

Федеральное агентство морского и речного транспорта
Федеральное государственное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
Волжская государственная академия водного транспорта

Кафедра проектирования и технологии постройки судов

Е.П. Роннов

ПРОВЕРКА ОСТОЙЧИВОСТИ СУДОВ ВНУТРЕННЕГО ПЛАВАНИЯ

Методические указания
по проверке остойчивости судов
при выполнении разделов курсовых и дипломных проектов
студентами всех специальностей

Нижний Новгород
Издательство ФГОУ ВПО «ВГАВТ»
2009

УДК 629.122.456.2.001.63

Р 71

Роннов, Е.П.

В работе приведена последовательность выполнения расчетов по проверке остойчивости речных водоизмещающих судов в соответствии с требованиями Правил Российского Речного Регистра.

Для определения плеч статической остойчивости излагаются приближенные методы, основанные на статических материалах об остойчивости судов-прототипов.

Указания предназначены для использования при выполнении соответствующих разделов в курсовых проектах по дисциплинам «Проектирование судов» и «Теория и устройство судна».

Ил. , табл. , библиогр. назв.

Работа рекомендована к изданию кафедрой проектирования и технологии постройки судов (протокол № 7 от 18.05.09 г.).

© ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2009

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Нормирование остойчивости судов служит цели обеспечения необходимой и достаточной остойчивости для безопасного плавания при различных метеорологических явлениях или допустимого положения судна относительно поверхности воды с точки зрения его нормальной эксплуатации.

Проверка остойчивости выполняется по Правилам классификации и постройки судов внутреннего плавания, часть I, гл. 12 – Остойчивость [1]. В соответствии с ними судно признается остойчивым, если при всех состояниях нагрузки, установленных Правилами, удовлетворяет основному критерию остойчивости, дополнительным требованиям, принимаемым в зависимости от типа и назначения судна, требованию к начальной остойчивости.

Изложенная ниже методика применима ко всем судам, находящимся в водоизмещающем состоянии. Полнота ее распространения к глиссерам, судам на подводных крыльях и воздушной подушке, при их движении в водоизмещающем режиме, а также катамаранам и прочим судам и плавающим сооружениям в каждом отдельном случае согласовывается с преподавателем.

В курсовом проекте проверку остойчивости, если не выдвинуты руководителем дополнительные требования, допускается проводить только для одного случая нагрузки – судно в полном грузу.

1.1. Требования к остойчивости

Остойчивость считается достаточной, если при наиболее неблагоприятных случаях загрузки судно от действия кренящего момента наклонится на угол, не превышающий допустимого.

Обычно остойчивость оценивается путем сравнения действующего кренящего момента (внешней нагрузки) с кренящим моментом, необходимым для наклонения судна на величину допустимого угла крена $\theta_{\text{доп}}$. Последний принято называть допустимым моментом $M_{\text{доп}}$. Исходя из этого, для остойчивого судна должно выполняться неравенство

$$M_{\text{кр}} \leq M_{\text{доп}} .$$

Кренящий момент определяется внешней нагрузкой, регламентируемой Правилами Речного Регистра в зависимости от класса судна и его назначения. Так для всех судов по основному критерию величина $M_{кр}$ определяется от динамического действия ветра на надводную часть судна. При проверке остойчивости по дополнительным требованиям к судам различных типов рассматриваются кренящие нагрузки: от скопления пассажиров на одном борту; от действия инерционных и гидродинамических сил в эволюционный период циркуляции; от статического действия сил давления ветра, рывка буксирного троса и т.п.

Допустимый момент, как внешний момент, кренящий судно на величину допустимого угла крена, принимается, согласно условия равновесия, равным восстанавливающему моменту, возникающим при этом угле наклона. Он зависит от геометрических характеристик корпуса судна, координат его центра тяжести и определяется с использованием диаграмм плеч статической и динамической остойчивости.

Предельным при проверке остойчивости по основному критерию является наклонение судна до углов опрокидывания или заливания через открытые отверстия, т.е. до углов, обуславливающих безопасность плавания судов.

При проверке остойчивости по дополнительным требованиям $M_{доп}$ определяется также по диаграммам, однако допустимые углы наклона $\theta_{доп}$, $\theta'_{доп}$, $\theta''_{доп}$ соответственно при динамическом, статическом и совместном действии кренящего момента назначаются не столько из соображений безопасности судна, сколько из стремления обеспечения нормальных условий эксплуатации судна. Поэтому они, как правило, меньше углов опрокидывания или заливания. В этом случае обеспечивается, так называемая, эксплуатационная остойчивость.

2. ПРОВЕРКА ОСТОЙЧИВОСТИ ПО ОСНОВНОМУ КРИТЕРИЮ

Согласно основному критерию остойчивость судна считается достаточной, если оно при плавании на спокойной воде или на волнении (в соответствии с классом судна) выдерживает динамически приложенное давление ветра. Это означает, что от действия на судно указанного ветра оно не получит крен, превышающий допустимый угол $\theta_{\text{доп}}$, за который принимается угол опрокидывания судна или угол заливания, исходя из того, какой из этих углов меньше, т.е. если выполняется условие

$$M_{\text{кр}} \leq M_{\text{доп}} \quad (1)$$

где $M_{\text{кр}}$ – кренящий момент от динамического действия ветра, кН·м; $M_{\text{доп}}$ – предельно допустимый момент при динамических наклонениях, кН·м, определяемый для судов классов «М-СП», «М», «О», «Р» (если последние допускаются к плаванию в бассейнах разряда «О») с учетом бортовой качки судна.

2.1. Определение кренящего момента от динамического действия ветра

Кренящий момент от динамического действия ветра на судно определяется по формуле, кН·м,

$$M_{\text{кр}} = 0,001 p S z . \quad (2)$$

где p – условное расчетное динамическое давление ветра, Па; S – площадь парусности судна при средней осадке по действующую ватерлинию, м²; z – приведенное плечо кренящей пары при одновременных крене и боковом дрейфе судна, м.

Под площадью парусности понимается площадь проекции надводной части судна на его диаметральную плоскость, вычисляемая по действующую ватерлинию с помощью чертежа общего расположения или эскиза бокового вида судна (рис. 1), если чертежа еще нет. Эскиз бокового вида судна разрабатывается на миллиметровке в масштабе 1:200 или 1:100, в зависимости от размеров судна. Эта

площадь рассчитывается как сумма площадей проекций всех сплошных поверхностей корпуса, надстроек и рубок, дымовых труб, палубных грузов и др. Парусность несплошных поверхностей элементов судна (лееров, крановых ферм решетчатого типа, рангоута, такелажа и т.д.) приближенно может учитываться путем увеличения на 5% площади парусности сплошных поверхностей и на 10% ее статического момента относительно плоскости судна.

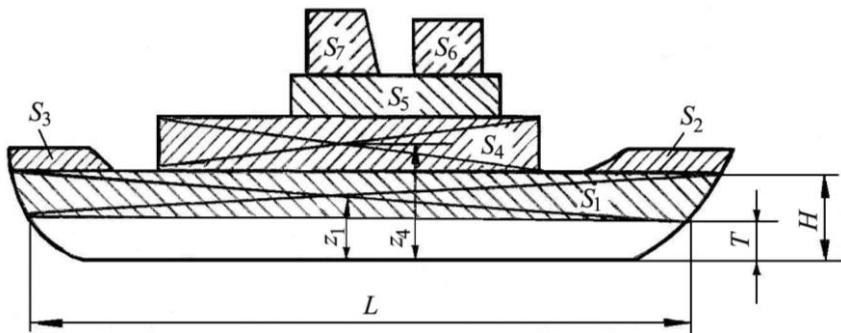


Рис. 1. Эскиз бокового вида судна

Площадь парусности судна S и возвышение центра парусности над основной плоскостью z_n рассчитывается в табличной форме (табл. 1).

При расчете в табл. 1 величины суммарной площади парусности $\sum S_i$ в нее следует включать все площади, составляющие парусность судна, а не ограничиваться их перечнем, приведенным выше в указанной таблице. Например, если рассматривается судно с 3-х или 4-х ярусной надстройкой, то соответственно надо учесть их площадь парусности. Площади проекций элементов судна расположенных отдельно и имеющих обтекаемую форму (дымовые трубы, вентиляторы и т.п.) следует принимать с коэффициентом обтекания 0,6.

Таблица 1

**Определение площади парусности и возвышения ее ЦТ
над основной плоскостью**

Наименование площади	Площадь м ²	Возвышение ЦТ площади над основной плоскостью, м	Статический момент
Надводный борт	S_1	z_1	$S_1 \cdot z_1$
Фальшборт в носу	S_2	z_2	$S_2 \cdot z_2$
Фальшборт в корме	«	«	«
Надстройка 1-го яруса	«	«	«
Надстройка 2-го яруса	«	«	«
Рубка	«	«	«
Труба	«	«	«
Груз на палубе	«	«	«
«	«	«	«
«	«	«	«
«	«	«	«
Сумма	$\Sigma' S_i$	—	$\Sigma' S_i \cdot z_i$
5% от суммы и 10% от суммы	$0,05 \Sigma' S_i$	—	$0,1 \Sigma' S_i \cdot z_i$
Всего	$S = \Sigma S_i$	$z_n = \frac{\Sigma S_i \cdot z_i}{\Sigma S_i}$	$\Sigma S_i \cdot z_i$

Центры тяжести z_i отдельных площадок S_i , на которые разбивается площадь парусности, принимаются в геометрических центрах этих фигур. Возвышение центра парусности над основной плоскостью определяется по формуле, м,

$$z_n = \frac{\Sigma S_i \cdot z_i}{\Sigma S_i} . \quad (3)$$

Условное расчетное динамическое давление ветра принимается в соответствии с классом судов по табл. 2 в зависимости от возвышения центра парусности над плоскостью действующей ватерли-

нии^{*)} при средней осадке T , соответствующей принятому в данном расчете водоизмещению судна, т.е. в зависимости от величин

$$z_T = z_n - T, \quad (4)$$

где z_n – возвышение центра парусности над основной плоскостью судна, м.

Приведенное плечо кренящей пары при динамическом действии ветра на судно вычисляется по формуле, м,

$$z = z_T + a_1 a_2 T, \quad (5)$$

где z_T – возвышение центра парусности над плоскостью действующей ватерлинии, м; T – средняя осадка по действующую ватерлинию, т.е. осадка, соответствующая расчетному (в данной проверке) водоизмещению судна, м; $a_1 a_2$ – коэффициенты учитывающие влияние сопротивления воды боковому дрейфу судна и сил инерции на плечо кренящей пары. Определяются в зависимости от отношения B / T и z_g / B (где z_g – возвышение центра тяжести) по таблицам 3 и 4 соответственно.

Таблица 2

Условное расчетное динамическое давление ветра

Класс судна	Значения условного расчетного динамического давления ветра p , Па при возвышении центра парусности z_T (м)								
	$\leq 0,5$	1,00	1,50	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	$\geq 6,0$
«М»	177	196	215	235	255	266	284	304	324
«О»	157	177	196	216	235	245	265	284	304
«Р» и «Л»	127	147	167	186	207	206	235	255	275

Таблица 3

Значения коэффициента a_1

В/Т	$\leq 2,5$	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	≥ 10
a_1	0,40	0,41	0,46	0,60	0,81	1,00	1,20	1,28	1,30

^{*)} При пользовании таблицами 2–19 все промежуточные значения определяются линейной интерполяцией.

Значения коэффициента a_2

z_g / B	$\leq 0,15$	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45
a_2	0,66	0,58	0,46	0,34	0,22	0,10	0

2.2. Расчет угла заливания и амплитуды плеча

2.2.1. Одним из важнейших параметров судна с точки зрения его остойчивости является угол заливания. Под углом заливания $\theta_{\text{зал}}$ понимается наименьший угол крена, при достижении которого начинается заливание водой внутренних помещений судна через отверстия, считающиеся открытыми. К открытым относят отверстия, не имеющие прочных водонепроницаемых закрытий в главной палубе или бортах корпуса, а также в палубах, бортах и переборках надстроек и рубок. При этом следует иметь в виду, что люковые вырезы на палубах, как правило, обрамлены комингсами, высота которых определяется по Правилам Речного Регистра. Кроме того, оборудование грузовых теплоходов водонепроницаемыми люковыми закрытиями исключает попадание в грузовые трюмы воды.

Необходимо также учитывать, что при проверке остойчивости по основному критерию створчатые открывающиеся иллюминаторы, люки и двери (водонепроницаемые) считаются закрытыми отверстиями. Во всех остальных случаях створчатые иллюминаторы, водонепроницаемые люки и двери считаются открытыми отверстиями. Это означает, что угол заливания при проверке остойчивости одного и того же судна по основному критерию и по дополнительным требованиям может иметь различные значения.

Величина угла заливания может быть найдена по выражению

$$\theta_{\text{зал}} = \text{arc tg } \frac{K}{B_1} \quad (6)$$

с использованием для определения величин K и B_1 эскиза поперечного сечения судна в районе, наиболее неблагоприятном с точки зрения заливаемости. Эскиз, выполненный на миллиметровке в масштабе 1:100, включается в пояснительную записку по проекту.

Некоторые из возможных вариантов таких эскизов приведены на рис. 2, где показано:

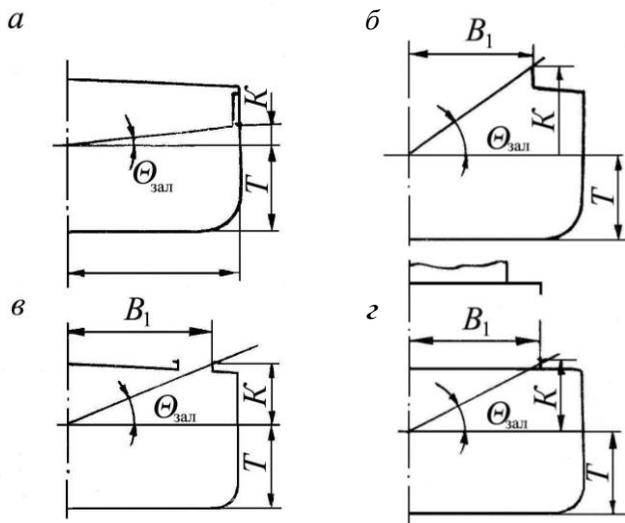


Рис. 2. К определению угла заливания:

а – через бортовой иллюминатор; *б* – через комингс грузового люка; *в* – через комингс палубного люка; *г* – через комингс двери в стенке надстройки

а) угол заливания $\theta_{\text{зал}}$, при котором вода попадает внутрь корпуса через незакрытые отверстия в борту. Примером таких отверстий могут быть непроницаемые створчатые открывающиеся иллюминаторы в жилых и служебных помещениях, расположенных в корпусе. В этом случае угол, определенный по выражению (6), может быть принят за $\theta_{\text{зал}}$ только при проверке остойчивости по дополнительным требованиям;

б) $\theta_{\text{зал}}$ – по углу входа в воду верхней кромки комингса грузового трюма, необорудованного водонепроницаемым люковым закрытием;

в) $\theta_{\text{зал}}$ – по углу входа в воду кромки комингса отверстия в палубе, например, люка, ведущего в ахтерпик или другое помещение, расположенное в корпусе. Если данный люк имеет закрытие водонепроницаемого типа, то угол $\theta_{\text{зал}}$ в этом случае следует учитывать только в дополнительных требованиях к остойчивости;

г) $\theta_{\text{зал}}$ – по углу входа в воду кромки отверстий в надстройке. Чаще всего такими отверстиями являются окна и наружные двери. При этом если дверь водонепроницаемого типа, то при проверке остойчивости по основному критерию $\theta_{\text{зал}}$ определяется по нижней кромке оконного выреза, а при проверке по дополнительным требованиям – по комингсу двери.

2.2.2. Расчетные амплитуды бортовой качки θ_m град. для судов соответствующего класса, корпус которых имеет закругленную скулу и не снабжен скуловыми киями (или брусковым килем), принимаются по табл. 5 в зависимости от значения m , которое определяется по формуле, с⁻¹

$$m = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 \quad (8)$$

где m_1, m_2, m_3 – множители, определяемые, как указано ниже.

Таблица 5

Расчетные амплитуды бортовой качки

Класс судна	Расчетные амплитуды бортовой качки θ_m , град, при m							
	0,40	0,60	0,80	1,0	1,20	1,40	1,60	1,80
«М»	14	18	24	28	30	31	31	31
«О»	9	10	13	17	20	23	24	24
«Р»	5	5	6	8	10	13	15	16

Если значения величин m получаются больше приведенных в табл. 5, то должна приниматься наибольшая расчетная амплитуда качки для судов данного класса.

Значение множителя m_1 , характеризующего частоту собственных колебаний судна (на тихой воде), определяется по формуле с⁻¹,

$$m_1 = \frac{m_0}{\sqrt{h_0}} \quad (9)$$

где h_0 – метацентрическая высота, соответствующая данному состоянию нагрузки и вычисляемая без учета поправки на влияние свободной поверхности жидких грузов, м; m_0 – величина, принимаемая по табл. 6 в зависимости от параметра

$$n_1 = \frac{h_0 / \sqrt[3]{D}}{z_g / B} = \frac{h_0}{\sqrt[3]{V}} \cdot \frac{B}{z_g} . \quad (10)$$

Здесь V – водоизмещение судна при средней осадке, T , m^3 ; B – расчетная ширина судна, м.

Таблица 6

Значения множителя m_1

n_1	$\leq 0,1$	0,15	0,25	0,50	0,75	1,00	1,50	2,00	2,50	$\geq 3,0$
m_1	0,42	0,52	0,78	1,38	1,94	2,40	3,00	3,30	3,50	3,60

Значения безразмерных множителей m_2 и m_3 , учитывающих влияние формы корпуса на амплитуду бортовой качки, принимаются по таблицам 7 и 8 в зависимости от отношения B/T и коэффициента полноты водоизмещения δ соответственно.

Таблица 7

Значения множителя m_2

B/T	$\leq 2,50$	3,00	3,50	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	$\geq 10,00$
m_2	1,00	0,90	0,81	0,78	0,81	0,87	0,92	0,96	0,99	1,00

Таблица 8

Значения множителя m_3

δ	$\leq 0,45$	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	$\geq 0,80$
m_3	1,00	0,95	0,86	0,77	0,72	0,69	0,67	0,66

2.2.3. Расчетные амплитуды бортовой качки θ'_m для судов со скуловыми килями (или брусковым килем) определяются по формуле, град,

$$\theta'_m = k \theta_m \quad (11)$$

где θ'_m – амплитуда бортовой качки для судна без килей, полученная по табл. 5; k – поправочный коэффициент, характеризующий

уменьшение амплитуды бортовой качки судна в результате установки килей, принимается по табл. 9 в зависимости от величины

$$g = r\alpha\sqrt{B}. \quad (12)$$

Здесь α – коэффициент полноты площади действующей ватерлинии; r – множитель, учитывающий возрастание сопротивления воды бортовой качки судна, обусловленное установкой килей, и определяемый по формуле, м,

$$r = (r_1 + r_2) r_3. \quad (13)$$

Величина r_1 , характеризующая эффективность действия скуловых килей, принимается по табл. 10 в зависимости от отношения

$$\frac{100 \cdot S_k}{L \cdot B} \%,$$

где L и B – длина и ширина судна по действующую ватерлинию.

Площадь скуловых килей S_k , м² (суммарная на оба борта), следует определять по эскизу на миделе, а протяженность их – по теоретическому чертежу или чертежу общего вида. Скуловые кили следует проектировать так, чтобы они не выступали за линии, являющиеся продолжением линий днища и борта. Приблизительно длина скуловых килей может быть принята равной $(0,5 \div 0,6) L$.

Таблица 9

Поправочный коэффициент k

g	0	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	$\geq 8,00$
k	1,00	0,95	0,85	0,77	0,72	0,68	0,65	0,63	0,62

Для судов с брусковым килем под величиной S_k , м², понимается площадь боковой проекции кила.

Таблица 10

Значения сомножителя r_1

$\frac{100 \cdot S_k}{L \cdot B} \%$	0,70	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	3,50	$\geq 4,00$
r_1	0,14	0,24	0,44	0,68	0,94	1,20	1,48	1,66

Значения величин r_2 и r_3 , учитывающих влияние формы корпуса судна на эффективность действия скуловых килей, определяются соответственно по таблицам 11 и 12 в зависимости от коэффициента полноты водоизмещения δ и отношения B/T .

Таблица 11

Значения множителя r_2

δ	$\leq 0,45$	0,50	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	$\geq 0,85$
r_2	0	0,06	0,18	0,35	0,51	0,65	0,71	0,68	0,64

Таблица 12

Значения множителя r_3

B/T	$\leq 2,5$	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	$\geq 10,00$
r_3	1,40	1,48	1,58	1,83	2,00	2,13	2,34	2,50	2,60

2.3. Построение диаграмм плеч статической и динамической остойчивости

Определение величин предельно допустимых моментов выполняется с использованием диаграмм плеч статической и динамической остойчивости. Диаграммы должны быть построены с учетом требований, предъявляемых к ним Правилами Регистра [1]. Полнота выполнения этих требований согласовывается с преподавателем.

Известно, что плечо статической остойчивости ℓ равняется

$$\ell = \ell_{\phi} - \ell_{\text{в}}, \quad (14)$$

где ℓ_{ϕ} – плечо остойчивости формы; $\ell_{\text{в}}$ – плечо остойчивости веса.

Определение плеч остойчивости веса производится по формуле

$$\ell_{\text{в}} = (z_g - z_c) \sin \theta. \quad (15)$$

Плечо остойчивости формы находится

$$\ell_{\phi} = y_c \cos \theta + (z_c - z_{c0}) \sin \theta, \quad (16)$$

где y_c, z_c – координаты центра величины для равнообъемной ватерлинии, образующей с начальной ватерлинией угол θ , z_{c0} – аппликата центра величины при $\theta = 0$.

Координаты y_c и z_c являются в свою очередь функциями угла крена:

$$\begin{aligned} y_c &= \int_0^{\theta} r_{\theta} \cos \theta \alpha \theta \\ z_c &= \int_0^{\theta} r_{\theta} \sin \theta d \theta, \end{aligned} \quad (17)$$

где r_{θ} – метацентрический радиус при угле крена θ .

Плечо динамической остойчивости равняется

$$d = \int_0^{\theta} \ell d \theta. \quad (18)$$

Разработанные в теории корабля расчетные методы достаточно строго определяют величину r_{θ} , а затем ℓ и d . Трудоемкость этих расчетов в настоящее время существенно сокращена благодаря привлечению к их выполнению вычислительной техники. При проверке остойчивости в курсовом и дипломном проектах, когда теоретический чертеж уже разработан, расчет плеч статической и динамической остойчивости рекомендуется выполнять на ЭВМ, используя имеющиеся стандартные программы.

При выполнении предварительных расчетов, когда теоретический чертеж отсутствует, величины плеч ℓ и d можно определить на основе известных приближенных способов [2]. Для судов внутреннего плавания рекомендуется способ, использующий данные об остойчивости судов-прототипов.

Необходимый для определения координат центра величины метацентрический радиус r_{θ} при наклонении судна на угол θ можно найти по формуле

$$r_{\theta} = K_{\theta} \cdot r_0, \quad (19)$$

где K_{θ} – коэффициент метацентрического радиуса при различных наклонениях, определяемый по прототипу; r_0 – метацентрический

радиус при $\theta = 0$ – приближенно может быть определен по формуле Фан-дер-Флита:

$$r_0 = \frac{B^2}{11,4T} \cdot \frac{\alpha^2}{\delta} . \quad (20)$$

Рассчитываются наиболее характерные значения радиусов при наклонениях на 30, 50, 70 градусов, а также при наклонении на угол θ_b соответствующий минимальному из двух значений: углу входа в воду палубы $\theta_{вн}$ или выхода скулы из воды $\theta_{вс}$.

Расчетные значения малых метацентрических радиусов получают по выражениям:

$$\begin{aligned} r_b &= K_b \cdot r_0 ; & r_{30} &= K_{30} \cdot r_0 ; \\ r_{50} &= K_{50} \cdot r_0 ; & r_{70} &= K_{70} \cdot r_0 . \end{aligned} \quad (21)$$

Величина коэффициентов метацентрических радиусов K_θ принимается по данным об остойчивости судна-прототипа, приведенным в табл. 13. В этом случае, если в таблице отсутствует принятое ранее судно-прототип, его следует выбрать из числа приведенных, исходя при этом из одинакового архитектурно-конструктивного типа и возможно близких величин θ_b , \bar{B} и Ψ проектируемого судна и судна-прототипа.

В случае невозможности выбора прототипа по данным табл. 13 для определения K_θ грузовых судов можно воспользоваться способом, изложенным в [3]. В соответствии с ним коэффициент метацентрического радиуса при указанных выше углах крена определяется по формуле

$$K_\theta = \frac{0,5\delta + 0,415 \frac{B_\theta}{B}}{1,05 \alpha^2 \cdot B^3} \left(\bar{B}_\theta^2 + 12 \eta_\theta \right) \quad (22)$$

где δ , α – коэффициент полноты водоизмещения и площади действующей ватерлинии; B_θ – ширина наклонной ватерлинии, соответствующей углу крена судна θ , м; B – расчетная ширина по действующую осадку, м; η_θ – функция, характеризующая расстояние между центральными осями действительной и вспомогательной ватерлиний при наклонении судна на угол крена θ , м.

Значения коэффициентов метацентрических радиусов судов внутреннего плавания

№ п/п	Наименование судов, главные размеры (L×B×H×T, м)	$\Psi = \frac{\delta}{\alpha}$	$\bar{B} = \frac{B}{H}$	Θ_B^0	K_B	K_{30}	K_{50}	K_{70}
1	Пасс. т/х «Севаст» пр. 646 62,0×9,40×3,70×1,90	0,753	2,55	22	1,060	0,528	0,210	0,137
2	Пасс. т/х «Хабаров Е.» пр. 860 74,6×10,50×3,40×1,30	0,885	3,1	14	1,002	0,326	0,100	0,050
3	Пасс. т/х «ОМ» пр. 780 40,60×6,00×2,50×1,50	0,649	2,4	19	1,040	0,875	0,320	0,210
4	Пасс. т/х «Родина» пр. 588 90,00×11,60×4,30×2,20	0,714	2,7	20	1,002	0,410	0,150	0,080
5	Груз. т/х «Кипшнев» пр. 1572 117,00×15,00×6,50×5,00	0,893	2,3	12	1,050	0,786	0,370	0,216
6	Груз. т/х пр. 1706 97,35×14,00×5,00×3,00	0,829	2,8	17	1,030	0,437	0,100	0,068
7	Груз. т/х «Балтийский» пр. 781 92,00×13,00×5,50×3,24	0,878	2,37	20	1,140	0,678	0,222	0,120
8	Груз. т/х пр. 1707 115,00×14,00×5,00×3,20	0,922	2,8	15	1,040	0,378	0,120	0,054
9	Груз. т/х «Инженер Белов» пр. 570 112,00×15,00×6,50×2,80	0,9	2,31	22	1,111	0,780	0,335	0,202
10	Танкер «Волгонефть» пр. 1577 128,60×16,50×5,50×3,50	0,937	3,0	14	1,130	0,382	0,118	0,060
11	Танкер пр. P77 105,00×14,80×4,40×3,00	0,941	3,36	11	1,010	0,249	0,071	—
12	Толкач «Зеленодольск» пр. 749 3,60×9,00×3,50×2,00	0,731	2,57	20	1,001	0,58	0,100	—
13	Толкач «Маршал Блюхер» пр. 947 50,08×13,60×4,30×3,00	0,635	3,16	11	1,020	0,540	0,177	0,114
14	Букир «Красное Сормово» пр. 10 37,20×7,40×3,00×1,80	0,83	2,47	19	1,110	0,654	0,243	0,147
15	Ледолок «Волга» пр. 16 44,70×11,40×4,00×2,40	0,73	2,85	16	1,050	0,491	0,183	0,114

Величины B_θ и η_θ рассчитываются по следующим выражениям, учитывая фазу наклоения судна:

$$B_\theta = \begin{cases} \frac{B}{\cos \theta}; \\ \frac{B}{2} + \frac{T}{\operatorname{tg} \theta}; \\ \frac{\cos \theta}{\frac{B}{2} + \frac{H-T}{\operatorname{tg} \theta}}; \\ \frac{H}{\sin \theta}; \end{cases} \quad \eta_\theta = \begin{cases} 0, & \text{если } \theta_{\text{вс}} \geq \theta \leq \theta_{\text{вп}}; \\ \frac{B_\theta}{2} - \frac{T}{\sin \theta}, & \text{если } \theta_{\text{вс}} \leq \theta \leq \theta_{\text{вп}}; \\ \frac{B_\theta}{2} - \frac{H-T}{\sin \theta}, & \text{если } \theta_{\text{вс}} \geq \theta \geq \theta_{\text{вп}}; \\ \frac{B_\theta}{2} - \frac{T}{\sin \theta}, & \text{если } \theta_{\text{вс}} \leq \theta \geq \theta_{\text{вп}}. \end{cases} \quad (23)$$

где $\theta_{\text{вс}}$ – угол выхода скулы из воды, град.; $\theta_{\text{вп}}$ – угол входа палубы в воду, град.; T, H – осадка по действующую ватерлинию и высота борта судна, м.

Значения углов $\theta_{\text{вс}}$ и $\theta_{\text{вп}}$ определяется по очевидным выражениям

$$\theta_{\text{вп}} = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{2(H-T)}{B}, \quad (24)$$

$$\theta_{\text{вс}} = \operatorname{arc} \operatorname{tg} \frac{2T}{B}. \quad (25)$$

Рассчитав на основе полученных K_θ значения $r_0, r_{\text{в}}, r_{30}, r_{50}, r_{70}$ для проектируемого судна, следует построить графическую зависимость $r_0 = f(\theta)$, которая для водоизмещающих судов обычных типов имеет вид, показанный на рис. 3. максимум кривой соответствует минимальному из углов входа палубы в воду или выхода скулы из воды.

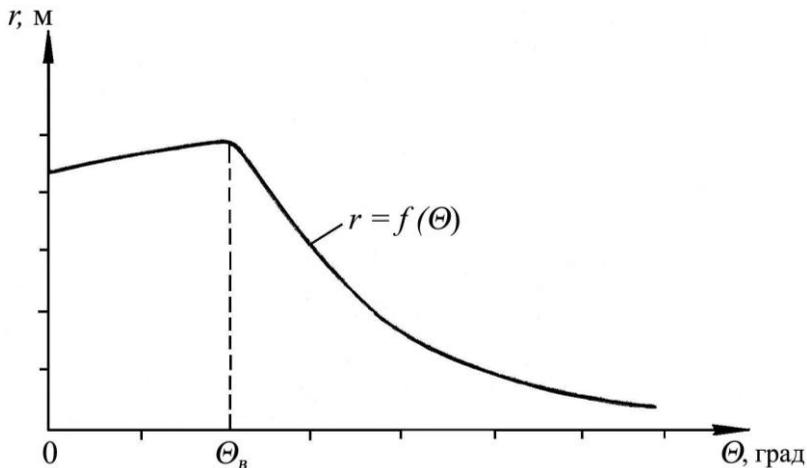


Рис. 3. Зависимость $r_0 = f(\theta)$

Снимая величины r_θ с графика $r = f(\theta)$ (см. рис. 3) при любых углах наклона, можно подсчитать значения плеч остойчивости формы, с последующим определением плеч статической и динамической остойчивости. Этот расчет производится в форме табл. 14. По полученным данным строятся диаграммы $\ell = f(\theta)$ и $d = f(\theta)$ на миллиметровке форматом А4.

Построенные на одном рисунке $\ell = f(\theta)$ и $d = f(\theta)$ следует проанализировать с точки зрения известных свойств, имеющих место у интегральных кривых. Кроме того, следует иметь ввиду, что для судов классов «М» максимальное плечо диаграммы статической остойчивости должно быть не менее 0,25 м, а угол заката диаграммы должен превышать 50° .

Таблица 14

Расчет плеч статической и динамической остойчивости

$$a = z_{g_0} - z_{c_0} = \dots \dots \dots \text{м}; \quad \frac{\Delta(\Theta)}{2} = 0,0873$$

Θ^0	$\sin(\Theta)$	$\cos(\Theta)$	r	$r \cos(\Theta)$	Интегральная сумма	$Y_c = \frac{\Delta(\Theta)}{2}$	$r \sin(\Theta)$	Интегральная сумма	$z_c - z_{c_0} = \frac{\Delta(\Theta)}{2}$	$Y_c \cos(\Theta)$	$(z_c - z_{c_0}) \sin(\Theta)$	$f^\phi =$ [11] + [12]	$f^a = a \cdot \sin(\Theta)$	$f =$ [13] - [14]	Интегральная сумма	$d = \frac{\Theta}{\Delta}$ [16]
1	0	1,000														
0	0,000	1,000														
10	0,174	0,985														
20	0,342	0,940														
30	0,500	0,866														
40	0,645	0,766														
50	0,766	0,643														
60	0,866	0,500														
70	0,940	0,342														

2.4. Определение предельно допустимого момента

Как указывалось ранее, величина предельно допустимого момента определяется значением кренящего момента, соответствующего предельно допустимому углу крена $\theta_{\text{доп}}$, за который при проверке остойчивости по основному критерию принимается угол заливания $\theta_{\text{зал}}$ или угол опрокидывания $\theta_{\text{опр}}$, смотря по тому, какой из этих углов меньше.

Предельно допустимый момент $M_{\text{доп}}$ может определяться с использованием диаграмм динамической остойчивости или диаграмм статической остойчивости.

Предельно допустимый момент при проверке остойчивости по основному критерию для судов классов «М-СП», «М», «О» и «Р» (если последние допускаются к плаванию в бассейнах разряда «О») определяется в результате построений, выполняемых с учетом влияния бортовой качки. Для этого диаграмма плеч динамической остойчивости при определении по ней момента $M_{\text{доп}}$ (рис. 4 и 5) продолжается в область отрицательных абсцисс на участке, несколько большем расчетной амплитуды качки θ_m , вычисленной по табл. 5 или по формуле (11). Далее от точки 0 (начала координат на рис. 4 и 5) по оси абсцисс откладывается амплитуда качки θ_m и вертикаль проведенная из нее, зафиксирует на диаграмме $d = f(\theta)$ точку A , которая в дальнейшем называется исходной. Через точку A проводится прямая AB , параллельная оси абсцисс.

Предельно допустимый момент $M_{\text{доп1}}$ по углу опрокидывания определяется следующим образом: из исходной точки A проводится касательная AK к правой ветви кривой плеч динамической остойчивости (см. рис. 4). Абсцисса точки касания K определит значение угла опрокидывания $\theta_{\text{опр}}$. На прямой AB от точки A откладывается отрезок, равный 1 рад ($57,3^\circ$). Из полученной таким образом точки восстанавливается перпендикуляр до пересечения с касательной AK . Полученный отрезок дает численное значение плеча $\ell_{\text{доп1}}$ искомого предельно допустимого момента, соответствующего угла опрокидывания судна. Величина самого момента определяется по выражению

$$M_{\text{доп1}} = D' \cdot \ell_{\text{доп1}}, \quad (26)$$

где D' – вес судна, соответствующий состоянию нагрузки, при котором производится расчет, кН.

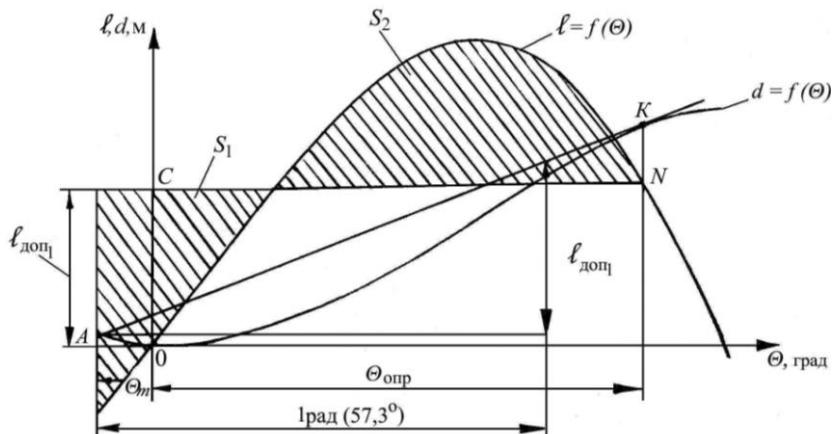


Рис. 4. К определению допускаемого момента по углу опрокидывания

Предельно допустимый момент $M_{\text{доп}2}$ по углу заливания (см. рис. 5) определяется следующим образом: на оси абсцисс диаграммы от начала координат (точки 0) откладывается значение угла $\theta_{\text{зал}}$. Из полученной точки восстанавливается перпендикуляр до пересечения с кривой плеч $d = f(\theta)$ в точке F . Далее из исходной точки A (см. рис.5) через точку F проводится секущая AF до пересечения в точке E с перпендикуляром BE , который должен быть восстановлен, как и в предыдущем случае, к отрезку AB , на расстоянии равном 1 рад ($57,3^\circ$) от точки A .

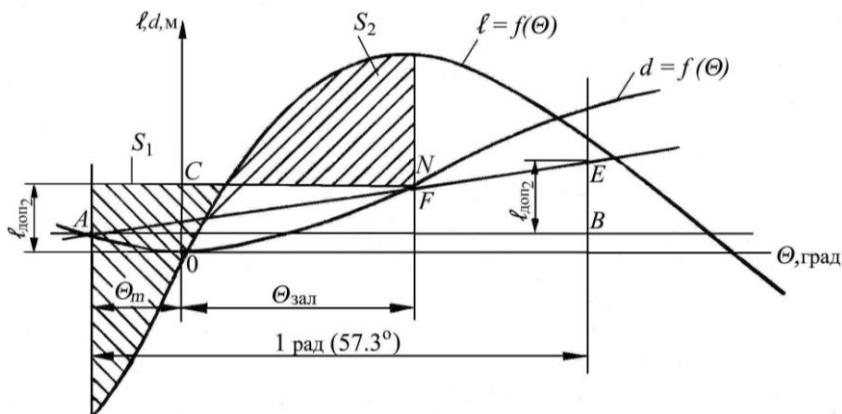


Рис. 5. К опрокидыванию допускаемого момента по углу заливания

Отрезок BE дает численное значение плеча $\ell_{\text{доп}2}$ искомого предельно допустимого момента, соответствующего углу заливания судна. Величина самого момента определяется по выражению

$$M_{\text{доп}2} = D' \cdot \ell_{\text{доп}2} \cdot \quad (27)$$

Предельно допустимые моменты $M_{\text{доп}1}$ и $M_{\text{доп}2}$ могут быть определены по диаграмме статической остойчивости, которая также зеркально продолжается до угла θ_m . В этом случае на диаграмме $\ell = f(\theta)$ подбирается по высоте положение прямой CN (см. рис. 4), параллельной оси абсцисс, исходя из условия обеспечения равенства заштрихованных на чертеже площадей S_1 и S_2 . Отрезок от оси абсцисс 0θ до горизонтали CN дает численное значение $\ell_{\text{доп}1}$, а величина $M_{\text{доп}1}$, вычисляется по формуле (26).

Аналогичный отрезок CN (см. рис.5) определяет численное значение плеча $\ell_{\text{доп}2}$ предельно допустимого момента по углу заливания.

Предельно допустимый момент при динамическом наклонении для судов классов «Р» и «Л» при проверке остойчивости по основному критерию определяется по диаграмме динамической или статической остойчивости в том же порядке, как было указано выше, но без учета влияния бортовой качки. В этом случае диаграммы

стойчивости не продолжают в области отрицательных абсцисс, и все построения проводятся только вправо от начала координат (точка 0).

Зная момент, кренящий судно от динамического действия ветра – $M_{кр}$ и предельно допустимые моменты по углу опрокидывания $M_{доп1}$ и углу заливания $M_{доп2}$ следует их сравнить. Тогда для судна, устойчивого по основному критерию, должны выполняться следующие условия

$$M_{кр} \leq M_{доп2} \text{ и } M_{кр} \leq M_{доп1}. \quad (28)$$

3. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ОСТОЙЧИВОСТИ

3.1. Пассажи́рские суда

3.1.1. Остойчивость должна быть достаточной в случае скопления пассажиров у одного борта, т.е. должно выполняться условие

$$M_{п} \leq M'_{доп}, \quad (29)$$

где $M_{п}$ – кренящий момент от скопления пассажиров у одного борта, кН·м.

$M'_{доп}$ – предельно допустимый момент при статических наклонениях судна (кН·м), рассчитывается по формуле

$$M'_{доп} = D' \cdot \ell'_{доп}.$$

Плечо $\ell'_{доп}$ определяется по диаграмме статической устойчивости в зависимости от предельно допустимого угла крена $\theta'_{доп}$ (рис. 6), град.

За величину угла $\theta'_{доп}$ принимается угол, равный $0,8\theta_{зал}$, или угол, при котором входит в воду кромка палубы или верхняя кромка обносов судна, смотря по тому, какой из этих углов меньше, но

он не должен превышать 10° . Для судов длиной менее 30 м угол $\theta'_{\text{доп}}$ не должен превышать 12° .

Кренящий момент от скопления пассажиров определяется по расчетной схеме скопления пассажиров у одного борта на каждой палубе, которая соответствует наиболее опасному их размещению, возможному в нормальных условиях эксплуатации судна. Схема вычерчивается на миллиметровке в масштабе, выбираемом студентом, исходя из ее размещения на формате А4. на схеме показываются соответствующие планы всех палуб с указанием на них (штриховкой) площадей, на которых возможно скопление пассажиров у одного борта. При этом учитываются только площади, свободные от оборудования и устройств, с учетом ограничений допуска пассажиров на ту или иную часть палубы.

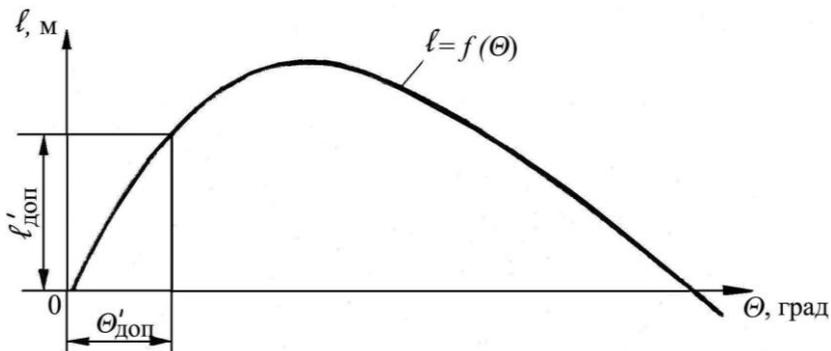


Рис. 6. К определению допускаемого момента при статистической нагрузке

При определении величины площадей, на которых возможно скопление пассажиров, следует иметь в виду, что расположенные около фальшборта или леерного ограждения площади наружных проходов шириной более 0,7 м принимаются с коэффициентом 0,75, а шириной менее 0,7 м с коэффициентом 0,5. Площади проходов между диванами, скамейками, креслами, на которых могут скапливаться пассажиры, дополнительно к сидящим на местах, принимаются с коэффициентом 0,5.

Плотность скопления пассажиров на палубах принимается на судах, совершающих постоянные рейсы продолжительностью более 24 часов, – четыре человека на 1 м^2 свободной площади; на су-

дах, совершающих рейсы продолжительностью менее 24 часов, а также при массовых перевозках пассажиров – шесть человек на 1 м² свободной площади палубы.

При определении кренящего момента силу веса от одного пассажира принимают исходя из его массы, равной 75 кг. Центр тяжести считается расположенным на высоте 1,1 м от уровня палубы, а плечо кренящей пары – по геометрическому центру тяжести соответствующей площади скопления пассажиров.

Исходя из изложенного, величина кренящего момента M_{Π} от скопления пассажиров у одного борта, должна находиться суммированием

$$M_{\Pi} = \sum_i M_i \quad (i = 1, 2 \dots q), \quad (30)$$

где M_i – момент кренящий от скопления пассажиров на i -ой палубе, кН·м; q – число палуб, на которых возможно скопление пассажиров.

Следует иметь ввиду, что если на судне не предусмотрена массовая перевозка пассажиров, то количество людей, создающих крен от скопления у одного борта на i -ой палубе и учитываемое при расчете M_i не должно превышать заданную (принятую) пассажировместимость на рассматриваемой палубе или ярусе надстройки.

3.1.2. Остойчивость при скоплении пассажиров у одного борта должна быть достаточной при наибольшем динамическом крене, возникающем в эволюционный период циркуляции, т.е. должно выполняться условие

$$M_{\Pi} \leq M''_{\text{доп}}, \quad (31)$$

где M_{Π} – динамически приложенный кренящий момент, возникающий в эволюционный период циркуляции, кН·м; $M''_{\text{доп}}$ – предельно допустимый момент, кН·м.

Величина M_{Π} определяется по формуле, кН·м

$$M_{\Pi} = c \frac{v_0^2 D'}{L} \left(a_g - a_3 T \right), \quad (32)$$

где D' , L и T – вес (кН), длина и осадка судна, м; v_0 – скорость судна перед входом в циркуляцию, м/с; c – коэффициент, зависящий

от типа судовых движителей и равный 0,029 для винтовых и водометных и 0,045 для колесных судов; a_3 – коэффициент, определяемый в зависимости от отношения B/T по табл. 15.

Таблица 15

Значения коэффициента a_3

B/T	$\leq 2,50$	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	$\geq 10,00$
a_3	0,73	0,50	-0,27	-1,27	-2,33	-3,38	-4,45	-5,40	-6,00

Предельно допустимый момент $M''_{\text{доп}}$ находится по формуле

$$M''_{\text{доп}} = D' \cdot \ell''_{\text{доп}} . \quad (33)$$

Величина $\ell''_{\text{доп}}$ определяется графически по диаграмме статической остойчивости в зависимости от предельно допускаемого угла $\theta''_{\text{доп}}$ в результате построений, приведенных на рис. 7, проведя горизонтальную линию AB по условию $S_1 = S_2$. При этом кренящее статическое плечо от скопления пассажиров находится по выражению

$$\ell_{\text{п}} = \frac{M_{\text{п}}}{D'} . \quad (34)$$

где $M_{\text{п}}$ – кренящий момент от скопления пассажиров у одного борта, определяемый согласно указаниям, приведенным выше (формула 30).

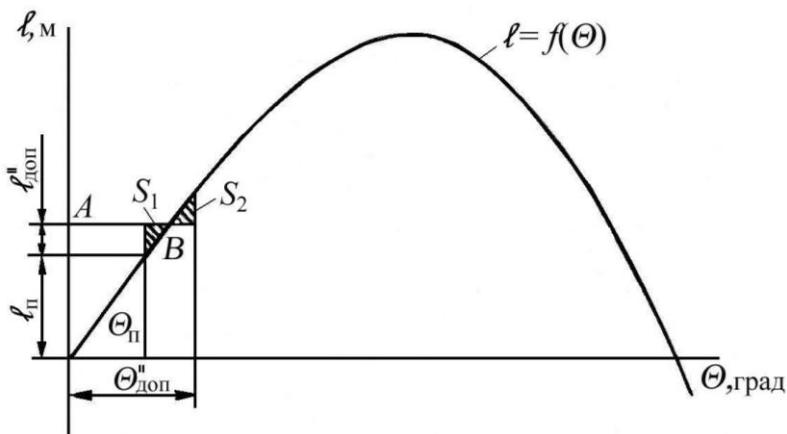


Рис. 7. К определению плеча $l''_{доп}$

За предельно допустимый угол крена $\theta''_{доп}$ принимается угол входа палубы в воду, определяемый по формуле (24), или угол, определенный по ватерлинии, проходящей на 75 мм ниже кромки отверстий, считающихся открытыми, смотря по тому, какой из этих углов меньше.

3.1.3. Остойчивость пассажирских судов, у которых центр парусности расположен выше 2 м над действующей ватерлинией, должна быть достаточной при совместном действии момента от скопления пассажиров у одного борта $M_{п}$ и момента от статического действия ветра $M_{в}$ т.е. должно выполняться условие

$$M_{п} + M_{в} \leq M'_{доп} . \quad (35)$$

Кренящий момент от статического действия ветра определяется по формуле, кН·м,

$$M_{в} = 0,001 p_{с} S \zeta_{п} - a_3 T^2 , \quad (36)$$

где $p_{с}$ – условное расчетное статическое давление ветра Па, которое принимается равным 0,47 соответствующего значения динамического давления, полученного по табл. 2; S – площадь парусности, m^2 ; $\zeta_{п}$ – возвышение центра парусности над основной плоскостью

костью, м; a_3 – коэффициент, определяемый по табл. 15; T – средняя осадка по действующую ватерлинию, м.

Предельно допустимый момент $M'_{\text{доп}}$ определяется, как указано в п. 3.1.1, в зависимости от значения угла $\theta'_{\text{доп}}$, который при этом не ограничивается 10° или 12° .

3.2. Грузовые суда

3.2.1. Остойчивость грузовых судов, у которых центр парусности расположен выше 2 м над действующей ватерлинией, должна быть достаточной при статическом действии ветра, т.е. должно быть выполнено условие

$$M_{\text{в}} \leq M'_{\text{доп}} , \quad (37)$$

где $M_{\text{в}}$ – кренящий момент от статического действия ветра, определяется как указано выше (п. 3.1.3); $M'_{\text{доп}}$ – предельно допустимый момент при статическом наклонении судна, определяется как указано в п. 3.1.1 в зависимости от значений угла $\theta'_{\text{доп}}$, принимаемого равным $0,8 \theta_{\text{зал}}$ или угла входа кромки палубы в воду, смотря по тому, который из них меньше.

3.2.2. Для всех грузовых судов, у которых мощность N , кВт, приходящаяся на тонну водоизмещения V , м^3 , больше 0,735 (т.е. $N / V > 0,735$), остойчивость должна быть достаточной в эволюционный период циркуляции, т.е. должно выполняться условие

$$M_{\text{ц}} \leq M_{\text{доп}} , \quad (38)$$

где $M_{\text{ц}}$ – динамически приложенный кренящий момент, действующий на судно в эволюционный период циркуляции. Определяется согласно указаниям п. 3.1.2; $M_{\text{доп}}$ – предельно допустимый момент, при динамических наклонениях судна, определяемый с использованием диаграмм статической или динамической остойчивости в зависимости от угла $\theta_{\text{доп}}$ аналогично тому, как это делалось при определении $M_{\text{доп}2}$ (см. п. 2.4), но только без учета амплитуды бортовой качки (рис. 8).

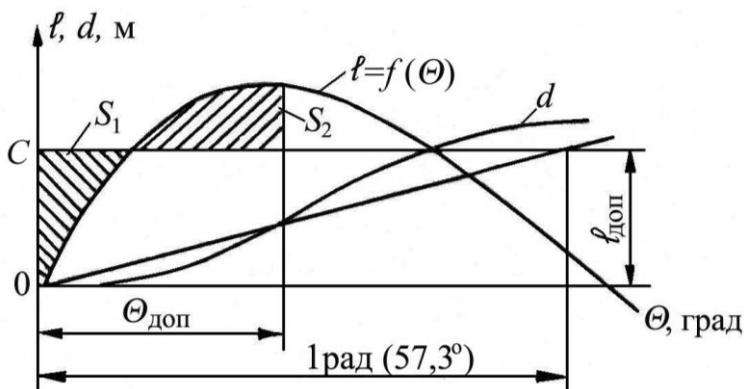


Рис. 8. К определению плеча $l_{\text{доп}}$

За предельно допустимый угол $\theta_{\text{доп}}$ принимается угол входа палубы в воду, определяемый по формуле (24), или угол, определенный по ватерлинии, проходящий на 75 мм ниже кромки отверстий, считающихся открытыми, смотря по тому, из какой из этих углов меньше.

3.3. Буксирные суда*

3.3.1. Остойчивость буксирных судов должна быть достаточной при статическом воздействии буксирного каната, т.е. должно выполняться условие

$$M_c \leq M'_{\text{доп}}, \quad (39)$$

где M_c – кренящий момент от статически натянутого буксирного каната; $M'_{\text{доп}}$ – предельно допустимый момент при статических наклонениях судна. Определяется согласно указаниям п. 3.1.1., при этом за угол $\theta'_{\text{доп}}$ следует принимать угол, равный $0,8 \theta_{\text{зал}}$, или угол при котором входит в воду кромка палубы, смотря по тому, какой из этих углов меньше.

* Данные требования относятся также и к судам других типов, имеющих буксирное устройство

Кренящий момент M_c определяется по формуле, кН·м,

$$M_c = F \left[\left(\frac{z_r}{B} + f_1 \right) f_2 f_3 + 0,65 \frac{h_0}{B} \right], \quad (40)$$

где F – множитель, принимаемый равным 1,12 N , но не менее 0,17 V (N – номинальная мощность главных двигателей, кВт; V – водоизмещение судна, м³, при осадке по действующую ватерлинию); B – ширина судна по действующей ватерлинии, м; z_r – отстояние точки приложения силы натяжения буксирного каната по вертикали от основной плоскости, м; f_1, f_2 – величины, принимаемые по табл. 16; h_0 – малая метацентрическая высота, вычисляемая с учетом поправки на влияние свободной поверхности жидких грузов.

Таблица 16

Значения множителей f_1 и f_2

B/T	<2,25	2,5	2,75	3,00	3,50	4,00	4,40	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	>8,00
f_1	-0,44	-0,37	-0,30	-0,24	-0,12	0,00	0,10	0,18	0,26	0,32	0,38	0,43	0,50
f_2	0,72	0,72	0,72	0,72	0,71	0,55	0,60	0,53	0,47	0,42	0,38	0,35	0,30

Значение $f_3 = 1$, если $\bar{x}_r = \frac{x_r}{L} \leq 0,30$

и $f_3 = 0,85$, если $\bar{x}_r = \frac{x_r}{L} > 0,30$,

где x_r – отстояние от точки приложения силы натяжения буксирного троса до центра тяжести судна по длине*, м; L – длина судна, м;

3.3.2. Остойчивость буксирных судов, у которых $z_r > 1,2 z_g$ (z_g – возвышение центра тяжести судна над основной плоскостью), должна быть достаточной при динамическом воздействии буксирного каната, т.е. должно выполняться условие

* При установке рамного ограничения буксирного троса значение принимается равным расстоянию между рамным ограничителем и центром тяжести судна.

$$M_p \leq M_{\text{доп}} , \quad (41)$$

где M_p – кренящий момент, кН·м от динамического действия на судно натянутого буксирного троса; $M_{\text{доп}}$ – предельно допустимый момент, характеризующий динамическую остойчивость судна и вычисляемый по формуле, кН·м,

$$M_{\text{доп}} = D' d_{\text{доп}} , \quad (42)$$

здесь $d_{\text{доп}}$ – плечо диаграммы динамической остойчивости (рис. 9) при угле $\theta_{\text{доп}}$, за который принимается угол заливания или угол опрокидывания, смотря по тому, который из этих углов меньше.

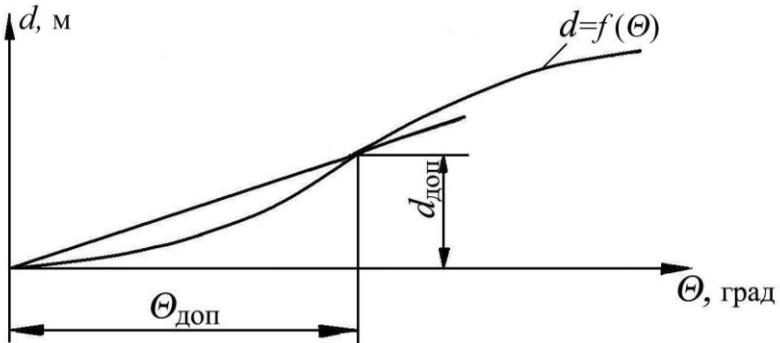


Рис. 9. К определению величины d

Кренящий момент M_p вычисляется по формуле, кН·м

$$M_p = 1,85 \omega D' (K_1 K_2) , \quad (43)$$

где ω – множитель, зависящий от номинальной мощности главных двигателей и определяемый по табл. 17; K_1, K_2 – величины, учитывающие влияние на кренящий момент инерционных и демпфирующих свойств судна и вычисляемые по формулам:

$$K_1 = \frac{\sqrt{q_2} \left(\frac{z_r}{B} - 1,2 \frac{z_g}{B} \right)}{0,8 + \left(\frac{\bar{x}_r}{L} \right)^2 q_1 + \left(\frac{z_r}{B} - 1,2 \frac{z_g}{B} \right)^2 q_2} ; \quad (44)$$

$$K_2 = 1 + \frac{q_3}{\sqrt{\frac{z_r}{B} - 1,2 \frac{z_g}{B}}} . \quad (45)$$

здесь q_1, q_3 – коэффициенты, определяемые по табл.18, а зависимости от отношения B/T ; q_2 – величина, определяемая по табл. 19, в зависимости от отношения B/T и z_g/B .

Таблица 17

Значения множителя ω

$N, \text{кВт}$	≤ 400	600	800	1000	1200	1400	≥ 1450
ω	0,168	0,181	0,210	0,249	0,298	0,354	0,371

Таблица 18

Значения коэффициентов q_1 и q_3

B/T	$\leq 2,25$	2,50	2,75	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	$\geq 6,00$
q_1	15,3	15,6	15,9	16,1	16,5	16,8	17,0	17,2	17,4	17,5	17,6	17,7	18,0
q_3	0	0	0,010	0,020	0,045	0,077	0,115	0,157	0,208	0,270	0,337	0,407	0,550

Таблица 19

Значения коэффициента q_2

$\frac{z_g}{B}$	Значения q_2 при B/T												
B	$\leq 2,25$	2,50	2,75	3,00	3,50	4,00	4,50	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00	$\geq 8,00$
0,30	6,85	6,65	6,55	6,45	6,25	6,05	5,85	5,65	5,45	5,25	5,10	4,90	4,60
0,35	6,20	6,10	6,00	5,90	5,70	5,50	5,30	5,10	4,95	4,80	4,65	4,50	4,20
0,40	5,60	5,50	5,40	5,30	5,15	5,00	4,80	4,65	4,50	4,35	4,20	4,05	3,75
0,45	5,10	5,00	4,90	4,80	4,65	4,50	4,35	4,20	4,05	3,85	3,65	3,45	3,25

3.3.3. Остойчивость всех буксирных судов должна быть проверена в эволюционный период циркуляции при скорости хода без состава. Проверка производится в соответствии с указаниями п. 3.1.2.

3.4. Дополнительные требования к судам смешанного река-море плавания

Остойчивость всех судов смешанного плавания, не совершающих международных рейсы, нормируются согласно требований п.п. 1, 2 и 3. Ниже приведены дополнительные требования, предъявляемые к этим судам некоторых типов и класса. Во всех случаях, не оговоренных настоящими дополнительными требованиями, следует руководствоваться:

- для судов классов «М-СП» и «М-ПР» – требованиями к остойчивости судов класса «М»;
- для судов класса «О-ПР» – требованиями к остойчивости судов класса «О».

3.4.1. Грузовые суда класса «М-СП»

3.4.1.1 Диаграмма плеч статической остойчивости должна удовлетворять следующим требованиям:

1 максимальное плечо диаграммы должно быть не менее 0,25 м для судов длиной 80 м и менее и не менее 0,20 м для судов длиной 105 м и более при угле крена $\theta_m \geq 25^\circ$. Для судов длиной $80 \text{ м} < L < 105 \text{ м}$ максимальное плечо определяется линейной интерполяцией приведенных выше значений;

2 угол заката или угол обрыва диаграммы должен быть не менее 50° ;

3 площадь под кривой восстанавливающих плеч должна быть не менее:

до угла крена 30° – 0,055 м рад;

до угла крена 40° или угла заливания (в зависимости от того, какой угол меньше) – 0,099 м рад;

от угла 30° до угла 40° или до угла заливания (в зависимости от того, какой угол меньше) – 0,030 м рад.

3.4.1.2 При проверке остойчивости по основному критерию (критерию погоды) $M_{кр}$ и $M_{доп}$ определяются по ранее приведенной схеме как для судов класса «М». При этом расчетная амплитуда качки судна определяется в соответствии с приведенным ниже п. 3.4.1.3.

3.4.1.3 Амплитуда качки судна с круглой скулой, град, без скуловых килей рассчитывается по формуле

$$\theta_m = m_1 \cdot m_2 \cdot m_3 , \quad (46)$$

где $m_1 \cdot m_2 \cdot m_3$ – множители принимаемые по табл. 20–22 в зависимости от отношения B/T , коэффициента полноты δ и отношения $\sqrt{h_0}/B$ соответственно.

Таблица 20

Значения множителя m_1

B/T	$\leq 2,4$	2,6	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6	4,0	4,5	5,0	5,5	$\geq 6,0$
m_1	1,0	0,96	0,93	0,90	0,86	0,82	0,80	0,80	0,86	0,92	0,97	1,0

Таблица 21

Значения множителя m_2

δ	$\leq 0,45$	0,5	0,55	0,60	0,65	$\geq 0,70$
m_2	0,75	0,82	0,89	0,95	0,97	1,0

Таблица 22

Значения множителя m_3

$\sqrt{h_0}/B$	$\leq 0,04$	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	$\geq 0,20$
m_3	16,0	19,7	25,4	29,2	31,4	32,5	33,5	34,2	34,8

3.4.1.4 Если на судне имеются скуловые кили, то амплитуда качки определится по формуле

$$\theta'_m = k \theta_m , \quad (47)$$

где k – коэффициент, принимаемый по табл. 23 в зависимости от отношения площади скуловых килей $S_k, м^2$, к произведению $L \cdot B$.

Таблица 23

Значения коэффициента k

$\frac{S_k}{L \cdot B} \cdot 100\%$	0	1	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	$\geq 4,0$
k	1,0	0,98	0,95	0,88	0,79	0,74	0,72	0,70

По согласованию с преподавателем амплитуда качки может быть снижена, но не более чем до минимально допустимых значений, определяемых с использованием приведенных ранее формул (8) и (11) как для судов класса «М». При этом амплитуда качки θ_m принимается по табл. 24 в зависимости от параметра m , рассчитываемого по формуле (8).

Таблица 24

Амплитуда качки θ_m

m	0,40	0,60	0,80	1,0	$\geq 1,2$
$\theta_m, \text{град}$	17	23	29	31	32

3.4.1.5 При перевозке грузов, опасных в отношении возможного смещения, расчетное относительное ускорение a_p не должно превышать 0,3. Величина a_p при этом определяется по формуле

$$a_p = 1,1 \cdot 10^{-3} B m_1^2 \theta_m, \quad (48)$$

где B – ширина судна по действующую ватерлинию, м; m_1 – множитель, определяемый в соответствии с п. 2.2.2., c^{-1} ; θ_m – расчетная амплитуда бортовой качки (см. п. 2.2.).

3.4.1.6 Остойчивость судов, предназначенных для эксплуатации в условиях отрицательных температур, должна быть проверена с учетом возможного обледенения.

Проверка осуществляется для наихудшего в отношении остойчивости варианта нагрузки, который надо откорректировать с уче-

том дополнительной массы льда, образовавшегося на открытых палубах. При этом массу льда на 1 м^2 площади общей горизонтальной проекции открытых палуб принимают равной 15 кг . В общую горизонтальную проекцию палуб входит сумма горизонтальных проекций всех открытых палуб и переходов независимо от наличия навесов. Палубные механизмы, устройства, крышки люков и т.п. входят в проекцию палуб и отдельно не учитываются. Момент по высоте от этой нагрузки определяется по возвышениям центров тяжести соответствующих участков палубы.

3.4.1.7 У судов, перевозящих лесные грузы на палубе максимальное плечо диаграммы статической остойчивости должно быть не менее $0,25 \text{ м}$.

3.4.1.8 Суда, перевозящие контейнеры на палубе угол крена на установившейся циркуляции или под действием постоянного ветра, определенный по диаграмме остойчивости, должен быть не более половины угла, при котором палуба входит в воду, во всяком случае, угол крена не должен превышать 15° .

3.4.2. Пассажирские суда класса «М-СП»

Остойчивость этих судов, не совершающих международные рейсы, проверяется в соответствии с п. 2 и 3.1 как для судов класса «М». При этом к их диаграмме плеч статической остойчивости предъявляются следующие дополнительные требования:

1 максимальное плечо диаграммы статической остойчивости ℓ_{\max} должно быть не менее $0,25 \text{ м}$ для судов длиной 80 м и менее и $0,20 \text{ м}$ для судов длиной 105 м и более при угле крена $\theta \geq 30^\circ$. Для промежуточных значений длины судна значение ℓ_{\max} определяется по формуле:

$$\ell_{\max} = 0,41 - 0,002 L. \quad (49)$$

При наличии у диаграммы статической остойчивости двух максимумов вследствие влияния надстроек или рубок требуется, чтобы первый от прямого положения максимум диаграммы располагался не далее 25° .

2 предел положительной статической остойчивости (угол заката или угол обрыва диаграммы) должен быть не менее 60° ; этот

предел может быть уменьшен до 50° при условии, что на каждый градус уменьшения предела положительной статистической остойчивости приходится 0,01 увеличения максимального плеча l_{\max} диаграммы сверх нормативного значения, определенного в соответствии с п. 1;

3 площадь под положительной частью диаграммы статистической остойчивости должна быть не менее чем 0,055 м·рад до угла крена 30° и не менее 0,09 м·рад до угла крена 40° или угла заливания $\theta_{\text{зал}}$ если этот угол меньше 40° ; дополнительно, площадь под положительной частью диаграммы между углами крена 30° и 40° или между углом 30° и углом заливания $\theta_{\text{зал}}$, если этот угол меньше 40° , должна быть не менее 0,03 м·рад.

3.4.3. Буксирные суда смешанного плавания

3.4.3.1 Остойчивость буксирных судов смешанного плавания должна быть проверена в дополнение к п. 3.3.2 при динамическом действии буксирного каната с учетом бортовой качки, т.е. должно выполняться условие:

$$M_p \leq D'(d_{\text{доп}} - d_k) , \quad (50)$$

где M_p – кренящий момент от динамического действия на судно натянутого буксирного каната, определяемый в соответствии с указаниями п. 3.3.2; D' – весовое водоизмещение судна, кН; $d_{\text{доп}}$ – плечо допустимого момента, снятое с диаграммы плеч динамической остойчивости при допустимом угле крена, за который принимается угол опрокидывания или угол заливания, смотря по тому, который меньше; d_k – плечо допустимого момента, снятое с диаграммы плеч динамической остойчивости при расчетной амплитуде качки, рассчитанной в соответствии с п. 3.4.1.3 и п. 3.4.1.4 для судов класса «М-СП» и п. 2.2.2 и п. 2.2.3 для буксиров классов «О-ПР» и «М-ПР».

3.4.4. Остойчивость судов смешанного плавания,

перевозящих зерно насыпью

3.4.4.1 Характеристики остойчивости судна, перевозящего зерно насыпью, должны удовлетворять следующим требованиям:

1. угол крена от смещения зерна не должен превышать 12° или значения, при котором кромка палубы входит в воду, в зависимости от того, какое значение меньше;

2. на диаграмме статической остойчивости остаточная площадь (заштрихованная на рис. 10) между кривой кренящих и кривой плеч восстанавливающих моментов до угла крена 40° или угла заливания в зависимости от того, который угол меньше, должна быть при всех условиях загрузки не менее $0,075$ м·рад;

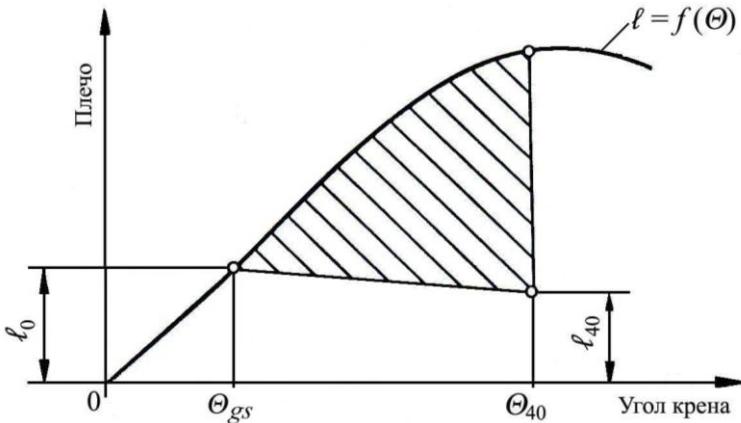


Рис. 10. Диаграмма плеч статической остойчивости судна
перевозящего зерно насыпью

θ_{gs} – угол крена от смещения зерна, град; заштрихована остаточная площадь диаграммы, нормируемая согласно 12.5.3.2; l l_0 , l_{40} – плечи кренящих моментов от смещения зерна, определяемые в соответствии с указаниями Приложения 3 [1]

3 начальная метацентрическая высота, с поправкой на влияние свободной поверхности жидкости в танках, должна быть не менее $0,30$ м;

3.4.4.2 Расчет условных кренящих моментов, возникающих при смещении поверхности груза на судах, перевозящих зерно насыпью, производится в соответствии с указаниями Приложения 3 [1].

4. Требования к начальной остойчивости

Требование к начальной остойчивости состоит в том, что для всех судов поперечная метацентрическая высота h_0 , рассчитанная с учетом поправок на влияние свободных поверхностей жидких грузов, а ледоколов и с учетом обледенения, должна быть не менее 0,2 м (у грузовых судов класса М-СП не менее 0,15 м). При этом для наливных судов (танкеров) значение h_0 следует дополнительно рассчитывать при 50% заполнения танков (грузовых отсеков) с учетом поправки на влияние свободных поверхностей жидких грузов.

$$h_0 = h'_0 - \sum_{i=1}^{i=n} \Delta h_{ж\ i}, \quad (51)$$

где n – количество грузовых танков; h'_0 – поперечная метацентрическая высота, вычисленная для случая 50% заполнения танков, м; $\Delta h_{ж\ i}$ – поправка на влияние свободной поверхности жидких грузов i -го грузового танка, м

$$\Delta h_{ж\ i} = \frac{8\rho_{ж\ i} \ell_i b_i^3}{12D'}. \quad (52)$$

Здесь $\rho_{ж}$ плотность жидкого груза, т/м³; ℓ_i , b_i – длина и ширина i -го грузового танка соответственно, м; D' – водоизмещение судна, соответствующее 50% заполнению танков, кН; g – ускорение свободного падения (9,81 м/сек²).

При окончательном оформлении расчетов следует после проверки остойчивости по каждому требованию (основному либо дополнительному) делать соответствующий вывод: остойчивое судно по данному требованию или нет. Весь расчет также должен заканчиваться выводом и кратким его обоснованием о том, удовлетворяет остойчивость судна в целом требованиям Речного Регистра или нет.

Библиографический список

1. Российский Речной Регистр. Правила. В 4-х т. Т. 2. – М., 2008. – 406 с.
2. **Благовещенский, С.Н.** Справочник по статике и динамике корабля / С.Н. Благовещенский, А.Н. Холодилин. Т.1. Статика корабля. – Л. : Судостроение, 1975. – 336 с.
3. **Роннов, Е.П.** Расчет характеристик остойчивости грузовых судов внутреннего плавания на ранних стадиях проектирования / Е.П. Роннов – Труды ГИИВТа, 1985. – Вып. 211. – С. 151–159.

Оглавление

1.	Общие указания.....	
1.1.	Требования к остойчивости.....	
2.	Проверка остойчивости по основному критерию.....	
2.1.	Определение кренящего момента от динамического действия ветра.....	
2.2.	Расчет угла заливания и амплитуды плеча.....	
2.3.	Построение диаграмм плеч статической и динамической остойчивости.....	
2.4.	Определение предельно допустимого момента.....	
3.	Дополнительные требования остойчивости.....	
3.1.	Пассажирские суда.....	
3.2.	Грузовые суда.....	
3.3.	Буксирные суда.....	
3.4.	Дополнительные требования к судам смешанного река-море плавания.....	
4.	Требования к начальной остойчивости.....	
	<i>Библиографический список.....</i>	

Роннов Евгений Павлович

**Проверка остойчивости судов
внутреннего плавания**

Методические указания

Издательско-полиграфический комплекс ФГОУ ВПО «ВГАВТ»
603950, Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а