



# РОССИЙСКИЙ МОРСКОЙ РЕГИСТР СУДОХОДСТВА

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ

**ЦИРКУЛЯРНОЕ ПИСЬМО № 312-11-812<sub>ц</sub>**

от 15.04.2015

Касательно:

Применения в практике РС требований Финско-Шведских правил для судов ледового плавания, 2010 / "Finnish-Swedish Ice Class Rules, 2010"

Объект наблюдения:

суда ледового плавания

Ввод в действие с момента опубликования

Срок действия: до -

Срок действия продлен до -

Отменяет / изменяет / дополняет циркулярное письмо № -

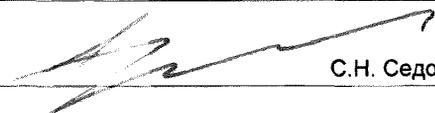
от -

Количество страниц: 1 + 44

Приложения:

Изменения к Правилам классификации и постройки морских судов, 2015 - 44 стр.

Генеральный директор

  
С.Н. Седов

Вносит изменения в Правила классификации и постройки морских судов, 2015, НД № 2-020101-082

Практика применения требований правил Регистра к судам ледового плавания, эксплуатирующимся в северных районах Балтийского моря, выявила необходимость и целесообразность применения, с согласия судовладельцев, требований Финско-Шведских правил для судов ледового плавания, 2010 / "Finnish-Swedish Ice Class Rules, 2010" (23/11/2010 TRAFI/31298/03/04/01/00/2010).

С целью внедрения в практическую деятельность РС применимых требований вышеуказанных Правил, в Правила классификации и постройки морских судов вносятся изменения, приведенные в приложении к настоящему циркулярному письму.

Оригинальный текст Финско-Шведских правил для судов ледового плавания, 2010, на английском языке находится на служебном сайте РС в разделе «Нормативные документы / Внешние нормативные документы / НД № 1-0301-035-Е».

Необходимо выполнить следующее:

1. Применять, если необходимо, (с согласия судовладельцев) при проведении технического наблюдения за постройкой / в эксплуатации морских судов ледового плавания изменения к Правилам классификации и постройки морских судов, приведенные в приложении к настоящему циркулярному письму.
2. Содержание данного циркулярного письма необходимо довести до сведения инспекторского состава, заинтересованных организаций и лиц в регионе деятельности подразделений РС.

Исполнитель: Пискорский В.Ф.

Отдел 312

+7 (812) 312-24-28

СЭД «ТЕЗИС»: 15-55159

**Изменения и дополнения**

**Правил классификации и постройки морских судов (2015)**

**ЧАСТЬ I. КЛАССИФИКАЦИЯ**

**2.2 СИМВОЛ КЛАССА СУДНА**

**2.2.3 Знаки категорий ледовых усилений Регистра и знаки полярных классов МАКО.**

Здесь и далее по всему тексту Правил РС, где применяется термин «категория(и) ледовых усилений», данный термин заменяется термином «ледовый(е) класс(ы)».

Соответственно, наименование пункта заменяется следующим:

**«2.2.3 Знаки ледовых классов Регистра, знаки полярных классов МАКО и знаки балтийских ледовых классов.»**

**2.2.3.1 Заменяется следующим текстом:**

**«2.2.3.1 Знаки ледовых классов Регистра устанавливаются для ледоколов и судов ледового плавания в соответствии с требованиями 2.2.3.2 – 2.2.3.6.**

Знаки полярных классов МАКО устанавливаются для судов полярных классов в соответствии с требованиями разд. 1 части XVII «Дополнительные знаки символа класса и словесные характеристики, определяющие конструктивные или эксплуатационные особенности судна».

Знаки балтийских ледовых классов устанавливаются для судов ледового плавания в соответствии с требованиями разд. 10 части XVII «Дополнительные знаки символа класса и словесные характеристики, определяющие конструктивные или эксплуатационные особенности судна».

Знаки полярных классов МАКО и знаки балтийских ледовых классов применяются по желанию судовладельца. При этом для судов с классом Регистра, предназначенных для эксплуатации в российских арктических морях, а также для ледоколов применяются знаки ледовых классов Регистра согласно 2.2.3.2 и 2.2.3.3.

По желанию судовладельца знаки полярных классов МАКО и знаки балтийских ледовых классов могут применяться одновременно со знаками ледовых классов Регистра (двойной либо тройной ледовый класс) при условии, что такие суда удовлетворяют требованиям, предъявляемым как к судам полярных классов МАКО и/или балтийских ледовых классов, так и к судам с ледовыми классами Регистра.»

**ЧАСТЬ II. КОРПУС**

**3.10 ЛЕДОВЫЕ УСИЛЕНИЯ СУДОВ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ И ЛЕДОКОНОВ**

**3.10.1.1 Дополняется следующим текстом:**

**«Требования к судам балтийских ледовых классов (см. 2.2.3.1 части I «Классификация») содержатся в разд. 10 части XVII «Дополнительные знаки символа класса и словесные характеристики, определяющие конструктивные или эксплуатационные особенности судна.»**

**ЧАСТЬ VII. МЕХАНИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ**

**1.1 ОБЛАСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ**

**1.1.1 Дополняется следующим текстом:**

«Требования к механическим установкам судов балтийских ледовых классов (см. 2.2.3.1 части I «Классификация») содержатся в разд. 10 части XVII «Дополнительные знаки символа класса и словесные характеристики, определяющие конструктивные или эксплуатационные особенности судна.»

## **ЧАСТЬ XVII. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЗНАКИ СИМВОЛА КЛАССА И СЛОВЕСНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИЕ КОНСТРУКТИВНЫЕ ИЛИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ОСОБЕННОСТИ СУДНА**

Дополняется разделом 10 следующего содержания:

### **10 ТРЕБОВАНИЯ К СУДАМ БАЛТИЙСКИХ ЛЕДОВЫХ КЛАССОВ**

#### **10.1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

**10.1.1** Требования к судам балтийских ледовых классов соответствуют требованиям Финско-Шведских правил для судов ледового класса от 2010 года и применяются к судам, эксплуатирующимся в акватории Балтийского моря в зимний период.

#### **10.2 БАЛТИЙСКИЕ ЛЕДОВЫЕ КЛАССЫ**

Судам, отвечающим требованиям настоящего раздела, к основному символу класса судна может быть присвоен один из следующих балтийских ледовых классов:

**.1** ледовый класс **IA Super**; суда с конструкцией, мощностью двигателя и прочими характеристиками, обеспечивающими плавание в условиях тяжёлой ледовой обстановки без ледокольного сопровождения;

**.2** ледовый класс **IA**; суда с конструкцией, мощностью двигателя и прочими характеристиками, обеспечивающими плавание в условиях тяжёлой ледовой обстановки с ледокольным сопровождением в случае необходимости;

**.3** ледовый класс **IB**; суда с конструкцией, мощностью двигателя и прочими характеристиками, обеспечивающими плавание в условиях умеренной ледовой обстановки с ледокольным сопровождением в случае необходимости;

**.4** ледовый класс **IC**; суда с конструкцией, мощностью двигателя и прочими характеристиками, обеспечивающими плавание в условиях легкой ледовой обстановки с ледокольным сопровождением в случае необходимости;

**.5** ледовый класс **II**; суда со стальным корпусом и имеющие конструкцию, допускающую плавание в открытом море, но не усиленные для плавания во льдах, способные плавать в условиях легкой ледовой обстановки при помощи собственных судовых машин;

**.6** ледовый класс **III**; суда, не указанные в ледовых классах пунктов .1 - .5.

#### **10.3 ОСАДКА ЛЕДОВЫХ КЛАССОВ**

##### **10.3.1 Верхняя и нижняя ледовая ватерлиния.**

Верхняя ледовая ватерлиния (ВЛВЛ) – это огибающая самых высоких точек ватерлиний, при которых судно будет плавать во льдах. Такая огибающая может быть ломаной линией.

Нижняя ледовая ватерлиния (НЛВЛ) – это огибающая самых низких точек ватерлиний, при которых судно будет плавать во льдах. Такая огибающая может быть ломаной линией.

##### **10.3.2 Наибольшая и наименьшая осадка по носу и по корме.**

Наибольшая и наименьшая осадка для ледового класса на носовом и кормовом перпендикулярах должна быть определена в соответствии с верхней и нижней ледовой ватерлинией.

Ограничения по осадке при плавании во льдах должны быть внесены в судовые документы и храниться на борту в месте, доступном для капитана судна. Наибольшая и наименьшая осадка для ледового класса в носу, на миделе и в корме должна быть определена и указана в Приложении к Классификационному свидетельству (форма 3.1.2-1). Если летняя грузовая марка в пресной воде расположена выше ВЛВЛ, на бортах судна должен быть нанесен предупреждающий знак треугольной формы и марка осадки ледового класса по максимальной допустимой осадке ледового класса на миделе (см. Приложение 1), наличие которых также отмечается в Приложении к Классификационному свидетельству (форма 3.1.2-1).

Осадка и крен не должны превышать пределов, ограниченных ВЛПЛ, при плавании судна во льдах. При загрузке судна следует учитывать соленость морской воде по предполагаемому маршруту движения судна.

При движении во льдах судно должно всегда загружаться не менее чем до осадки, определяемой НЛВЛ. Любой балластный танк, находящийся выше линии НЛВЛ и который заполняется для обеспечения осадки судна до этой ватерлинии, должен быть оснащен устройствами, препятствующими замерзанию воды в танке. При определении линии НЛВЛ следует учитывать то обстоятельство, что у судна должна оставаться приемлемая способность к движению во льдах при заполненном балласте. Винт должен полностью оставаться под поверхностью воды и, если возможно, полностью подо льдом. Осадка в носу должна быть не менее:

$$(2 + 0,00025 \Delta) h_0 [м], \text{ но не более } 4h_0$$

где:

$\Delta$  - водоизмещение судна [т] при наибольшей осадке ледового класса согласно 10.3.1.

$h_0$  - толщина ровного льда [м] согласно 10.5.2.1.

## 10.4 МОЩНОСТЬ ГЛАВНЫХ МЕХАНИЗМОВ

### 10.4.1 Определения и пояснения

Мощность главных механизмов  $P$  – это наибольшая мощность главных механизмов, фактически передаваемая на движители при непрерывной работе.

Ниже приведены определения, касающиеся размеров судна и некоторых других его параметров:

$L$	м	длина судна между перпендикулярами
$L_{BOW}$	м	длина носового заострения
$L_{PAR}$	м	длина цилиндрической вставки
$B$	м	ширина судна
$T$	м	осадка судна
$A_{wf}$	м <sup>2</sup>	площадь ватерлинии носового заострения
$\alpha$	градус	угол наклона ватерлинии, измеряемый в плоскости батокса, отстоящего от диаметральной плоскости судна на расстояние $B/4$
$\varphi_1$	градус	угол наклона форштевня, измеряемый в диаметральной плоскости судна. При бульбообразной форме носовой оконечности $\varphi_1=90$
$\varphi_2$	градус	угол наклона носа в точке форштевня, измеряемый в плоскости батокса, отстоящего от диаметральной плоскости судна на расстояние $B/4$
$\psi$	градус	$\psi = \arctan (\tan\varphi/\sin\alpha)$ с использованием соответствующих местоположению углов $\alpha$ и $\varphi$ .

Для целей 10.4.3 угол рассчитывается с использованием равенства  $\varphi=\varphi_2$

$D_p$	м	диаметр винта
$H_M$	м	толщина битого льда в центре канала
$H_F$	м	толщина битого льда, перемещаемого носовой оконечностью

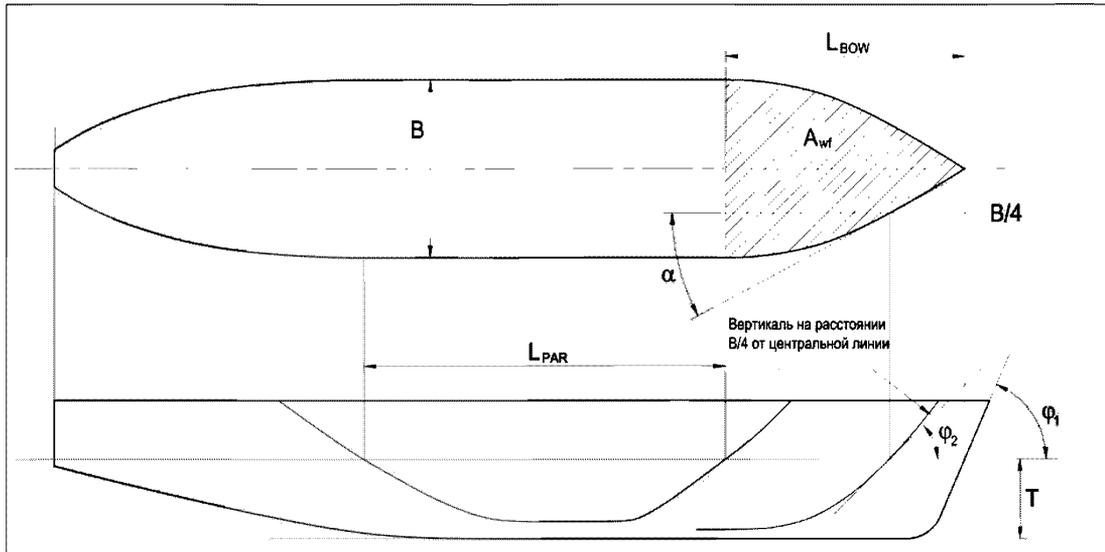


Рис.10.4.1. Определение геометрических величин корпуса судна

**10.4.2** Мощность главных механизмов должна быть не менее мощности, определённой в соответствии с 10.4.3.

Независимо от результатов определения мощности по формуле (10.4.3-1), мощность главных механизмов не должна быть меньше 1000 кВт для ледовых классов IA, IB и IC и меньше 2800 кВт для ледового класса IA Super.

**10.4.3** Расчет мощности необходимо выполнить для ВЛВЛ и НЛВЛ. Мощность главных механизмов принимается равной наибольшему из полученных значений.

При расчете параметры судна, указанные в 10.4.1 и зависящие от осадки, определяются в зависимости от осадки за исключением параметров L и B, которые определяются только при ВЛВЛ.

$$P = K_e \frac{(R_{CH} / 1000)^{3/2}}{D_p} \text{ [kW]}. \quad (10.4.3-1)$$

где  $K_e$  – коэффициент, определяемый по табл. 10.4.3;

$R_{CH}$  – сопротивление судна при движении по каналу, заполненному битым льдом с замерзшим верхним слоем, Н.

Таблица 10.4.3

Количество винтов	Пропульсивная установка с ВРШ, либо с электрическим или гидравлическим приводом	Пропульсивная установка с винтом фиксированного шага
1	2,03	2,26
2	1,44	1,60
3	1,18	1,31

$$R_{CH} = C_1 + C_2 + C_3 C_M (H_F + H_M)^2 (B + C_V H_F) + C_4 L_{PAR} H_F^2 + C_5 \left( \frac{LT}{B^2} \right)^3 \frac{A_{WF}}{L} \quad (10.4.3-2)$$

где

$$C_M = 0,15 \cos \varphi_2 + \sin \psi \sin \alpha, \text{ но не менее } 0,45;$$

$$C_\psi = 0,047 \psi - 2,115, \text{ и } C_\psi = 0, \text{ при } \psi < 45^\circ$$

$$H_F = 0,26 + (H_M B)^{0,5}$$

$$H_M = 1,0 \text{ м для ледовых классов IA и IA Super};$$

$$H_M = 0,8 \text{ м для ледового класса IB};$$

$$H_M = 0,6 \text{ м для ледового класса IC};$$

$$C_1 = 0 \text{ для ледовых классов IA, IB и IC};$$

$$C_1 = f_1 \frac{BL_{PAR}}{\frac{T}{B} + 1} + (1 + 0,021 \varphi_1) (f_2 B + f_3 L_{BOW} + f_4 BL_{BOW})$$

для ледового класса IA Super;

$$f_1 = 23 \text{ Н/м}^2;$$

$$f_2 = 45,8 \text{ Н/м};$$

$$f_3 = 14,7 \text{ Н/м};$$

$$f_4 = 29 \text{ Н/м}^2;$$

$$C_2 = 0 \text{ для ледовых классов IA, IB и IC};$$

$$C_2 = (1 + 0,063 \varphi_1) (g_1 + g_2 B) + g_3 \left( 1 + 1,2 \frac{T}{B} \right) \frac{B^2}{\sqrt{L}}$$

для ледового класса IA Super;

$$g_1 = 1530 \text{ Н};$$

$$g_2 = 170 \text{ Н/м};$$

$$g_3 = 400 \text{ Н/м}^{1,5};$$

$$C_3 = 845 \text{ кг/(м}^2 \text{с}^2)$$

$$C_4 = 42 \text{ кг/(м}^2 \text{с}^2)$$

$$C_5 = 825 \text{ кг/с}^2$$

Величина  $\left( \frac{LT}{B^2} \right)^3$  в формуле (10.4.3-2) должна приниматься не менее 5 и не более 20.

**10.4.4** Формула (10.4.3-2) может быть использована при выполнении условий, указанных в таблице 10.4.4.

При невыполнении указанных условий, а также при наличии результатов модельных испытаний, либо при использовании уточненных расчетных методик и при условии последующего подтверждения во время ходовых испытаний, значения  $K_e$  и  $R_{CH}$  могут быть определены для минимальной скорости хода 5 узлов в следующей толщине битого льда в канале:

$$H_M = 0,6 \text{ м для ледового класса IC};$$

$$H_M = 0,8 \text{ м для ледового класса IB};$$

$$H_M = 1,0 \text{ м для ледового класса IA};$$

$H_M = 1,0$  м и толщина замершего верхнего слоя 0.1 м для ледового класса IA Super;

Таблица 10.4.4

Условия применимости формулы (10.4.3-2)

Параметр	Минимальное значение	Максимальное значение
$\alpha$ , град.	15	55
$\varphi_1$ , град.	25	90
$\varphi_2$ , град.	10	90
$L$ , м	65,0	250,0
$B$ , м	11,0	40,0
$T$ , м	4,0	15,0
$L_{BOW}/L$	0,15	0,40
$L_{PAR}/L$	0,25	0,75
$D_P/T^*$	0,45	0,75
$A_{wl}/(L \cdot B)$	0,09	0,27

\* - При расчёте параметра следует выбрать величину  $T$  в центральной части судна при наибольшей осадке.

## 10.5 КОНСТРУКЦИЯ КОРПУСА СУДНА

### 10.5.1 Общие положения

Процедура, которая используется для определения размеров конструктивных элементов, основана на определенных допущениях, связанных с процессом воздействия льда на конструкцию. Эти допущения основаны на результатах полномасштабных испытаний, проводившихся в северной части Балтийского моря.

Отмечается, что локальное давление льда может достигать довольно больших значений на малых площадях. Это давление может значительно превышать характеристики прочности льда при одноосевом нагружении. Это объясняется тем, что напряженное состояние льда является многоосевым (многокомпонентным).

Также отмечается, что приходящееся на балки набора давление льда больше, чем давление льда, приходящееся на обшивку между балками набора. Это происходит вследствие того, что изгибная жесткость балок набора и обшивки различная. Предполагаемое распределение нагрузки представлено на Рис. 10.5.1-1.

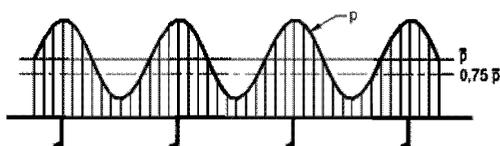


Рис. 10.5.1-1 Распределение ледовой нагрузки по борту судна

Если представленные в настоящих требованиях формулы и числовые значения признаются Регистром неприменимыми с учетом особенностей конструкции судна или отдельных ее элементов, они могут быть заменены расчетами прочности с применением численных методов. В противном случае результаты, полученные с помощью численных методов расчета прочности, не должны использоваться как замена требованиям, приведенным в 10.5.3 - 10.5.5.

При выполнении расчетов прочности численными методами характеристики эпюры нагрузки ( $p$ ,  $h$ ,  $l_a$ ) должны приниматься в соответствии с 10.5.2. Величина давления должна приниматься равной  $1,8p$ , где  $p$  определяется в соответствии с 10.5.2.2. Эпюра должна быть расположена в таких районах конструкции, где ее несущая способность при совместном воздействии изгиба и сдвига минимальна. В частности, расчет прочности конструкции должен быть проведен в случае, когда центр эпюры расположен на уровне верхней ледовой ватерлинии, на расстоянии  $0,5h_0$  ниже нижней ледовой ватерлинии, а также на нескольких промежуточных положениях по вертикали. Должно быть рассмотрено несколько положений эпюры по горизонтали, в частности, при положении центра эпюры в середине пролета балок набора или посередине расстояния между балками. Кроме того, если для рассматриваемой конструкции непосредственное определение расчетной длины эпюры нагрузки  $l_a$  невозможно, должны быть рассмотрены несколько значений  $l_a$  с использованием соответствующих значений коэффициента  $c_a$ .

Допускаемые напряжения для конструкций должны приниматься в соответствии с теорией Мизеса, учитывающей совместное влияние изгиба и сдвига, не выше предела текучести материала  $\sigma_y$ . В случае, если выполняется расчет прочности численными методами, допускаемое касательное напряжение при использовании теории изгиба балок должно приниматься не менее  $0,9\tau_y$ , где  $\tau_y = \sigma_y / \sqrt{3}$ .

Если размеры конструкций, полученные в соответствии с настоящими требованиями, меньше размеров, требуемых для данного судна другими требованиями нормативных документов Регистра без учета требований к ледовым усилителям, необходимо использовать последние.

**ПРИМЕЧАНИЕ 1.** Расстояние между балками набора и длина пролета балок набора, используемые в настоящей главе, в общем случае (в соответствии с применимыми требованиями Регистра) измеряются вдоль обшивки; для листов обшивки – перпендикулярно оси балок набора; для элементов со свободным пояском – вдоль свободного пояска; для балок полосового профиля – вдоль свободной кромки. Для криволинейных элементов длина пролета (или расстояние между балками) определяется как длина хорды между крайними точками пролета (или расстояния между балками). Крайние точки пролета определяются пересечением свободного пояска или верхней кромки элемента с опорной конструкцией (стрингером, рамным шпангоутом, палубой или переборкой). Рис. 10.5.1-2 поясняет

процедуру определения пролета и расстояния между балками набора для криволинейных элементов.

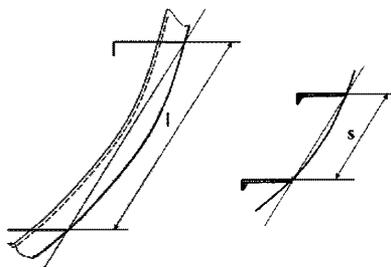


Рис. 10.5.1-2 Определение величины пролета шпангоута (слева) и расстояния между балками набора (справа) для криволинейных элементов

**ПРИМЕЧАНИЕ 2.** При расчете момента сопротивления балок набора, стрингеров и рамных шпангоутов должен учитываться присоединенный пояс обшивки, размеры которого определяются в соответствии с применимыми требованиями нормативных документов Регистра. Ширина присоединенного пояса не должна приниматься больше значения, регламентированного соответствующими применимыми требованиями нормативных документов Регистра.

**ПРИМЕЧАНИЕ 3.** Требования к моменту сопротивления и площади стенки балок основного набора, стрингеров и рамных шпангоутов, приведенные в 10.5.4, 10.5.5 и 10.5.6, подразумевают, что стенка указанных выше элементов устанавливается перпендикулярно к присоединенному пояску. Если стенка устанавливается не перпендикулярно к свободному пояску, требуемые характеристики сечения должны быть увеличены в соответствии с применимыми требованиями нормативных документов Регистра.

#### 10.5.1.1 Районы ледовых усилений

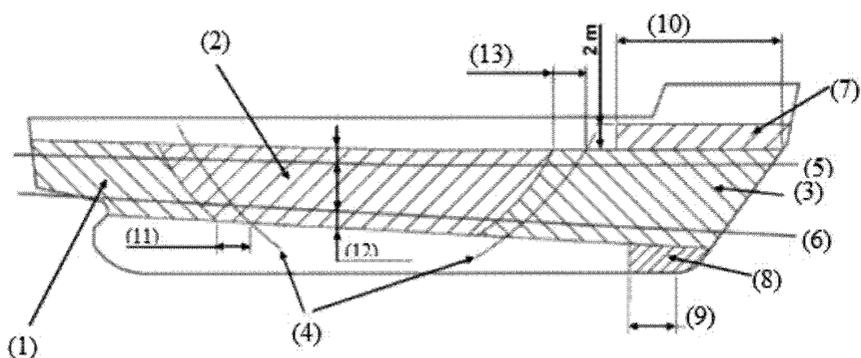
Районы ледовых усилений корпуса судна подразделяются на следующие (см. также Рис. 10.5.1.1):

**Носовой район:** от линии форштевня до линии, параллельной носовой ветви линии плоского борта и смещенной на  $0,04L$  в корму относительно последней. Указанное смещение в корму для ледовых классов **IASuper** и **IA** не должно превышать 6 метров, для ледовых классов **IB** и **IC** не превышать 5 метров.

**Средний район:** от кормовой границы носового района до линии, параллельной кормовой ветви линии плоского борта и смещенной на  $0,04L$  в корму относительно последней. Указанное смещение в корму для ледовых классов **IASuper** и **IA** не должно превышать 6 метров, для ледовых классов **IB** и **IC** - не превышать 5 метров.

**Кормовой район:** от кормовой границы среднего района до линии ахтерштевня.

Длина  $L$  должна приниматься равной расчетной длине в соответствии с требованиями нормативных документов Регистра.



- (1) – кормовой район
- (2) – средний район
- (3) – носовой район
- (4) – линия плоского борта
- (5) – верхняя ледовая ватерлиния
- (6) – нижняя ледовая ватерлиния
- (7) – верхний носовой ледовый пояс
- (8) – нижняя часть форштевня
- (9) – 5 расстояний между балками основного набора
- (10) -  $0,2L$
- (11) - см. 10.5.1
- (12) – см. 10.5.3.1
- (13) – см. 10.5.1

Рис. 10.5.1.1 Районы ледовых усилений корпуса судна

## 10.5.2 Ледовая нагрузка

### 10.5.2.1 Высота распределения ледовой нагрузки.

Предполагается, что судно с ледовыми усилениями движется в открытом море с соответствующей толщиной ровного льда  $h_0$ . Расчетная высота ледовой нагрузки  $h$  принимается как часть толщины ровного льда. Значения  $h_0$  и  $h$  приведены в следующей таблице:

Ледовый класс	$h_0$ [М]	$h$ [М]
IA Super	1,0	0,35
IA	0,8	0,30
IB	0,6	0,25
IC	0,4	0,22

### 10.5.2.2 Ледовое давление.

Расчетное значение ледового давления определяется по следующей формуле:

$$p = c_d \cdot c_p \cdot c_a \cdot P_0, \text{ [МПа]}, \quad (10.5.2.2)$$

где

$c_d$  – коэффициент, учитывающий влияние главных размерений судна и мощности его энергетической установки на величину ледовой нагрузки. Коэффициент  $c_d$  не должен приниматься больше 1,0 и должен определяться по следующей формуле:

$$c_d = \frac{a \cdot k + b}{1000},$$

где

$$k = \frac{\sqrt{\Delta \cdot P}}{1000},$$

значения для  $a$  и  $b$  приведены в следующей таблице:

	Район корпуса по длине			
	носовой		Средний и кормовой	
	$k \leq 12$	$k > 12$	$k \leq 12$	$k > 12$
$a$	30	6	8	2
$b$	230	518	214	286

$\Delta$  – массовое водоизмещение судна при максимальной осадке во льду [т] (см. 10.3.1);

$P$  – мощность главных механизмов, фактически передаваемая на движители при непрерывной работе, [кВт] (см. 10.4.2);

$c_p$  – коэффициент, который учитывает вероятность того, что для данного ледового класса и данного района корпуса судна ледовое давление достигает своего расчетного значения.

Величина коэффициента  $c_p$  приведена в следующей таблице:

Ледовый класс	Район по длине		
	Носовой	Средний	Кормовой
<b>IA Super</b>	1,0	1,0	0,75
<b>IA</b>	1,0	0,85	0,65
<b>IB</b>	1,0	0,70	0,45
<b>IC</b>	1,0	0,50	0,25

$c_a$  – коэффициент, который учитывает вероятность того, что ледовое давление возникнет одновременно по всей длине соответствующего района корпуса судна. Данный коэффициент рассчитывается по следующей формуле:

$$c_a = \sqrt{\frac{l_0}{l_a}}, \quad 0,35 \leq c_a \leq 1,0$$

где

$l_0 = 0,6$  м

$l_a$  определяется следующим образом:

Конструкция	Система набора	$l_a$ [м]
Наружная обшивка	поперечная	Расстояние между шпангоутами
	продольная	1,7 расстояния между балками набора
Балки набора	поперечная	Расстояние между шпангоутами
	продольная	Длина пролета балки набора
Стрингер		Длина пролета стрингера
Рамный шпангоут		2 расстояния между рамными шпангоутами

$p_0$  – номинальное значение ледового давления; используется значение 5,6 МПа.

### 10.5.3 Наружная обшивка

**10.5.3.1 Протяженность ледовых усилений наружной обшивки по высоте борта (ледовый пояс).**

Протяженность ледового пояса по высоте борта принимается следующей (см. Рис. 10.5.1.1):

Ледовый класс	Район ледовых усиления по длине	Выше верхней ледовой ватерлинии	Ниже нижней ледовой ватерлинии
<b>IASuper</b>	Носовой	0,60 м	1,20 м
	Средний		
	Кормовой		1,0 м
<b>IA</b>	Носовой	0,60 м	0,90 м
	Средний		0,75 м
	Кормовой		
<b>IBи IC</b>	Носовой	0,60 м	0,70 м
	Средний		0,60 м
	Кормовой		

Дополнительно необходимо предусмотреть усиление следующих районов:

**Нижняя часть форштевня.** Для следующего района ледовых усиления судна с классом **IASuper** толщина наружной обшивки должна быть не меньше толщины, требуемой для среднего района ледового пояса:

по высоте - ниже ледового пояса;

по длине - от форштевня до сечения, отстоящего на пять расстояний между основными шпангоутами от точки, где форштевень соединен с вертикальным килем.

**Верхний носовой ледовый пояс.** Для следующего района ледовых усиления судов с классом **IASuper** и **IA** с эксплуатационной скоростью на чистой воде 18 узлов и более наружная обшивка должна иметь толщину не менее, чем требуется для ледового пояса в среднем районе:

по высоте - на 2 метра выше верхней границы ледового пояса;

по длине - от форштевня до сечения на расстоянии минимум  $0,2L$  от носового перпендикуляра.

Аналогичное усиление конструкции носа рекомендуется также для судов с меньшей эксплуатационной скоростью на чистой воде в том случае, если, например, при испытании модели судна в опытовом бассейне видно, что у судна образуется высокая носовая волна.

В наружной обшивке в районе ледового пояса не допускается располагать бортовые иллюминаторы. Если верхняя палуба судна расположена ниже верхней границы ледового пояса, конструкция фальшборта должна быть равнопрочной с конструкцией наружной обшивки в районе ледового пояса. Аналогичное требование предъявляется для конструкции штормовых портов.

### 10.5.3.2 Толщина наружной обшивки ледового пояса.

При поперечной системе набора борта толщина наружной обшивки определяется по следующей формуле:

$$t = 667 s \sqrt{\frac{f_1 \cdot p_{PL}}{\sigma_y}} + t_c, \text{ [мм]}. \quad (10.5.3.2-1)$$

При продольной системе набора борта толщина наружной обшивки определяется по следующей формуле:

$$t = 667 s \sqrt{\frac{p}{f_2 \cdot \sigma_y}} + t_c, \text{ [мм]}. \quad (10.5.3.2-2)$$

где

$s$  – расстояние между балками набора [м];

$p_{PL} = 0.75 p$ , [МПа];

$p$  определяется в соответствии с 10.5.2.2;

$f_1 = 1.3 - \frac{4.2}{(h/s + 1.8)^2}$ ; принимается не более 1,0;

$f_2 = 0.6 + \frac{0.4}{(h/s)}$ , при  $h/s \leq 1$

$f_2 = 1.4 - 0.4 (h/s)$ , при  $1 \leq h/s < 1.8$  ;

где

$h$  принимается в соответствии с 10.5.2.1;

$\sigma_y$  - предел текучести материала [МПа], для определения которого следует использовать следующие значения:

$\sigma_y = 235$  МПа для стали нормальной прочности;

$\sigma_y = 315$  МПа и выше для стали повышенной прочности.

Если для конструкции используется сталь с иным значением предела текучести, по согласованию с Регистром может использоваться фактическое значение предела текучести.

$t_c$  - надбавка на коррозионный и абразивный износ, [мм], в общем случае принимается равной 2,0 мм; если применяются и поддерживаются в годном состоянии специальные покрытия наружной обшивки, опыт применения которых показывает надежную защиту от абразивного износа во льдах, по согласованию с Регистром надбавка может быть уменьшена.

## 10.5.4 Балки основного набора

### 10.5.4.1 Протяженность района ледовых усилений балок набора по высоте борта

Протяженность района ледовых усилений балок набора по высоте борта должна приниматься не менее следующих значений:

Ледовый класс	Район корпуса по длине	Выше верхней ледовой ватерлинии	Ниже нижней ледовой ватерлинии
<b>IA Super</b>	Носовой	1,2 м	До уровня второго дна или ниже верхних поясков флоров
	Средний		2,0 м
	Кормовой		1,6 м
<b>IA, IB, IC</b>	Носовой	1,0 м	1,6 м
	Средний		1,3 м
	Кормовой		1,0 м

В том случае, если требуется подкрепление верхнего носового ледового пояса (см. 10.5.3.1), требования к ледовым усилению балок набора должны применяться как минимум по всей высоте указанного подкрепления.

Границу ледовых усилений балок набора допускается принимать на уровне палубы или крышки цистерны (днища цистерны), если ее положение находится не дальше, чем в 250 мм от указанного уровня.

#### **10.5.4.2 Шпангоуты при поперечной системе набора**

##### **10.5.4.2.1 Момент сопротивления и площадь поперечного сечения стенки**

Момент сопротивления поперечного сечения основных или промежуточных шпангоутов должен быть не менее определяемого по формуле:

$$Z = \frac{p \cdot s \cdot h \cdot l}{m_t \cdot \sigma_y} 10^6 \quad [\text{см}^3]. \quad (10.5.4.2.1-1)$$

Площадь поперечного сечения стенки основных или промежуточных шпангоутов должна быть не менее определяемой по формуле:

$$A = \frac{\sqrt{3} \cdot f_3 \cdot p \cdot h \cdot s}{2\sigma_y} 10^4 \quad [\text{см}^2], \quad (10.5.4.2.1-2)$$

где

$p$  - ледовое давление в соответствии с 10.5.2.2, [МПа];

$s$  - расстояние между шпангоутами, [м];

$h$  - высота распределения нагрузки в соответствии с 10.5.2.1, [м];

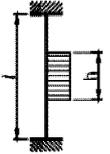
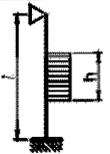
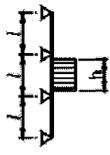
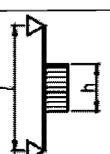
$l$  - величина пролета шпангоута, [м];

$$m_4 = \frac{7m_0}{7 - 5h/l};$$

$f_3$  - коэффициент, который учитывает влияние на максимальную перерезывающую силу положения эпюры нагрузки и распределения касательных напряжений,  $f_3 = 1,2$ ;

$\sigma_y$  - предел текучести материала в соответствии с 10.5.3.2, [МПа];

$m_0$  - коэффициент, учитывающий тип граничных условий шпангоута. Значения данного коэффициента приведены в таблице ниже:

Граничные условия	$m_0$	Пример
	7	Шпангоуты навалочного судна при наличии подпалубных цистерн
	6	Шпангоуты между крышкой цистерны и палубой
	5,7	Непрерывные на опорных конструкциях шпангоуты с несколькими пролетами между промежуточными палубами или стрингерами
	5	Шпангоуты между двумя палубами

Указанные граничные условия должны применяться как для основных, так и промежуточных шпангоутов. Нагрузка располагается таким образом, чтобы центр эпюры совпадал с серединой пролета.

Допускается определять требуемые размеры шпангоута без учета требований к ледовым усилениям, если менее 15% его пролета,  $l$ , перекрыто районом ледовых усилений.

#### **10.5.4.2.2 Конструкция верхнего конца шпангоута**

Верхней конец основного и промежуточного шпангоута, имеющего ледовые подкрепления, должен быть закреплен на палубе, крышке (или днища) цистерны или стрингере (см. 10.5.5).

В случае, если верхний конец шпангоута расположен выше палубы или стрингера, находящегося на уровне или выше границы ледовых подкреплений, то часть шпангоута выше палубы или стрингера может удовлетворять требованиям соответствующих нормативных документов Регистра без учета требований к ледовым усилениям. В данном случае верхний конец промежуточного шпангоута может быть соединен с соседними шпангоутами продольным ребром жесткости, размеры которого равны размерам основного шпангоута.

#### **10.5.4.2.3 Конструкция нижнего конца шпангоута**

Нижний конец основного и промежуточного шпангоута, имеющего ледовые подкрепления, должен быть закреплен на палубе, крышке (или днище) цистерны или стрингере (см. 10.5.5).

В случае, если нижний конец промежуточного шпангоута расположен ниже палубы, крышки (или днища) цистерны, расположенного на уровне или ниже границы ледовых подкреплений, то нижний конец промежуточного шпангоута может быть соединен с соседними основными шпангоутами продольным ребром жесткости, размеры которого равны размерам основного шпангоута. При этом основной шпангоут ниже нижней границы ледовых усиления должен иметь ледовые усиления, см. 10.5.4.1.

#### **10.5.4.3 Продольные балки при продольной системе набора**

Требования настоящего раздела распространяются на продольные балки набора с любой конструкцией на концах балок.

##### **10.5.4.3.1 Балки набора при наличии и отсутствии книц**

Момент сопротивления продольной балки должен быть не менее определяемого по формуле:

$$Z = \frac{f_A \cdot p \cdot h \cdot l^2}{m \cdot \sigma_y} 10^6, \text{ [см}^3\text{]}, \quad (10.5.4.3.1-1)$$

и площадь поперечного сечения стенки продольной балки должна быть не менее определяемой по формуле:

$$A = \frac{\sqrt{3} \cdot f_4 \cdot f_5 \cdot p \cdot h \cdot l}{2\sigma_y} 10^4, \text{ [см}^2\text{]}. \quad (10.5.4.3.1-2)$$

При расчете значений площади стенки балки не должна учитываться площадь сечения кницы.

В указанных выше формулах:

$f_4$  - коэффициент, учитывающий распределение нагрузки между соседними балками:

$$f_4 = (1 - 0.2 h/s)$$

$f_5$  - коэффициент, который учитывает влияние на максимальную перерезывающую силу положения эпюры нагрузки и распределения касательных напряжений;  $f_5 = 2.16$

$p$  - ледовое давление в соответствии с 10.5.2.2 [МПа]

$h$  - высота распределения нагрузки в соответствии с 10.5.2.1 [м]

$s$  - расстояние между балками набора [м]

$l$  - величина пролета балки набора без учета книц [м]

$m$  - коэффициент, учитывающий тип граничных условий балки набора;  $m = 13.3$  для конструкции с непрерывными на опорных конструкциях балками продольного набора; в том случае, если условия закрепления балки могут считаться существенно отличающимися по сравнению с непрерывной балкой, следует принимать меньшее значение коэффициента  $m$ . Для балок набора без книц следует принимать значение  $m = 11,0$ .

$\sigma_y$  - предел текучести материала в соответствии с 10.5.3.2 [МПа].

#### **10.5.4.4. Общие требования к балкам набора**

##### **10.5.4.4.1 Соединения балок набора с опорными конструкциями**

Должно быть обеспечено надежное соединение всех балок набора в районе ледовых усилений с опорными конструкциями. Продольные балки основного набора должны быть соединены с рамными шпангоутами и переборками при помощи книц. Если шпангоут при поперечной системе набора оканчивается на стрингере или палубе, в районе крепления должны быть установлены кницы или аналогичные им конструкции. Если шпангоут проходит непрерывно через опорную конструкцию, стенка шпангоута должна быть приварена к опорной конструкции с двух сторон (непосредственно приварена, соединена при помощи заделки). В случае установки книц, толщина стенки кницы должна быть не менее толщины стенки балки, а свободная кромка кницы должна иметь подкрепления, обеспечивающие ее устойчивость.

**10.5.4.4.2 Подкрепление балок набора для обеспечения их устойчивости: для ледового класса IASuper, для носового и среднего района ледовых усилений ледового класса IA и носового района ледовых усилений ледовых классов IB и IC**

Все балки набора должны быть приварены к наружной обшивке двусторонним непрерывным сварным швом. Не допускается применение гребенчатого сварного шва.

Толщина стенки балок набора должна быть не менее большей из следующих величин:

$$\frac{h_w \sqrt{\sigma_y}}{C},$$

-  $h_w$  - высота стенки балки,  $C = 805$  для полособульбового или таврового профиля и  $C = 282$  для полосового профиля

- 2,5% расстояния между шпангоутами при поперечной системе набора;

- половина толщины-«нетто» наружной обшивки,  $t - t_c$ . При этом требуемая толщина наружной обшивки должна рассчитываться согласно 10.5.3.2 при использовании величины предела текучести  $\sigma_y$ , равного соответствующей величине для балок набора;

- 9 мм.

Толщина прилегающих к наружной обшивке участков палубы, крышек (или днища) цистерн или переборок должны удовлетворять вышеуказанным требованиям на ширине, равной высоте расположенных рядом балок набора борта.

В случае, если стенка балки набора расположена не под прямым углом к обшивке, или балки несимметричного профиля, при пролете более 4,0 м она должна быть подкреплена от потери боковой устойчивости бракетами, интеркостельными ребрами жесткости, стрингерами или другими конструктивными элементами, расположенными на расстоянии не менее 1,3 м. Если пролет балки меньше 4,0 м подкрепления от потери боковой устойчивости необходимы только для балок из несимметричного профиля и балок, расположенных не под прямым углом к обшивке для следующих районов ледовых усилений:

**IASuper** – все районы ледовых усилений

**IA** – носовой и средний районы

**IB** и **IC** – носовой район.

## 10.5.5 Бортовые стрингеры

### 10.5.5.1 Стрингеры в районе ледового пояса

Момент сопротивления стрингера, расположенного в районе ледовых усилений (см. 10.5.3.1) должен приниматься не менее определяемого формулой:

$$Z = \frac{f_6 \cdot f_7 \cdot p \cdot h \cdot l^2}{m \cdot \sigma_y} 10^6, \text{ [см}^3\text{]}. \quad (10.5.5.1-1)$$

Площадь стенки стрингера должна приниматься не менее определяемой по формуле:

$$A = \frac{\sqrt{3} \cdot f_6 \cdot f_7 \cdot f_8 \cdot p \cdot h \cdot l}{2 \cdot \sigma_y} 10^4, \text{ [см}^2\text{]}. \quad (10.5.5.1-2)$$

где

$P$  - ледовое давление в соответствии с 10.5.2.2, [МПа]

$h$  - высота распределения нагрузки в соответствии с 10.5.2.1, [м]

Произведение  $P \cdot h$  следует принимать не менее 0,15.

$l$  - пролет стрингера, м

$m$  - коэффициент, учитывающий тип граничных условий стрингера, принимается в соответствии с 10.5.4.3

$f_6$  - коэффициент, который учитывает распределение нагрузки на шпангоуты, принимается равным 0,9

$f_7$  - коэффициент запаса для стрингера, принимается равным 1,8

$f_8$  - коэффициент, который учитывает влияние на максимальную перерезывающую силу положения эпюры нагрузки и распределения касательных напряжений,  $f_8 = 1.2$

$\sigma_y$  - предел текучести материала, принимается в соответствии с 10.5.3.2.

#### 10.5.5.2 Стрингеры вне района ледового пояса

Момент сопротивления стрингеров, расположенных вне ледового пояса, но являющихся опорными конструкциями для шпангоутов с ледовыми усилениями, должен приниматься не менее определяемого по формуле:

$$Z = \frac{f_9 \cdot f_{10} \cdot P \cdot h \cdot l^2}{m \cdot \sigma_y} (1 - h_s / l_s) \cdot 10^6, \text{ [см}^3\text{]}. \quad (10.5.5.2-1)$$

Площадь сечения стенки стрингера должна приниматься не менее определяемой по формуле

$$A = \frac{\sqrt{3} \cdot f_9 \cdot f_{10} \cdot f_{11} \cdot P \cdot h \cdot l}{2 \cdot \sigma_y} (1 - h_s / l_s) \cdot 10^4, \text{ [см}^2\text{]}. \quad (10.5.5.2-2)$$

где

$P$  - ледовое давление в соответствии с 10.5.2.2, [МПа];

$h$  - высота распределения нагрузки в соответствии с 10.5.2.1, [м];

Произведение  $P \cdot h$  следует принимать не менее 0,15.

$l$  - пролет стрингера, [м]

$m$  - коэффициент, учитывающий тип граничных условий стрингера, принимается в соответствии с 10.5.4.3

$l_s$  - расстояние до соседнего стрингера, [м]

$h_s$  - расстояние до ледового пояса, [м]

$f_9$  - коэффициент, который учитывает распределение нагрузки на шпангоуты, принимается равным 0,80

$f_{10}$  - коэффициент запаса для стрингера, принимается равным 1,8

$f_{11}$  - коэффициент, который учитывает влияние на максимальную перерезывающую силу положения эпюры нагрузки и распределения касательных напряжений,  $f_{11} = 1.2$

$\sigma_y$  - предел текучести материала, принимается в соответствии с 10.5.3.2.

### **10.5.5.3 Участки настила палубы**

Узкие участки настила палубы в районе вырезов грузовых люков в палубе, которые могут считаться бортовыми стрингерами, должны удовлетворять требованиям к моменту сопротивления и площади сечения стенки стрингера, указанными в 10.5.5.1 и 10.5.5.2 соответственно. В случае наличия протяженных по длине судна вырезов грузовых люков по согласованию с Регистром произведение  $p \cdot h$  может приниматься меньше 0,15, но не менее 0,10.

При проектировании крышек люков верхней палубы и фиттингов в случае протяженных (более  $B/2$ ) по длине судна вырезов должны учитываться относительные смещения бортов судна под действием ледовой нагрузки.

## **10.5.6 Рамные шпангоуты**

### **10.5.6.1 Ледовая нагрузка**

Ледовая нагрузка, которая передается на рамные шпангоуты от стрингеров или продольных балок основного набора, определяется в соответствии со следующей формулой:

$$F = f_{12} \cdot p \cdot h \cdot S, \text{ [МН]}, \quad (10.5.6.1)$$

где

$p$  - ледовое давление в соответствии с 10.5.2.2 [МПа], при этом при расчете  $c_a$  величина  $l_a$  принимается равной  $2S$ .

$h$  - высота распределения нагрузки в соответствии с 10.5.2.1, [м].

Произведение  $p \cdot h$  следует принимать не менее 0,15.

$S$  - расстояние между рамными шпангоутами, [м].

$f_{12}$  - коэффициент запаса для стрингеров, принимается равным 1,8.

В случае, если стрингер, который опирается на рамный шпангоут, расположен вне границ ледового пояса, величина  $F$  должна быть умножена на  $(1 - h_s/l_s)$ , при этом  $h_s$  и  $l_s$  принимаются в соответствии с 10.5.5.2.

### **10.5.6.2 Момент сопротивления и площадь сечения стенки**

Момент сопротивления и площадь сечения стенки рамного шпангоута должны приниматься не менее определяемых по следующим формулам:

Площадь сечения стенки:

$$A = \frac{\sqrt{3} \cdot \alpha \cdot f_{13} \cdot Q \cdot 10^4}{\sigma_y}, \text{ [см}^2\text{]}, \quad (10.5.6.2-1)$$

где

$Q$  - максимальное значение расчетной перерезывающей силы, возникающей в рамном шпангоуте под нагрузкой, равной  $F$  в соответствии с 10.5.6.1.

$f_{13}$  - коэффициент, учитывающий распределение перерезывающей силы по длине,  $f_{13} = 1.1$

$\alpha$  принимается в соответствии с таблицей ниже;

$\sigma_y$  - предел текучести материала, принимается в соответствии с 10.5.3.2.

Момент сопротивления:

$$Z = \frac{M}{\sigma_y} \sqrt{\frac{1}{1 - (\gamma \cdot A / A_a)^2}} \cdot 10^6, \text{ [см}^3\text{]}, \quad (10.5.6.2-2)$$

где

$M$  - максимальный расчетный изгибающий момент, возникающий в рамном шпангоуте под нагрузкой, равной  $F$ ; принимается равным  $M = 0.193 \cdot F \cdot l$

$\gamma$  - приведен в таблице ниже;

$A$  - требуемая площадь поперечного сечения стенки;

$A_a$  - принятая площадь поперечного сечения рамного шпангоута,  $A_a = A_f + A_w$

Коэффициенты  $\alpha$  и  $\gamma$  могут быть приниматься в соответствии с таблицей ниже

$A_f/A_w$	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0
$\alpha$	1.5	1.23	1.16	1.11	1.09	1.07	1.06	1.05	1.05	1.04	1.04
$\gamma$	0	0.44	0.62	0.71	0.76	0.80	0.83	0.85	0.87	0.88	0.89

где

$A_f$  - принятая площадь поперечного сечения свободного пояса;

$A_w$  - принятая площадь поперечного сечения стенки.

### 10.5.7 Форштевень

Допускается конструкции форштевня из прокатного профиля, ковальной или литой стали, а также сварной форштевень листовой конструкции в соответствии с указаниями, приведенными на Рис. 10.5.7.

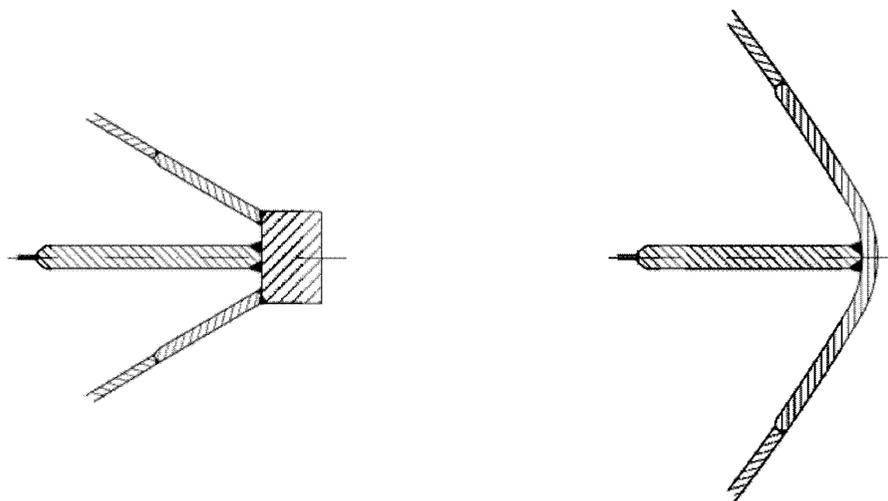


Рис. 10.5.7 Примеры допустимой конструкции форштевня

Толщина изогнутого листа форштевня, а также - в случае относительно полных обводов носовой оконечности - участков, где выполняется условие  $\alpha \geq 30^\circ$  и  $\psi \geq 75^\circ$  (определение углов см. в 3.2.1), должна приниматься не менее соответствующей формуле 10.5.3.2, полагая следующие значения расчетных параметров:

$s$  - расстояние между конструктивными элементами, подкрепляющими лист, [м]

$\sigma_{PL} = P$ , [МПа], (см. 10.5.3.2);

$l_a$  - расстояние между вертикально расположенными конструктивными элементами, подкрепляющими лист [м].

Форштевень, а также указанная выше часть носовой оконечности при относительно полных обводах корпуса, должны подкрепляться при помощи установки флоров и бракет, расположенных на расстоянии не более 0,6 м и толщиной не менее толщины листов. Подкрепление должно быть обеспечено на высоте от киля до уровня 0,75 м выше верхней ледовой ватерлинии, а при наличии подкрепления верхнего носового ледового пояса (см. 10.5.3.1) - до верхней границы указанного подкрепления.

### 10.5.8 Ахтерштевень

Применение поворотных винторулевых колонок, а также гребных винтов, привод которых установлен в специальных обтекателях («гондолах»), улучшающих маневренные характеристики судна, приводит к увеличению ледовых нагрузок на корпус судна в кормовой оконечности, что должно быть учтено при проектировании.

Для снижения величины ледовой нагрузки на кромки лопастей винта минимальное расстояние между винтом (винтами) и корпусом судна (ахтерштевнем) должен приниматься не менее  $^1 h_0$  (см. 10.5.2.1).

На судах с двумя или тремя винтами ледовые усиления наружной обшивки и балок набора должны быть продлены до второго дна на расстоянии 1,5 м в нос и корму от винтов, расположенных по бортам судна.

Как правило открытые участки валопровода и дейдвудной трубы бортовых устройств должны быть защищены кожухом. Конструкция кронштейнов гребных валов (при их наличии), расчет прочности кронштейнов, а также их крепления к корпусу судна должны быть представлены для одобрения.

## **10.6 РУЛЕВОЕ УСТРОЙСТВО СУДНА**

Размеры конструкций рудерпоста, баллера руля, штырей руля, а также характеристики рулевого привода должны определяться в соответствии с применимыми требованиями Регистра. Величина максимальной эксплуатационной скорости, которая используется при выполнении расчетов, не должна приниматься ниже следующих значений:

**IASuper** – 20 узлов

**IA** – 18 узлов

**IB** – 16 узлов

**IC** – 14 узлов

Если фактическая максимальная расчетная скорость судна больше указанных значений, она должна приниматься в качестве расчетной.

Размеры конструктивных элементов пера руля должны определяться в предположении, что рулевое устройство полностью расположено в районе ледового пояса судна. Размеры листовых элементов и ребер жесткости пера руля должны определяться при величине ледовой нагрузки  $p$ , соответствующей листовым и балочным элементам в средней части судна.

На судах ледовой категории **IA** и **IASuper** рулевое устройство (баллер руля и верхняя часть пера руля) должны быть защищены от прямого контакта со льдом с помощью ледового зуба, который по своим габаритам должен выходить за границу нижней ледовой ватерлинии (в той мере, в какой это возможно для рассматриваемой конструкции) или с помощью иных эквивалентных по степени защиты мер. Предметом особого рассмотрения Регистром является конструкция пера руля и ледового зуба при использовании руля с закрылком.

Для судов с ледовым классом **IA** и **IASuper** должны учитываться значительные по величине нагрузки, возникающие при перекладке руля при движении кормой вперед в ледовых условиях. Должны быть предусмотрены специальные устройства для восприятия таких нагрузок, в частности, ограничители перекладки руля.

Должен быть установлен предохранительный клапан гидравлической системы поворотного механизма рулевой машины. Все компоненты поворотного механизма (т.е. баллер руля, соединение пера руля с баллером) должны иметь размеры, достаточные для восприятия нагрузки, при которой в баллере руля возникает напряжение, равное пределу текучести материала.

## 10.7 ГЛАВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

### 10.7.1 Область применения

Настоящие требования применимы к гребным винтам регулируемого и фиксированного шага, а также к винтам в направляющей насадке пропульсивных установок судов ледового класса IA Super, IA, IB и IC.

Нагрузки определяются исходя из полного срока службы судна при нормальных условиях эксплуатации, включая напряжения, возникающие при изменении направления вращения гребных винтов фиксированного шага. Однако определяемые нагрузки не учитывают эксплуатационные условия в штатном режиме, например, условия буксирования судна с заблокированным гребным винтом в ледовых условиях.

Требования также применимы к поворотным и неповоротным главным САУС, однако, расчетные модели не включают нагрузки от взаимодействия гребного винта со льдом для случая, когда лед взаимодействует с повернутым относительно диаметральной плоскости судна главным средством активного управления судном, а также случаи нагрузок, когда льдины взаимодействуют со ступицей тянущего гребного винта.

Отдельно должны быть определены нагрузки, возникающие при взаимодействии льда с корпусом средств активного управления судном.

### 10.7.2 Определения и обозначения

CP		регулируемый шаг
EAR		дисковое отношение
FP		фиксированный шаг
MCR		максимально допустимая непрерывная нагрузка
LIWL	м	нижняя ледовая ватерлиния (НЛВЛ)
D	м	диаметр гребного винта
R	м	радиус гребного винта
c	м	ширина спрямленного цилиндрического сечения лопасти
$c_{0.7}$	м	ширина спрямленного цилиндрического сечения лопасти на радиусе $r=0,7R$
d	м	внешний диаметр ступицы гребного вала (в плоскости вращения гребного винта)
$D_{limit}$	м	предельное значение диаметра гребного винта
$F_b$	кН	максимальная сила, действующая на лопасть в направлении, противоположном направлению движения судна, возникающая в течение срока службы судна
$F_{ex}$	кН	сила поломки (возникновения пластической деформации) лопасти
$F_f$	кН	максимальная сила, действующая на лопасть в направлении движения судна, возникающая в течение срока службы судна
$F_{ice}$	кН	нагрузка при взаимодействии винта со льдом
$(F_{ice})_{max}$	кН	максимальная сила, наблюдаемая при взаимодействии винта со льдом в течение срока службы судна
$h_0$	м	расстояние между НЛВЛ и осевой линией валопровода в районе гребного винта
$H_{ice}$	м	толщина наибольшей льдины взаимодействующей с гребным винтом, принятая в расчете
I	кгм <sup>2</sup>	эквивалентный момент инерции масс всех компонентов пропульсивной установки в сторону приводного двигателя от рассматриваемого компонента
$I_t$	кгм <sup>2</sup>	эквивалентный момент инерции масс всех компонентов пропульсивной установки
k		коэффициент формы для распределения Вейбулла

$m$		наклон кривой усталости по двойной логарифмической шкале
$M_{BL}$	кН/м	момент изгиба лопасти
$n$	об/с	частота вращения гребного винта
$n_n$	об/с	номинальная частота вращения гребного винта при MCR в условиях чистой воды
$N_{class}$		эталонное количество взаимодействий лопасти гребного винта со льдом в соответствии с частотой вращения гребного винта с учетом ледового класса
$N_{ice}$		общее количество циклов взаимодействия лопасти гребного винта со льдом в течение срока службы судна
$N_R$		число циклов нагружения при определении условного предела выносливости ( $10^8$ циклов)
$N_Q$		количество оборотов гребного винта при фрезеровании льда
$P_{0.7}$	м	шаг гребного винта на радиусе $r=0,7R$
$P_{0.7n}$	м	шаг гребного винта на радиусе $r=0,7R$ при MCR в условиях чистой воды
$P_{0.7b}$	м	шаг гребного винта на радиусе $r=0,7R$ при MCR на швартовном режиме
$Q$	кНм	крутящий момент
$Q_{e\max}$	кНм	максимальный крутящий момент двигателя
$Q_{\max}$	кНм	максимальный крутящий момент на гребном винте при взаимодействии гребного винта со льдом
$Q_{motor}$	кНм	максимальный крутящий момент электродвигателя
$Q_n$	кНм	номинальный крутящий момент при MCR в условиях чистой воды
$Q_r$	кНм	максимальный момент сопротивления валопровода
$Q_{smax}$	кНм	максимальный скручивающий лопасть момент относительно оси ее поворота, возникающий в течение срока службы судна
$r$	м	относительный радиус гребного винта
$T$	кН	упор гребного винта
$T_b$	кН	максимальный упор гребного винта в направлении, противоположном направлению движения судна, возникающий в течение срока службы судна
$T_f$	кН	максимальный упор гребного винта в направлении движения судна, возникающий в течение срока службы судна
$T_n$	кН	упор гребного винта при MCR в условиях чистой воды
$T_r$	кН	максимальная реакция упора вдоль линии вала гребного винта
$t$	м	максимальная толщина сечения лопасти
$Z$		количество лопастей гребного винта
$a_i$	[град]	продолжительность взаимодействия лопасти гребного винта и льда, выраженная через угол поворота гребного винта
$\gamma_e$		коэффициент, учитывающий снижение предела выносливости за счет масштабного фактора
$\gamma_v$		коэффициент, учитывающий снижение предела выносливости за счет неравномерности амплитуды нагрузки
$\gamma_m$		коэффициент, учитывающий снижение предела выносливости за счет несоответствия величины среднего напряжения
$\rho$		коэффициент, учитывающий снижение предела выносливости за счет отличий между значениями наибольшей амплитуды нагрузки при

		эксплуатации и при определении напряжения усталости для $10^8$ циклов напряжений
$\sigma_{0,2}$	МПа	условный предел текучести (при остаточной деформации 0,2%) материала лопасти
$\sigma_{exp}$	МПа	средний предел выносливости материала лопасти при $10^8$ циклах напряжения до разрушения в морской воде
$\sigma_{fat}$	МПа	эквивалентное напряжение (предел выносливости при взаимодействии со льдом для $10^8$ циклов)
$\sigma_{fl}$	МПа	предел выносливости материала лопасти
$\sigma_u$	МПа	предел прочности на растяжение материала лопасти
$\sigma_{ref}$	МПа	$\sigma_{ref} = 0,6 \cdot \sigma_{0,2} + 0,4 \cdot \sigma_u$
$\sigma_{ref2}$	МПа	$\sigma_{ref2} = 0,7 \cdot \sigma_u$ или $\sigma_{ref2} = 0,6 \cdot \sigma_{0,2} + 0,4 \cdot \sigma_u$ , в зависимости от того, что меньше
$\sigma_{st}$	МПа	максимальное напряжение в результате воздействия $F_b$ или $F_f$
$(\sigma_{ice})_{bmax}$	МПа	напряжение, возникающее от максимальной нагрузки при взаимодействии винта со льдом в направлении, противоположном направлению движения судна
$(\sigma_{ice})_{fmax}$	МПа	напряжение, возникающее от максимальной нагрузки при взаимодействии винта со льдом в направлении движения судна
$(\sigma_{ice})_{max}$	МПа	средняя амплитуда напряжений при взаимодействии винта со льдом

Таблица 10.7.2

Обозначение нагрузок

	Определение	Использование нагрузки в процессе проектирования
$F_b$	Максимальная, возникающая в течение срока службы судна сила, действующая на лопасть в направлении, противоположном направлению движения судна, в результате взаимодействия гребного винта и льда и включающая гидродинамические нагрузки. Направление силы перпендикулярно линии хорды на радиусе $r=0,7R$ (рисунок 10.7.2)	Сила при расчете прочности лопасти гребного винта
$F_f$	Максимальная, возникающая в течение срока службы судна сила, действующая на лопасть в направлении движения судна, в результате взаимодействия гребного винта и льда и включающая гидродинамические нагрузки. Направление силы перпендикулярно линии хорды на радиусе $r=0,7R$ .	Сила при расчете прочности лопасти гребного винта
$Q_{smax}$	Максимальный скручивающий лопасть момент относительно оси ее поворота (относительно крепления), возникающий в	Момент учитывается при расчетах прочности лопасти гребного винта, посредством нагрузки, действующей на

	течение срока службы судна, в результате взаимодействия гребного винта и льда и включающий гидродинамические нагрузки.	лопасть в качестве давления, распределенного по переднему краю или площади конца лопасти
$T_b$	Максимальный упор на гребной винт (суммарный упор, действующий через все лопасти гребного винта) в течение срока службы судна в результате взаимодействия гребного винта и льда.  Упор действует вдоль оси гребного вала в сторону противоположную гидродинамическому упору.	Используется для оценки упора $T_r$ .  Может также использоваться при необходимости в расчетах осевых колебаний.
$T_r$	Максимальный упор на гребной винт (суммарный упор, действующий через все лопасти гребного винта) в течение срока службы судна в результате взаимодействия гребного винта и льда.  Упор действует вдоль оси гребного вала в сторону действия гидродинамического упора.	Используется для оценки упора $T_r$ .  Может также использоваться при необходимости в расчетах осевых колебаний.
$Q_{max}$	Максимальный крутящий момент на гребном винте при взаимодействии гребного винта со льдом и включающий гидродинамические нагрузки.	Используется для оценки момента $Q_r$ , а также при расчете крутильных колебаний.
$F_{ex}$	Сила поломки лопасти (возникновении пластической деформации).  Сила должна быть приложена на радиусе $r=0,8R$ и на $2/3$ расстояния от оси вращения лопасти до входящей или выходящей кромки лопасти в зависимости от того, что больше.	Применяется при нормировании размеров деталей крепления лопасти, компонентов механизма изменения шага, подшипников валопровода с целью подтверждения того, что указанные компоненты выдержат без повреждения нагрузку при поломке лопасти.
$Q_r$	Максимальный момент сопротивления валопровода, возникающий при воздействии ледовых нагрузок (крутильных колебаний) и усредненных гидродинамических нагрузок.	Применяется при нормировании размеров элементов валопровода.
$T_r$	Максимальный упор, действующий вдоль оси валопровода и учитывающий воздействие ледовых нагрузок (осевых колебаний) и величину среднего гидродинамического упора.	Применяется при нормировании размеров элементов валопровода.

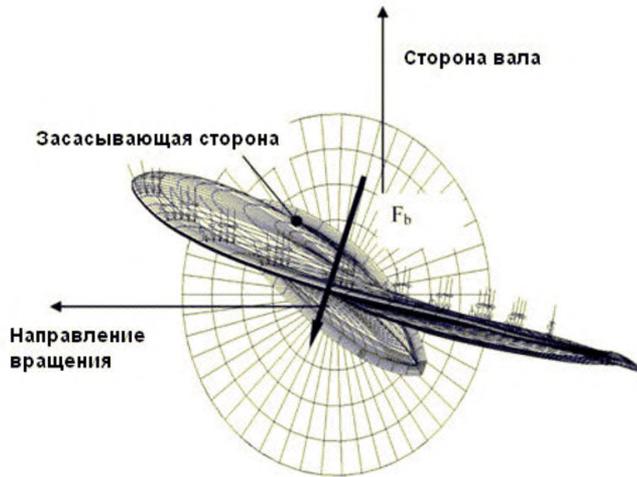


Рис.10.7.2. Направление силы  $F_b$ . Контактное давление льда по входящей кромке показано малыми стрелками.

### 10.7.3 Расчетные ледовые условия

При расчете ледовых нагрузок на гребной винт учтены особенности эксплуатации, представленные в табл. 10.7.3-1, при этом наибольшая льдина, взаимодействующая с гребным винтом, имеет прямоугольную форму и размеры  $H_{ice} \cdot 2H_{ice} \cdot 3H_{ice}$ . Величина  $H_{ice}$  представлена в табл. 10.7.3-2.

Таблица 10.7.3-1

#### Особенности эксплуатации

Ледовый класс	Условия эксплуатации	
<b>IA Super</b>	Эксплуатация в канале за ледоколом и в ровном льду, преодолеваемом при работе набегами	
<b>IA, IB, IC</b>	Эксплуатация в канале за ледоколом	

Таблица 10.7.3-2

#### Толщина наибольшей льдины, взаимодействующей с гребным винтом

Ледовый класс	<b>IA Super</b>	<b>IA</b>	<b>IB</b>	<b>IC</b>
$H_{ice}$	1,75 м	1,5 м	1,2 м	1,0 м

## 10.7.4 Материалы

### 10.7.4.1 Материалы, подверженные воздействию морской воды.

Материалы деталей, подверженных воздействию морской воды, такие как лопасти и ступицы гребного винта, корпус САУС, должны иметь относительное удлинение не менее 15% при испытаниях образца, длина которого в пять раз больше его диаметра.

Средняя работа удара по трем образцам,  $V$ , определяемая по Шарпи при температуре  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  должна быть определена для всех материалов, за исключением бронзы и аустенитной стали и должна составлять не менее 20 Дж.

### 10.7.4.2 Материалы, подверженные воздействию температуры морской воды.

Детали, подверженные воздействию температуры морской воды, должны быть изготовлены из стали, либо иных пластичных материалов. Средняя работа удара по трем образцам, определяемая при температуре  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , должна составлять не менее 20 Дж.

Указанное требование относится среди прочих деталей к болтам крепления лопасти, соединительным болтам валов и САУС, деталям механизма поворота лопастей, но не применяется к деталям, имеющим поверхностное упрочнение, таким как подшипники и зубья шестерен и колес зубчатых передач.

## 10.7.5 Расчетные нагрузки

Определяемые в разделе нагрузки учитывают ледовые и гидродинамические нагрузки и предназначены только для расчета прочности компонентов.

Единицы измерения параметров в формулах должны соответствовать указанным в 10.7.2.

Если лопасти гребного винта судов ледовых классов **IB** и **IC** не полностью погружены в воду при нахождении судна в балласте, то пропульсивная установка этих судов должна быть спроектирована в соответствии с требованиями к ледовому классу **IA**.

### 10.7.5.1 Расчетные нагрузки на лопасти гребного винта

$F_b$  – это максимальная за срок службы судна сила, возникающая при фрезеровании льдины винтом, вращающимся в направлении переднего хода и изгибающая лопасть в направлении, противоположном направлению движения судна.

$F_r$  – это максимальная за срок службы судна сила, возникающая при фрезеровании льдины винтом, вращающимся в направлении переднего хода и изгибающая лопасть в направлении движения судна.

$F_b$  и  $F_r$  имеют различное происхождение в результате взаимодействия гребного винта и льда, и не наблюдаются одновременно. По этой причине они применяются по отношению к лопасти по отдельности.

#### 10.7.5.1.1 Сила $F_b$ для гребных винтов без направляющей насадки

$$F_b = 27 \cdot [n \cdot D]^{0.7} \cdot \left[ \frac{EAR}{Z} \right]^{0.3} \cdot D^2 \text{ [kN]}, \text{ при } D \leq D_{\text{limit}} \quad (10.7.5.1.1-1)$$

$$F_b = 23 \cdot [n \cdot D]^{0.7} \cdot \left[ \frac{EAR}{Z} \right]^{0.3} \cdot D \cdot H_{\text{ice}}^{1.4} \text{ [kN]}, \text{ при } D > D_{\text{limit}}, \quad (10.7.5.1.1-2)$$

где

$$D_{\text{limit}} = 0.85 \cdot H_{\text{ice}}^{1.4} \text{ [m]}$$

$n = n_n$  для ВРШ;

$n = 0.85 n_n$  для гребного винта с фиксированным шагом.

### 10.7.5.1.2 Сила $F_f$ для гребных винтов без направляющей насадки

$$F_f = 250 \cdot \left[ \frac{E \cdot A R}{Z} \right] D^2 \text{ [кН]}, \text{ при } D \leq D_{\text{limit}} \quad (10.7.5.1.2-1)$$

$$F_f = 500 \cdot \left[ \frac{E \cdot A R}{Z} \right] \cdot D \cdot \frac{1}{\left( 1 - \frac{d}{D} \right)} \cdot H_{\text{ice}} \text{ [кН]}, \text{ при } D > D_{\text{limit}} \quad (10.7.5.1.2-2)$$

где

$$D_{\text{limit}} = \frac{2}{\left( 1 - \frac{d}{D} \right)} \cdot H_{\text{ice}} \text{ [м]}.$$

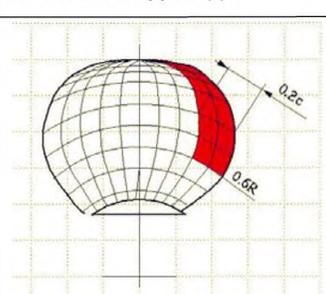
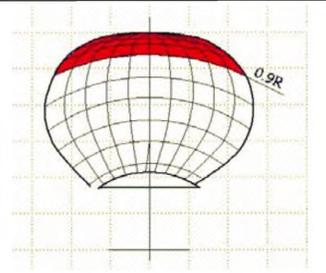
### 10.7.5.1.3 Нагрузка на лопасть гребных винтов без направляющей насадки

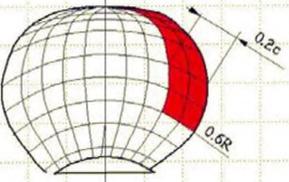
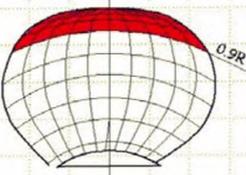
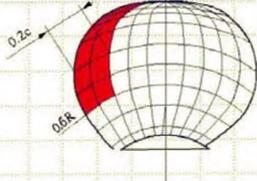
Для гребных винтов регулируемого и фиксированного шага необходимо рассмотреть случаи нагрузки 1 - 4, указанные в табл. 10.7.5.1.3.

Для реверсируемых винтов фиксированного шага также необходимо рассмотреть случай нагрузки 5.

Таблица 10.7.5.1.3

Случаи нагрузок на лопасть гребного винта

Случай нагрузки	Сила	Площадь нагрузки	Винт с правым вращением лопасти. Вид сзади
Случай нагрузки 1	$F_b$	Равномерное давление на засасывающую часть лопасти на участке от $0,6R$ до конца лопасти и от входящей кромки лопасти до величины, равной $0,2$ длины хорды.	
Случай нагрузки 2	50% от $F_b$	Равномерное давление на периферийную часть лопасти выше $0,9R$ со стороны засасывающей поверхности	

Случай нагрузки 3	$F_f$	Равномерное давление на нагнетающую поверхность лопасти на участке от $0,6R$ до конца лопасти и от передней кромки лопасти до величины, равной $0,2$ длины хорды	
Случай нагрузки 4	50% от $F_f$	Равномерное давление на периферийную часть лопасти выше $0,9R$ со стороны нагнетающей поверхности	
Случай нагрузки 5	60% от $F_b$ или $F_b$ , в зависимости от того, что больше	Равномерное давление на нагнетающую поверхность лопасти на участке от $0,6R$ до конца лопасти и от задней кромки лопасти до величины, равной $0,2$ длины хорды	

#### 10.7.5.1.4 Сила $F_b$ для гребных винтов в направляющей насадке

$$F_b = 9.5 \cdot [n \cdot D]^{0.7} \cdot \left[ \frac{EAR}{Z} \right]^{0.3} \cdot D^2 \text{ [kN]}, \text{ при } D \leq D_{\text{limit}} \quad (10.7.5.1.4-1)$$

$$F_b = 66 \cdot [n \cdot D]^{0.7} \cdot \left[ \frac{EAR}{Z} \right]^{0.3} \cdot D^{0.6} \cdot H_{\text{ice}}^{1.4} \text{ [kN]}, \text{ при } D > D_{\text{limit}} \quad (10.7.5.1.4-2)$$

где

$$D_{\text{limit}} = 4 \cdot H_{\text{ice}} \text{ [m]}$$

$n = n_n$  для ВРШ;

$n = 0.85 n_n$  для гребного винта с фиксированным шагом.

#### 10.7.5.1.5 Сила $F_f$ для гребных винтов в направляющей насадке

$$F_f = 250 \cdot \left[ \frac{EAR}{Z} \right] \cdot D^2 \text{ [kN]}, \text{ при } D \leq D_{\text{limit}} \quad (10.7.5.1.5-1)$$

$$F_f = 500 \cdot \left[ \frac{EAR}{Z} \right] \cdot D \cdot \frac{1}{\left( 1 - \frac{d}{D} \right)} \cdot H_{ice} \text{ [kN]}, \text{ при } D > D_{limit}$$

(10.7.5.1.5-2)

где

$$D_{limit} = \frac{2}{\left( 1 - \frac{d}{D} \right)} \cdot H_{ice} \text{ [m]}.$$

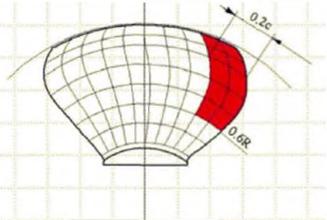
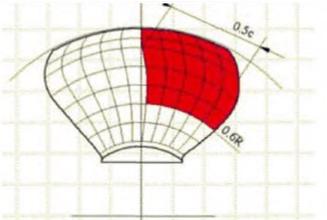
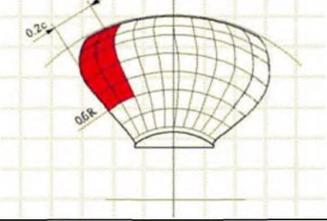
### 10.7.5.1.6 Нагрузка на лопасть для винтов в направляющей насадке

Для гребных винтов регулируемого и фиксированного шага необходимо рассмотреть случаи нагрузки 1 и 3, указанные в таблице 10.7.5.1.6.

Для реверсируемых винтов фиксированного шага также необходимо рассмотреть случай нагрузки 5.

Таблица 10.7.5.1.6.

Случаи нагрузки для винтов в направляющей насадке

Случай нагрузки	Сила	Площадь нагрузки	Винт с правым вращением лопасти. Вид сзади
Случай нагрузки 1	$F_b$	Равномерное давление на засасывающую часть лопасти на участке от $0,6R$ до конца лопасти и от входящей кромки лопасти до величины, равной $0,2$ длины хорды.	
Случай нагрузки 3	$F_f$	Равномерное давление на нагнетающую поверхность лопасти на участке от $0,6R$ до конца лопасти и от передней кромки лопасти до величины, равной $0,2$ длины хорды	
Случай нагрузки 5	60% от $F_f$ или $F_b$ , в зависимости от того, что больше	Равномерное давление на нагнетающую поверхность лопасти на участке от $0,6R$ до конца лопасти и от задней кромки лопасти до величины, равной $0,2$ длины хорды	

### 10.7.5.1.7. Момент $Q_{smax}$

Скручивающий лопасть момент  $Q_{smax}$  необходимо определять для сил  $F_b$  и  $F_{f_i}$ , которые прикладываются в соответствии со случаями нагрузок, указанных в таблицах 10.7.5.1.3 и 10.7.5.1.6.

Если при этом величина  $Q_{smax}$  получается меньше, чем определенная по формуле (10.7.5.1.7), необходимо использовать в качестве  $Q_{smax}$ :

$$Q_{smax} = 0.25 \cdot F \cdot c_{0,7} \text{ [kNm]} \quad (10.7.5.1.7)$$

где  $F$  – это  $F_b$  или  $F_{f_i}$ , в зависимости от того, какое абсолютное значение больше.

### 10.7.5.1.8. Распределение нагрузки на лопасть

Распределение Вейбулла (вероятность того, что  $F_{ice}$  больше значения  $(F_{ice})_{max}$ ), используется для расчета усталостной прочности лопасти.

$$P\left(\frac{F_{ice}}{(F_{ice})_{max}} \geq \frac{F}{(F_{ice})_{max}}\right) = e^{-\left(\frac{F}{(F_{ice})_{max}}\right)^k \ln(N_{ice})} \quad (10.7.5.1.8)$$

где

$k=0,75$  при распределении ледовой нагрузки на лопасть гребного винта без направляющей насадки

$k=1,0$  при распределении ледовой нагрузки на лопасть гребного винта в направляющей насадке

$F_{ice}$  – случайная нагрузка при взаимодействии винта со льдом такая, что  $0 < F_{ice} < (F_{ice})_{max}$ .

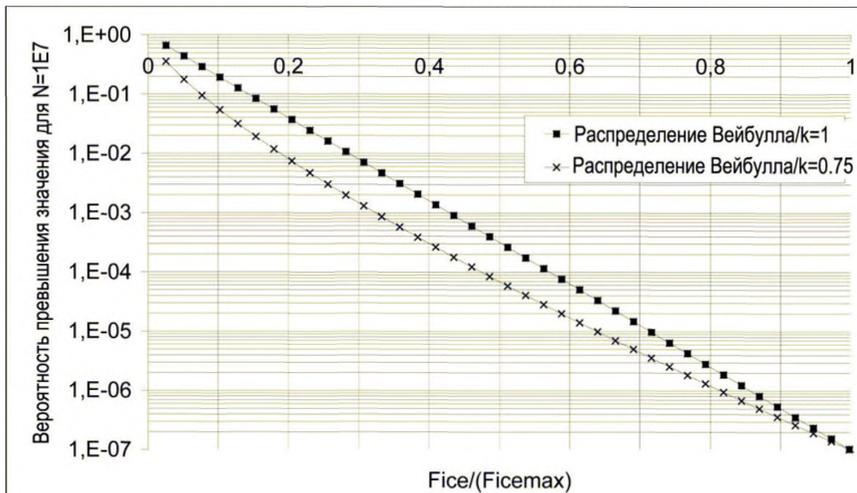


Рис. 10.7.5.1.8. Распределение Вейбулла

### 10.7.5.1.9 Общее количество циклов взаимодействия лопасти гребного винта со льдом в течение срока службы судна

Количество циклов нагрузки на лопасть винта в спектре определяется по следующей формуле:

$$N_{ice} = k_1 k_2 k_3 k_4 N_{class} n, \quad (6.11)$$

где

Ледовый класс	<b>IA Super</b>	<b>IA</b>	<b>IB</b>	<b>IC</b>
Кол-во взаимодействий за срок службы судна, n	9·10 <sup>6</sup>	6·10 <sup>6</sup>	3,4·10 <sup>6</sup>	2,1·10 <sup>6</sup>

Расположение гребного винта	Среднее	Боковое
Фактор расположения винта $k_1$	1	1,35

Наличие насадки гребного винта	Отсутствует	Присутствует
Коэффициент типа гребного винта $k_2$	1	1,1

Тип	Фиксированный	Поворотный
Коэффициент типа движителя $k_3$	1	1,2

Коэффициент погружения в воду  $k_4$  определяется по следующему равенству:

$$\begin{array}{lll}
 k_4 = 0.8 - f & \text{если} & f < 0 \\
 = 0.8 - 0.4f & \text{если} & 0 \leq f \leq 1 \\
 = 0.6 - 0.2f & \text{если} & 1 < f \leq 2.5 \\
 = 0.1 & \text{если} & f > 2.5
 \end{array}$$

где функция погружения  $f$  равна

$$f = \frac{h_s - H_{ice}}{D/2} - 1$$

Для элементов пропульсивной установки, которые подвергаются нагрузке в результате взаимодействия винта со льдом, от всех лопастей винта, количество циклов нагрузки  $N_{ice}$  необходимо умножить на количество лопастей винта  $Z$ .

### 10.7.5.2 Осевые нагрузки для винтов в направляющей насадке и без нее

#### 10.7.5.2.1 Максимальный упор $T_r$ и $T_b$

$$T_r = 1.1 \cdot F_f \text{ [kN]}$$

$$T_b = 1.1 \cdot F_b \text{ [kN]}.$$

#### 10.7.5.2.2 Максимальный упор, действующий вдоль оси валопровода

Упор  $T_r$  определяется по формулам, представленным ниже, при этом в качестве расчетной нагрузки необходимо принять наибольшее из полученных значений. Коэффициенты 2,2 и 1,5 учитывают увеличение упора в результате осевой вибрации.

$$T_r' = T_r + 2.2 \cdot T_f \text{ [kN]}$$

$$T_r = 1.5 \cdot T_b \text{ [kN]}$$

Если гидродинамический упор на швартовном режиме  $T$  неизвестен, он определяется следующим образом:

Тип движителя	$T$
ВРШ без направляющей насадки	$1,25 T_n$
ВРШ с направляющей насадкой	$1,1 T_n$
Винты с фиксированным шагом и приводом от турбины или электродвигателя	$T_n$
Винты с фиксированным шагом и приводом от дизельного двигателя без направляющей насадки	$0,85 T_n$
Винты с фиксированным шагом и приводом от дизельного двигателя с направляющей насадкой	$0,75 T_n$

Здесь  $T_n$  – номинальный упор при MCR в условиях чистой воды

### 10.7.5.3 Расчет нагрузок от крутящего момента

#### 10.7.5.3.1 Момент $Q_{max}$ для винтов без направляющей насадки

$$Q_{max} = 10.9 \left[ 1 - \frac{d}{D} \right] \left[ \frac{P_{0.7}}{D} \right]^{0.16} \cdot (nD)^{0.17} \cdot D^3 \text{ [kNm]}, \quad \text{при } D \leq D_{limit}$$

$$Q_{max} = 20.7 \left[ 1 - \frac{d}{D} \right] \left[ \frac{P_{0.7}}{D} \right]^{0.16} \cdot (nD)^{0.17} \cdot D^{1.9} \cdot H_{ice}^{1.1} \text{ [kNm]}, \quad \text{при } D > D_{limit}$$

где

$$D_{limit} = 1.8 \cdot H_{ice} \text{ [m]}.$$

$n$  – частота вращения гребного винта на швартовном режиме. Если значение  $n$  неизвестно, оно определяется следующим образом:

Тип движителя	$n$
ВРШ	$n_n$
Винты с фиксированным шагом и приводом от турбины или электродвигателя	$n_n$
Винты с фиксированным шагом и приводом от дизельного двигателя	$0,85 n_n$

Для ВРШ шаг гребного винта  $P_{0.7}$  должен соответствовать MCR на швартовном режиме. Если значение  $P_{0.7}$  неизвестно, его можно определить, как  $0,7 \cdot P_{0.7n}$ , где  $P_{0.7n}$  – шаг винта при MCR в условиях чистой воды.

#### 10.7.5.3.2 Момент $Q_{max}$ для винтов с направляющей насадкой

$$Q_{max} = 7.7 \left[ 1 - \frac{d}{D} \right] \left[ \frac{P_{0.7}}{D} \right]^{0.16} \cdot (nD)^{0.17} \cdot D^3 \text{ [kNm]} \quad \text{при } D \leq D_{limit}$$

$$Q_{max} = 14.6 \cdot \left[1 - \frac{d}{D}\right] \cdot \left[\frac{P_{0,7}}{D}\right]^{-0.16} \cdot (nD)^{0.17} \cdot D^{1.9} \cdot H_{ice}^{1.1} \text{ [kNm]} \quad \text{при} \quad D > D_{lim},$$

где

$$D_{lim} = 1.8 \cdot H_{ice} \text{ [m]}$$

$n$  – частота вращения гребного винта на швартовном режиме. Если значение  $n$  неизвестно, оно определяется следующим образом:

Тип движителя	$n$
ВРШ	$n_n$
Винты с фиксированным шагом и приводом от турбины или электродвигателя	$n_n$
Винты с фиксированным шагом и приводом от дизельного двигателя	$0,85 n_n$

Для ВРШ шаг гребного винта  $P_{0,7}$  должен соответствовать MCR на швартовном режиме. Если значение  $P_{0,7}$  неизвестно, его можно определить, как  $0,7 \cdot P_{0,7n}$ , где  $P_{0,7n}$  – шаг винта при MCR в условиях чистой воды.

### 10.7.5.3.3 Крутящий момент

Процесс изменения ледового крутящего момента на гребном винте для динамического анализа линии валопровода должен быть описан последовательностью импульсов, принимающих форму половины синуса и воспринимаемых лопастью (см. рис. 10.7.5.3.3). Крутящий момент, возникающий вследствие взаимодействия единичной лопасти со льдом, является функцией угла вращения винта и равен

$$Q(\varphi) = C_q \cdot Q_{max} \cdot \sin(\varphi(180/\alpha)), \quad \text{при} \quad \varphi = 0 \dots \alpha,$$

$$Q(\varphi) = 0, \quad \text{при} \quad \varphi = \alpha \dots 360$$

Параметры  $C_q$  и  $\alpha$  приведены в табл. 10.7.5.3.3

Таблица 10.7.5.3.3

Процесс изменения крутящего момента	Взаимодействие винта со льдом	$C_q$	$\alpha$
Случай 1	Одиночная льдина	0,75	90
Случай 2	Одиночная льдина	1,0	135
Случай 3	Две льдины со сдвигом по фазе угла вращения $360/2Z$ , град.	0,5	45

Общий ледовый крутящий момент получается суммированием крутящего момента каждой отдельной лопасти с учетом сдвига фаз  $360^\circ/Z$ . Дополнительно в начале и в конце процесса фрезерования необходимо учесть импульс длительностью  $270^\circ$ , возрастающий линейно.

Число оборотов винта в период фрезерования можно получить по формуле:

$$N_Q = 2 \cdot H_{ice}$$

Число взаимодействий равняется  $Z \cdot N_Q$ .

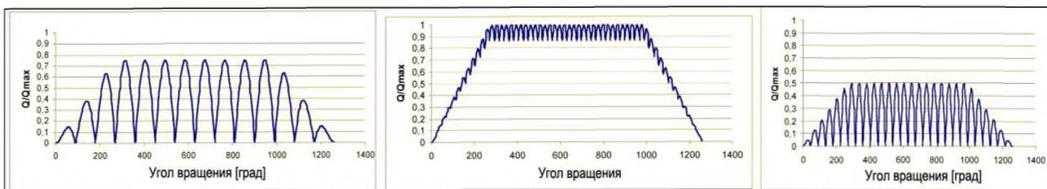


Рис. 10.7.5.3.3 Процесс изменения ледового момента сопротивления вращению четырехлопастного гребного винта для последовательности 90 и 135° одиночного взаимодействия и 45° двойного взаимодействия винта со льдом

#### 10.7.5.3.4 Момент сопротивления валопровода

В случае если в пределах  $\pm 20\%$  от зоны рабочих скоростей вращения отсутствует резонанс крутильных колебаний первого порядка относительно числа лопастей гребного винта для определения  $Q_r$  можно использовать следующую формулу:

$$Q_r = Q_{e\max} + Q_{\max} \cdot \frac{I}{I_t} \text{ [kNm]}$$

Все крутящие моменты и моменты инерции необходимо уменьшить с учетом частоты вращения анализируемого компонента.

Если максимальный крутящий момент  $Q_{e\max}$  неизвестен, он определяется следующим образом:

Тип движителя	$Q_{e\max}$
Винты с приводом от электродвигателя	$Q_{motor}$
ВРШ без привода от электродвигателя	$Q_n$
Винты с фиксированным шагом с приводом от турбины	$Q_n$
Винты с фиксированным шагом с приводом от дизельного двигателя	$0,75 Q_n$

В случае если в пределах  $\pm 20\%$  от зоны рабочих скоростей вращения присутствует резонанс крутильных колебаний первого порядка относительно числа лопастей гребного винта  $Q_r$  необходимо определять на основе расчета крутильных колебаний.

#### 10.7.5.4 Сила поломки лопасти

$$F_{\sigma} = \frac{300 \cdot c \cdot t^2 \cdot \sigma_{\text{нф}}}{0,8 \cdot D - 2 \cdot r} \text{ [kN]}$$

где

параметры  $c$ ,  $t$ ,  $r$  определяются для наислабейшего участка лопасти за пределами галтельного перехода.

### 10.7.6 ПРОЕКТИРОВАНИЕ

#### 10.7.6.1 Принцип проектирования

Конструкция пропульсивной установки должна соответствовать принципу «пирамидальной прочности», который предполагает, что повреждение лопасти гребного винта не должно привести к какому-либо значительному повреждению других элементов пропульсивной установки.

#### 10.7.6.2 Лопасть гребного винта

##### 10.7.6.2.1 Расчет напряжений на лопасть.

Напряжения в лопасти должны рассчитываться для нагрузок, указанных в 10.7.5.1.

Анализ с использованием Метода конечных элементов следует использовать при окончательном одобрении всех гребных винтов. Формулы, представленные ниже, можно использовать при оценке напряжений на лопасти для всех винтов в зоне корневой части лопасти ( $r/R < 0,5$ ). Размеры корневой части лопасти, основанные на расчете по формуле (10.7.6.2.1), можно принять даже если анализ с использованием Метода конечных элементов даст большее значение напряжения в коревой части.

$$\sigma_r = C_1 \frac{M_{BL}}{100 \cdot c f^2} \text{ [МПа]} \quad (10.7.6.2.1)$$

где коэффициент  $C_1$  является отношением величины фактического напряжения к напряжению, определенному с использованием уравнения прогибов (уравнения упругой линии балки) и при отсутствии данных может быть принято равным 1.6.

$$M_{BL} = (0,75-r/R) \cdot R \cdot F, \text{ где}$$

$F$  – это наибольшее значение из  $F_b$  и  $F_f$ .

### 10.7.6.2.2 Критерий приемлемости

Расчетные напряжения в лопасти должны удовлетворять следующему условию:

$$\frac{\sigma_{ref,2}}{\sigma_r} \geq 1.5$$

Если при оценке напряжений используется анализ с использованием Метода конечных элементов, необходимо использовать напряжения по Мизесу.

### 10.7.6.2.3 Расчет усталостной прочности лопасти гребного винта.

Расчет усталостной прочности лопасти гребного винта основан на оценке предполагаемой нагрузки в течение срока службы судна и кривой усталости материала лопасти. Для этого необходимо определить эквивалентное напряжение, которое при  $10^8$  циклах приводит к тому же усталостному повреждению, что и предполагаемая нагрузка, а также критерий приемлемости усталостной прочности.

В случае удовлетворения критерия, указанного ниже, выполнять расчеты усталостной прочности в соответствии с требованиями данной главы не требуется.

$$\sigma_{exp} \geq B_1 \cdot \sigma_{ref,2}^{B_2} \cdot \log(N_{ice})^{B_3}$$

где  $B_1$ ,  $B_2$  и  $B_3$  – коэффициенты, определяемые в соответствии с табл. 10.7.6.2.3-1.

Таблица 10.7.6.2.3-1

	Винт без направляющей насадки	Винт в направляющей насадке
$B_1$	0,00270	0,00184
$B_2$	1,007	1,007
$B_3$	2,101	2,470

Для расчета эквивалентного напряжения доступны кривые усталости двух типов.

1. Кривая усталости с двумя уклонами (уклоны 4.5 и 10), см. рис. 10.7.6.2.3-1.
2. Кривая усталости с одним уклоном (уклон может быть выбран), см. рис. 10.7.6.2.3-2.

Тип кривой усталости необходимо выбрать, чтобы она соответствовала свойствам материала лопасти. Если кривая усталости неизвестна, необходимо использовать кривую усталости с двумя уклонами.

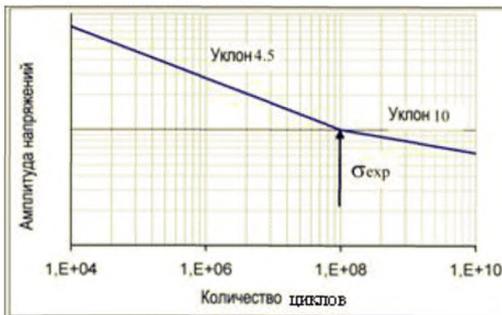


Рис.10.7.6.2.3-1. Кривая усталости с двумя уклонами

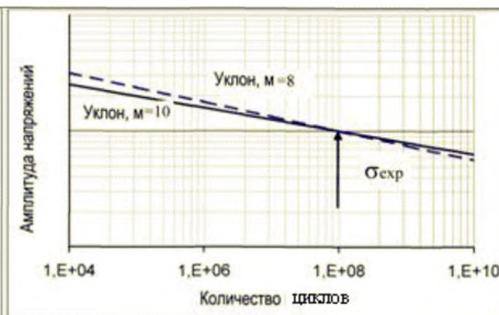


Рис.10.7.6.2.3-2. Кривая усталости с постоянным уклоном

**Эквивалентное напряжение**

Эквивалентное напряжение для  $10^8$  циклов, приводящее к тому же усталостному повреждению, что и предполагаемая нагрузка, действующая в течение срока службы судна:

$$\sigma_{fat} = \rho \cdot (\sigma_{ice})_{max}$$

где

$$(\sigma_{ice})_{max} = 0.5 \cdot ((\sigma_{ice})_{fmax} - (\sigma_{ice})_{bmax})$$

При расчете  $(\sigma_{ice})_{max}$ , для определения  $(\sigma_{ice})_{fmax}$  и  $(\sigma_{ice})_{bmax}$  рассматривается комбинация случаев нагрузки 1 и 3 (или 2 и 4), указанных в 10.7.5.1. Случай нагрузки 5 исключается из анализа усталостной прочности.

**Расчет параметра  $\rho$  для кривой усталости с двумя уклонами**

Параметр  $\rho$  соотносит максимальную нагрузку от воздействия льда с распределением ледовых нагрузок по формуле:

$$\rho = C_1 \cdot (\sigma_{ice})_{max}^{C_2} \cdot \sigma_{fl}^{C_3} \cdot \log(N_{ice})^{C_4}$$

где

$$\sigma_{fl} = \gamma_\epsilon \cdot \gamma_v \cdot \gamma_m \cdot \sigma_{exp}$$

В случае отсутствия фактических значений можно принимать  $y_\epsilon = 0,67$ ,  $y_v = 0,75$  и  $y_m = 0,75$ .

Коэффициенты  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$  и  $C_4$  представлены в табл. 10.7.6.2.3-2.

Таблица 10.7.6.2.3-2

	Винт без направляющей насадки	Винт в направляющей насадке
$C_1$	0,000711	0,000509
$C_2$	0,0645	0,0533
$C_3$	- 0,0565	- 0,0459
$C_4$	2,22	2,584

**Расчет параметра  $\rho$  для кривой усталости с постоянным уклоном**

Для материалов, свойства которых соответствуют кривой усталости с постоянным уклоном параметр  $\rho$  определяется по формуле:

$$\rho = \left( G \frac{N_{ice}}{N_R} \right)^{1/m} (\ln(N_{ice}))^{-k}$$

где

$k = 1,0$  для винтов в направляющей насадке,  $k = 0,75$  для винтов без направляющей насадки; значения для параметра  $G$  указаны в табл. 10.7.6.2.3-2, при этом при расчете значений параметра для отношений  $m/k$  не указанных в таблице допускается использовать линейную интерполяцию.

Таблица 10.7.6.2.3-3

Значение параметра  $G$  для различных соотношений  $m/k$

$m/k$	$G$	$m/k$	$G$	$m/k$	$G$
3	6	5,5	287,9	8	40320
3,5	11,6	6	720	8,5	119292
4	24	6,5	1871	9	362880
4,5	52,3	7	5040	9,5	$1.133 \cdot 10^6$
5	120	7,5	14034	10	$3.623 \cdot 10^6$

#### 10.7.6.2.4 Критерий приемлемости при расчете усталостной прочности

Эквивалентное напряжение во всех точках на лопасти должно удовлетворять следующему критерию:

$$\frac{\sigma_{fl}}{\sigma_{flr}} \geq 1,5$$

где

$$\sigma_{fl} = \gamma_e \cdot \gamma_v \cdot \gamma_m \cdot \sigma_{exp}$$

В случае отсутствия фактических значений можно принимать  $\gamma_e = 0,67$ ,  $\gamma_v = 0,75$  и  $\gamma_m = 0,75$ .

#### 10.7.6.3 Ступица гребного винта и механизм изменения шага

Болты крепления лопастей, механизм изменения шага, ступица гребного винта и монтаж соединения гребного винта и гребного вала должны быть рассчитаны таким образом, чтобы они были способны выдержать максимальную и усталостную нагрузку согласно 10.7.5.

Коэффициент запаса прочности по пределу текучести материала должен быть больше 1,3, а по усталостной прочности больше 1,5. Помимо этого, коэффициент запаса прочности по наличию пластической деформации компонентов при поломке лопасти, указанной в 10.7.5.4, должен быть больше 1,0.

#### 10.7.6.4 Валопровод

Валы и компоненты валопровода, такие как упорные и опорные подшипники, муфты, узлы фланцев и уплотнений должны быть спроектированы так, чтобы выдержать нагрузки от взаимодействия гребного винта со льдом, указанные в 10.7.5. Коэффициент запаса прочности должен быть не менее 1,3.

#### **10.7.6.4.1 Валы и компоненты валопровода**

Сила поломки лопасти, определяемая в 10.7.5.4, не должна приводить к возникновению пластической деформации валов и компонентов валопровода. Должны быть рассмотрены осевая, изгибающая и скручивающая составляющие нагрузки, в случае, если они существенны. Для напряжений изгиба и кручения коэффициент запаса по пределу текучести материала должен быть не менее 1,0.

#### **10.7.6.5 Главные средства активного управления судном**

При применении на судне главных САУС необходимо дополнительно рассмотреть возможные случаи приложения нагрузки с учетом особенностей эксплуатации судна. Среди прочих должны быть рассмотрены нагрузки, возникающие при работе САУС, повернутых по отношению к потоку воды, а также нагрузки, вызываемые ледовым взаимодействием со ступицей тянущего гребного винта.

Прочность деталей поворота главных САУС, деталей корпуса и элементов крепления составных частей должна быть рассчитана таким образом, чтобы они могли выдержать без повреждения нагрузку, вызывающую поломку лопасти гребного винта при нахождении лопасти в положении, вызывающем наибольшее усилие в рассматриваемых компонентах.

Прочность корпуса САУС должна учитывать ожидаемые нагрузки от воздействия льда, при этом корпус без повреждения должен выдержать нагрузку при взаимодействии со льдиной, размеры которой указаны в 10.7.3 при движении судна в ледовых условиях с обычной рабочей скоростью. Также должен быть рассмотрен случай нагружения воздействием на корпус САУС сплошного слоя льда, скользящего вдоль корпуса судна. Толщина слоя льда должна при этом соответствовать толщине наибольшей льдины, взаимодействующей с гребным винтом, размеры которой указаны в 10.7.3.

#### **10.7.6.6 Расчет колебаний валопровода**

Пропульсивная установка должна быть спроектирована таким образом, чтобы в пределах  $\pm 20\%$  от зоны рабочих скоростей вращения отсутствовал опасный резонанс первого порядка относительно числа лопастей гребного винта для крутильных, осевых и изгибных колебаний.

При наблюдении резонанса необходимо выполнить дополнительный расчет с целью определения приемлемости прочности компонентов пропульсивной установки.

### **10.7.7 Альтернативные методы проектирования**

#### **10.7.7.1 Область применения.**

В качестве альтернативы требованиям 10.7.5 и 10.7.6 по согласованию с Регистром допускается выполнение расчетов по другим методикам с учетом расчетных ледовых условий, указанных в 10.7.3, статической и усталостной прочности, а также принципа «пирамидальной прочности», как указано в 10.7.6.1.

#### **10.7.7.2 Нагрузка.**

Нагрузки на лопасть гребного винта и компоненты пропульсивной установки должны учитывать гидродинамические и ледовые нагрузки.

#### **10.7.7.3 Уровни проектирования.**

Расчет должен продемонстрировать, что во всех компонентах системы, воспринимающих нагрузки за исключением лопастей гребного винта, возникающие напряжения не превышают величину предела текучести материала с учетом обоснованного коэффициента запаса, учитывающего наличие возможных усталостных повреждений, концентраторов напряжений и неоднородности свойств материала.

Также должен быть выполнен расчет крутильных колебаний пропульсивной установки, подтверждающий отсутствие недопустимых резонансных напряжений в результате взаимодействия гребного винта со льдом.

## **10.8 ДРУГИЕ ТРЕБОВАНИЯ К МЕХАНИЗМАМ**

### **10.8.1 Система сжатого воздуха**

Запас сжатого воздуха во всех воздухохранителях, предназначенный для пуска главного двигателя, должен обеспечивать без пополнения не менее 12 последовательных пусков в случае, если для изменения направления движения судна с переднего хода на задний необходимо реверсирование двигателя и не менее 6 последовательных пусков в случае, если для этого реверсирование двигателя не требуется.

В случае, если сжатый воздух из воздухохранителей, предназначенных для пуска главного двигателя может быть использован для других потребителей, емкость воздухохранителей должна быть увеличена с учетом потребности этих потребителей.

Производительность воздушных компрессоров должна быть достаточной для заполнения в течение 1 ч воздухохранителей для главного двигателя, начиная от атмосферного до расчетного давления. Для судов с ледовым классом **IA Super** у которых для изменения направления движения судна с переднего хода на задний необходимо реверсирование двигателя, заполнение воздухохранителей должно осуществляться за 30 минут.

### **10.8.2 Система водяного охлаждения**

Система водяного охлаждения должна быть спроектирована таким образом, чтобы был обеспечен достаточный водозабор при эксплуатации в ледовых условиях.

С этой целью по крайней мере один из кингстонных ящиков для системы водяного охлаждения должен отвечать следующим требованиям:

1. Кингстонный ящик должен располагаться в районе диаметральной плоскости судна, по возможности в кормовой его части;
2. Объем кингстонного ящика должен составлять приблизительно  $1 \text{ м}^3$  на каждые 750 кВт мощности главных, а также вспомогательных механизмов, обеспечивающих эксплуатацию судна;
3. Кингстонный ящик должен иметь достаточную высоту для обеспечения скопления льда выше уровня расположения приемных отверстий;
4. Кингстонный ящик должен быть оборудован отливным трубопроводом, который обеспечивает отвод всей охлаждающей воды;
5. Суммарная площадь отверстий защитных решеток должна быть не менее четырехкратной площади сечения приемных трубопроводов.

В случае невозможности выполнения требований 2 и 3 допускается установка на судне двух кингстонных ящиков меньшего размера, которые по очереди могут служить для подвода и отвода охлаждающей воды, при этом требования 1, 4, 5 должны быть выполнены.

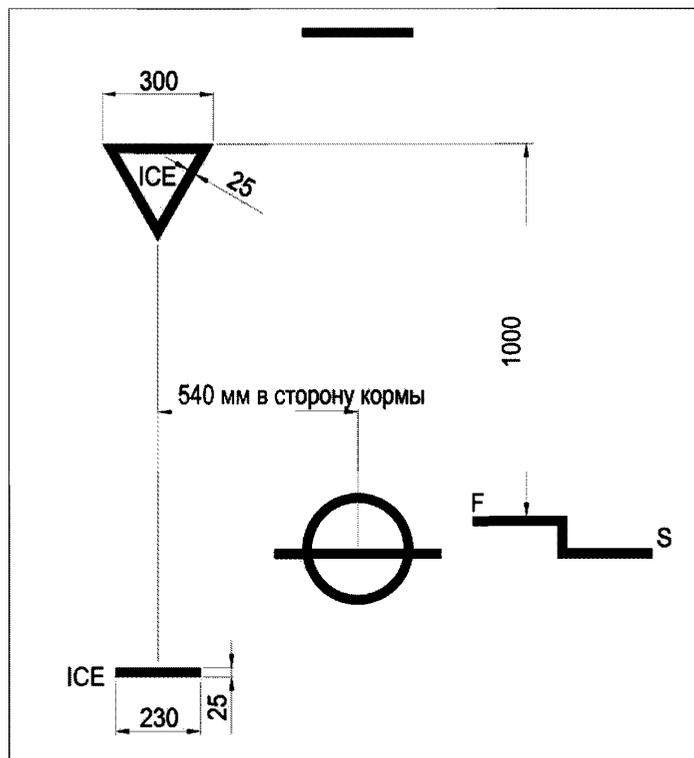
Верхняя часть кингстонных ящиков может быть оборудована обогревом.

Использование балластной системы для водяного охлаждения допускается и может рассматриваться как резервное при следовании судна в балласте, однако не может быть принято в качестве замены выполнения требований к кингстонному ящику, указанных выше.

=====

**Приложение 1**  
**Марки осадок ледового класса**

В соответствии с 10.3.2 по бортам судна в районе миделя необходимо нанести предупреждающий знак в виде треугольника и марку осадки ледового класса по максимальной допустимой осадке соответствующего ледового класса (см. рис. 1). Цель нанесения такого предупреждающего знака – предоставление информации капитанам ледоколов и персоналу, проводящему инспекции в портах, об ограничении осадки судна при движении во льду.



*Рис. 1. Марка осадок судна ледового класса*

**Примечания к рисунку 1**

1. Верхняя кромка предупреждающего знака должна быть расположена вертикально над маркой «ICE», на 1000 мм выше летней грузовой марки в пресной воде, но в любом случае не выше линии палубы. Стороны треугольника предупреждающего знака должны быть длиной 300 мм.
2. Предупреждающий знак и марка осадки судна ледового класса должны быть расположены на расстоянии 540 мм в корму от центра кольца знака грузовой марки или на расстоянии 540 в корму от центра вертикальной линии лесной грузовой марки, если применимо.
3. Знаки и марки должны быть вырезаны из листа толщиной 5 – 8 мм и приварены к бортам судна. Знаки и марки должны быть окрашены красной или желтой светоотражающей краской, чтобы они были хорошо заметны даже в ледовых условиях.

4. Размеры всех букв в составе знаков и марок должны быть такими же, которые используются для летней грузовой марки.

\*\*\*\*\*