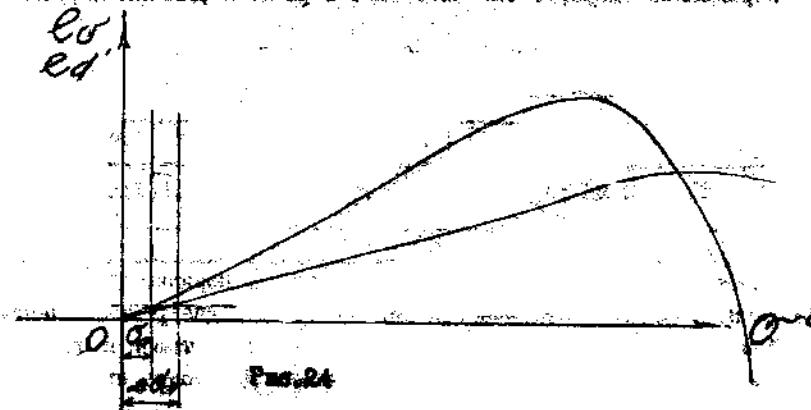


Рис.24

10.1. Определение динамического угла крена

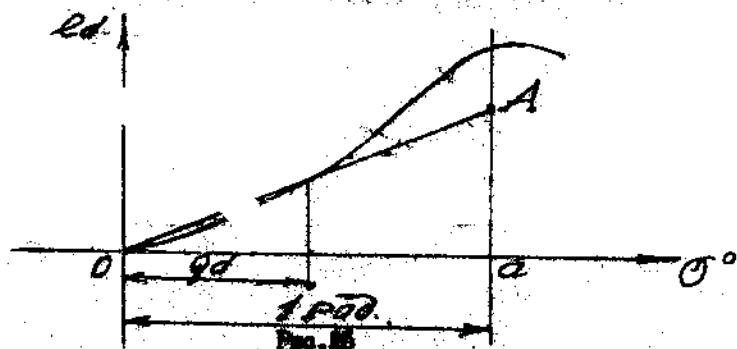


Рис.25

1. На расстоянии 1 радиана, начиная от точки O , откладываем перпендикулярную линию OC и наклонную линию AB .
2. Задаем угол Or между линиями OB и OC .
3. Точка A должна лежать на линии OB в ДДС определить динамический угол крена Or . Индивидуальность решения обратная задаче: определение l_d по заранее определенному углу Or .

10.2. Определение динамического угла крена с учетом энергии качки судна

Допустим, что судно находится поперек к волне, без хода. Волнение, имеющее регулярное. Амплитуда качки судна равна Or .

Рассмотрим два случая. В первом случае качка налетает на судно в тот момент, когда оно наклоняется на угол, равный амплитуде качки на наветренный борт, а во втором, — когда оно наклоняется на угол, равный амплитуде качки, на подветренный борт.

В первом случае исходная точка переместится в точку A , соответствующую эвакуации угла крена Or . Отметим, что точка A является веркальным отражением точки A_1 относительно шкалы l_d . В данном случае угол, равный одному радиану, откладывается от точки A , т.е. отрезок AB в выбранном масштабе равен $57,3^\circ$ (рис. 26).

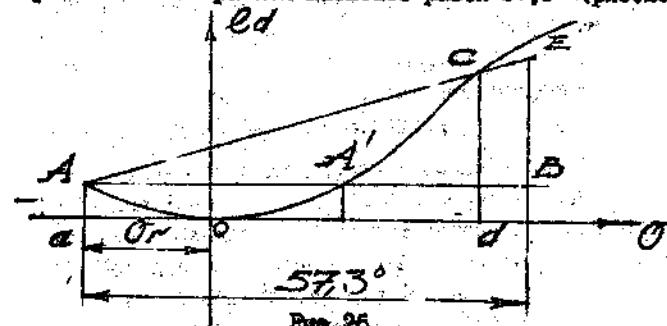


Рис.26

Далее, писто прямоточности приложенного момента откладывается от точки B в виде отрезка BE . Из точки C — пересечения AC с прямой перпендикуляр на ось Obm (точка C'). Отрезок EC' равен исходному углу крена в градусах.

Следует отметить, что данная ситуация является самой неблагоприятной с точки зрения противодействия судна качке, так как эффект от воздействия восстановленного и кренящего моментов суммируется.

Динамический угол крена равен сумме двух углов: динамического угла крена без учета энергии качки и угла амплитуды качки.

Что касается второй ситуации, то в этом случае в качестве исходной будет точка A_1 . От нее вправо откладывают угол, равный одному радиану, в полученной точке восстанавливают перпендикуляр, а по нему откладывают отрезок, равный $\text{O}V_1$. Затем через полученную точку и точку A_1 проводят прямую (график линейного момента для этой ситуации) и получают точку пересечения двух графиков. Из нее опускают перпендикуляр на шкалу углов крена и снимают динамический угол крена.

10.3. Определение опрокидывающего момента по методике Регистра СССР

Опрокидывающий момент M_o является максимальным возможным креновым моментом, приложенным динамически к судну, когда оно выдергивает не опрокидывается, а при наименьшем угле заливания наклоняется на угол, меньший, чем угол заливания (OY).

I. При использовании матрицы динамической стойчивости предварительно на ней находится дополнительная точка A .

Для этого вправо от начала координат откладывается амплитуда качки OY и на кривой динамической стойчивости фиксируется соответствующая точка A . Далее на диаграмме через точку A проводится прямая, параллельная оси абсцисс, и на ней, влево от вспомогательной точки A' , откладывается отрезок $A A'$, равный двойной амплитуде качки $A A' = 2 OY$. Из точки A проводится касательная AC к диаграмме динамической стойчивости. Из точки A на прямой, параллельной оси абсцисс, откладывается отрезок AB , равный 1 рад ($57,3^\circ$). Из точки B восстанавливают вправо перпендикуляр BE до пересечения с касательной в точке E . Отрезок BE равен опрокидывающему моменту, если M_o построена в масштабе работ, и плечу опрокидывающего момента, если диаграмма линии чистой стойчивости построена в масштабе плав.

В последнем случае для определения опрокидывающего момента M_o необходимо значение отрезка BE умножить на соответствующее водонимение судна.

При определении опрокидывающего момента с учетом угла заливания, вместе с касательной из точки A проводится прямая, соединяющая ее с той же образца M_o (рис. 27б) точкой F .

Рис. 27 б

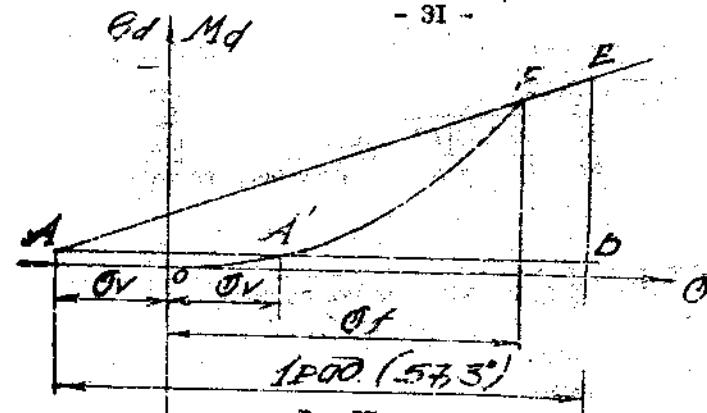
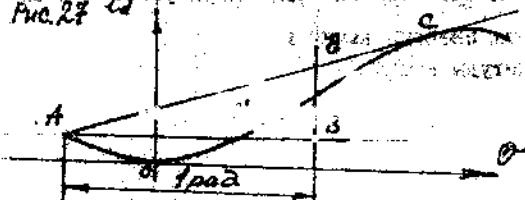


Рис. 27 а.

Из точки B откладывается перпендикуляр до пересечения прямой AE в точке E . Отрезок BE равен исходному опрокидывающему моменту, если по оси координат ДД определяются работы, или плечу опрокидывающего момента, если по оси определяются плечи динамической стойчивости.

11. КРИТЕРИИ ОСТОЙЧИВОСТИ

11.1. Критерий погоды

I. Остойчивость судов неограниченного и ограниченного районов плавания I и II считается удовлетворительной по критерию погоды, если динамически приложенный креновый момент от давления ветра M_v развен или меньше опрокидывающего момента M_o , т.е. если соблюдаены условия $M_v \leq M_o$ или $K = \frac{M_o}{M_v} \geq 10$

(20)

2. Расчет кренового момента.

Креновый момент M_v принимается равным произведению давления ветра P_v на площадь парусности A_v и на отстояние центра парусности от плоскости действующей ветеринации:

$$M_v = P_v A_v Z \text{ в кн}\cdot\text{м}$$

$$\text{или } M_v = 9001 \cdot P_v A_v Z \text{ в кн}\cdot\text{м}$$

Креновый момент принимается постоянным за весь период нахождения судна.

Давление ветра P_v выбирается по таблице приведенной в Правилах классификации и постройки морских судов (Регистра СССР).

Давление ветра P_v , кг/м²

Район плавания судна	95,10	152,0	153,0	153,0	153,0	153,0	153,0	153,0	153,0	153,0	
Неограниченный	-	72	80	88	94	99	103	107	110	113	116
Ограниченный		0,57	0,67	0,77	0,87	0,97	1,07	1,17	1,27	1,37	1,47
Страниценный		0,276	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Такое давление ветра на судно можно найти по формуле:

$$P_v = C \frac{V_w^2}{18}, \text{ в кгс/м}^2$$

где V_w - скорость ветра в м/сек

C - безразмерный коэффициент

$C = 1,3$

Максимальный огибающий момент определяется или по ДСО (раздел 5.6) или по ДД (раздел 10.3). При этом амплитуду качки можно брать или фактическую или расчетную по методике, принятой в Правилах Регистра СССР, в зависимости от размерной, метацентрической высоты и наличия судовых ящиков. Околоводные ящики уменьшают амплитуду качки в 1,5-1,8 раза. Снижение расчетной амплитуды качки приведет к увеличению огибающего момента - также остойчивости. В связи с громоздкостью таблиц и износом материалов для определения амплитуды качки не приведены. При необходимости их можно найти на стр.305 Правил классификации и постройки морских судов Регистра СССР издания 1983г., таблицы 8.13.1-14, 13.1-3.

Примечание: Давление ветра в расчетной амплитуде качки применяется для широкомасштабного критерия погоды в типовых случаях загрузки судна при его проектировании и составлении информации об остойчивости. При проверке фактической остойчивости судна используется фактическая амплитуда качки и давление ветра, определяемое по формуле (82). Остальные критерии относятся к параметрам диаграммы статической остойчивости.

II.2. Диаграммы статической остойчивости

Максимальное плечо диаграммы статической остойчивости должно быть

$$\begin{aligned} l_{max} &\geq 0,25 \text{ м для судов длиной } < 80 \text{ м} \\ l_{max} &\geq 0,20 \text{ м для судов длиной } > 100 \text{ м} \end{aligned}$$

при угле крена $\sigma_m > 30^\circ$

Для промежуточных длин величина σ_{max} определяется линейной интерполяцией.

Предел положительной статической остойчивости (закат диаграммы) должен быть не менее 60° .

Судно должно удовлетворять перечисленным требованиям при учете в ДСО полозам на свободные поверхности. При этом учитываются цистерны, рекомендуемые для этой цели в информационной об остойчивости. Обычные остатки жидких грузов в опорожненных цистернах в расчетах не учитывается.

Судам, не удовлетворяющим настоящим требованиям по углу заката диаграммы вследствие ее обрыва при угле залывания, может быть разрешено плавание лишь как для судов ограниченного района плавания в зависимости от выдерживаемого ветрового давления при проверке остойчивости по критерию погоды.

Не выполнение указанных критериев в типовых случаях нагрузки судна также влечет за собой сокращение района плавания, может вызвать применение к судну и других эксплуатационных ограничений (например, скорости выхода судна на широкую, сокращение числа пассажиров и т.д.).

II.3. Метацентрическая высота

Изломенные выше критерии: критерий погоды, максимальное плечо ДСО, угол максимума σ_m , угол заката - относятся к остойчивости судна на больших углах крена. Критериям остойчивости на малых углах является начальная метацентрическая высота.

Исправленная м.п.высота всех судов при всех вариантах нагрузки должна быть положительной. Для всех судов, за исключением рыболовных и промысловых, случаи отрицательной начальной м.п.высоты для варианта нагрузки "судно порожнее" являются в каждом случае предметом специального рассмотрения Регистром.

Для всех судов при варианте нагрузки "судно порожнее" допускается определять начальную м.п.высоту с учетом дифферента.

Исправленная начальная м.ц. высота, включая "судно порожнем" должна быть не менее 0,05м или 0,003 ширины судна, смотря по тому, что больше.

$$\begin{aligned} h_0 &\geq 0,05 \text{м} \quad \text{или} \\ h_0 &\geq 0,003 B \end{aligned}$$

II.4. Особые требования к рыболовным, промысловым и судам спец. назначения.

По Правилам Регистра СССР остойчивость судов должна проверяться по критерию погоды при следующем варианте нагрузки: судно на промысле без улова в трюмах с открытыми люками, с уловом и мокрыми сетями на палубе, с 25% запасов и полной нормой льда и соли. Для судов, выбирающий сети и улов при помоле грузовых стрел, следует также учитывать подвешенный к стреле груз, равный грузоподъемности с стрелой. Количество улова на палубе должно предусматриваться проектом и быть отражено в Информации об остойчивости.

Амплитуда качки судна при этом варианте нагрузки принимается равной 10° , а угол хранения, при котором кончик грузового люка входит в воду, рассматривается как угол заливания судна через отверстие, считающееся открытым.

Давление ветра принимается для судов с неограниченным районом плавания - по нормам ограниченного района плавания I, для судов ограниченного района I - по нормам ограниченного района II.

Диаграмма статической остойчивости, ограниченная углом заливания может не удовлетворять требованиям, указанным выше.

II.5. Дополнительные требования к остойчивости судов, на которые распространяются требования "Демаже на отсеки".

"на судах, на которые распространяются требования части У "Правил классификации и постройки морских судов" "Демаже на отсеки", остойчивость - ненагруженная остойчивость должна быть достаточной для того, чтобы в аварийных условиях она удовлетворяла эти требования".

12. Требования к элементам остойчивости поврежденного судна

1. Начальная м.ц. высота судна в конечной стадии затопления в ненагруженном положении должна быть до принятия мер по ее увеличению не менее 0,05м.

2. Угол хранения в конечной стадии несимметричного затопления при принятии мер по спрямлению судна и до срабатывания переборок не должны превышать:

15° - для пассажирских судов

20° - для невпассажирских

Угол хранения при несимметричном затоплении и после принятия мер по спрямлению судна и после срабатывания переборок не должен превышать:

10° - для пассажирских судов

и затоплением одного любого отсека,

12° - для невпассажирских судов

3. Аварийная ватерлиния после спрямления судна, а для случаев спрямления не приводится - после затопления, должна проходить по палубе переборок вне района затопления.

Для невпассажирских судов допускается вход в воду палубы переборок и даже открытой палубы.

4. ДСО поврежденного судна должно иметь достаточную площадь участков с положительными плечами. При этом в конечной стадии затопления без учета срабатывания переборок, а также после затопления судна необходимо обеспечивать значение максимального угла ДСО не менее $+0,1m$, прогибность части ДСО с положительными плечами (с учетом угла заливания)

$\Rightarrow 30^\circ$ - при симметричном

$\Rightarrow 20^\circ$ - при несимметричном затоплении

5. Аварийная ватерлиния до и в процессе спрямления должна проходить по крайней мере на 0,3м выше отверстий в переборках палубах и бортах, через которые возможно дальнейшее распространение воды по судну.

6. Время спрямления судна для выполнения вышеизложенных условий не должно превышать 10мин. Для невпассажирских судов максимально допустимое время спрямления устанавливается по согласованию с Регистром в зависимости от типа судна.

Средства для ограничения судна после аварии должны быть одобрены Регистром и должны быть по возможности автоматическими. наличием управляемых перегородок посты управления клинке должны располагаться выше палубы переборок.

Некоторые факторы, отрицательно влияющие на остойчивость:

1. Влияние на остойчивость подвешенных грузов.

Не зависимо от того, на какую высоту поднят груз, погружение его равносильно перемещению точки подвеса.

Изменение начальной М.Ц. высота

$$\Delta h = - \frac{P \cdot L}{\Delta}$$

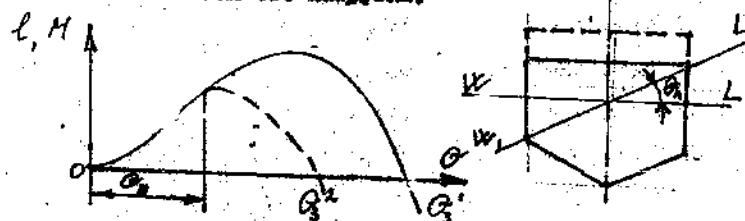
где L - возвышение точки подвеса груза над прежним положением его Ц.Т.,

Δ - водоизмещение судна;

P - вес груза.

2. Изменение водонепроницаемости надводного борта

- выше внутренней непроницаемой палубы эквивалентно изменению высоты борта без изменения его нагрузки.



Уменьшение высоты борта начинает оказывать влияние при крене, превышающем угол входа в воду α_N (угол наклона нижней палубы), не меняя начальной, но уменьшает запас остойчивости на больших углах крена.

Отсюда следуют два важных практических вывода:

- поддержание непроницаемости надводного борта и палуб жизненно необходимо для обеспечения остойчивости судна на больших наклонениях,
- увеличение высоты надводного борта является весьма эффективным средством улучшения мореходности судна, позволяющим при небольшой начальной остойчивости, т.е. при сохранении плавной качки,

обеспечить хорошую остойчивость на больших наклонениях.

3. Влияние на остойчивость жидких грузов со свободными поверхностями.

Жидкий груз отличается от такого же по массе и по координатам ЦГ жидкого груза способностью передвигаться при наклонении.

Для судна, плавающего в исходном положении без крена и дифферента, поправка к начальной М.Ц. высоте, учитывающая передвижение жидкого груза:

$$\Delta h = - \frac{V_m \cdot L_x}{\Delta}, \text{ где}$$

V_m - удельный вес жидкого груза,

L_x - момент инерции свободной поверхности относительно продольной оси, Δ - водоизмещение судна.

Для изменений прямоугольного сечения собственный момент инерции

$$I_x = \frac{L \cdot b^3}{12}, \quad \text{где } L - \text{длина плавения,}$$

$$b - \text{ширина плавания.}$$

$$I_x = \frac{L \cdot b^3}{36}.$$