

**РОССИЙСКИЙ МОРСКОЙ РЕГИСТР СУДОХОДСТВА**

---

**СБОРНИК**  
**НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИХ**  
**МАТЕРИАЛОВ**

Книга двадцать четвертая



Санкт-Петербург  
2016

В настоящем Сборнике нормативно-методических материалов публикуются:

Проект предложений по дополнению Правил классификации и постройки морских судов нормативно-методическими требованиями к судам, эксплуатация которых предусматривает посадку на грунт (суда NAABSA);

Методика оценки риска потери остойчивости судном при опасных динамических явлениях на взволнованном море.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>ПРОЕКТ ПРЕДЛОЖЕНИЙ ПО ДОПОЛНЕНИЮ ПРАВИЛ КЛАССИФИКАЦИИ И ПОСТРОЙКИ МОРСКИХ СУДОВ НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИМИ ТРЕБОВАНИЯМИ К СУДАМ, ЭКСПЛУАТАЦИЯ КОТОРЫХ ПРЕДУСМАТРИВАЕТ ПОСАДКУ НА ГРУНТ (СУДА NAABSA) . . . . .</b>	<b>5</b>
---	----------

<b>МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКА ПОТЕРИ ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНОМ ПРИ ОПАСНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЯХ НА ВЗВОЛНОВАННОМ МОРЕ . . . . .</b>	<b>25</b>
---	-----------

<b>1 Критерий риска потери остойчивости при параметрической качке . . . . .</b>	<b>25</b>
1.1 Область распространения . . . . .	25
1.2 Критерий риска потери остойчивости при параметрической качке 1 уровня . . . . .	26
1.3 Критерий риска потери остойчивости при параметрической качке 2 уровня . . . . .	27
<b>2 Критерии риска потери остойчивости при статической постановке на волну . . . . .</b>	<b>32</b>
2.1 Область распространения . . . . .	32
2.2 Критерий риска потери остойчивости 1 уровня . . . . .	32
2.3 Критерии риска потери остойчивости 2 уровня . . . . .	34
<b>3 Критерий риска потери остойчивости от движения на гребне волны (бродинга) . . . . .</b>	<b>37</b>
3.1 Область распространения . . . . .	37
3.2 Критерий риска потери остойчивости при движении на гребне волны (бродинга) 1 уровня . . . . .	37
3.3 Критерий риска потери остойчивости при движении на гребне волны (бродинга) 2 уровня . . . . .	38

**ПРОЕКТ ПРЕДЛОЖЕНИЙ  
ПО ДОПОЛНЕНИЮ ПРАВИЛ  
КЛАССИФИКАЦИИ И ПОСТРОЙКИ  
МОРСКИХ СУДОВ НОРМАТИВНО-  
МЕТОДИЧЕСКИМИ ТРЕБОВАНИЯМИ К СУДАМ,  
ЭКСПЛУАТАЦИЯ КОТОРЫХ ПРЕДУСМАТРИВАЕТ  
ПОСАДКУ НА ГРУНТ (СУДА NAABSA)**

**ЧАСТЬ I. КЛАССИФИКАЦИЯ**

**2.2 СИМВОЛ КЛАССА СУДНА**

**Вводится пункт 2.2.29 следующего содержания:**

**«2.2.29 Знаки судов, эксплуатация которых предусматривает посадку на грунт.**

Судну, эксплуатация которого предусматривает посадку на грунт, а конструкция корпуса и оборудование отвечает требованиям соответствующих разделов Правил к основному символу класса, добавляется один из следующих знаков:

**.1 NAABSA1** — допускается частичное или полное обсушение подводной части корпуса на ровных однородных песчано-галечных или песчано-илистых грунтах при отсутствии поступательного движения в закрытых от волнения акваториях;

**.2 NAABSA2** — в дополнение к условиям, регламентируемым для знака **NAABSA1**, допускается наличие поступательного движения и ударного контакта носовой части днища с грунтом при ограниченных параметрах волнения и качки;

**.3 NAABSA3** — в дополнение к условиям, регламентируемым для знака **NAABSA2**, допускается обсушение в заданной точке на удалении от уреза воды в заякоренном состоянии в условиях качки, сопровождаемой ударными контактами с грунтом в любой точке днища.»

Существующие пункты 2.2.29 и 2.2.30 заменяются на 2.2.30 и 2.2.31 соответственно.

## ЧАСТЬ II. КОРПУС

### 3.13 СУДА, ЭКСПЛУАТАЦИЯ КОТОРЫХ ПРЕДУСМАТРИВАЕТ ПОСАДКУ НА ГРУНТ

#### 3.13.1 Общие положения и обозначения.

##### 3.13.1.1 Область распространения.

3.13.1.1.1 Требования настоящей главы применяются к судам, которые эксплуатируются в режиме NAABSA (Not Always Afloat But Safely Aground/ не всегда на плаву, но безопасно на грунте) с частичным или полным обсушением корпуса в местах, приспособленных к посадке судов на грунт.

3.13.1.1.2 Суды, конструкция которых отвечает требованиям настоящей главы, получают в символе класса знак судна согласно 2.2.29 части I «Классификация».

3.13.1.1.3 Требования к конструкциям корпуса, не упомянутые в настоящей главе, должны приниматься в соответствии с разд. 1 и 2.

##### 3.13.1.2 В настоящей главе приняты следующие обозначения:

$\Delta_N$  — расчетное водоизмещение судна для режима NAABSA, равное наибольшему значению к началу обсушения или при вспльгтии с грунта, но во всех случаях не более водоизмещения по летнюю грузовую ватерлинию, т;

$L_{BN}$  — расчетная длина днища судна по килевой линии, м;

$L_N$  — расчетная длина днища, м, с учетом носового (1) и кормового (2) внешних конструктивных усилений корпуса (см. рис. 3.13.1.2);

$\Delta_d$  — изменение средней осадки судна на миделе относительно уровня  $d_N$ , соответствующего расчетному водоизмещению  $\Delta_N$ , м;

$\psi_0$  — угол конструктивного дифферента судна, град (положительный на корму);

$\psi_N$  — расчетный угол наклона грунта вдоль судна, град;

$\psi_S$  — угол эксплуатационного дифферента судна, град;

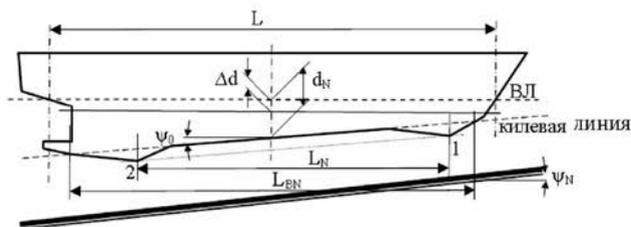


Рис. 3.13.1.2

$\psi_{ON}$  — угол дифферента судна за счет посадки на грунт с ходу, град;  
 $R_{ON}$  — начальная носовая реакция в результате посадки судна на грунт с ходу, кН;

$R_N^m$  — статическая концевая (локальная) реакция для судна, кН;

$R_N^n$  — статическая номинальная (распределенная) реакция для судна, кН;

$M_N$  — изгибающий момент для корпуса судна с учетом реакций грунта, кН·м;

$N_N$  — перерезывающая сила для корпуса судна с учетом реакций грунта, кН;

$B_N$  — ширина плоского горизонтального участка днища, м;

$\beta_K$  — угол килеватости днища, град.;

$h_K$  — расчетная высота внешней конструктивной защиты ниже уровня килевой линии, м;

$v_N$  — расчетная поступательная скорость судна при посадке на грунт, уз;

$h_N$  — расчетная (допускаемая) высота волны для условий режима NAABSA, м.

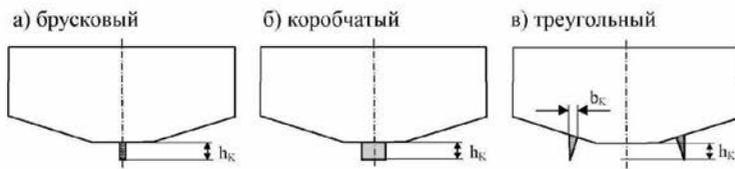
### 3.13.1.3 Форма корпуса.

3.13.1.3.1 Форму обводов днища в поперечных сечениях корпуса рекомендуется определять в соответствии с рис. 3.13.1.3.1. В районах ударных воздействий грунта рекомендуется уменьшение ширины плоской горизонтальной части днища и увеличение угла килеватости днища.



Рис. 3.13.1.3.1

3.13.1.3.2 Для снижения интенсивности прямого воздействия грунта на обшивку корпуса и на винторулевой комплекс судов NAABSA в днищевой части рекомендуется установка внешней конструктивной защиты (фальшкили, приварные полосы и т.п.), которая может иметь различную конструкцию (см. рис. 3.13.1.3.2) и, как правило, должна опус-



$b_K$  — ширина фальшкиля в основании соединения с корпусом

Рис. 3.13.1.3.2

каяться ниже уровня килевой линии в данном сечении на величину  $h_K$ , м, которая выбирается при проектировании.

### 3.13.1.4 Районы усилений.

3.13.1.4.1 Днище судов NAABSA разбивается на три района усиления по длине корпуса: носовой — *A*, средний — *B* и кормовой — *C*.

3.13.1.4.2 Расстояние,  $L_A$ , м, от носового перпендикуляра (НП) до кормовой границы района усиления *A* определяется (см. рис. 3.13.1.4.2) по формуле

$$L_A = 0,3L(1 + 0,175\psi_0) - 20h_k \geq 2L, \quad (3.13.1.4.2-1)$$

где  $L_3$  — удаление от точки 3 НП, м.

3.13.1.4.3 Расстояние,  $L_C$ , м, от кормового перпендикуляра (КП) до носовой границы района усиления *C* определяется (см. рис. 3.13.1.4.2) по формуле

$$L_C = 0,3L(1 + 0,175\psi_0) - 20h_k \geq 0,05L. \quad (3.13.1.4.2-1)$$

При кормовом расположении машинного отделения рекомендуется его относить к району усиления *C*.

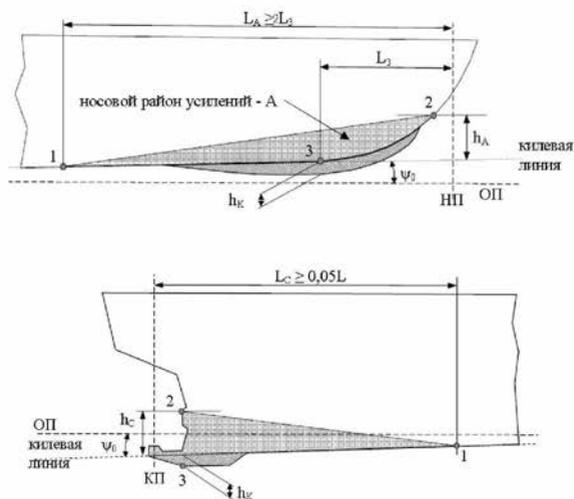


Рис. 3.13.1.4.2:

- 1 — точка удаления от перпендикуляра; 2 — верхняя граница;  
3 — точка для определения высоты внешней конструктивной защиты

**3.13.1.4.4** Средний район усиления  $B$  располагается между носовым и кормовым районами.

**3.13.1.4.5** Верхняя граница районов усиления должна иметь возвышение, м, над килевой линией (точка 2 на рис. 3.13.1.4.2) не менее:

$$\text{для носового района } h_A = 0,1\psi L - h_K; \quad (3.13.1.4.5-1)$$

$$\text{для кормового района } h_C = 0,2L\psi/3 - h_K, \quad (3.13.1.4.5-2)$$

где  $\psi$  — расчетный угол дифферента при качке в месте посадки на грунт, рад.; при отсутствии точных данных  $\psi$  может быть определен по формуле (1.3.3.1-4) как для судна ограниченного района плавания **R3**.

Для среднего района усиления возвышение  $h_B$ , м, должно быть не менее:

$$h_B = (0,5B - B_K)\text{tg}\theta - h_K, \text{ но может быть не более } h_A, \quad (3.13.1.3.5-3)$$

где  $B_K$  — удаление от ДП ближайшего к борту фальшкиля, м;

$h_{AN}$  — высота до верхней кромки флоров у борта при лекальных обводах и до точки подъема днища у борта при упрощенных обводах, м;

$\theta$  — расчетный угол крена при качке в месте посадки на грунт, рад.

При отсутствии точных данных  $\theta$  может быть определен по формуле (1.3.3.1-5) как для судна ограниченного района плавания **R3** при  $\varphi_r = \varphi$ .

По результатам расчетов назначаются границы районов специальных усиления корпуса, как показано на рис. 3.13.1.4.5.

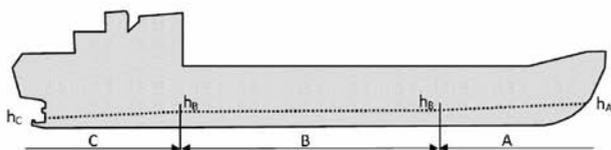


Рис. 3.13.1.4.5

### 3.13.2 Конструктивные требования.

**3.13.2.1** Для всех судов **NAABSA** рекомендуется устройство двойного дна. Если двойное дно отсутствует или устроено частично, то для судна требуется выполнить расчеты аварийной остойчивости при размерах повреждений днища, м:

$$l_D = L^{2/3} / 3 \text{ — в продольном направлении;}$$

$b_D = B/6$  — в поперечном направлении;

$h_D = B/20$  — в вертикальном направлении.

Для судов со знаком **NAABSA2** двойное дно требуется в носовом районе усиления. Для судов со знаком **NAABSA3** двойное дно требуется по всей длине судна — от форпиковой до ахтерпиковой переборок.

Отступления от указанных выше требований является предметом специального рассмотрения Регистром.

### 3.13.2.2 Системы набора.

**3.13.2.2.1** Для днища судов **NAABSA** рекомендуется поперечная система набора по всей длине с установкой флоров на каждом шпангоуте. При продольной системе набора днища судов со знаками **NAABSA2** и **NAABSA3** флоры должны устанавливаться через две шпации.

**3.13.2.2.2** Расстояние  $a_{BS}$ , м, между днищевыми стрингерами, стрингером и килем, как правило, не должно превышать

$$a_{BS} = 1,4 + 2,5(L/100) - (L/100)^2. \quad (3.13.2.2.2)$$

Кроме того, указанное расстояние должно быть не более:

1,1 м — в районе *A* судов со знаком **NAABSA2** и районах *A* и *C* судов со знаком **NAABSA3**;

2,1 м — в районе *B* судов со знаком **NAABSA3**.

**3.13.2.2.3** Для верхней палубы судов **NAABSA** длиной более 50 м рекомендуется продольная система набора в среднем районе корпуса.

**3.13.2.2.4** Рамные шпангоуты и/или диафрагмы двойных бортов должны устанавливаться не реже, чем через 4 шпации.

**3.13.2.2.5** Конструкции плоских продольных и поперечных переборок должны иметь вертикальные стойки в качестве основного набора. Гофрированные переборки должны иметь вертикальную ориентацию гофров.

### 3.13.2.3 Внешняя конструктивная защита.

**3.13.2.3.1** Для снижения интенсивности прямого воздействия грунта на обшивку корпуса судов **NAABSA** в днищевой части рекомендуется установка внешней конструктивной защиты — фальшкилей, которые могут иметь различную конструкцию (см. рис. 3.13.1.3.2).

**3.13.2.3.2** Фальшкили должны располагаться в плоскости продольных переборок и продольного рамного набора днища. Допускается установка

дополнительных подкреплений днища в местах установки фальшкилей. Крепление фальшкилей к наружной обшивке должно соответствовать применимым требованиям 2.2.5.3.

#### **3.13.2.4 Балки набора корпуса.**

**3.13.2.4.1** При наличии эффективной внешней конструктивной защиты корпуса в данном районе балки набора проектируются в соответствии с общими требованиями разд. 1 и 2. Под эффективной внешней конструктивной защитой понимается защита, которая обеспечивает снижение интенсивности давлений грунта на обшивку корпуса не менее чем в 1,5 раза.

**3.13.2.4.2** В районах ударных нагрузок, при отсутствии внешней конструктивной защиты, балки набора проектируются по предельному состоянию.

**3.13.2.4.3** Стенки рамного днищевого набора — вертикального киля, стрингеров и флоров в районах прямого воздействия грунта на обшивку должны подкрепляться вертикальными ребрами жесткости, устойчивость которых должна быть обеспечена при износах на конец срока службы конструкции.

**3.13.2.4.4** При продольной системе набора днища судов со знаком NAABSA3 скуловые brackets должны располагаться на каждом шпангоуте. В промежутках между ними рекомендуются облегченные скуловые brackets (см. рис. 3.10.2.1.3-1).

#### **3.13.2.5 Опорные сечения балок.**

**3.13.2.5.1** При проектировании балок набора по допустимым напряжениям опорные сечения и расчетные пролеты определяются в соответствии с 1.6.3.1.

**3.13.2.5.2** При проектировании балок набора по предельному состоянию опорное сечение принимается с учетом наличия книц и располагается:

- у конца книц с свободной кромкой, подкрепленной пояском;
- посередине катета книц с неподкрепленной свободной кромкой.

#### **3.13.2.6 Узлы соединения балок.**

**3.13.2.6.1** Узлы соединения балок должны отвечать требованиям 1.7.2.

**3.13.2.6.2** Для районов ударных нагрузок судов со знаками NAABSA2 и NAABSA3 не рекомендуется применение узлов соединения балок с технологическими зазорами.

#### **3.13.2.7 Вырезы в стенках днищевого набора**

**3.13.2.7.1** Вырезы в стенках днищевого набора должны отвечать требованиям 2.3.5.2 и 2.4.2.7. Для судов NAABSA число вырезов (лазов) должно быть минимально.

**3.13.2.7.2** Вырезы в стенках рамного набора для прохода днищевых балок в районах контакта днища с грунтом, как правило, должны быть компенсированы установкой заделок по типу узлов, представленных в табл. 3.10.2.4.5. При этом, в районах ударных нагрузок рекомендуются варианты заделок с приваркой кромки заделки к наружной обшивке.

#### **3.13.2.8** Специальные требования.

**3.13.2.8.1** Для повышения прочности, долговечности и ремонтно-пригодности обшивки корпуса в районах контакта днища с грунтом рекомендуется применять защитные наружные продольные приварные элементы полукруглого или иного сплошного сечения. Допускаются варианты полых сечений (полутруб, уголков, полос и т.п.) при условии обеспечения водонепроницаемости внутренней полости.

**3.13.2.8.2** Наружные приварные элементы в местах окончаний должны плавно уменьшаться по высоте, а места их окончаний, как правило, должны располагаться на линиях приварки набора к обшивке.

#### **3.13.3** Расчетные нагрузки.

**3.13.3.1** Нагрузки разделяются на эксплуатационные (статические) и экстремальные (ударные).

##### **3.13.3.2** К эксплуатационным нагрузкам относятся:

.1 концевые (в носовом и кормовом районе) реакции грунта, возникающие в процессе обсушения и всплытия судна, когда его килевая линия в водоизмещающем положении не будет параллельна линии уклона грунта;

.2 силы давления грунта на днище судна при частичном или полном обсушении (судно находится на грунте без движения);

.3 реакции, передаваемые от внешней конструктивной защиты (фальшкилей), с учетом их расположения; для самих фальшкилей нагрузки грунта следует считать экстремальными.

**3.13.3.3** К экстремальным нагрузкам следует относить все ударные нагрузки, связанные с движением и качкой судна в момент контакта с грунтом.

**3.13.3.4** В любом случае экстремальные нагрузки не должны приниматься меньше, чем эксплуатационные нагрузки.

**3.13.3.5** Для условий обсушения должны рассчитываться реально возможные в эксплуатации случаи распределения весовой нагрузки по длине судна, учитываться неравномерность распределения сил поддержания как со стороны грунта, так и воды на разных этапах обсушения.

**3.13.3.6** При отсутствии расчетов процессов обсушения и всплытия судна статические концевые реакции  $R_N^m$ , кН, грунта на корпус судна можно оценить по формуле

$$R_N^m = g\Delta_N \left[ \frac{\text{tg}(\psi_N - \psi_0 - \psi_{0N})}{6} \frac{L}{d_N} \right] + R_{0N}, \quad (3.13.3.6)$$

для судов NAABSA1 следует принимать  $R_{0N} = 0$  и  $\psi_{0N} = 0$ .

В любом случае для условий полного обсушения величина статической концевой реакции грунта  $R_N^m$ , кН, не должна приниматься менее величины:

$R_N^m = 3g\Delta_N/12$  — для судна со знаком NAABSA1;

$R_N^m = 4g\Delta_N/12$  — для судна со знаком NAABSA2;

$R_N^m = 5g\Delta_N/12$  — для судна со знаком NAABSA3.

3.13.3.7 При обсушении судна с килевой линией параллельной грунту оценка значений статической реакции  $R_N^m$ , кН, определяется по формулам:

$$R_N^m = g\Delta_N \frac{\Delta d}{d_N} \frac{\alpha}{C_b} \quad \text{для условий частичного обсушения,} \quad (3.13.3.7-1)$$

$$R_N^m = g\Delta_N \quad \text{для условий полного обсушения,} \quad (3.13.3.7-2)$$

где  $\alpha$  — коэффициент полноты летней грузовой ватерлинии.

3.13.3.8 Расчетная статическая нагрузка  $Q_{0s}$ , кН, со стороны грунта для проверки поперечной прочности отсека корпуса судна NAABSA определяется по формуле

$$Q_{0s} = k_\phi R_N^n \frac{L_{0s}}{C_{BN}}, \quad (3.13.3.8)$$

где  $k_\phi = 1,5$  — при отсутствии расчетных обоснований;

$L_{0s}$  — длина отсека/трюма судна, м.

Рекомендуемые схемы приложения расчетных нагрузок на отсеки судов приведены на рис. 3.13.3.8.

3.13.3.9 Расчетные локальные давления  $p_i$ , кПа, на конструктивные элементы, непосредственно воспринимающие действие грунта, определяются по формуле

$$p_i = 10d_N(1 + 4/\sqrt{A_i}), \quad (3.13.3.9)$$

где  $A_i$  — расчетная площадь зоны данного элемента, м<sup>2</sup>.

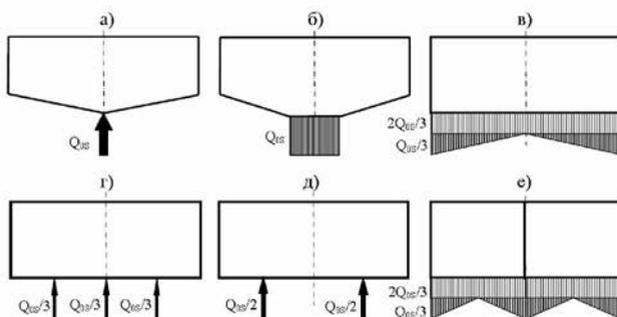


Рис. 3.13.3.8:

*а* — килеватое днище; *б* — плоско-килеватое; *в* — плоское; *г* — с 3 фальшкильями;  
*д* — с 2 фальшкильями; *е* — плоское с одной продольной переборкой в ДП

**3.13.3.10** Расчетное номинальное давления судна на грунт не должно превышать расчетного сопротивления грунта,  $R_0$ , кПа:

$$R_0 > 10\Delta d. \quad (3.13.3.10-1)$$

Для судов **NAABSA**, погрузка-разгрузка которых на грунте выполняется тяжелой колесной и гусеничной техникой, расчетное сопротивление грунта не должно приниматься менее

$$R_0 = 100, \text{ кПа}. \quad (3.13.3.10-2)$$

Необходимая суммарная площадь зон контакта с грунтом для случая полного обсушения судов  $A_N^{\min}$ ,  $\text{м}^2$ , должна быть не менее:

$$A_N^{\min} = g\Delta_N/R_0. \quad (3.13.3.10-3)$$

**3.13.3.11** Ударные нагрузки грунта для судов со знаками **NAABSA2** и **NAABSA3** следует принимать не менее ограничений, установленных в 3.13.3.6.

### 3.13.4 Изгибающие моменты и перерезывающие силы для корпуса.

**3.13.4.1** Определение изгибающих моментов и перерезывающих сил для корпуса судна, нормальная эксплуатация которого предусматривает посадку на грунт, должно производиться для судов со знаком **NAABSA1** длиной более 50 м, а для судов со знаками **NAABSA2** и **NAABSA3** независимо от длины судна.

3.13.4.2 Значения максимальных значений изгибающих моментов и перерезывающих сил могут быть определены по приближенным формулам, приведенным ниже.

3.13.4.2.1 Для случая полного обсушения на грунте и перегиба корпусов судов NAABSA всех уровней:

$$M_N = 0,315\Delta_N L, \text{ кНа}\cdot\text{м}; \quad (3.13.4.2.1-1)$$

$$N_N = -1,03\Delta_N, \text{ кНа}. \quad (3.13.4.2.1-2)$$

Для условий частичного обсушения судов NAABSA1 полученные значения могут быть уменьшены путем замены  $\Delta_N$  на величину номинальной реакции грунта:

$$R_N^a = \Delta_N(\Delta d/d_N)(\alpha/C_b), \text{ но не более чем в 2 раза.}$$

3.13.4.2.2 Для случая действия концевой силы и прогиба корпуса судов со знаком NAABSA1:

$$M_N = -0,36\Delta_N L, \text{ кНа}\cdot\text{м}; \quad (3.13.4.2.2-1)$$

$$N_N = 2,4\Delta_N, \text{ кНа}. \quad (3.13.4.2.2-2)$$

3.13.4.2.3 Для случая действия концевой силы, в том числе и при ударе носом, судов со знаком NAABSA2:

$$M_N = -0,629\Delta_N L, \text{ кНа}\cdot\text{м}; \quad (3.13.4.2.3-1)$$

$$N_N = 3,27\Delta_N, \text{ кНа}. \quad (3.13.4.2.3-2)$$

3.13.4.2.4 Для случая действия концевой силы, в том числе и при ударе носом или кормой, судов со знаком NAABSA3:

$$M_N = -0,921\Delta_N L, \text{ кНа}\cdot\text{м}; \quad (3.13.4.2.4-1)$$

$$N_N = 4,09\Delta_N, \text{ кНа}. \quad (3.13.4.2.4-2)$$

3.13.4.2.5 Формулы, приведенные в 3.13.4.2.1 — 3.13.4.2.4, определяют наибольшие значения изгибающих моментов в среднем районе корпуса, а перерезывающих сил в оконечностях. Для случаев

прогибов от концевых сил, в том числе ударных, полученные значения следует алгебраически суммировать с расчетными изгибающими моментами для состояния судна на тихой воде.

### 3.13.5 Условия проверки общей прочности.

3.13.5.1 Для судов NAABSA следует выполнять проверку остаточного (фактического) предельного момента сопротивления корпуса, который не должен быть меньше допускаемого остаточного предельного момента сопротивления поперечного сечения корпуса.

3.13.5.2 Допускаемый остаточный предельный момент сопротивления  $[W_{п(дн)}]_i$ , см<sup>3</sup>, поперечного сечения корпуса для палубы/днища определяется по формуле:

$$[W_{п(дн)}]_i = 1,1 \frac{|0,92M_{Ni} + M_{SW}|}{R_{eH}} 10^3, \quad (3.13.5.2)$$

где  $M_{Ni}$  — расчетный изгибающий момент, кН·м, по 3.13.4;

$i$  — индекс уровня категории NAABSA;

$R_{eH}$  — верхний предел текучести материала палубы (днища), МПа.

3.13.5.3 Остаточный (фактический) предельный момент сопротивлений поперечного сечения корпуса судна в эксплуатации определяется на основе данных замеров остаточных толщин и остаточных деформаций связей корпуса.

На стадии проектирования или модернизации судна предельный момент сопротивления поперечного сечения корпуса судна к концу срока службы может определяться приближенно при следующих допущениях:

.1 износ всех связей корпуса 30 %;

.2 деформация днищевых конструкций по ширине в расчетном сечении 50 %;

.3 корпус судна находится в состоянии прогиба от концевой реакции грунта;

.4 сжатые гибкие связи палубы и верхней части бортов исключаются;

.5 растянутые связи днища с деформациями исключаются.

3.13.5.4 Остаточный предельный момент сопротивления поперечных сечений корпуса судна по 3.13.5.3 дополнительно должен быть не менее определяемого по формуле

$$W_{\min} = C_W BL^2 (C_b + 0,7) \eta. \quad (3.13.5.4)$$

При этом, не следует учитывать ограничения по району плавания для судов со знаками NAABSA2 и NAABSA3.

### 3.13.6 Размеры конструктивных связей.

#### 3.13.6.1 Наружная обшивка.

**3.13.6.1.1** Толщина обшивки днища и скулы  $s$ , мм, в районах прямого воздействия грунта и отсутствия внешней конструктивной защиты должна быть не менее:

$$s = 15,8ak_{\alpha}\sqrt{\frac{k_p p}{k_{\sigma} R_{eH}}}(m_0 - 0,05)^{-1}, \quad (3.13.6.1.1)$$

где  $a$  — размер меньшей стороны пластины (шпация основного набора), м;

$b$  — размер большей стороны пластины, м;

$\alpha = a/b$  — соотношение сторон пластины;

$k_{\alpha} = \left(\frac{1 - \alpha + \pi\alpha/6}{1 - \alpha + \pi\alpha/2}\right)$  — коэффициент соотношения сторон пластины;

$k_p$  — коэффициент запаса для пластин, равный 1,5;

$p$  — расчетное давление грунта, кПа, определяемое по 3.13.3.9 при  $A_i = a \times b$ ;

$k_{\sigma} = 0,95 - 0,42L/100$  — при поперечной системе набора в среднем районе корпуса и равный 0,9 — в других случаях;

$R_{eH}$  — верхний предел текучести, МПа;

$m_0$  — коэффициент допускаемых остаточных толщин обшивки в эксплуатации, равный 0,80 для районов специальных усилений корпуса.

При наличии в данном районе корпуса внешней конструктивной защиты толщина обшивки днища и скулы в этом районе может быть определена по формуле (3.13.6.1.1) при значениях  $k_p = 1$  и  $m_0 = 0,7$ .

**3.13.6.1.2** В любом случае толщина обшивки днища и скулы должна удовлетворять требованию 2.2.4.8 к минимальным толщинам.

**3.13.6.1.3** Для судов со знаками **NAABSA2** и **NAABSA3** в районах ударных нагрузок и при отсутствии внешней конструктивной защиты толщина обшивки днища и скулы должна быть не менее

$$s = \frac{k_p p a b}{\pi f_0 R_{eH}}(m_0 - 0,05)^{-1}, \quad (3.13.6.1.3)$$

где  $f_0 = 0,06a$  — допускаемый остаточный прогиб бумтин при освидетельствованиях.

**3.13.6.1.4** Для судов со знаком **NAABSA1** толщина обшивки днища и скулы, вместо определения по формуле (3.13.6.1.1), может определяться по формуле (1.6.4.4) при  $m = 15,8$  и  $\sigma_n = R_{eH}$ .

#### 3.13.6.2 Параметры балок основного набора.

**3.13.6.2.1** В районах прямого воздействия грунта на обшивку предельный момент сопротивления  $W_0$ , см<sup>3</sup>, поперечного сечения балок должен быть не менее определяемого по формуле

$$W_0 = \frac{1000k_p pa l^2}{mk_\sigma R_{eH}} k_\alpha k_k (m_0 - 0,05)^{-1}, \quad (3.13.6.2.1)$$

где  $k_p$  — коэффициент запаса для экстремальных нагрузок на балки равный 1,35;  
 $p$  — расчетное давление грунта, кПа, определяемое по 3.13.3.9 при  $A_i = 2a \times 1$ ;  
 $a$  — расстояние (шпация) между балками основного набора, м;  
 $l$  — длина пролета балки, м;  
 $\alpha = a/l$  — соотношение шпации и длины пролета;  
 $k_\alpha = 1 - \alpha^2/2 + \alpha^3/8$  — коэффициент;  
 $k_k = 0,914$  — коэффициент учёта перераспределения (концентрации у опор) нагрузки;  
 $m_0 = 0,80$  — коэффициент допускаемого остаточного момента сопротивления;  
 $m = 12$  — коэффициент изгибающего момента;  
 $k_\alpha = 0,95 - 0,42L/100$  — для продольных балок среднего района и 0,9 — для прочих;  
 $R_{eH}$  — верхний предел текучести, МПа.

При наличии в данном районе корпуса внешней конструктивной защиты предельный момент сопротивления балок в этом районе может быть определен по формуле (3.13.6.2.1) при значениях  $k_p = 1$  и  $m_0 = 0,7$ .

**3.13.6.2.2** Определение фактического предельного момента сопротивления сечения балок может быть выполнено по 3.10.4.2.6.

**3.13.6.2.3** Для судов со знаком NAABSA1 требования к минимальному моменту сопротивления могут определяться, вместо использования формулы (3.13.6.2.1), по формуле (1.6.4.1) при  $m = 12$  и  $\sigma_n = R_{eH}$ .

**3.13.6.2.4** В районах прямого восприятия нагрузки от грунта площадь поперечного сечения стенки балки основного набора днища  $f_c$ , см<sup>2</sup>, должна быть не менее определяемой по формуле

$$f_c = \frac{5k_p pa l (1 - \alpha/2)}{0,57k_\sigma R_{eH}} (m_0 - 0,05)^{-1}. \quad (3.13.6.2.4)$$

При наличии внешней конструктивной защиты в данном районе расчет выполняется при значениях  $k_p = 1$  и  $m_0 = 0,7$ .

**3.13.6.2.5** Определение фактической площади поперечного сечения стенки балки может быть выполнено по 3.10.4.2.5.

**3.13.6.2.6** Для судов со знаком NAABSA1 требования к площади поперечного сечения стенки балки основного набора могут определяться, вместо использования формулы (3.13.6.2.4), по формуле (1.6.4.3) при  $\tau_n = 0,57R_{eH}$ .

**3.13.6.3** Параметры балок рамного набора.

**3.13.6.3.1** В районах прямого воздействия грунта на днищевую обшивку предельный момент сопротивления  $W_0$ , см<sup>3</sup>, поперечного сечения однопролетных балок рамного набора определяется по фор-

муле (3.13.6.2.1), а площадь поперечного сечения стенки балки рамного набора по формуле (3.13.6.2.4), при этом:

$k_p = 1,15$  — коэффициент запаса для экстремальных нагрузок;  
 $P$  — меньшее расчетное давление грунта, определяется по 3.13.3.9 при  $A_i = 2al$  (противодавление грузов не учитывать);  
 $a$  — расстояние между балками рамного набора, м;  
 $l$  — длина пролета балки, м.

При определении фактической площади поперечного сечения стенки балки рамного набора площадь сечения неподкрепленных вырезов должна вычитаться (нетто-сечение).

3.13.6.3.2 Как правило, балки днищевого рамного набора (флоры, стрингеры, вертикальный киль) не относятся к однопролетным балкам, и положения 3.13.6.3.1 для указанных балок не применимы.

3.13.6.3.3 Прочность рамного набора, не удовлетворяющего положениям 3.13.6.3.1, должна быть проверена на основании расчетов днищевого перекрытия как стержневой системы. В случае наличия пиллерсов и раскосов прочность перекрытия должна проверяться в составе всего отсека корпуса как стержневой системы. Расчетные статические нагрузки на перекрытие/отсек определяются согласно 3.13.3.8. По результатам расчетов определяются сечения с наибольшими приведенными напряжениями (по условию Мизеса). При построечных размерах связей эти напряжения, МПа, не должны превышать:

$(0,95 - 0,42L/100)0,75R_{eH}$  — для продольного набора района  $B$ ;

$0,68R_{eH}$  — для прочих конструкций.

3.13.6.3.4 Расчет прочности по 3.13.6.3.3 может выполняться с учетом влияния книц.

3.13.6.3.5 Сжимающие нагрузки на пиллерсы и раскосы определяются непосредственно в результате расчетов стержневой системы, при этом размеры сечений должны удовлетворять 2.9. Кроме прочности, данные связи должны удовлетворять условиям устойчивости при сжатии. Рекомендуется ориентация раскосов, обеспечивающая их работу на растяжение при контакте корпуса с грунтом.

3.13.6.4 Листовые конструкции.

3.13.6.4.1 Толщина листовых конструкций — стенок флоров, днищевых стрингеров, вертикального киля и прилегающих к обшивке днища и скулы листов поперечных и продольных переборок, участвующих в восприятии нагрузки от грунта в районах отсутствия внешней конструктивной защиты корпуса, должна удовлетворять 2.4.4.3.2. В районах, имеющих внешнюю конструктивную защиту корпуса, толщина должна удовлетворять 2.4.4.9.

**3.13.6.4.2** Листовые конструкции должны иметь подкрепляющие ребра жесткости. Расстояние между ребрами жесткости, как правило, не должно превышать регламентируемой 1.1.3 нормальной шпации в данном районе корпуса.

**3.13.6.4.3** Рекомендуется проверка листовых конструкций в соответствии с 3.10.4.9. При этом, расчетные давления, кПа, должны приниматься не менее определенных по формуле

$$p_i = 10d_N(1 + 4/\sqrt{A_i})k_p, \quad (3.13.6.4.3)$$

где  $A = a^2/2$ , м<sup>2</sup>;

$a$  — расстояние между ребрами жесткости или шпация, что меньше;

$k_p$  — коэффициент запаса, принимаемый равным 1,5.

### 3.13.6.5 Штевни.

**3.13.6.5.1** Форштевень судна, работающего в режиме NAABSA, в нижней части перехода в киль рекомендуется выполнить выступающим за поверхность обшивки или в виде наружного бруска. Конструктивное исполнение должно соответствовать требованиям 2.10.

**3.13.6.5.2** Прочность форштевня рекомендуется проверять как криволинейной балки переменного сечения. Опорами для форштевня принимаются палубы, платформы и поперечные переборки. Расчетная нагрузка на форштевень должна приниматься не менее величины реакции грунта по 3.13.3.6 с продольным распределением по треугольному закону и протяженностью не более  $L_3$  по 3.13.1.3.2. Коэффициент допускаемых напряжений принимается  $k_\sigma = 0,68$ .

**3.13.6.5.3** Ахтерштевни судов, работающих в режиме NAABSA, в нижней части перехода в киль рекомендуется выполнить выступающим за внешнюю поверхность обшивки. Конструкция ахтерштевня должна отвечать требованиям 2.10. Нижнюю часть ахтерштевня в нос от старнпоста рекомендуется крепить не менее чем к двум флорам. Рекомендуется крепление опорой пятки ахтерштевня на рудерпост. Начиная от старнпоста, рекомендуется подъем ахтерштевня в кормовом направлении под углом 6° для судов со знаком NAABSA1, 8° для — для судов со знаком NAABSA2 и не менее 10° для судов со знаком NAABSA3.

**3.13.6.5.4** Прочность элементов ахтерштевня должна проверяться в соответствии с 2.10.4.2.6 с коэффициентом допускаемых напряжений  $k_\sigma = 0,68$ . Расчетная нагрузка должна приниматься в соответствии с 3.13.3.6 с равномерным распределением. При учете уклона ахтерштевня в кормовом направлении допускается перейти на треугольную по длине эпюру нагрузки.

### 3.13.6.6 Внешняя конструктивная защита.

**3.13.6.6.1** Внешняя конструктивная защита судов, работающих в режиме NAABSA, может включать фальшкили различной конфигурации форм сечений и мест размещения под днищем (см. рис. 3.13.6.6.1). Решения по конструкции и размещению фальшкилей должны приниматься с учетом уменьшения нагрузки на корпус от контакта с грунтом. Фальшкили по ширине днища рекомендуется размещать у бортов, в районе киля, а также в местах расположения продольных переборок или днищевых стрингеров.

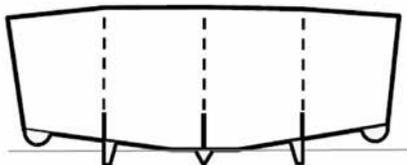


Рис. 3.13.6.6.1

**3.13.6.6.2** Крепление фальшкилей к наружной обшивке следует осуществлять через промежуточные элементы — накладные полосы с учетом практики крепления привальных брусьев и скуловых килей судов (например, по 2.2.5.3). Накладные полосы, непрерывные по длине и с плавными окончаниями, привариваются к обшивке сплошным швом. Фальшкили привариваются к накладным полосам также сплошным угловым швом. Фальшкили должны оканчиваться на подкрепленных участках обшивки при плавном уменьшении их высоты и ширины у концов. При этом сварное соединение фальшкиля должно быть относительно слабее сварного соединения накладной полосы с обшивкой днища.

**3.13.6.6.3** Расчетное вертикальное давление  $p$ , кПа, на фальшкили следует принимать не менее

$$p = 10d_N(1 + 4/b_k)k_p, \quad (3.13.6.6.3)$$

где  $b_k$  — ширина фальшкиля в месте соединения с корпусом;  
 $k_p$  — коэффициент запаса, равный 1 для условий упругой работы и равный 1,5 для экстремальных нагрузок и предельных состояний.

**3.13.6.6.4** Предельные нагрузки, вызывающие повреждения фальшкилей, не должны вызывать в сварных соединениях накладных полос с обшивкой напряжения более 0,8 от напряжений текучести.

**3.13.6.6.5** При проектировании фальшкилей особое внимание следует уделять ремонтпригодности. Как правило, фальшкили совместно с

другими наружными элементами усиления должны принимать на себя не менее половины расчетной нагрузки в данном районе корпуса.

**3.13.6.6** К дополнительным наружным усилениям могут быть отнесены приварные полосы сегментного или иного сечения. Такие усиления чаще устанавливают с целью снижения скорости износа обшивки.

## **ЧАСТЬ III. УСТРОЙСТВА, ОБОРУДОВАНИЕ И СНАБЖЕНИЕ**

### **5.7 СПЕЦИАЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО НА СУДАХ**

Глава дополняется пунктом 5.7.12 следующего содержания:

«**5.7.12** Для судов, нормальная эксплуатация которых предусматривает посадку на грунт со знаками **NAABSA2** и **NAABSA3**, рекомендуется специальное кормовое якорно-буксирное устройство для создания дополнительного к упору винтов усилия стягивания судна с грунта, если подобными устройствами не оснащены места посадки на грунт. Если места посадки на грунт оснащены такими устройствами, то на судах со знаками **NAABSA2** и **NAABSA3** рекомендуются элементы устройства (крепления тросов), обеспечивающие безопасное восприятие усилия стягивания.».

### **8.5 ВЫХОДЫ, ДВЕРИ, КОРИДОРЫ, НАКЛОННЫЕ И ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ТРАПЫ**

Глава дополняется пунктом 8.5.7 следующего содержания:

«**8.5.7** Для судов, нормальная эксплуатация которых предусматривает посадку на грунт в режиме **NAABSA** и не имеющих носовой аппарели, должны предусматриваться наклонные или вертикальные трапы, обеспечивающие безопасное перемещение экипажа с верхней палубы на грунт и обратно.».

## ЧАСТЬ IV. ОСТОЙЧИВОСТЬ

### 3 ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОСТОЙЧИВОСТИ

Раздел дополняется главой 3.13 следующего содержания:

**«3.13 Суда, нормальная эксплуатация которых предусматривает посадку на грунт.**

**3.13.1** Во время касания грунта и во время всплытия в режиме NAABSA1 распределение нагрузок на судне должно по возможности быть таким, чтобы плоскость днища была практически параллельна плоскости грунта в данном месте.

**3.13.2** При посадке на грунт с поступательным движением в режимах NAABSA2 или NAABSA3 угол дифферента судна на корму должен быть максимально приближен к углу наклона грунта.

**3.13.3** Если условия не позволяют визуально снять осадки непосредственно перед посадкой на грунт, то осадки рассчитываются от значений, записанных в судовой журнал в последнем порту отхода, с учетом расходования запасов и приема/откатки балласта на переходе.

**3.13.4** Во время погрузочных операций на грунте при отсутствии достоверных данных о точном количестве заявленных грузов удельный погрузочный объем грузов принимается максимальным, чтобы не допустить превышения грузовой марки.

**3.13.5** Перед окончанием грузовых операций на грунте расчет остойчивости производится с учетом того, что при отсутствии точных данных о возвышении центра тяжести грузов высота центра тяжести принимается по верхнему пределу».

**Применяется для судов, на которые распространяются требования  
Правил классификации и постройки морских судов  
с 2018 г. по настоящее время**

## **МЕТОДИКА ОЦЕНКИ РИСКА ПОТЕРИ ОСТОЙЧИВОСТИ СУДНОМ ПРИ ОПАСНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЯХ НА ВЗВОЛНОВАННОМ МОРЕ**

Оценка риска потери остойчивости судном при опасных динамических явлениях в условиях качки на взволнованном море производится с помощью критериев, учитывающих характеристики ветроволновых режимов, нагрузки судна и положения его на волновой поверхности.

Критерии разработаны с учетом исследований отечественных авторов и путем гармонизации с предложениями иностранных классификационных обществ, изложенных в материалах Международной морской организации (ИМО).

### **1 КРИТЕРИЙ РИСКА ПОТЕРИ ОСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ КАЧКЕ**

#### **1.1 ОБЛАСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ**

**1.1.1** Требования настоящего раздела применяются ко всем судам длиной  $L_1 \geq 24$  м.

**1.1.2** Для каждого варианта загрузки судно, остойчивость которого:

.1 отвечает требованию 1.2, считается не теряющим остойчивость при параметрической качке;

.2 не отвечает требованию 1.2, должно быть проверено в соответствии с 1.3.

**1.1.3** Для каждого варианта загрузки судно, остойчивость которого не отвечает требованиям в 1.1.2 и 1.1.3, требует введения эксплуатационных ограничений, полученных из расчета в соответствии с 1.1.3.

## 1.2 КРИТЕРИЙ РИСКА ПОТЕРИ ОСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ КАЧКЕ 1 УРОВНЯ

1.2.1 Судно считается неподверженным потере остойчивости при параметрической качке, если

$$\frac{\Delta h}{h} \leq R_{PR},$$

где  $R_{PR} = 1,87$  если судно имеет острую скулу,  
в ином случае:

$$R_{PR} = 0,17 + 0,425 \left( \frac{100A_k}{L_1 B} \right) \text{ при } C_m > 0,96;$$

$$R_{PR} = 0,17 + (10,625 \times C_m - 9,775) \left( \frac{100A_k}{L_1 B} \right) \text{ при } 0,94 < C_m < 0,96;$$

$$R_{PR} = 0,17 + 0,2125 \left( \frac{100A_k}{L_1 B} \right) \text{ при } C_m > 0,94;$$

и

$$\left( \frac{100A_k}{L_1 B} \right) \text{ не должно превышать } 4;$$

$h$  — метацентрическая высота в случае загрузки на тихой воде с учетом поправки на влияние свободной поверхности жидкости, м;

$\Delta h$  — величина изменения метацентрической высоты, м, рассчитанная при одном из следующих условий:  
при прохождении продольной волны вдоль корпуса судна, в соответствии с 1.2.3;  
по формуле (1.2.2);

$C_m$  — коэффициент полноты мидель-шпангоута с полным грузом на тихой воде;

$A_k$  — общая габаритная площадь проекции скуловых килей (другие выступающие части отсутствуют), м<sup>2</sup>;

$L_1$  — длина, как определено в Правилах о грузовой марке морских судов, м;

$B$  — теоретическая ширина судна, м.

1.2.2 Значение  $\Delta h$ , указанное в 1.2.1, можно определить по формуле

$$\Delta h = \frac{I_H - I_L}{2V} \text{ только при } \frac{V_D - V}{A_w(D - d)} \geq 1,0, \quad (1.2.2)$$

где  $D$  — теоретическая высота надводного борта до верхней палубы, м;

$V_D$  — объемное водоизмещение по ватерлинию, соответствующую теоретической высоте надводного борта при нулевом дифференте, м<sup>3</sup>;

$V$  — объемное водоизмещение, соответствующее рассматриваемому варианту загрузки,  $\text{м}^3$ ;

$A_W$  — площадь ватерлинии при осадке, равной  $d$ ,  $\text{м}^2$ ;

$d$  — осадка на миделе, соответствующая рассматриваемому варианту загрузки,  $\text{м}$ ;

$$\delta d_H = \min\left(D - d - \frac{L_1 S_W}{2}\right), \text{ м};$$

$$\delta d_L = \min\left(D - 0,25d_{\text{full}} - \frac{L_1 S_W}{2}\right), \text{ м}, \text{ а } d - 0,25d_{\text{full}} \text{ не допускается принимать меньше нуля};$$

$$d_H = d + \delta d_H, \text{ м};$$

$$d_L = d - \delta d_L, \text{ м};$$

$$s_W = 0,0167;$$

$I_H$  — момент инерции площади ватерлинии при осадке и при нулевом дифференте,  $\text{м}^4$ ;

$I_L$  — момент инерции площади ватерлинии при осадке и при нулевом дифференте,  $\text{м}^4$ ;

$d_{\text{full}}$  — осадка судна с полным грузом, в начале рейса,  $\text{м}$ .

1.2.3 Значение  $\Delta h$ , указанное в 1.2.1, можно определить как половину разности максимального и минимального значений метацентрической высоты, рассчитанной для данного судна с учетом поправки на влияние свободной поверхности жидкости, в рассматриваемом состоянии загрузки с учетом балансировки судна по просадке и дифференту на серии волн со следующими характеристиками:

длина волны  $\lambda = L_1$ ;

высота волны  $h = L_1 S_W$ , где  $S_W = 0,0167$ ;

гребень волны приходится на мидель и на точки  $0,1L_1$ ,  $0,2L_1$ ,  $0,3L_1$ ,  $0,4L_1$  и  $0,5L_1$  в нос и  $0,1L_1$ ,  $0,2L_1$ ,  $0,3L_1$  и  $0,4L_1$  в корму от него.

### 1.3 КРИТЕРИЙ РИСКА ПОТЕРИ ОСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ КАЧКЕ 2 УРОВНЯ

1.3.1 Судно считается неподверженным потере устойчивости при параметрической качке, если выполняется одно из следующих требований:

.1 значение  $C1$ , рассчитанное по 1.3.2, меньше  $R_{PR0}$ ,

либо

.2 значение  $C1$  выше  $R_{PR0}$ , а значение  $C2$ , рассчитанное по 1.3.3, меньше  $R_{PR1}$ ,

где

$$R_{PR0} = 0,06;$$

$$R_{PR1} = 0,06.$$

1.3.2 Значение  $C1$  рассчитывается как средневзвешенное значение по набору случаев волнения, указанных в 1.3.2.3:

$$C_1 = \sum_{i=1}^N W_i C_i,$$

где  $W_i$  — весовой коэффициент для соответствующего случая волнения, указанного в табл. в 1.3.2;  
 $C_i = 0$  при выполнении либо условия по изменению метацентрической высоты  $h$  на волнении, указанного в 1.3.2.1, либо условия по скорости хода судна на волнении, указанного в 1.3.2.2;

$C_i = 1$  в противном случае;

$N$  — количество рассмотренных случаев волнения из представленных в табл. 1.3.2.

**1.3.2.1** Условие по изменению метацентрической высоты  $h$  судна на волнении выполняется, если для каждой волны, указанной в 1.3.2.3, выполняется неравенство

$$h(H_b, \lambda_i) > 0 \text{ и } \frac{\Delta h(h_b, \lambda_i)}{h(H_b, \lambda_i)} < R_{PR},$$

где  $R_{PR}$  — определено в 1.2.1;

$\Delta h(H_b, \lambda_i)$  — половина разности максимального и минимального значений метацентрической высоты, рассчитанной для данного судна, м, с учетом поправки на влияние свободной поверхности жидкости, в рассматриваемом состоянии загрузки с учетом балансировки судна по просадке и дифференту на серии волн, характеризуемых параметрами  $H_i$  и  $\lambda_i$ ;

$h(H_b, \lambda_i)$  — среднее значение метацентрической высоты, рассчитанной для данного судна, м, в рассматриваемом состоянии загрузки с учетом балансировки судна по просадке и дифференту на серии волн, характеризуемых параметрами  $H_i$  и  $\lambda_i$ ;

$H_i$  — высота волны, м, указанная в 1.3.2.3;

$\lambda_i$  — длина волны, м, указанная в 1.3.2.3.

**1.3.2.2** Условие по скорости хода судна на волнении выполняется, если для каждой волны, указанной в 1.3.2.3, выполняется неравенство

$$V_{PR_i} > V_S,$$

где  $V_S$  — эксплуатационная скорость, м/с;

$V_{PR_i}$  — контрольная скорость хода судна, соответствующая режиму параметрического резонанса при  $h(H_b, \lambda_i) > 0$ :

$$V_{PR_i} = \left| \frac{2\lambda_i}{T_\Phi} \sqrt{\frac{h(H_b, \lambda_i)}{h}} - \sqrt{g \frac{\lambda_i}{2\pi}} \right|;$$

$T_\Phi$  — собственный период бортовой качки судна на тихой воде, с;

$h$  — метацентрическая высота на тихой воде, м;

$h(H_b, \lambda_i)$  — определяется в соответствии с 1.3.2.1, м;

$\lambda_i$  — длина волны, указанная в 1.3.2.3, м;

$g$  — ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с<sup>2</sup>;

$\left| \right|$  — абсолютное значение (модуль).

1.3.2.3 Конкретные случаи волнения для оценки соответствия требованиям 1.3.2.1 и 1.3.2.2 см. в табл. 1.3.2, в которой представлены значения  $W_i$ ,  $H_i$ ,  $\lambda_i$ , определенные в соответствии с 1.3.2 и 1.3.2.1.

Таблица 1.3.2  
Случаи волнения для оценки риска потери остойчивости судном при параметрической качке

№ случая волнения	Весовой коэффициент $W_i$	Длина волны $\lambda_i$ , м	Высота волны $H_i$ , м
1	0,000013	22,574	0,350
2	0,001654	37,316	0,495
3	0,020912	55,743	0,857
4	0,092799	77,857	1,295
5	0,199218	103,655	1,732
6	0,248788	133,139	2,205
7	0,208699	166,309	2,697
8	0,128984	203,164	3,176
9	0,062446	243,705	3,625
10	0,024790	287,931	4,040
11	0,008367	335,843	4,421
12	0,002473	387,440	4,769
13	0,000658	442,723	5,097
14	0,000158	501,691	5,370
15	0,000034	564,345	5,621
16	0,000007	630,684	5,950

1.3.2.4 При расчете и в 1.3.2.1 мидель судна должен находиться на гребне волны и в точках  $0,1\lambda_i$ ,  $0,2\lambda_i$ ,  $0,3\lambda_i$ ,  $0,4\lambda_i$  и  $0,5\lambda_i$  вперед и  $0,1\lambda_i$ ,  $0,2\lambda_i$ ,  $0,3\lambda_i$  и  $0,4\lambda_i$  назад от него.

1.3.3 Значение  $C2$  рассчитывается как среднее из  $C2(Fn_i, \beta_i)$ , каждое из которых является средневзвешенным значением по набору волн, указанных в 1.3.4.2, для каждого заданного набора чисел Фруда и направлений волн:

$$C2 = \left[ \sum_{i=1}^3 C2(Fn_i, \beta_i) + C2(0, \beta_h) + \sum_{i=1}^3 C2(Fn_i, \beta_h) \right] / 7,$$

где  $C2(Fn_i, \beta_h) = C2(Fn, \beta)$ , рассчитываемое в соответствии с 1.3.3.1 при движении судна на встречном волнении со скоростью хода, равной  $V_i$ ;

$C2(Fn_i, \beta_h) = C2(Fn, \beta)$ , рассчитываемое в соответствии с 1.3.3.1 при движении судна на попутном волнении со скоростью хода, равной  $V_i$ ;

$Fn_i = V_i / \sqrt{Lg}$  число Фруда, соответствующее скорости хода  $V_i$ ;

$V_i = V_s K_i$  скорость хода судна, м/с, для соответствующего направления волнения;

$V_s$  — эксплуатационная скорость судна, м/с;

$g$  — ускорение свободного падения, равное  $9,81 \text{ м/с}^2$ ;

$K_i$  — из табл. 1.3.3;

$L_1$  — длина, м, в соответствии с 1.2.1.

Таблица 1.3.3

Коэффициент  $K_i$ , зависящий от направления волнения

$i$	$K_i$	Соответствующее направление волнения
1	1,0	Встречное или попутное волнение при $V_S$
2	0,866	Волны под углом $30^\circ$ к ДП при $V_S$
3	0,50	Волны под углом $60^\circ$ к ДП при $V_S$

1.3.3.1 Значение рассчитывается как средневзвешенное по набору волн, указанных в 1.3.4.2, для заданного числа Фруда и направления:

$$C2(Fn, \beta) = \sum_{i=1}^N W_i C_i$$

где  $W_i$  — весовой коэффициент для соответствующего случая волнения, указанного в 1.3.4.2;  
 $C_i = 1$ , если максимальный угол бортовой качки, рассчитанный по 1.3.4 превышает  $25^\circ$ ;  
 $C_i = 0$  в ином случае;  
 $N$  — общее количество случаев волнения, для которых рассчитывается максимальный угол бортовой качки для комбинации скорости и курса судна.

1.3.4 Максимальная амплитуда бортовой качки на встречном и попутном волнении рассчитывается в соответствии с 1.3.4.1 при каждой скорости  $V_i$ , определяемой в 1.3.3.

При рассмотрении каждого случая расчет остойчивости судна на волнении должен предполагать его балансировку по просадке и дифференту на серии волн со следующими характеристиками:

длина волны  $\lambda = L_1$ ;

высота волны  $h_j = 0,01jL_1$  где  $0,1, \dots, 10$ .

Для каждой высоты волны рассчитывается максимальная амплитуда бортовой качки.

При каждой высоте волны, для которой в 1.3.3.1 задается  $C_j = 1$ , определяются показательная высота волны и соответствующее значение в соответствии с 1.3.4.2.

1.3.4.1 Расчет максимальной амплитуды бортовой качки должен выполняться по уравнению несвязанной бортовой качки со следующими компонентами:

инерционным членом, учитывающим присоединенный момент инерции при бортовой качке на тихой воде;

линейным и нелинейным демпфирующим моментом при бортовой качке на тихой воде;

линейным и нелинейным восстанавливающим моментом при бортовой качке на тихой воде;

изменениями остойчивости на волнении из-за изменений восстанавливающего момента при бортовой качке.

Расчет амплитуды бортовой качки должен выполняться по методу, согласованному с РС.

1.3.4.2 Для каждого случая, указанного в 1.3.4.2,  $W_j$  берется из табл. 1.3.2 или аналогичной таблицы данных для случаев волнения, соответствующей требованиям Администрации. Каждая ячейка таблицы соответствует среднему периоду волны между нулевыми точками  $T_z$  и характерной высоте волны  $H_s$ , и соотносится с показательной высотой волны путем применения той или иной процедуры. Максимальная амплитуда бортовой качки, соответствующая показательной высоте волны  $H_s$ , определяется методом линейной интерполяции максимальных амплитуд бортовой качки, соответствующих высотам волн  $h_j$ , полученным в 1.3.4.1.

Таблица 1.3.4.2

Частота возникновения случаев волнения на 100 000 наблюдений  
для оценки колебательной реакции судна во время параметрической качки

$H_s$ , м	$T_z$ , с — средний период волны между нулевыми точками															
	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5	13,5	14,5	15,5	16,5	17,5	18,5
0,5	1,3	133,7	865,6	1186,0	634,2	634,2	36,9	5,6	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,5	0,0	29,3	986,0	4976,0	7738,0	7738,0	2375,7	703,5	160,7	30,5	5,1	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0
2,5	0,0	2,2	197,5	2158,8	6230,0	6230,0	4860,4	2066,0	644,5	160,2	33,7	6,3	1,1	0,2	0,0	0,0
3,5	0,0	0,2	34,9	695,5	3226,5	3226,5	5099,1	2838,0	1114,1	337,7	84,3	18,2	3,5	0,6	0,1	0,0
4,5	0,0	0,0	6,0	196,1	1354,3	1354,3	3857,5	2685,5	1275,2	455,1	130,9	31,9	6,9	1,3	0,2	0,0
5,5	0,0	0,0	1,0	51,0	498,4	498,4	2372,7	2008,3	1126,0	463,6	150,9	41,0	9,7	2,1	0,4	0,1
6,5	0,0	0,0	0,2	12,6	167,0	167,0	1257,9	1268,6	825,9	386,8	140,8	42,2	10,9	2,5	0,5	0,1
7,5	0,0	0,0	0,0	3,0	52,1	52,1	594,4	703,2	524,9	276,7	111,7	36,7	10,2	2,5	0,6	0,1
8,5	0,0	0,0	0,0	0,7	15,4	15,4	255,9	350,6	296,9	174,6	77,6	27,7	8,4	2,2	0,5	0,1
9,5	0,0	0,0	0,0	0,2	4,3	4,3	101,9	159,9	152,2	99,2	48,3	18,7	6,1	1,7	0,4	0,1
10,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	1,2	37,9	67,5	71,7	51,5	27,3	11,4	4,0	1,2	0,3	0,1
11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,3	13,3	26,6	31,4	24,7	14,2	6,4	2,4	0,7	0,2	0,1
12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1	4,4	9,9	12,8	11,0	6,8	3,3	1,3	0,4	0,1	0,0
13,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	1,4	3,5	5,0	4,6	3,1	1,6	0,7	0,2	0,1	0,0
14,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,4	1,2	1,8	1,8	1,3	0,7	0,3	0,1	0,0	0,0
15,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,6	0,7	0,5	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0
16,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0

## 2 КРИТЕРИИ РИСКА ПОТЕРИ ОСТОЙЧИВОСТИ ПРИ СТАТИЧЕСКОЙ ПОСТАНОВКЕ НА ВОЛНУ

### 2.1 ОБЛАСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ

2.1.1 Требования настоящего раздела применяются ко всем судам длиной  $L_1 \geq 24$  м, число Фруда  $F_n$  которых, соответствующее эксплуатационной скорости, превышает 0,24.

Для целей настоящего раздела определяется по формуле

$$F_n = \frac{V_S}{\sqrt{gL_1}},$$

где  $V_S$  — эксплуатационная скорость, м/с;  
 $L_1$  — длина, как определено в Правилах о грузовой марке морских судов;  
 $g$  — ускорение свободного падения, равное 9,81 м/с<sup>2</sup>.

2.1.2 Для каждого варианта загрузки судно, остойчивость которого:

.1 отвечает требованию, указанному в 2.2, считается неуязвимым к полной потере остойчивости;

.2 не отвечает требованию, указанному в 2.2, должно быть проверено в соответствии с 2.3.

2.1.3 Для каждого варианта загрузки судно, остойчивость которого не отвечает требованиям 2.2 и 2.3, требует введения эксплуатационных ограничений, полученных из расчета в соответствии с 2.3.

следует взять с поправкой на влияние свободной поверхности жидких грузов в соответствии с 1.4.7 части IV «Остойчивость» Правил классификации и постройки морских судов. Применение упрощенной оценки, приведенной в п. 2.2.1, в качестве более строгой оценки без учета влияния исходного дифферента допускается в отношении судов, имеющих дифферент.

### 2.2 КРИТЕРИЙ РИСКА ПОТЕРИ ОСТОЙЧИВОСТИ 1 УРОВНЯ

2.2.1 Судно считается неподверженным потере остойчивости при статической постановке на волну, если

$$h_{\min} > R_{pLA},$$

где  $R_{pLA} = 0,05$  м;

$h_{\min}$  — минимальное значение метацентрической высоты с учетом поправки на влияние свободной поверхности жидких грузов, рассчитанное при одном из следующих условий: при прохождении продольной волны вдоль корпуса судна, в соответствии с 2.2.3; по формуле (2.2.2).

2.2.2 В соответствии с 2.2.1  $h_{\min}$  можно определить по формуле

$$h_{\min} = z_c + \frac{I_L}{V} - z_c \text{ только при } \frac{V_D - V}{A_w(D-d)} \geq 1,0, \quad (2.2.2)$$

где  $z_c$  — аппликата центра величины, соответствующая рассматриваемому варианту загрузки, м;

$z_g$  — аппликата центра тяжести, соответствующая рассматриваемому варианту загрузки, м;

$I_L$  — момент инерции площади ватерлинии при осадке  $d_L$ , м<sup>4</sup>;

$V$  — объемное водоизмещение, соответствующее рассматриваемому варианту загрузки, м<sup>3</sup>;

$d_L = d - \delta d_L$ , м;

$d$  — осадка на миделе, соответствующая рассматриваемому состоянию загрузки, м;

$\delta d_L = \min\left(d - 0,24d_{\text{full}} \frac{L_1 S_w}{2}\right)$ , м;

$S_w = 0,0334$ ;

$D$  — теоретическая высота надводного борта до верхней палубы, м;

$V_D$  — объемное водоизмещение при ватерлинии, соответствующей теоретической высоте надводного борта  $D$ , м<sup>3</sup>;

$A_w$  — площадь ватерлинии при осадке, равной  $d$ , м<sup>2</sup>.

2.2.3 В соответствии с 2.2.1  $h_{\min}$  можно определить как минимальное значение метацентрической высоты, рассчитанное для данного судна, с учетом поправки на влияние свободной поверхности жидкости, в рассматриваемом состоянии загрузки с учетом балансировки судна по просадке и дифференту на серии волн со следующими характеристиками:

длина волны  $\lambda = L_1$ ;

высота волны  $h_E = L_1 S_w$ , где  $S_w = 0,0334$ ;

гребень волны приходится на мидель и на точки  $0,1L_1$ ,  $0,2L_1$ ,  $0,3L_1$ ,  $0,4L_1$  и  $0,5L_1$  в нос и  $0,1L_1$ ,  $0,2L_1$ ,  $0,3L_1$  и  $0,4L_1$  в корму от него.

2.2.4 В соответствии с 2.2.2, если  $\frac{V_D - V}{A_w(D-d)} < 1,0$ , то плечо восстанавли-

вающего момента  $l$  должно быть положительным при угле крена 30° для каждого указанного случая.

## 2.3 КРИТЕРИЙ РИСКА ПОТЕРИ ОСТОЙЧИВОСТИ 2 УРОВНЯ

2.3.1 Судно считается неподверженным потере остойчивости при статической постановке на волну, если наибольшее значение из трех критериев  $CR_1$ ,  $CR_2$  и  $CR_3$  рассчитанных в соответствии с 2.3.3, 2.3.4 и 2.3.5, в условиях хода судна с эксплуатационной скоростью, меньше  $R_{pL_0}$ , где  $R_{pL_0} = 0,06$ .

2.3.2 Каждый из трех критериев  $CR_1$ ,  $CR_2$  и  $CR_3$  представляет собой средневзвешенное значение некоторых параметров остойчивости для судна, которое считается неподвижным на волнах определенной высоты  $H_i$  и длины  $\lambda_i$ , взятых из табл. 2.3.2,

где  $CR_1 = \sum_{i=1}^N W_i C1_i$  = средневзвешенный критерий 1;

$CR_2 = \sum_{i=1}^N W_i C2_i$  = средневзвешенный критерий 2;

$CR_3 = \sum_{i=1}^N W_i C3_i$  = средневзвешенный критерий 3;

$W_i$  — весовой коэффициент, взятый из табл. 2.3.2;

Таблица 2.3.2

Частота возникновения случаев волнения на 100 000 наблюдений для расчета потери остойчивости при статической постановке на волну

$H_w$ м	$T_z$ , с — средний период волны между нулевыми точками															
	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5	13,5	14,5	15,5	16,5	17,5	18,5
0,5	1,3	133,7	865,6	1186,0	634,2	186,3	36,9	5,6	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,5	0,0	29,3	986,0	4976,0	7738,0	5569,7	2375,7	703,5	160,7	30,5	5,1	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0
2,5	0,0	2,2	197,5	2158,8	6230,0	7449,5	4860,4	2066,0	644,5	160,2	33,7	6,3	1,1	0,2	0,0	0,0
3,5	0,0	0,2	34,9	695,5	3226,5	5675,0	5099,1	2838,0	1114,1	337,7	84,3	18,2	3,5	0,6	0,1	0,0
4,5	0,0	0,0	6,0	196,1	1354,3	3288,5	3857,5	2685,5	1275,2	455,1	130,9	31,9	6,9	1,3	0,2	0,0
5,5	0,0	0,0	1,0	51,0	498,4	1602,9	2372,7	2008,3	1126,0	463,6	150,9	41,0	9,7	2,1	0,4	0,1
6,5	0,0	0,0	0,2	12,6	167,0	690,3	1257,9	1268,6	825,9	386,8	140,8	42,2	10,9	2,5	0,5	0,1
7,5	0,0	0,0	0,0	3,0	52,1	270,1	594,4	703,2	524,9	276,7	111,7	36,7	10,2	2,5	0,6	0,1
8,5	0,0	0,0	0,0	0,7	15,4	97,9	255,9	350,6	296,9	174,6	77,6	27,7	8,4	2,2	0,5	0,1
9,5	0,0	0,0	0,0	0,2	4,3	33,2	101,9	159,9	152,2	99,2	48,3	18,7	6,1	1,7	0,4	0,1
10,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	10,7	37,9	67,5	71,7	51,5	27,3	11,4	4,0	1,2	0,3	0,0
11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	3,3	13,3	26,6	31,4	24,7	14,2	6,4	2,4	0,7	0,2	0,0
12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,0	4,4	9,9	12,8	11,0	6,8	3,3	1,3	0,4	0,1	0,0
13,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,4	3,5	5,0	4,6	3,1	1,6	0,7	0,2	0,1	0,0
14,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	1,2	1,8	1,8	1,3	0,7	0,3	0,1	0,0	0,0
15,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,6	0,7	0,5	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0
16,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0

$N$  — количество случаев волнения, для которых определяются  $C_1$ ,  $C_2$  и  $C_3$  (272 для варианта);

$C_1$  — критерий 1, определенный по 2.3.3;

$C_2$  — критерий 2, определенный по 2.3.4;

$C_3$  — критерий 3, определенный по 2.3.5.

Для расчета восстанавливающего момента при движении на волнении следует использовать следующие значения длины и высоты волн:

длина  $\lambda = L_1$ ;

высота  $h_E = 0,01iL_1$  где  $i = 0,1, \dots, 10$ .

Значения трех критериев  $C_{1i}$ ,  $C_{2i}$  и  $C_{3i}$  должны рассчитываться по формулам (2.3.3) — (2.3.5), соответственно, с использованием длин и высот волн, взятых из табл. 2.3.2.

Заданные случаи волнения для оценки критериев даны в табл. 2.3.2. Для применения в 2.3.3 — 2.3.5  $N$  следует принимать равным 272. Для каждой комбинации  $H_s$  и  $T_z$  значение  $W_i$  определяется делением взятого из табл. 2.3.2 значения на 100 000, что соответствует рассчитанному ниже значению  $H_i$ , при этом  $\lambda_i$  принимается равной  $L$ . Значения каждого должны определяться методом линейной интерполяции из соотношения между  $h_E$  и значениями, полученными выше.

### 2.3.3 Критерий 1.

Критерий 1 задается следующей формулой:

$$C1_i = \begin{cases} 1 & \text{if } \phi_v < R_{PL_1}; \\ 0 & \text{in other cases.} \end{cases} \quad (2.3.3)$$

Угол заката  $\phi_v$  с поправкой на влияние свободной поверхности жидкости можно определить как минимальное значение, рассчитанное для судна в рассматриваемом варианте загрузки и с учетом балансировки судна по просадке и дифференту на серии волн с характеристиками, указанными в табл. 2.3.2.

Гребень волны приходится на мидель и на точки  $0,1L$ ,  $0,2L$ ,  $0,3L$ ,  $0,4L$  и  $0,5L$  в нос и  $0,1L$ ,  $0,2L$ ,  $0,3L$  и  $0,4L$  в корму от него;

$R_{PL_1} = 30^\circ$ .

### 2.3.4 Критерий 2.

Критерий 2 определяется из расчета угла статического крена судна по формуле

$$C2_i = \begin{cases} 1 & \text{if } \phi_v > R_{PL_2a}; \phi_{roll}(\text{градусы}) > R_{PL_2b}; \\ 0 & \text{in other cases} \end{cases} \quad (2.3.4)$$

Угол статического крена  $\varphi_s$ , возникающий под действием кренящего момента, заданного  $R_{PL_3}$ , с поправкой на влияние свободной поверхности жидкости в случае положительной метацентрической высоты  $h$  при посадке судна без крена и дифферента можно определить как минимальное значение, рассчитанное в рассматриваемом варианте загрузки и с учетом балансировки судна по просадке и дифференту на серии волн с характеристиками, указанными в табл. 2.3.2.

Гребень волны приходится на мидель и на точки  $0,1L$ ,  $0,2L$ ,  $0,3L$ ,  $0,4L$  и  $0,5L$  в нос и  $0,1L$ ,  $0,2L$ ,  $0,3L$  и  $0,4L$  в корму от него;

$$R_{PL_2a} = 15^\circ;$$

$$R_{PL_2b} = 25^\circ.$$

### 2.3.5 Критерий 3.

Критерий 3 определяется из расчета максимального плеча диаграммы статической остойчивости по формуле

$$CЗ_i = \begin{cases} 1 & l_{\max}(M) < R_{PL_3}; \\ 0 & \text{в ином случае.} \end{cases} \quad (2.3.5)$$

$l_{\max}$  определяется как наименьший из максимумов диаграмм статической остойчивости судна, с поправкой на влияние свободной поверхности жидкости, в соответствии в рассматриваемом состоянии загрузки и с учетом балансировки судна по просадке и дифференту на серии волн с характеристиками, указанными в табл. 2.3.2.

Гребень волны приходится на мидель и на точки  $0,1L_1$ ,  $0,2L_1$ ,  $0,3L_1$ ,  $0,4L_1$  и  $0,5L_1$  в нос и  $0,1L_1$ ,  $0,2L_1$ ,  $0,3L_1$  и  $0,4L_1$  в корму от него;

$$R_{PL_3} = 8(H_i/\lambda) dF_n^2.$$

## **3 КРИТЕРИЙ РИСКА ПОТЕРИ ОСТОЙЧИВОСТИ ОТ ДВИЖЕНИЯ НА ГРЕБНЕ ВОЛНЫ (БРОЧИНГА)**

### **3.1 ОБЛАСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ**

3.1.1 Требования настоящего раздела применяются ко всем судам длиной  $L_1 \geq 24$  м.

3.1.2 При каждом варианте загрузки судно, остойчивость которого:

.1 отвечает требованию, указанному в 3.2, считается неподверженным потере остойчивости от движения на гребне волны (бродчингу);

.2 не отвечает требованию, указанному в 3.2, должно либо:

эксплуатироваться в соответствии со специальными процедурами управления, направленными на избежание опасных ситуаций движения на гребне волны/бродчинга, рекомендованными в разд. 4.2.1 циркуляра ИМО MSC.1/Circ.1228;

быть проверено в соответствии с 3.3.

3.1.3 При каждом варианте загрузки суда, который не отвечает требованиям 3.2 и 3.3, требуется введение эксплуатационных ограничений, полученных из расчетов в соответствии с 3.3.

### **3.2 КРИТЕРИЙ РИСКА ПОТЕРИ ОСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ДВИЖЕНИИ НА ГРЕБНЕ ВОЛНЫ (БРОЧИНГА) 1 УРОВНЯ**

3.2.1 Судно считается неподверженным потере остойчивости от движения на гребне волны (бродчингу), если выполняется одно из следующих условий:

.1  $L_1 > 200$  м;

либо

.2  $F_n > 0,3$ ,

где  $F_n$  — число Фруда =  $V_s/\sqrt{L_1g}$ ;

$V_s$  — эксплуатационная скорость на тихой воде, м/с;

$L_1$  — длина, как определено в Правилах о грузовой марке морских судов.

### 3.3 КРИТЕРИЙ РИСКА ПОТЕРИ ОСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ДВИЖЕНИИ НА ГРЕБНЕ ВОЛНЫ (БРОЧИНГА) 2 УРОВНЯ

3.3.1 Судно считается подверженным потере остойчивости при движении на гребне волны (брочингу), если значение  $C$ , рассчитанное в соответствии с 3.3.2, меньше  $R_{SR}$ ,

$$C = \sum_{H_S} \sum_{T_z} \left( W_2(H_S, T_z) \frac{\sum_{i=1}^{N_\lambda} \sum_{j=1}^{N_a} W_{ij} C_{2ij}}{\sum_{i=1}^{N_\lambda} \sum_{j=1}^{N_a} W_{ij}} \right)$$

где  $R_{SR} = 0,0001$ ;

$W_2(H_S, T_z)$  — весовой коэффициент кратковременного волнения моря, заданный в 3.3.2 как функция значительной высоты волны  $H_S$  и периода волны между нулевыми точками  $T_z$ ;

$W_{ij}$  — статистический весовой коэффициент волны, определяемый в 3.3.3 с крутизной  $(H/\lambda)_j$  и отношением длины волны к длине судна  $(\lambda/L_{BP})_i$ , рассчитанный по совместному распределению значений крутизны и длины мгновенных волн, т.е. с заданной дискретизацией  $N_\lambda = 80$  и  $N_a = 100$ ;

$C_{2ij}$  — значение, рассчитываемое в соответствии с 3.3.4.

3.3.2 Значение  $W_2(H_S, T_z)$  определяется делением значения, взятого из

Таблица 3.3.2

Частота возникновения случаев волнения на 100 000 наблюдений для оценки реакции судна на параметрическую бортовую качку

$H_S$ м	$T_z$ , с — средний период волны между нулевыми точками															
	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5	9,5	10,5	11,5	12,5	13,5	14,5	15,5	16,5	17,5	18,5
0,5	1,3	133,7	865,6	1186,0	634,2	186,3	36,9	5,6	0,7	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1,5	0,0	29,3	986,0	4976,0	7738,0	5569,7	2375,7	703,5	160,7	30,5	5,1	0,8	0,1	0,0	0,0	0,0
2,5	0,0	2,2	197,5	2158,8	6230,0	7449,5	4860,4	2066,0	644,5	160,2	33,7	6,3	1,1	0,2	0,0	0,0
3,5	0,0	0,2	34,9	695,5	3226,5	5675,0	5099,1	2838,0	1114,1	337,7	84,3	18,2	3,5	0,6	0,1	0,0
4,5	0,0	0,0	6,0	196,1	1354,3	3288,5	3857,5	2685,5	1275,2	455,1	130,9	31,9	6,9	1,3	0,2	0,0
5,5	0,0	0,0	1,0	51,0	498,4	1602,9	2372,7	2008,3	1126,0	463,6	150,9	41,0	9,7	2,1	0,4	0,1
6,5	0,0	0,0	0,2	12,6	167,0	690,3	1257,9	1268,6	825,9	386,8	140,8	42,2	10,9	2,5	0,5	0,1
7,5	0,0	0,0	0,0	3,0	52,1	270,1	594,4	703,2	524,9	276,7	111,7	36,7	10,2	2,5	0,6	0,1
8,5	0,0	0,0	0,0	0,7	15,4	97,9	255,9	350,6	296,9	174,6	77,6	27,7	8,4	2,2	0,5	0,1
9,5	0,0	0,0	0,0	0,2	4,3	33,2	101,9	159,9	152,2	99,2	48,3	18,7	6,1	1,7	0,4	0,1
10,5	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	10,7	37,9	67,5	71,7	51,5	27,3	11,4	4,0	1,2	0,3	0,1
11,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	3,3	13,3	26,6	31,4	24,7	14,2	6,4	2,4	0,7	0,2	0,1
12,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	1,0	4,4	9,9	12,8	11,0	6,8	3,3	1,3	0,4	0,1	0,0
13,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	1,4	3,5	5,0	4,6	3,1	1,6	0,7	0,2	0,1	0,0
14,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	1,2	1,8	1,8	1,3	0,7	0,3	0,1	0,0	0,0
15,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4	0,6	0,7	0,5	0,3	0,1	0,1	0,0	0,0
16,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1	0,0	0,0

табл. 3.3.2, на 100 000. Оно равно 272 в случае кратковременного волнения моря. По согласованию с Регистром могут быть использованы другие источники статистических данных о волнении.

**3.3.3** Значение  $W_{ij}$  можно рассчитать по формуле

$$W_{ij} = \frac{4\sqrt{gL_1^{5/2}T_{01}}}{nv(H_s)^3} s_j^2 s_i^{3/2} \left( \frac{\sqrt{1+v^2}}{1+\sqrt{1+v^2}} \right) \Delta r \Delta s \exp \left[ -2 \left( \frac{L_1 r_i s_j}{H_s} \right)^2 \times \left\{ 1 + \frac{1}{v^2} \left( 1 - \sqrt{\frac{gT_{01}^2}{2\pi r_i L_1}} \right) \right\} \right],$$

где  $v = 0,4256 = \sqrt{\frac{m_0 m_2}{m_1^2}} - 1$ ;

$L_1$  — длина, как определено в Правилах о грузовой марке морских судов;

$T_{01} = 1,086Tz$ ;

$s_j = (H/\lambda)_j$  — крутизна волны. Изменяется от 0,03 до 0,15 с приращением  $\Delta_s = 0,0012$ ;

$r_i = (H/\lambda)_i$  — отношение длины волны к длине судна. Изменяется от 1,0 до 3,0 с приращением  $\Delta_r = 0,025$ .

**3.3.4** Для каждого случая волнения значение  $C2_{ij}$  рассчитывается следующим образом:

$$C2_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{если } F_n > F_{n_{cr}}(r_j, s_j); \\ 0 & \text{если } F_n \leq F_{n_{cr}}(r_j, s_j), \end{cases}$$

где  $F_{n_{cr}}$  — критическое число Фруда, соответствующее переходу в режим движения на гребне в случае регулярного волнения с крутизной  $s_j$  и отношением длины волны к длине судна  $r_j$ , значения которых определяются по 3.3.4.1.

**3.3.4.1** Критическое число Фруда рассчитывается по формуле

$$F_{n_{cr}} = u_{cr} / \sqrt{Lg},$$

где  $u_{cr}$  — критическая скорость хода судна, м/с, определяемая решением уравнения по 3.3.4.2 с критическими оборотами движителя  $n_{cr}$  численным итерационным методом;

$L_1$  — длина, как определено в Правилах о грузовой марке морских судов.

**3.3.4.2** Критическая скорость хода судна  $u_{cr}$  определяется решением следующего уравнения с критическими оборотами движителя  $n_{cr}$  численным итерационным методом:

$$T_b(u_{cr}, n_{cr}) - R(u_{cr}) = 0,$$

где  $R(u_{cr})$  — сопротивление судна на тихой воде при движении со скоростью  $u_{cr}$ , как указано в 3.3.4.3;

$T_b(u_{cr}, n_{cr})$  — упор, развиваемый судовым двигателем на тихой воде, рассчитанный в соответствии с 3.3.4.4;

$n_{cr}$  — заданные обороты двигателя, соответствующие переходу в режим движения на гребне.

**3.3.4.3** Сопротивление на тихой воде  $R(u)$  аппроксимируется на основе имеющихся данных с помощью полинома, в котором могут (но не обязательно должны) содержаться члены до 5-го порядка:

$$R(u) = r_1 u + r_2 u^2 + r_3 u^3 + r_4 u^4 + r_5 u^5,$$

где  $u$  — скорость хода судна, м/с, на тихой воде;

$r_1, r_2, r_3, r_4, r_5$  — коэффициенты аппроксимации для расчета сопротивления на тихой воде.

**3.3.4.4** Если в качестве главного двигателя на судне предусмотрен одиночный винт, то его упор  $T_e(u; n)$  на тихой воде можно аппроксимировать полиномом второго порядка:

$$T_e(u; n) = (1 - t_p) \rho n^2 D_p^4 \{k_0 + k_1 J + k_2 J^2\},$$

где  $u$  — скорость хода судна (м/с) на тихой воде;

$n$  — заданные обороты двигателя, с<sup>-1</sup>;

$t_p$  — приближенный коэффициент снижения упора вследствие засасывания;

$w_p$  — приближенный коэффициент попутного потока;

$D_p$  — диаметр винта, м;

$k_0, k_1, k_2$  — коэффициенты аппроксимации для расчета коэффициента упора винта на тихой воде;

$$J = \frac{u(1 - w_p)}{n D_p} \text{ — относительная поступь винта;}$$

$\rho$  — плотность морской воды (1025 кг/м<sup>3</sup>).

В случае двигателя, отличного от гребного винта, его упор можно рассчитать методом, соответствующим характеру используемого двигателя, по согласованию с Регистром.

**3.3.4.5** Значение волновой возмущающей силы качки рассчитывается по формуле

$$F = \rho g k \frac{H}{2} \sqrt{F_c^2 + F_s^2(H)},$$

где  $k_i$  — волновое число  $= \frac{2\pi}{r_i L^2}$ ,  $\text{м}^{-1}$ ;

$H_{ij}$  — высота волны  $= s_j r_i L$ ,  $\text{м}$ ;

$s_j$  — определено в 2.12.3.4;

$r_i$  — определено в 2.12.3.4;

$$F_c = \sum_{i=1}^N \Delta x_i S(x_i) \sin k x_i \exp(-0,5 k d(x_i));$$

$$F_S = \sum_{i=1}^N \Delta x_i S(x_i) \cos k x_i \exp(-0,5 k d(x_i));$$

$F_c$  и  $F_S$  — компоненты силы Фруда-Крылова в волновой возмущающей силе продольной качки;

$x_i$  — продольное расстояние от центра масс судна до той или иной точки,  $\text{м}$ , положительное в направлении в нос;

$d(x_i)$  — осадка в точке на тихой воде,  $\text{м}$ ;

$S(x_i)$  — площадь подводной части судна в точке на тихой воде,  $\text{м}^2$ ;

$N$  — количество таких точек.

Российский морской регистр судоходства  
Сборник нормативно-методических материалов  
Книга двадцать четвертая

Ответственный за выпуск *А. В. Зухарь*  
Главный редактор *М. Р. Маркушина*  
Редактор *Е. Б. Мюллер*  
Компьютерная верстка *И. И. Лазарев*

Подписано в печать 22.07.16. Формат 60 × 84/16. Гарнитура Тайме.  
Усл. печ. л. 0,7. Уч.-изд. л. 0,5. Тираж 100. Заказ 2016-8.

Российский морской регистр судоходства  
191186, Санкт-Петербург, Дворцовая набережная, 8

[www.rs-class.org](http://www.rs-class.org)