

**Министерство транспорта России
Федеральная служба морского флота
Дальневосточная государственная морская академия
имени адмирала Г.И.Невельского**

Кафедра "Управление судном"

**ОЦЕНКА ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА
С ГЕНЕРАЛЬНЫМ ГРУЗОМ**

Методические указания к выполнению лабораторной работы
по технологии перевозки грузов
Специальность 2402

Составил В.Г. Минеев

**Владивосток
1997**

Позиция № 73
в плане издания
методической литературы
1996 года

Рецензент: Е.И. Жуков

Составил Владимир Григорьевич Минеев
Оценка остойчивости судна с генеральным грузом
Методические указания

1,1 уч.-изд. л. Формат 60 × 84 1/16
Тираж 150 экз. Заказ

Отпечатано в типографии ДВГМА им. адм. Г.И.Невельского
Владивосток, 59, ул. Верхнепортовая, 50а
Компьютерный набор — В.Г. Минеев
Компьютерная верстка и графика — С.В. Коркишко

Оглавление

Введение	4
1. Задание лабораторной работы	4
2. Начальная метацентрическая высота без поправки на влияние свободных поверхностей жидких грузов	5
3. Исправленная начальная метацентрическая высота. Нормирование и контроль значений	6
4. Диаграммы статической и динамической остойчивости и их графический контроль	8
5. Контроль соответствия параметров ДСО требованиям Регистра	12
6. Критерий погоды	13
6.1. Требования Регистра	13
6.2. Кренящий момент от давления ветра	13
6.3. Условная расчетная амплитуда качки	14
6.4. Опрокидывающий момент	16
7. Критерий ускорения	18
Литература	19

Введение

Лабораторная работа предусматривает выполнение расчета параметров и оценку остойчивости судна с генеральным грузом при наличии диаграммы статической остойчивости и является идентичной части практического расчета остойчивости, производимого на судах грузовыми помощниками капитана.

1. Задание лабораторной работы

Для судна и варианта, использованных в предыдущей лабораторной работе по определению количества груза по посадке [1], при загрузке, соответствующей большей средней осадке, необходимо выполнить следующее:

1) вычислить исправленную метацентрическую высоту h , приняв положение аппликаты центра тяжести судна Z_g , превышающее среднюю осадку d_{cp} судна на:

2,4 м при $d_{cp} < 4,00$ м,

2,0 м при $4,01 < d_{cp} < 4,50$ м,

1,7 м при $d_{cp} > 4,51$ м;

2) начертить диаграмму статической остойчивости судна произвольной формы, соответствующую найденному значению h ;

3) рассчитать и построить диаграмму динамической остойчивости, согласовать ее с диаграммой статической остойчивости;

4) выбрать и установить для рассматриваемого судна значения критериев его остойчивости;

5) рассчитать параметры остойчивости судна, соответствующие выбранным критериям;

6) вычертить сводную таблицу критериев и параметров остойчивости, изображенную на рис. 1, заполнить ее, сделать выводы относительно действительной остойчивости, характеризуемой представленными диаграммами.

Некоторые теоретические положения и вся информация из судовой

документации, необходимые для лучшего понимания и проведения требуемых расчетов, а также рекомендации по выбору исходных данных для них приведены в соответствующих разделах методических указаний.

Параметры и критерии остойчивости		
Обозначение критерия и параметра	Нормируемое значение (критерий для судна)	Расчетное значение (параметр)
h		
$.?..$		
$...$		
K^*		

Рис. 1. Вид сводной таблицы критериев и параметров остойчивости

2. Начальная метацентрическая высота без поправки на влияние свободных поверхностей жидких грузов

Начальная метацентрическая высота без поправки на влияние свободных поверхностей жидких грузов h_0 определяется по одной из формул:

$$\begin{aligned} h_0 &= Z_m - Z_g, \\ h_0 &= r - a = r - (Z_g - Z_c). \end{aligned}$$

Значения аппликаты метацентра Z_m , центра величины Z_c и метацентрического радиуса r снимаются с кривых элементов теоретического чертежа (*КЭТЧ*) в зависимости от водоизмещения или средней осадки. Вместо *КЭТЧ* могут быть использованы так называемые гидростатические таблицы (табличная форма представления *КЭТЧ*).

В рассматриваемой лабораторной работе используется чертеж с *КЭТЧ* судна, принятого в работе по определению количества груза по посадке судна [1].

3. Исправленная начальная метацентрическая высота. Нормирование и контроль значений

Ввиду наличия на судне жидкого груза, его действительная начальная (или на малых углах крена) остойчивость характеризуется исправленной метацентрической высотой h , а не h_0 :

$$h = h_0 - \delta h, \text{ м},$$

где δh – поправка на влияние свободных поверхностей жидкого груза, рассчитываемая по формуле

$$\delta h = \frac{\sum \Delta m h}{\Delta}, \text{ м.}$$

Здесь $\sum \Delta m h$ – общая поправка от влияния всех учитываемых цистерн; Δ – водоизмещение судна, т.

Значения поправок $\Delta m h$, тм, вычисляются проектантом судна по специальным правилам для каждой цистерны и приводятся в Информации об остойчивости для капитана. При расчете общей поправки, согласно Правилам Регистра судоходства РФ [2] и ранее изданным, учитываются только цистерны, удовлетворяющие условию:

$$|\Delta m h| < |\Delta_{\min}|,$$

где Δ_{\min} – водоизмещение, соответствующее варианту минимальной загрузки судна, возможной в эксплуатации, и нормируемое Регистром.

Расчет общей поправки производится суммированием поправок всех заполненных и учитываемых цистерн либо регламентируется проектантом (российским или иностранным) с указанием конкретного значения поправки для какого-либо вида загрузки судна. Например: для судов типа "Влас Ничков" Информация об остойчивости дает: $\sum \Delta m h = 1418$ тм при наличии балласта на судне и $\sum \Delta m h = 145$ тм – при его отсутствии, а для т/х "Варнемюнде" при всех случаях загрузки его Информация приводит значение $\sum \Delta m h = 1477$ тм.

Как видно, для обоих типов судов документы рекомендуют принимать наибольшую из возможных поправок δh без учета действительного

наличия свободных поверхностей жидкких грузов, что даёт ошибку в безопасную сторону. Такой упрощенный и поэтому приближенный подход к учету свободных поверхностей приводит к некоторому недоиспользованию грузоподъемности судна, по сравнению с точным способом, принимающим в расчет только используемые цистерны.

Исправленная метацентрическая высота может быть вычислена другим, равнозначным указанному выше, способом по формуле:

$$h = Z_m - Z'_g,$$

где $Z'_g = \frac{M_z + \sum \Delta m h}{\Delta}$.

Здесь Z'_g – возвышение Ц.Т. судна над основной плоскостью с учетом влияния свободных поверхностей жидкких грузов;

$M_z = \sum P_i \cdot Z_i = \Delta \cdot Z_g$, $тм$ – суммарный статический момент статей нагрузки судна относительно основной плоскости.

В рассматриваемой лабораторной работе необходимо принять:

$\sum \Delta m h = 165 \text{ } тм$ для судна без балласта;

$\sum \Delta m h = 1072 \text{ } тм$ для судна с балластом.

Рассчитанное значение исправленной начальной метацентрической высоты должно быть проконтролировано сравнением с соответствующим назначению судна и виду его груза значением h , нормированным Регистром или специальным приказом судовладельца и называемым критерием.

Нормируемые Правилами [2] для различных сухогрузных судов и их нагрузок значения исправленной начальной метацентрической высоты следующие:

1. $h > 0 \text{ } м$ – для всех судов, при всех вариантах нагрузки, за исключением судна порожнем;
2. $h > (0,05 \div 0,15) \text{ } м$ – для лесовозов с лесным грузом в трюмах и на палубе, в зависимости от количества запасов;
3. $h > 0,20 \text{ } м$ – для накатных судов с грузом и для контейнеровозов с контейнерами, без учета обледенения;
4. $h > 0,30 \text{ } м$ – для судов с зерновым грузом;
5. $h > 0,50 \text{ } м$ – для нерыболовных судов длиной менее $20 \text{ } м$ при всех

8 ОЦЕНКА ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА С ГЕНЕРАЛЬНЫМ ГРУЗОМ

вариантах нагрузки, за исключением судна порожнем.

С целью обеспечения безаварийной эксплуатации судов, Управлением безопасности мореплавания АО "ДВМП" в последнее время ежегодно издается распоряжение, согласно которому **"... для всех судов, перевозящих лесные грузы на верхней палубе, минимальное значение метацентрической высоты должно быть не менее 30 см с оптимальным дифферентом на корму в пределах 0,5 м."**

4. Диаграммы статической и динамической остойчивости и их графический контроль

Остойчивость судна на больших углах крена характеризуются диаграммами статической ($ДСО$) и динамической остойчивости ($ДДО$), представляющими зависимость плеч статической l и динамической l_g остойчивости от угла крена θ .

Плечо статической остойчивости l в общем виде определяется выражением

$$l = l_\phi - l_e,$$

где l_ϕ – плечо остойчивости формы, а l_e – плечо остойчивости веса.

Последнее вычисляется по формуле

$$l_e = (Z_g - Z_c) \cdot \sin \theta = a \cdot \sin \theta,$$

где Z_g и Z_c – аппликаты центра тяжести и центра величины судна (см. рис. 2а).

Плечи остойчивости формы в зависимости от объемного водоизмещения приводятся в Информации об остойчивости в виде нескольких кривых, соответствующих углам крена судна 10, 12, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 градусов.

Вместо плеч формы очень часто проектантом судна используются плечи пантокарен l_p , рассчитанные с помощью специального прибора для измерения площадей шпангоутов при наклонении судна вокруг произвольно выбранной точки полюса P . В этом случае плечи статической остойчивости определяются по формулам, приведенным на рис. 2б и 2в.

Плечо динамической остойчивости определяется как интеграл, имеющий общий вид:

$$l_d = \int_0^\theta l \, d\theta.$$

Оно отражает площадь диаграммы статической остойчивости от 0 градусов до угла крена θ и рассчитывается интегрированием в табличной форме диаграммы статической остойчивости.

Весь расчет плеч диаграмм статической и динамической остойчивости обычно производят в табличной форме. Фрагмент одной из таких таблиц с примером расчета плеч динамической остойчивости приведен под рис. 3 (см. табл. 1), где представлены соответствующие примеру диаграммы статической и динамической остойчивости судна N .

В лабораторной работе необходимо построить диаграммы и выполнить расчет плеч динамической остойчивости аналогично этим рисунку и фрагменту, на одном листе. Масштаб плеч выбрать таким, чтобы он был кратен 10. Условную расчетную амплитуду бортовой качки θ_r определяют и наносят на диаграмму позже при расчете критерия погоды.

Во вторую строку табл. 1 необходимо занести значения плеч статической остойчивости, снятых с произвольно вычерченной DCO , а в третьей и четвертой строках рассчитать плечи динамической остойчивости по формуле:

$$l_d = \frac{\delta\theta}{2} \cdot \sum_0^\theta l,$$

где $\delta\theta$ – шаг угла крена, принятый для DCO , в радианах;

$\sum_0^\theta l$ – интегральная сумма значений плеч статической остойчивости.

Эта сумма для первого расчетного угла крена равна значению его плеча статической остойчивости, для других углов она определяется сложением трех "примыкающих" к надлежащему месту записи искомой суммы значений предыдущей суммы и плеч согласно направлению стрелок, как показано в табл. 1.

Графический контроль DCO проводят с помощью начальной метацентрической высоты h . В данной лабораторной работе выполняется обратная задача – построение DCO по известной h , поэтому в ней необходимо произвести только контроль DDO .

10 ОЦЕНКА ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА С ГЕНЕРАЛЬНЫМ ГРУЗОМ

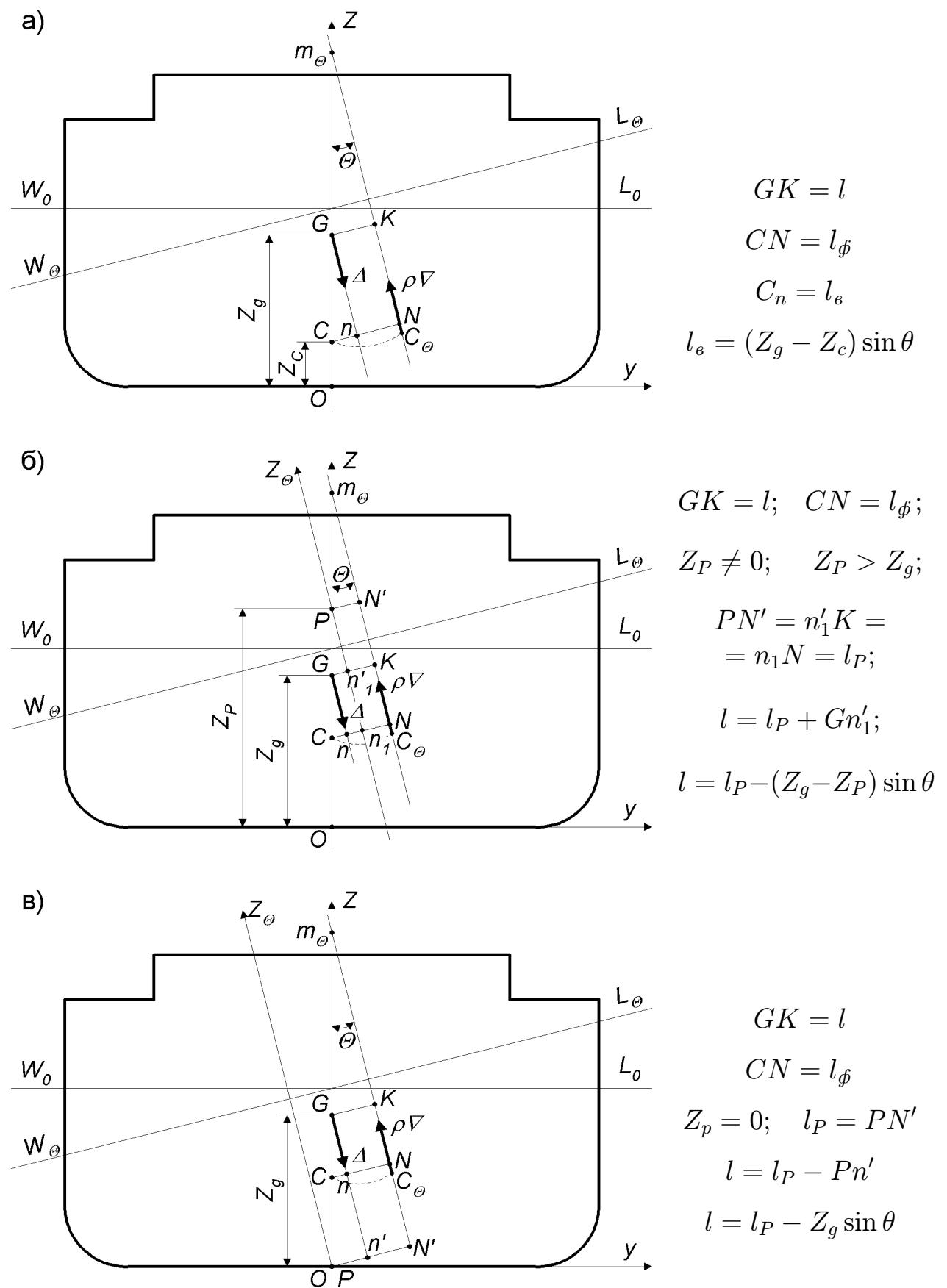


Рис. 2. Плечи статической остойчивости

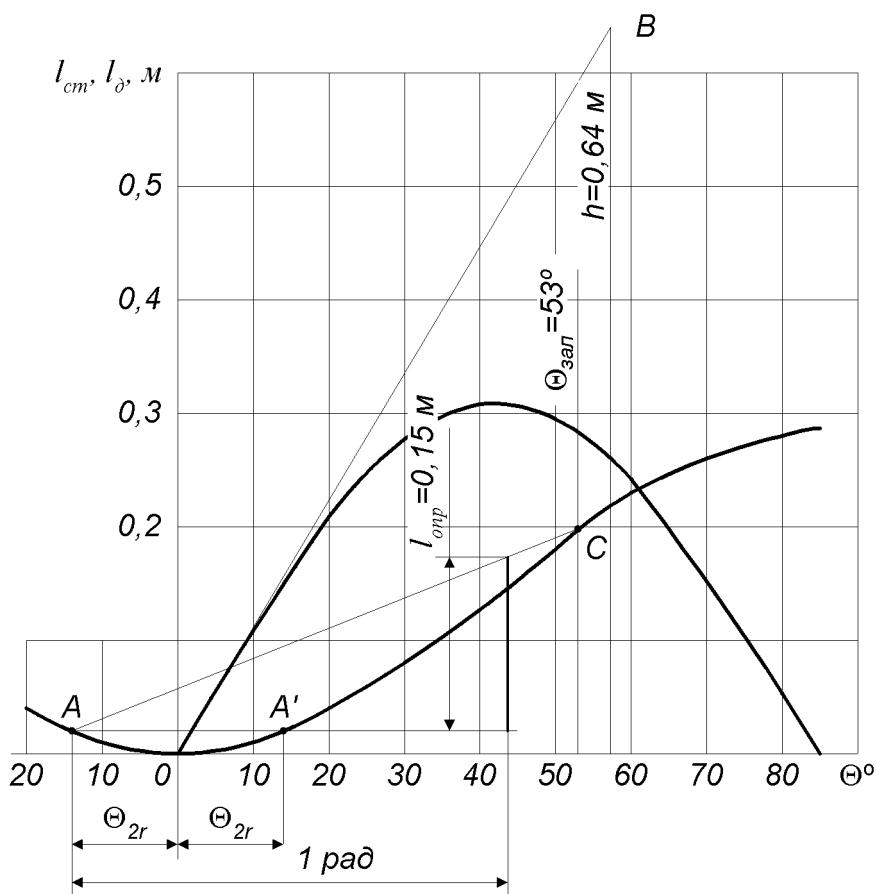


Рис. 3. Диаграммы остойчивости

Таблица 1
Расчет плеч динамической остойчивости

$\theta, \text{град}$	10	20	30	40	50	60	70	80
$l_{cm}, \text{м}$	0,108	0,209	0,277	0,308	0,295	0,242	0,152	0,053
$\sum_0^\theta l_{cm}$	0,108	0,425	0,911	1,496	2,099	2,636	3,030	3,225
$l_d, \text{м}$	0,01	0,04	0,08	0,13	0,18	0,23	0,26	0,28

Графический контроль $ДДО$ основан на приведенной выше интегральной зависимости плеч динамической и статической остойчивости. Правильно рассчитанные и построенные диаграммы должны удовлетворять следующим условиям.

1. Точки экстремальных (максимума или минимума) значений $ДСО$ соответствуют (т.е. лежат на одной вертикали) точкам перегиба $ДДО$.

2. Точки экстремальных значений ΔDO соответствуют точкам, при которых DCO пересекает ось абсцисс: точка O ($\theta = 0$ градусов) является минимумом ΔDO при $h > 0$ и максимумом при $h < 0$, точка заката DCO соответствует максимуму ΔDO . Если этого нет, значит в расчете или построении ΔDO допущены ошибки.

5. Контроль соответствия параметров DCO требованиям Регистра

Диаграмма статической остойчивости полностью характеризует остойчивость судна на малых и больших углах крена. Поэтому Регистр [2] предъявляет к ней следующие общие (дополнительные зависят от типа судна) требования:

- угол крена θ_m , соответствующий максимуму DCO , должен быть не менее 30° ;
- максимальное плечо DCO l_{\max} при угле θ_m должно быть не менее $0,25$ m для судов с $L < 80$ m , и не менее $0,20$ m для судов с $L > 105$ m .

При промежуточной длине судна величина l_{\max} определяется линейной интерполяцией;

- угол заката диаграммы $\theta_{\text{зак}}$ должен быть не менее 60° .

Судно обязано удовлетворять этим требованиям при учете в DCO поправки на свободные поверхности, а также при условии $L > 20$ m и $B/D < 2$, где B и D – ширина и высота борта судна, соответственно.

Судам, не удовлетворяющим требованиям по углу заката диаграммы вследствие её обрыва при угле залиивания, может быть разрешено плавание лишь как для судов ограниченного района плавания I или II. На рис. 3 показан такой случай, здесь угол залиивания равен 53° .

6. Критерий погоды

6.1. Требования Регистра

Наряду с нормированием параметров остойчивости, рассмотренных выше, Регистр [2] требует, чтобы остойчивость судов неограниченного и ограниченного районов плавания I и II удовлетворяла критерию погоды K, а именно:

$$K = \frac{M_c}{M_v} = \frac{l_{onp}}{l_v} > 1,00.$$

Здесь M_c – минимальное значение условного расчетного кренящего момента, опрокидывающего судно (упрощенно – опрокидывающий момент), определенное с учетом бортовой качки;

M_v – динамически приложенный условный расчетный кренящий момент от давления ветра, принимаемый постоянным за весь период наклонения судна;

l_{onp} , l_v – плечи опрокидывающего и ветрового моментов, соответственно.

6.2. Кренящий момент от давления ветра

Значение условного расчетного кренящего момента M_v , в $\kappa H \times m$, принимается постоянным за весь период накренения судна и определяется по формуле :

$$M_v = p_v \cdot A_v \cdot Z,$$

где p_v – условное расчетное давление ветра, Pa ;

A_v – площадь парусности, m^2 ;

Z – плечо парусности, или отстояние центра парусности от плоскости действующей ватерлинии, m .

Давление ветра нормируется Регистром в зависимости от района плавания и плеча парусности (см. табл. 2).

Для контейнеровозов – судов, специально оборудованных для перевозки грузов в контейнерах международного стандарта, величина давления p_v принимается равной 0,6 от значений табл. 2.

14 ОЦЕНКА ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА С ГЕНЕРАЛЬНЫМ ГРУЗОМ

Таблица 2

Давление ветра p_v , Па, для судов неограниченного плавания

$Z, \text{ м}$	1,0	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0 и более
$p_v, \text{ Па}$	706	863	922	971	1010	1049	1079	1108	1138	1167	1196	1216

Площадь парусности для действующей ватерлинии и соответствующее ей плечо на практике определяются по графикам или таблицам из Информации об остойчивости.

В лабораторной работе их необходимо рассчитать, так как заданы они только для средней осадки $d_{cp} = 4,80 \text{ м}$ (см. первую строку табл. 3). Расчет произвести в идентичной таблице.

Таблица 3

Расчет площади и плеча парусности

Наименование	Площадь $A_v, \text{ м}^2$	Возвышение центра парусности над ОП, $Z_{on}, \text{ м}$	Статический момент, $M_{Z_{on}}, \text{ м}^3$
Парусность при средней осадке $d_{cp} = 4,80 \text{ м}$	870	7,05	6133,5
Изменение парусности при изменении осадки $\delta d = \pm ?? \text{ м}$	$\pm ??$	$??$	$\pm ??$
Парусность при заданной осадке $d_{cp} = ??$	$??$	$??$	$??$

6.3. Условная расчетная амплитуда качки

В соответствии с рекомендациями [2], значение амплитуды качки, учитываемой при определении опрокидывающего момента, рассчитывается по формулам:

$$\begin{aligned}\theta_{1r} &= X_1 \cdot X_2 \cdot Y, \\ \theta_{2r} &= k \cdot \theta_{1r},\end{aligned}$$

где θ_{1r} – амплитуда качки (условная расчетная) судна с круглой скулой, не снабженного скуловыми или брусковыми килями, град;

θ_{2r} – амплитуда качки судна со скуловыми килями или брусковым килем, или с тем и с другим вместе, град;

X_1, X_2 – безразмерные множители;

Y – множитель, *град*;

k – безразмерный коэффициент.

Значения множителей и коэффициента k принимаются согласно [2] и таблицам этого пункта, в зависимости от соответствующих параметров:

$$\frac{B}{d}; \quad \frac{\sqrt{h_0}}{B}; \quad C_b; \quad \frac{A_k}{L \cdot B}, \text{ \%},$$

где B – ширина судна, *м*;

d – средняя осадка, соответствующая рассматриваемому водоизмещению судна, *м*;

h – начальная метацентрическая высота без поправки на влияние свободных поверхностей, *м*;

$C_b = \nabla / (L \cdot B \cdot d)$ – коэффициент общей полноты судна при осадке по конструктивную ватерлинию;

A_k – суммарная габаритная площадь скуловых килей, *м²*;

L – длина судна между перпендикулярами, *м*;

∇ – объемное водоизмещение судна, *м³*.

Таблица 4
Значения множителя X_1

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

Примечание. При $B/d > 2,5$ остойчивость судна должна быть дополнительно проверена по критерию ускорения.

Таблица 5
Значения множителя X_2

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

16 ОЦЕНКА ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНА С ГЕНЕРАЛЬНЫМ ГРУЗОМ

Таблица 6

Значения множителя Y для судов неограниченного района плавания

$\frac{\sqrt{h_0}}{B}$	0,04 и менее	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09	0,10	0,11	0,12	0,13 и выше
$Y, \text{град}$	24,0	25,0	27,0	29,0	30,7	32,0	33,4	34,4	35,3	36,0

Примечание. При $\sqrt{h_0}/B > 0,08$ остойчивость судна должна быть дополнительно проверена по критерию ускорения.

Таблица 7

Значения коэффициента k

$\frac{A_k}{L \cdot B}$	0,0	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0 и выше
k	1,00	0,98	0,95	0,88	0,79	0,74	0,72	0,70

Для судна в лабораторной работе принять $A_k = 17,4 \text{ м}^2$.

Расчетные значения амплитуд качки следует округлять до целых градусов.

6.4. Опрокидывающий момент

Опрокидывающий момент M_c или его плечо l_{onp} определяется графическим способом по диаграммам динамической или статической остойчивости согласно рекомендациям [2]. Проще и точнее эта операция выполняется с помощью $ДДО$, поэтому здесь рассмотрим лишь этот прием.

Графическое определение l_{onp} по $ДДО$ производится следующим образом (см. рис. 4).

Вправо от начала координат откладывается амплитуда качки, и на кривой динамической остойчивости фиксируется точка A' . Через точку A' на диаграмме проводится прямая, параллельная оси абсцисс, и на ней влево от точки A' откладывается отрезок $A'A$, равный двойной амплитуде качки.

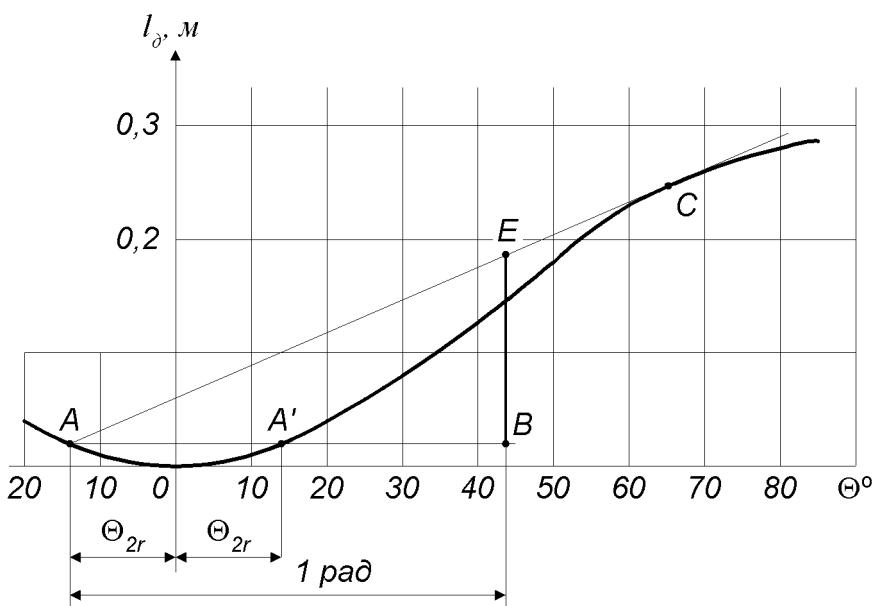


Рис. 4. Определение опрокидывающего момента по диаграмме динамической остойчивости

Из точки A проводится касательная AC к диаграмме динамической остойчивости, и от точки A на прямой, параллельной оси абсцисс, откладывается отрезок AB , равный одному радиану. Из точки B восстанавливаем перпендикуляр BE до пересечения с касательной AC в точке E . Отрезок BE равен плечу l_{onp} опрокидывающего момента, если диаграмма построена в масштабе плеч. Опрокидывающий момент

$$M_c = 9,81 \cdot \Delta \cdot l_{onp}, \text{ кН} \times \text{м.}$$

На рис. 3 приведено определение l_{onp} при ограничении диаграммы остойчивости углом залиивания. Все отличия здесь в том, что AC – не касательная к диаграмме, так как точка C на ней соответствует углу залиивания.

Кривая углов залиивания в зависимости от водоизмещения судна обычно приводится в Информации об остойчивости.

Для всех вариантов загрузки судна в лабораторной работе угол залиивания превышает 60° , поэтому l_{onp} определяется с помощью касательной к $ДДО$.

7. Критерий ускорения

Остойчивость сухогрузного судна по критерию ускорения K^* должна проверяться в случаях загрузки судна грузами с малым удельным погружочным объемом: тяжелыми навалочными грузами, металлопродукцией и т.п., а также, независимо от вида груза, в случае соблюдения одного из условий:

$$\frac{B}{d} > 2,5 \quad \text{или} \quad \frac{\sqrt{h_0}}{B} > 0,08.$$

В лабораторной работе необходимо проверить эти условия и рассчитать K^* , независимо от результата их выполнения и вида груза.

Согласно [2], остойчивость по критерию ускорения K^* считается приемлемой, если в рассматриваемом состоянии нагрузки расчетное ускорение (в долях g) не превышает предельно допустимого значения, т.е. выполняется условие:

$$K^* = \frac{0,30}{A_{pacu}} \geq 1,$$

где A_{pacu} – расчетное значение ускорения (в долях от ускорения свободного падения g), определяемое по формуле:

$$A_{pacu} = 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot B \cdot m^2 \cdot \theta_r.$$

Здесь $m = m_0/\sqrt{h_0}$ – нормируемая частота собственных колебаний судна;

m_0 – коэффициент, определяемый по табл. 8, в зависимости от величины $\frac{h_0}{\sqrt[3]{\nabla}} \cdot \frac{B}{Z_g}$;

θ_r – расчетная амплитуда качки: θ_{1r} или θ_{2r} ;

∇ , Z_g – водоизмещение, m^3 , и аппликата $ЦT$ судна, m , соответственно, для рассматриваемого случая загрузки.

Таблица 8

Значения коэффициента m_0

$\frac{h_0}{\sqrt[3]{\nabla}} \cdot \frac{B}{Z_g}$	m_0	$\frac{h_0}{\sqrt[3]{\nabla}} \cdot \frac{B}{Z_g}$	m_0
0,10 и менее	0,34	1,00	1,96
0,15	0,42	1,50	2,45
0,25	0,64	2,00	2,69
0,50	1,13	2,50	2,86
0,75	1,58	3,00 и более	2,94

Литература

1. Минеев В.Г. Определение количества груза по посадке судна. Методические указания к лабораторной работе по технологии перевозки грузов. Владивосток / ДВГМА, 1992. – 29 с.
2. Правила классификации и постройки морских судов. 1990. Т. 1 / Регистр СССР. Л.: Транспорт, 1989. – 630 с.