

РОССИЙСКИЙ МОРСКОЙ РЕГИСТР СУДОХОДСТВА



**Отменено в связи
с потерей актуальности**

Электронный аналог печатного издания,
утвержденного генеральным директором
Российского морского регистра судоходства
27 ноября 2002 года

СБОРНИК НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Книга двенадцатая

НД № 2-139902-017

**Санкт-Петербург
2002**

РОССИЙСКИЙ МОРСКОЙ РЕГИСТР СУДОХОДСТВА

СБОРНИК НОРМАТИВНО–МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Книга двенадцатая



**Санкт–Петербург
2002**

В настоящем сборнике помещен Проект новой редакции требований правил Российского морского регистра судоходства к гребным винтам судов ледового плавания и ледоколов, к прочности и материалам узлов механизма изменения шага (МИШ) ВРШ ледоколов и судов с ледовыми усилениями и к величине предельной ледовой нагрузки на главные винторулевые колонки (ГВРК) ледоколов и судов ледового плавания (раздел 6 «Движители» части VII «Механические установки» Правил классификации и постройки морских судов).

Требования к гребным винтам судов с ледовыми усилениями категорий **ЛУ4 — ЛУ9** и ледоколов с ледовыми усилениями категорий **ЛЛ6 — ЛЛ9**, а также требования к прочности и материалам узлов МИШ ВРШ для ледоколов и судов с ледовыми усилениями разработаны на базе научно-исследовательских работ и предложений Регистра, подготовленных для проекта унифицированных требований Международной ассоциации классификационных обществ (МАКО) к механическим установкам полярных судов. Требования подготовлены д.т.н., проф. Ф. М. Кацманом, д.т.н., проф. Г. В. Бойцовым, экспертом Главного управления Регистра, к.т.н. А. В. Андрюшиным, главным специалистом Главного управления В. С. Голубевым.

Требования к гребным винтам судов ледового плавания и ледоколов, а также к прочности и материалам узлов МИШ ВРШ включают в себя требования:

- к назначению прочных размеров лопастей из условия усталостной и статической прочности;

- к величине проектной нагрузки и расчетному обеспечению прочности элементов МИШ ВРШ из условия пирамидальной прочности;

- к выполнению расчетов и определению величин допускаемых напряжений в элементах МИШ ВРШ из условий обеспечения усталостной прочности;

- к материалам элементов МИШ.

Требования к величине предельной ледовой нагрузки на ГВРК ледоколов и судов ледового плавания разработаны на базе научно-исследовательских работ по договору РС-42/2001. Предельная ледовая нагрузка принимается в качестве основной расчетной для проверки статической прочности соединения и элементов крепления ГВРК к корпусу.

Целью настоящей публикации является апробирование новых требований Регистра к гребным винтам и ГВРК судов ледового плавания и ледоколов. Новая редакция Правил классификации и постройки морских судов может быть использована вместо существующих требований только по специальному согласованию с Регистром.

СОДЕРЖАНИЕ

**ПРОЕКТ НОВОЙ РЕДАКЦИИ ТРЕБОВАНИЙ ПРАВИЛ
РОССИЙСКОГО МОРСКОГО РЕГИСТРА СУДОХОДСТВА К
ГРЕБНЫМ ВИНТАМ СУДОВ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ И
ЛЕДОКОЛОВ, К ПРОЧНОСТИ И МАТЕРИАЛАМ УЗЛОВ
МЕХАНИЗМА ИЗМЕНЕНИЯ ШАГА (МИШ) ВРШ ЛЕДОКОЛОВ И
СУДОВ С ЛЕДОВЫМИ УСИЛЕНИЯМИ И К ВЕЛИЧИНЕ
ПРЕДЕЛЬНОЙ ЛЕДОВОЙ НАГРУЗКИ НА ГЛАВНЫЕ
ВИНТОРУЛЕВЫЕ КОЛОНКИ (ГВРК) ЛЕДОКОЛОВ И СУДОВ
ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ (РАЗДЕЛ 6 «ДВИЖИТЕЛИ» ЧАСТИ VII
«МЕХАНИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ» ПРАВИЛ КЛАССИФИКАЦИИ И
ПОСТРОЙКИ МОРСКИХ СУДОВ)**

ЧАСТЬ VII. МЕХАНИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

6 ДВИЖИТЕЛИ	4
6.1 Общие указания.	4
6.2 Требования к лопастям гребных винтов судов с ледовыми усилениями категорий ЛУ4 — ЛУ9 и ледоколов с ледовыми усилениями категорий ЛЛ6 — ЛЛ9.	5
6.3 Требования к лопастям гребных винтов судов с ледовыми усилениями категорий ЛУ1 — ЛУ3.	14
6.4 Требования к ступице и деталям крепления лопасти.	14
6.5 Требования к механизму изменения шага для гребных винтов судов ледового плавания и ледоколов.	15
6.6 Требования к величине предельной ледовой нагрузки на главные винторулевые колонки ледоколов и судов ледового плавания.	25

**ПРОЕКТ НОВОЙ РЕДАКЦИИ ТРЕБОВАНИЙ ПРАВИЛ
РОССИЙСКОГО МОРСКОГО РЕГИСТРА СУДОХОДСТВА К
ГРЕБНЫМ ВИНТАМ СУДОВ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ И ЛЕДОКОЛОВ,
К ПРОЧНОСТИ И МАТЕРИАЛАМ УЗЛОВ МЕХАНИЗМА ИЗМЕНЕНИЯ
ШАГА (МИШ) ВРШ ЛЕДОКОЛОВ И СУДОВ С ЛЕДОВЫМИ
УСИЛЕНИЯМИ И К ВЕЛИЧИНЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ ЛЕДОВОЙ
НАГРУЗКИ НА ГЛАВНЫЕ ВИНТОРУЛЕВЫЕ КОЛОНКИ (ГВРК)
ЛЕДОКОЛОВ И СУДОВ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ (РАЗДЕЛ 6
«ДВИЖИТЕЛИ» ЧАСТИ VII «МЕХАНИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ»
ПРАВИЛ КЛАССИФИКАЦИИ И ПОСТРОЙКИ МОРСКИХ СУДОВ)**

**Отменено в связи
с потерей актуальности**

ЧАСТЬ VII. МЕХАНИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Раздел 6. ДВИЖИТЕЛИ

Глава 6.1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

6.1.1 Требования настоящего раздела распространяются на металлические гребные винты фиксированного шага цельнолитые и со съемными лопастями, а также на винты регулируемого шага.

6.1.2 Конструкция и размеры винтов главных средств активного управления судами должны соответствовать требованиям настоящего раздела.

Конструкции крыльчатых и водометных движителей являются в каждом случае предметом специального рассмотрения Регистром.

Объем требований к конструкциям и размерам винтов вспомогательных САУС может быть уменьшен по согласованию с Регистром.

Глава 6.2. ТРЕБОВАНИЯ К ЛОПАСТЯМ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ СУДОВ С ЛЕДОВЫМИ УСИЛЕНИЯМИ КАТЕГОРИЙ ЛУ4 — ЛУ9 И ЛЕДОКОЛОВ С ЛЕДОВЫМИ УСИЛЕНИЯМИ КАТЕГОРИЙ ЛЛ6 — ЛЛ9

6.2.1 Общие требования к проверке и назначению прочных размеров лопастей гребных винтов судов с ледовыми усилениями категорий ЛУ4 — ЛУ9 и ледоколов с ледовыми усилениями категорий ЛЛ6 — ЛЛ9.

В 6.2.1 — 6.2.5 представлен поверочный метод для прочных размеров лопастей гребных винтов судов с ледовыми усилениями категорий ЛУ4 — ЛУ9 и ледоколов с ледовыми усилениями категорий ЛЛ6 — ЛЛ9. Представленный метод применим к открытым гребным винтам и винтам в насадках фиксированного и регулируемого шага. Метод распространяется на кормовые и носовые гребные винты.

Проверка прочных размеров несимметричных лопастей с большими углами саблевидности $\theta_{skew} \geq 25^\circ$ является в каждом случае предметом специального рассмотрения Регистром. Угол саблевидности θ_{skew} определяется согласно рис. 6.2.1-1. В качестве угла θ_{skew} принимается угол, равный наибольшему из углов θ_1 или θ_2 .

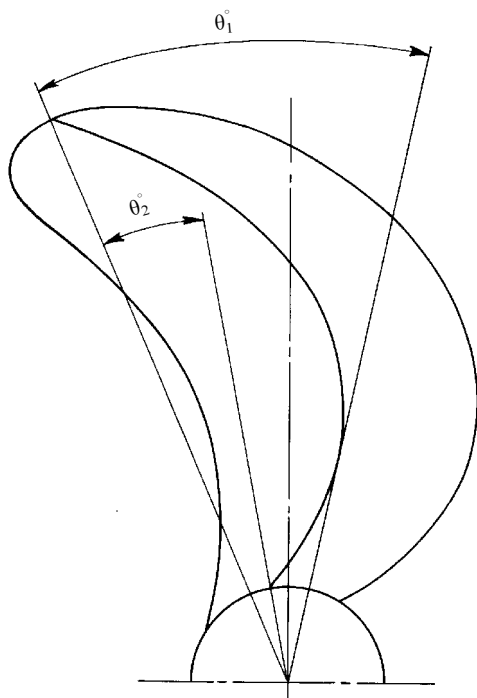


Рис. 6.2.1-1:

θ_1 — угол между радиусом, проведенным через середину концевой сечения лопасти, и радиусом, касательным к средней линии;

θ_2 — угол между радиусами, проведенными через середину концевой и корневой сечений лопасти

Настоящий метод регламентирует минимально требуемую толщину лопастей для спрямленных цилиндрических сечений на трех относительных радиусах: $\bar{r}_1 = \bar{r}_{hub} + 0,05$, $\bar{r} = 0,6$ и $\bar{r} = 1$ по линии максимальной толщины, где $\bar{r}_{hub}$ — относительный радиус ступицы или жесткозаделанного корневого сечения в месте пересечения поверхностей лопасти со ступицей или фланцем лопасти.

На относительном радиусе $\bar{r}_1 = \bar{r}_{hub} + 0,05$ толщина лопасти должна проверяться с учетом галтельного перехода в ступицу или фланец. Толщина спрямленного корневого сечения на радиусе $\bar{r}_1 = \bar{r}_{hub} + 0,05$ регламентируется в трех точках, соответственно, на координатах $\zeta_{0,6}(\bar{r}_1) = 0,6[c(\bar{r}_1)/2]$, $\varepsilon_{0,0}(\bar{r}_1) = 0,0$ и $\varepsilon_{-0,6}(\bar{r}_1) = -0,6[c(\bar{r}_1)/2]$ (см. рис. 6.2.1-2).

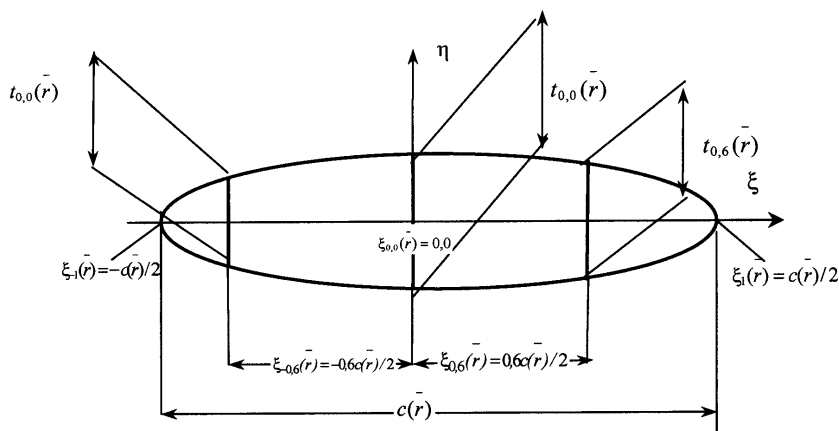


Рис. 6.2.1-2

Схема цилиндрического спрямленного сечения лопасти на относительном радиусе $\bar{r}$

Дополнительно регламентируется радиус галтельного перехода от лопасти к ступице или к фланцу лопасти в зависимости от толщины корневого сечения на относительном радиусе $\bar{r}_1$, определяемом по формуле

$$\bar{r}_1 = \bar{r}_{hub} + 0,05.$$

Толщина кромок лопастей регламентируется для спрямленного цилиндрического сечения $\bar{r} = 0,8$ на координатах $\zeta_{0,9}(\bar{r} = 0,8) = 0,9[c(\bar{r} = 0,8)/2]$ и $\zeta_{-0,9}(\bar{r} = 0,8) = -0,9[c(\bar{r} = 0,8)/2]$ (см. также 6.2.4.4).

На относительном радиусе $\bar{r} = 1$ толщина лопасти проверяется без учета скругления.

Прочные размеры гребных винтов назначаются из условия совместного обеспечения усталостной и статической прочности.

6.2.2 Расчетные ледовые нагрузки для назначения прочных размеров лопастей гребных винтов судов с ледовыми усилениями категорий ЛУ4 — ЛУ9 и ледоколов с ледовыми усилениями категорий ЛЛ6 — ЛЛ9.

6.2.2.1 Общие указания к назначению расчетных ледовых нагрузок.

В качестве основного расчетного режима для определения ледовых нагрузок с целью назначения прочных размеров лопастей гребных винтов принимается процесс фрезерования льда кромками лопастей. Режимы эксплуатации, когда направление вращения гребного винта не соответствует направлению движения судна, например, реверс, а также движение судна с остановленными гребными винтами рассматриваются как нерасчетные.

6.2.2.2 Расчетная ледовая сила, воздействующая на лопасть.

В качестве основной расчетной нагрузки принимается ледовая осевая сила $(F_{ice})_{max}$, воздействующая на лопасть на режиме фрезерования льда. Направление $(F_{ice})_{max}$ противоположно гидродинамическому упору. Точка приложения $(F_{ice})_{max}$ располагается на относительном радиусе $\bar{r}=0,8$ на входящей кромке (см. рис. 6.2.2.2).

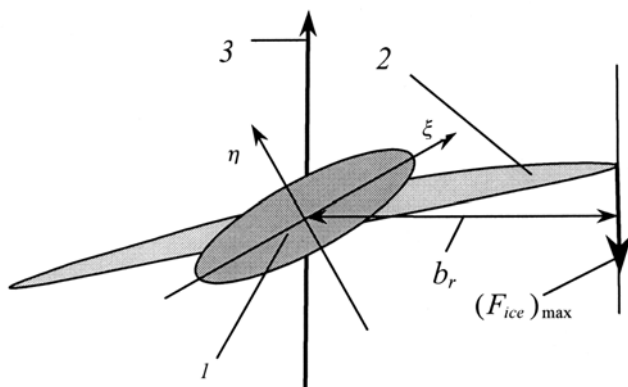


Рис. 6.2.2.2

Схема приложения расчетной ледовой силы $(F_{ice})_{max}$:

1 — корневое сечение на относительном радиусе $\bar{r}$;

2 — сечение на относительном радиусе $\bar{r}=0,8$;

3 — направление движения судна

Ледовая сила $(F_{ice})_{max}$, Н, определяется по формуле

$$(F_{ice})_{max} = 10^3 \times 43,85 \times e^{-0,1244\alpha(\bar{r}=0,9)} (D)^{1,6} c_{mean} \sigma_{comp} (\bar{r}=0,8), \quad (6.2.2.2)$$

где c_{mean} — средняя безразмерная ширина лопасти по глубине врезания лопасти в лед, определяемая в соответствии с 6.2.2.3;

$\alpha(\bar{r}=0,9)$ — расчетный угол атаки лопасти на относительном радиусе $\bar{r}=0,9$, град, определяемый в соответствии с 6.2.2.4;

D — диаметр гребного винта м;

$\sigma_{comp}(\bar{r}=0,8)$ — прочность морского льда при одноосном сжатии на глубине, которая соответствует заглублению лопасти в лед на относительном радиусе $\bar{r}=0,8$, МПа, определяемая в соответствии с 6.2.2.8.

6.2.2.3 Средняя безразмерная ширина лопасти по глубине врезания гребного винта в лед.

Средняя безразмерная ширина лопасти по глубине врезания гребного винта в лед определяется по формуле

$$c_{mean} = \frac{\int_{\bar{r}=0,6}^1 c(\bar{r}) d\bar{r}}{0,4R}, \quad (6.2.2.3)$$

где $c(\bar{r})$ — ширина спрямленного цилиндрического сечения лопасти на относительном радиусе $\bar{r}$, м;
 R — радиус гребного винта, м.

6.2.2.4 Расчетный угол атаки лопасти $\alpha(\bar{r})$ на относительном радиусе $\bar{r}$.

Расчетный угол атаки $\alpha(\bar{r})$, град, лопасти на относительном радиусе $\bar{r}$ определяется по формуле

$$\alpha(\bar{r}) = \varphi_{design}(\bar{r}) - \arctg \left[\frac{V_{ice}}{2\pi\bar{r}R \times n_{design}} \right], \quad (6.2.2.4)$$

где $\varphi_{design}(\bar{r})$ — расчетный шаговой угол на относительном радиусе $\bar{r}$, град, определяемый в соответствии с 6.2.2.5;

n_{design} — расчетная частота вращения гребного винта, c^{-1} , определяемая в соответствии с 6.2.2.6;

V_{ice} — максимальная скорость льда, м/с, определяемая в соответствии с 6.2.2.7;
 $\pi = 3,14$.

Значение расчетного угла атаки не должно быть меньше 0.

6.2.2.5 Расчетный шаговой угол на относительном радиусе $\bar{r}$.

Расчетный шаговой угол $\varphi_{design}(\bar{r})$, град, на относительном радиусе $\bar{r}$ определяется по формуле

$$\varphi_{design}(\bar{r}) = \arctg \left[\frac{H_{design}(\bar{r})}{2\pi\bar{r}R} \right], \quad (6.2.2.5)$$

где $H_{design}(\bar{r})$ — расчетный шаг гребного винта на относительном радиусе $\bar{r}$, м.

Для гребных винтов фиксированного шага (ВФШ) значение $H_{design}(\bar{r})$ определяется в соответствии с чертежом гребного винта.

Для гребных винтов регулируемого шага (ВРШ) в качестве расчетного шага $H_{design}(\bar{r})$ принимается $H_{design}(\bar{r}) = 0,8H_{constr}(\bar{r})$, где $H_{constr}(\bar{r})$ — конструктивный шаг на относительном радиусе $\bar{r}$, также определяемый в соответствии с чертежом гребного винта.

6.2.2.6 Расчетная частота вращения гребного винта.

Для ВФШ расчетная частота вращения гребного винта n_{design} , c^{-1} , определяется по формуле

$$n_{design} = 0,8n_{bolland}, \quad (6.2.2.6-1)$$

где $n_{bolland}$ — частота вращения гребного винта на швартовном режиме при полной мощности, c^{-1} .

Для ВРШ расчетная частота вращения гребного винта n_{design} , c^{-1} , определяется по формуле

$$n_{design} = 0,8n_{constr}, \quad (6.2.2.6-2)$$

где n_{constr} — проектная частота вращения ВРШ для конструктивного шага на расчетном режиме при полной мощности, c^{-1} .

6.2.2.7 Расчетная скорость взаимодействия гребного винта со льдом.

Расчетная скорость взаимодействия гребного винта со льдом V_{ice} , м/с, определяется в соответствии с табл. 6.2.2.7.

Таблица 6.2.2.7

Расчетная скорость взаимодействия гребного винта со льдом для судов арктических категорий и ледоколов

Категория ледового усиления Расположение гребного винта	ЛУ4 — ЛУ6		ЛУ7 — ЛУ9, ледоколы	
	центральное	бортовое	центральное	бортовое
Расчетная скорость взаимодействия гребного винта со льдом V_{ice} , м/с	4,12	5,15	4,9	6,2

6.2.2.8 Значение прочности льда при одноосном сжатии $\sigma_{comp}(\bar{r}=0,8)$.

Значение прочности льда при одноосном сжатии $\sigma_{comp}(\bar{r}=0,8)$, МПа, определяется в соответствии с графиком 6.2.2.8 для глубины ледового покрова $h_{ice} = 0,2R$.

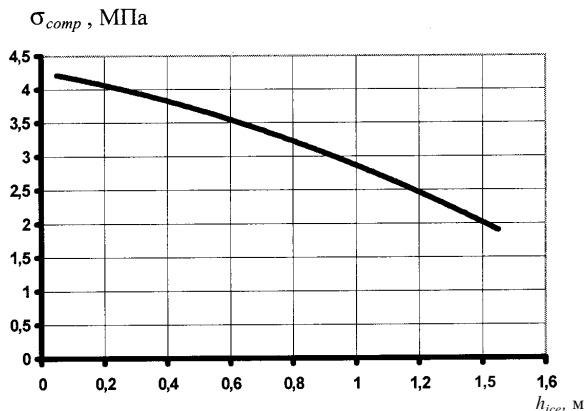


Рис. 6.2.2.8

Прочность морского льда при одноосном сжатии в зависимости от глубины ледового покрова

Для судов арктической категории ЛУ4 расчетная прочность льда $\sigma_{comp}(\bar{r}=0,8)$ может быть уменьшена в 1,2 раза.

6.2.2.9 Изгибающий и скручивающий лопасть ледовые моменты.

Изгибающий лопасть ледовый момент $Q_{bend}(\bar{r})$, Н·м, относительно нейтральной оси спрямленного корневого сечения на относительном радиусе $\bar{r}$ определяется по формуле

$$Q_{bend}(\bar{r}) = k_{exp} \times (F_{ice})_{max} \times \cos[\varphi_{design}(\bar{r})] \times R(0,8 - \bar{r}), \quad (6.2.2.9-1)$$

где $(F_{ice})_{max}$ — расчетная ледовая сила, воздействующая на лопасть, определяемая в соответствии с 6.2.2.2, Н;

$\varphi_{design}(\bar{r})$ — шаговый угол на относительном радиусе $\bar{r}$, определяемый в соответствии с 6.2.2.5, град;
 k_{exp} — коэффициент, учитывающий определение изгибающего и скручивающего моментов через расстояния в плоскости спрямленных сечений, принимаемый равным 0,7.

Скручивающий лопасть ледовый момент $Q_{spind}(\bar{r})$, Н·м, относительно центра координат спрямленного корневого сечения лопасти на относительном радиусе $\bar{r}$ определяется по формуле

$$Q_{spind}(\bar{r}) = k_{exp} \times (F_{ice})_{max} \times b(\bar{r}), \quad (6.2.2.9-2)$$

где $b(\bar{r})$ — расстояние от центра координат корневого сечения на относительном радиусе $\bar{r}$ до линии действия расчетной нагрузки в плоскости спрямленных радиальных сечений, м (см. рис. 6.2.2.2);

k_{exp} — см. (6.2.2.9-1).

6.2.3 Допустимые напряжения для назначения прочных размеров лопастей гребных винтов судов с ледовыми усилениями категорий ЛУ4 — ЛУ9 и ледоколов с ледовыми усилениями ЛЛ6 — ЛЛ9.

6.2.3.1 Прочные размеры лопастей гребных винтов судов с ледовыми усилениями категорий ЛУ4 — ЛУ9 и ледоколов с ледовыми усилениями категорий ЛЛ6 — ЛЛ9 назначаются из условия совместного обеспечения усталостной и статической прочности. Поэтому при определении прочных размеров лопастей в качестве допустимого напряжения σ_{perm} , Па, необходимо использовать наименьшее из допустимых напряжений по статической и усталостной прочности:

$$\sigma_{perm} = \min[(\sigma_{perm})_s, (\sigma_{perm})_f], \quad (6.2.3.1)$$

где $(\sigma_{perm})_s$ — допустимое напряжение из условия статической прочности, Па;

$(\sigma_{perm})_f$ — допустимое напряжение из условия усталостной прочности, Па.

6.2.3.2 Допустимые напряжения из условия статической прочности.

Допустимые напряжения из условия статической прочности $(\sigma_{perm})_s$, Па, составляют 75 % от предела текучести или условного предела текучести материала лопасти и определяются по формуле

$$(\sigma_{perm})_s = 0,75\sigma_{0,2}, \quad (6.2.3.2-1)$$

где $\sigma_{0,2}$ — минимальный предел текучести материала лопасти (или минимальный условный предел текучести), гарантируемый техническими условиями на поставку, Па.

6.2.3.3 Допустимые напряжения из условия усталостной прочности.

Допустимые напряжения из условия усталостной прочности $(\sigma_{perm})_f$, Па, определяются по формуле

$$(\sigma_{perm})_f = [1 / (k T_{ice} n)]^{1/m} \psi(m) \sigma_{-}, \quad (6.2.3.3-1)$$

где T_{ice} — относительное время взаимодействия гребного винта со льдом, определяемое согласно табл. 6.2.3.3-1;

k — коэффициент, зависящий от расположения гребного винта, определяемый согласно табл. 6.2.3.3-2;

n — принятая для ВФШ согласно 6.2.2.6 частота вращения гребного винта на швартовном режиме при полной мощности $n_{bolland}$, а также принятая согласно 6.2.2.6 проектная частота вращения ВРШ для конструктивного шага на расчетном режиме при полной мощности n_{constr} , c^{-1} ;

σ_{-} — условный предел усталостной прочности лопасти гребного винта в морской воде при числе циклов нагружения $N_0 = 5 \times 10^7$, Па, определяемый в соответствии с (6.2.3.3-2);

m — константа материала, определяемая по результатам испытаний на усталостную прочность образцов в морской воде с 3 %-ным содержанием NaCl в соответствии с кривой усталостной прочности $\sigma^m N = \sigma_{-}^m N_0$. Для определения m допускается использование кривой усталостной прочности для стандартных гладких образцов диаметром $d_0 = 10$ мм при симметричном цикле нагружения;

$\psi(m)$ — функция от m , определяется по табл. 6.2.3.3-3.

Таблица 6.2.3.3-1

Относительное время взаимодействия гребного винта со льдом

Категория ледового усиления	Транспортные суда						Ледоколы
	ЛУ4	ЛУ5	ЛУ6	ЛУ7	ЛУ8	ЛУ9	ЛЛ6 — ЛЛ9
T_{ice}	2Е-3	3Е-3	4Е-3	5,5Е-3	0,010	0,015	0,022

Таблица 6.2.3.3-2

Коэффициент расположения гребного винта

Расположение гребного винта	центральное	боковое	носовое
k — коэффициент расположения гребного винта	0,4		1

Таблица 6.2.3.3-3

Функция $\psi(m)$

m	8	10	12
$\psi(m)$	1,646	1,6	1,56

Для гребных винтов в составе главных винторулевых колонок относительное время взаимодействия в формуле (6.2.3.3-1) должно быть увеличено в 1,2 раза.

Условный предел усталостной прочности лопасти гребного винта в морской воде σ_{-} , Па, при числе циклов нагружения $N_0 = 5 \times 10^7$ определяется по формуле

$$\sigma_- = \varepsilon[t_{0,0}(\bar{r}_1)](\sigma_-)_{d_0} \quad (6.2.3.3-2)$$

где $(\sigma_-)_{d_0}$ — условный предел усталостной прочности стандартных гладких образцов диаметром $d_0 = 10$ мм в морской воде с 3 %-ным содержанием NaCl при числе циклов нагружения $N_0 = 5 \times 10^7$, Па;

$\varepsilon[t_{0,0}(\bar{r}_1)]$ — коэффициент влияния абсолютных размеров на усталостную прочность в зависимости от толщины корневой сечения $t_{0,0}(\bar{r}_1)$ на относительном радиусе $\bar{r}_1$, определяемый по графику 6.2.3.3.

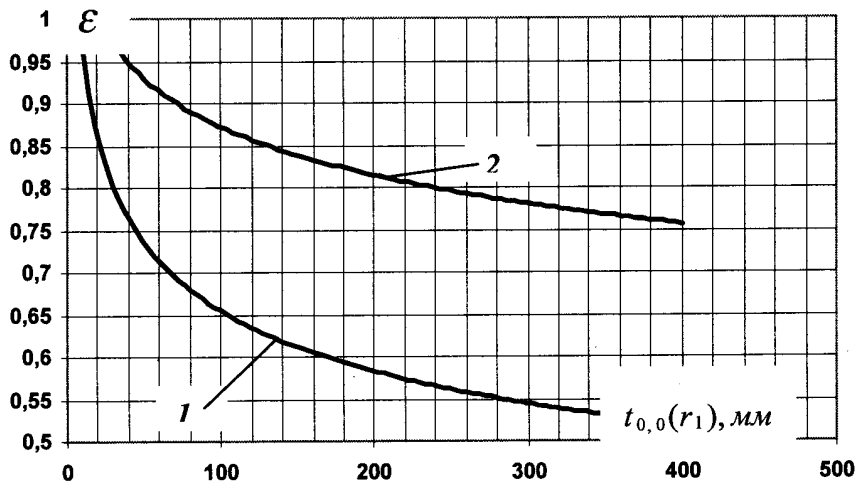


Рис. 6.2.3.3

Коэффициент влияния абсолютных размеров лопасти на усталостную прочность:

1 — сталь; 2 — медные сплавы

6.2.4 Прочные размеры лопастей гребных винтов судов с ледовыми усилениями категорий ЛУ4 — ЛУ9 и ледоколов с ледовыми усилениями категорий ЛЛ6 — ЛЛ9.

6.2.4.1 Прочные размеры корневых сечений.

Минимально допустимая толщина $t_{0,6}(\bar{r}_1)$, м, на координате $\zeta_{0,6}(\bar{r}_1) = 0,6[c(\bar{r}_1)/2]$ (см. рис. 6.2.1-2) для корневой сечения на $\bar{r}_1 = \bar{r}_{hub} + 0,05$ определяется по формуле

$$t_{0,6}(\bar{r}_1) = \left\{ \frac{\sqrt{A(\bar{r}_1)^2 + 39[Q_{spind}(\bar{r}_1)/c(\bar{r}_1)]^2}}{\sigma_{perm}} \right\}^{0,5}, \quad (6.2.4.1-1)$$

где $A(\bar{r}_1) = \{Q_{bend}(\bar{r}_1)/[0,118c(\bar{r}_1)] + [24,6Q_{spind}(\bar{r}_1)]/[D\alpha(\bar{r}_1)]\}$;

$$\alpha_1(\bar{r}_1) = [Q_{bend}(\bar{r}_2)c(\bar{r}_1)]/[Q_{bend}(\bar{r}_1)c(\bar{r}_2)];$$

$Q_{spind}(\bar{r}_1)$ — скручивающий лопасть ледовый момент относительно центра координат спрямленного корневого сечения лопасти на относительном радиусе $r_1 = r_{hub} + 0,05$, Н·м, определяемый в соответствии с 6.2.2.9;

$Q_{bend}(\bar{r}_1)$ — изгибающий лопасть ледовый момент относительно нейтральной оси спрямленного корневого сечения на относительном радиусе $\bar{r}_1 = \bar{r}_{hub} + 0,05$, Н·м, определяемый в соответствии с 6.2.2.9;

$Q_{bend}(\bar{r}_2)$ — изгибающий лопасть ледовый момент относительно нейтральной оси спрямленного корневого сечения на относительном радиусе $r_2 = r_1 + 0,05$, Н·м, определяемый в соответствии с 6.2.2.9;

$c(\bar{r}_1)$ — длина хорды корневого сечения на относительном радиусе $\bar{r}_1 = \bar{r}_{hub} + 0,05$, м;

$c(\bar{r}_2)$ — длина хорды корневого сечения на относительном радиусе $r_2 = r_1 + 0,05$, м;

σ_{perm} — допустимое напряжение, Па, определяемое в соответствии с 6.2.3.

Минимально допустимая толщина $t_{0,0}(\bar{r}_1)$, м, на координате $\zeta_{0,0}(\bar{r}_1) = 0,0$ (см. рис. 6.2.1-2) для корневого сечения на относительном радиусе $\bar{r}_1 = r_{hub} + 0,05$ должна быть не менее определяемой по формуле

$$t_{0,0}(\bar{r}_1) = 1,19 t_{0,6}(\bar{r}_1). \quad (6.2.4.1-2)$$

Минимально допустимая толщина $t_{-0,6}(\bar{r}_1)$, м, на координате $\zeta_{0,6}(\bar{r}_1) = -0,6[c(\bar{r}_1)/2]$ (см. рис. 6.2.1-2) для корневого сечения на относительном радиусе $\bar{r}_1 = r_{hub} + 0,05$ должна быть не менее определяемой по формуле

$$t_{-0,6}(\bar{r}_1) = 0,75 t_{0,0}(\bar{r}_1). \quad (6.2.4.1-3)$$

6.2.4.2 Толщина периферийного сечения лопасти на относительном радиусе $\bar{r} = 0,6$.

Максимальная толщина периферийного сечения лопасти $t_{0,0}(\bar{r} = 0,6)$, м, на относительном радиусе $\bar{r} = 0,6$ должна быть не менее определяемой по формуле

$$t_{0,0}(\bar{r} = 0,6) = \left\{ \frac{17,4 k_{exp}(F_{ice})_{\max} \cos[\varphi_{design}(\bar{r} = 0,8)] \sqrt{(0,1D)^2 + 0,25[c(\bar{r} = 0,8)]^2}}{\sigma_{perm} \sqrt{D^2(1 - \bar{r}_{hub})^2 + [c(\bar{r}_{hub})]^2}} \right\}^{0,5} \quad (6.2.4.2-1)$$

где $c(\bar{r}_{hub})$ — ширина спрямленного цилиндрического сечения на относительном радиусе $\bar{r}_{hub}$, м;

$c(\bar{r} = 0,8)$ — ширина спрямленного цилиндрического сечения на относительном радиусе $\bar{r} = 0,8$, м;

σ_{perm} — допустимое напряжение, Па, определяемое в соответствии с 6.2.3;

$\varphi_{design}(\bar{r} = 0,8)$ — расчетный шаговый угол на относительном радиусе $\bar{r} = 0,8$, град, определяемый в соответствии с 6.2.2.5;

k_{exp} — см. (6.2.2.9-1).

6.2.4.3 Толщина лопасти на относительном радиусе $\bar{r} = 1$.

Толщина лопасти t_{tip} , м, на относительном радиусе $\bar{r} = 1$ должна быть не менее определяемой по табл. 6.2.4.3.

Таблица 6.2.4.3

Толщина концевых кромок лопасти t_{tip} на относительном радиусе $\bar{r} = 1$

Категория ледового усиления	Транспортные суда			Ледоколы
	ЛУ4 — ЛУ7	ЛУ8	ЛУ9	ЛЛ6 — ЛЛ9
t_{tip}	$0,23 t_{0,0}(\bar{r} = 0,6)$	$0,24 t_{0,0}(\bar{r} = 0,6)$	$0,26 t_{0,0}(\bar{r} = 0,6)$	$0,27 t_{0,0}(\bar{r} = 0,6)$

6.2.4.4 Толщина входящей и выходящей кромок лопасти.

Толщина входящей и выходящей кромок лопасти для спрямленного сечения на относительном радиусе $\bar{r}=0,8$ на расстоянии 5% длины хорды профиля от края лопасти не должна быть менее 50% максимальной толщины лопасти на данном радиусе.

Для ВРШ данное требование распространяется только на входящую кромку. Толщина выходящей кромки может быть уменьшена при условии выполнения требования по усталостной и статической прочности материала в составе лопасти.

Возможность использования более острых кромок для улучшения эксплуатационных характеристик гребного винта является в каждом случае предметом специального рассмотрения Регистром; при расчете этой возможности должны учитываться определение ледового давления и расчет напряженного состояния лопасти, включая зону контакта лопасти со льдом.

6.2.5 При использовании на судах с ледовыми усилениями категорий **ЛУ4 — ЛУ9** и ледоколах с ледовыми усилениями категорий **ЛЛ6 — ЛЛ9** насадок, а также специальных конструкторских решений (новых форм обводов, элементов ледовой защиты движительного комплекса), направленных на снижение интенсивности воздействия льда на гребной винт, толщины лопасти, определенные согласно 6.2.1 — 6.2.4, могут быть уменьшены при условии представления Регистру подробных расчетов ледовых нагрузок и прочности. В этом случае параметры ледовых нагрузок для расчета усталостной и статической прочности могут быть определены по результатам испытаний самоходных моделей в ледовом опытовом бассейне по методике, согласованной с Регистром.

Глава 6.3. ТРЕБОВАНИЯ К ЛОПАСТЯМ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ СУДОВ С ЛЕДОВЫМИ УСИЛЕНИЯМИ КАТЕГОРИЙ ЛУ1 — ЛУ3

Прочные размеры лопастей гребных винтов судов с ледовыми усилениями категорий **ЛУ1 — ЛУ3** проверяются и назначаются в соответствии с действующими требованиями Регистра.

Глава 6.4. ТРЕБОВАНИЯ К СТУПИЦЕ И ДЕТАЛЯМ КРЕПЛЕНИЯ ЛОПАСТИ

6.4.1 Радиусы галтелей перехода лопасти в ступицу.

Переход лопасти в ступицу или фланец должен выполняться плавным сопряжением. Допускается плавный переход переменным радиусом.

Радиусы галтелей и сопряжений перехода должны составлять не менее 90% от толщины корневого сечения на относительном радиусе $\bar{r}_1 = \bar{r}_{hub} + 0,05$.

Глава 6.5. ТРЕБОВАНИЯ К МЕХАНИЗМУ ИЗМЕНЕНИЯ ШАГА ДЛЯ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ СУДОВ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ И ЛЕДОКОЛОВ

6.5.1 Общие требования к обеспечению прочности механизма изменения шага для гребных винтов судов с ледовыми усилениями и ледоколов.

Прочные размеры элементов механизма изменения шага (МИШ) ВРШ, находящихся в потоке силовых линий, должны назначаться и проверяться из условий пирамидальной и усталостной прочности.

Обеспечение пирамидальной прочности МИШ ВРШ означает, что при поломке лопасти от воздействия нерасчетной ледовой нагрузки элементы МИШ, находящиеся в потоке силовых линий, должны остаться неповрежденными и обеспечивать эксплуатацию ВРШ в рамках заданных технических условий. Под поломкой лопасти понимается отгиб лопасти в результате пластической деформации материала в ее составе или разделение лопасти на отдельные части.

Должна быть проверена пирамидальная и усталостная прочность следующих основных элементов МИШ, которые находятся в потоке силовых линий: сухарь, палец, ползун. Расположение указанных элементов в составе типовой конструкции МИШ ВРШ представлено на рис. 6.5.1. Расчеты пирамидальной и усталостной прочности должны установить достаточность прочных размеров указанных элементов из условия не превышения расчетных напряжений максимально допустимых значений.

Для судов арктических категорий ЛУ4 — ЛУ9 и ледоколов прочные размеры элементов МИШ ВРШ из условия усталостной прочности должны назначаться и проверяться от воздействия

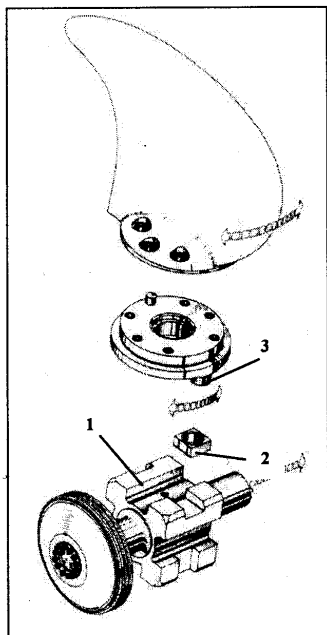


Рис. 6.5.1 Типовая конструкция МИШ ВРШ: 1 - ползун; 2 - сухарь; 3 - палец

ледовых нагрузок на режимах фрезерования льда кромками лопастей в соответствии с 6.5.3. Для судов с ледовыми усилениями ЛУ1 — ЛУ3 определение нагрузок для расчета прочности элементов МИШ из условия усталостной прочности является в каждом случае предметом специального рассмотрения Регистром. Для проверки усталостной прочности должны быть приняты во внимание эксплуатационные ледовые и гидродинамические нагрузки, воздействующие на лопасть. Указанные расчеты нагрузок должны быть представлены Регистру.

Для типовой конструкции МИШ ВРШ (см. рис. 6.5.1) расчеты пирамидальной и усталостной прочности основных элементов должны выполняться в соответствии с 6.5.2 — 6.5.4. Для других конструкций МИШ ВРШ расчеты прочности являются в каждом случае предметом специального рассмотрения Регистром. Указанные расчеты усталостной и пирамидальной прочности должны быть представлены Регистру.

6.5.2 Требования к обеспечению пирамидальной прочности элементов МИШ ВРШ судов с ледовыми усилениями и ледоколов.

6.5.2.1 Требования к величине предельной, разрушающей лопасть нагрузки.

Прочность элементов МИШ ВРШ должна проверяться на действие предельного скручивающего момента Q_{spind}^{damage} , Н·м, относительно оси поворота лопасти при ее поломке, определяемого по формуле

$$Q_{spind}^{damage} = 0,166 \times 10^6 k_{frict} \rho_{кр} \frac{C_p(\bar{r}=0,8)}{l_p} c(\bar{r}_1) t_{max}^2 \times (\bar{r}_1) [\beta(\bar{r}_1)]^{1.5} \sigma_{0,2}^{design}, \quad (6.5.2.1-1)$$

где $\rho_{кр} = 1/(1 + k_{кр}^{1.5,2/3})$;

$$k_{кр} = \frac{3C_p(\bar{r}=0,8)/c(\bar{r}_1)}{1 + 4,7[l_p/c(\bar{r}_1)]^2};$$

k_{frict} — коэффициент трения между фланцем лопасти и ступицей, принимаемый равным 0,66;
 $C_p(\bar{r}=0,8)$ — расстояние по хорде спрямленного сечения лопасти на относительном радиусе $\bar{r}=0,8$ от оси вращения лопасти до ее входящей кромки или половина размера хорды по этому сечению, в зависимости от того, что больше, м;

$l_p = (0,75 - \bar{r}_{hub})R$, м;

$\bar{r}_{hub}$ — относительный радиус ступицы;

R — радиус гребного винта, м;

$c(\bar{r}_1)$ — спрямленная длина хорды расчетного сечения лопасти на относительном радиусе $\bar{r}_1$, м;

$t_{max}(\bar{r}_1)$ — наибольшая толщина расчетного сечения лопасти на относительном радиусе $\bar{r}_1$, м;

$\beta(\bar{r}_1)$ — коэффициент полноты расчетного сечения лопасти относительном радиусе $\bar{r}_1$;

$\sigma_{0,2}^{design}$ — расчетный предел текучести материала лопасти, МПа;

$\bar{r}_1 = \bar{r}_{hub} + 0,05$ — относительный радиус расчетного корневого сечения.

При представлении Регистру необходимых расчетов допускается использование коэффициента трения между фланцем лопасти и ступицей k_{frict} , отличающегося от указанного в (6.5.2.1-1).

Коэффициент полноты расчетного сечения лопасти $\beta(\bar{r}_1)$ на относительном радиусе $\bar{r}_1 = \bar{r}_{hub} + 0,05$ определяется по формуле

$$\beta(\bar{r}_1) = 1 - 1/(m + 1), \quad (6.5.2.1-2)$$

где $m = 3,32 \lg[1 - t_{mean}(\bar{r}_1)/t_{0,0}(\bar{r}_1)]$;
 $t_{0,0}(\bar{r}_1)$ — толщина расчетного сечения лопасти на половине длины хорды (соответственно рис. 6.1.1-2), м;

$t_{mean}(\bar{r}_1) = \frac{1}{2} [t_{-0,5}(\bar{r}_1) + t_{0,5}(\bar{r}_1)]$ — среднеарифметическая величина толщин расчетного сечения лопасти на половине расстояний от его середины до внешних кромок лопасти, м (см. рис. 6.1.1-2).

Расчетный предел текучести материала лопасти $\sigma_{0,2}^{design}$, МПа, определяется по формуле

$$\sigma_{0,2}^{design} = (\sigma_{0,2})_{min} \{1 + 0,66 \times \bar{\epsilon}_{max}[(\sigma_u)_{min}/(\sigma_{0,2})_{min} - 1]\}, \quad (6.5.2.1-3)$$

где $(\sigma_{0,2})_{min}$ — минимальный предел текучести материала лопасти (или минимальный условный предел текучести), гарантируемый техническими условиями на его поставку, МПа;
 $(\sigma_u)_{min}$ — минимальная величина временного сопротивления (предела прочности на разрыв) материала лопасти, гарантируемая техническими условиями на его поставку, МПа;
 $\bar{\epsilon}_{max}$ — относительная величина максимальной макродеформации материала в составе лопасти, равная 0,35 для мартенситных сталей, и 0,75 — для аустенитных сталей и медных сплавов.

Для толщин расчетного корневого сечения, меньших $t_{max}(\bar{r}_1) \leq 0,1$ м, значения максимальных макродеформаций $\bar{\epsilon}_{max}$ должны определяться в соответствии с 6.5.2.2

Если фактические значения предела текучести материала лопастей рассматриваемых винтов $(\sigma_{0,2})_{real}$, установленные в процессе приемки материала, превосходят значения $(\sigma_{0,2})_{min}$ более чем на 30 %, величина $\sigma_{0,2}^{design}$ согласно (6.5.2.1-3) должна увеличиваться пропорционально коэффициенту $k_{0,2}$, определяемому по формуле

$$k_{0,2} = [(\sigma_{0,2})_{real}/1,3(\sigma_{0,2})_{min}] \geq 1. \quad (6.5.2.1-4)$$

6.5.2.2 Расчетные значения максимальных макродеформаций материала в составе лопасти.

Относительная величина максимальной макродеформации материала в составе лопасти $\bar{\epsilon}_{max}$ определяется по формуле

$$\bar{\epsilon}_{max} = f_2 \times \epsilon_{max}/\delta_p, \quad (6.5.2.2-1)$$

где ϵ_{max} — величина максимальной макродеформации материала в составе лопасти;
 δ_p — равномерная относительная деформация стандартного образца до начала образования шейки текучести;
 f_2 — коэффициент запаса, равный 1,2 для медных сплавов и аустенитных сталей и 1,4 — для мартенситных сталей.

При расчетах значение $\bar{\epsilon}_{max}$ не должно приниматься более 1.

Значение δ_p рассчитывается по формуле

$$\delta_p = 0,7\delta_{min}, \quad (6.5.2.2-2)$$

где $\delta_{\min}$ — минимально требуемое в соответствии с техническими условиями относительное удлинение стандартного образца при одноосном растяжении.

Для аустенитных сталей и медных сплавов значение максимальной макродеформации $\varepsilon_{\max}$ определяется по формуле

$$\varepsilon_{\max} = 1,3 \left\{ \frac{(KV)^{0,2}}{[(\sigma_{0,2})_{\min}]^{0,4}} \right\} \frac{1}{[t(\bar{r}_1)]^{0,2}} \ln(1 + \delta_{\min}). \quad (6.5.2.2-3)$$

Для мартенситных сталей значение максимальной макродеформации $\varepsilon_{\max}$ определяется по формуле

$$\varepsilon_{\max} \cong 6,4 \frac{\sqrt{KV}}{(\sigma_{0,2})_{\min}} \frac{1}{[t(\bar{r}_1)]^{0,5}} \ln(1 + \delta_{\min}). \quad (6.5.2.2-4)$$

В формулах (6.5.2.2-3) и (6.5.2.2-4):

$t(\bar{r}_1)$ — расчетная толщина спрямленного корневого сечения лопасти на относительном радиусе $\bar{r}_1$, м;

KV — работа удара для образца с V-образным надрезом при температуре 0°C , Дж;

$(\sigma_{0,2})_{\min}$ — минимальный предел текучести материала лопасти (или минимальный условный предел текучести), гарантируемый техническими условиями на его поставку, МПа.

Расчетная толщина лопасти $t(\bar{r}_1)$, м, определяется по формуле

$$t(\bar{r}_1) = 0,85 t_{0,0}(\bar{r}_1), \quad (6.5.2.2-5)$$

где $t_{0,0}(\bar{r}_1)$ — толщина расчетного сечения лопасти на половине длины хорды на относительном радиусе $\bar{r}_1$, м (см. рис. 6.1.1-2).

При отсутствии данных для KV при температуре 0°C соответствующие значения могут быть определены по формуле

$$KV = \beta KV^{-10}, \quad (6.5.2.2-6)$$

где KV^{-10} — минимально требуемая в соответствии с техническими условиями величина работы удара для образца с V-образным надрезом при температуре -10°C , Дж;

β — коэффициент, определяемый в соответствии с рис. 6.5.2.2-1 в зависимости от минимально требуемой величины KV^{-10} .

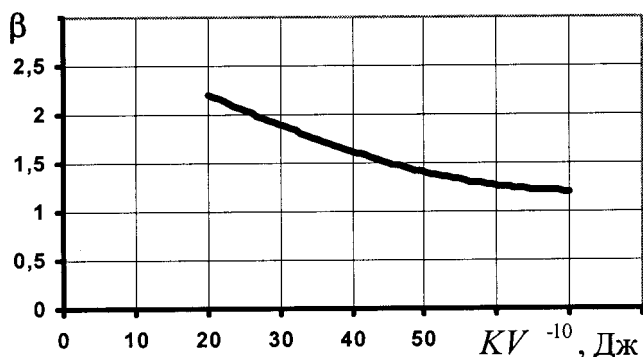


Рис. 6.5.2.2-1 Коэффициент β

6.5.2.3 Требования к напряжениям в элементах МИШ для обеспечения пирамидальной прочности.

Номинальные расчетные напряжения Мизеса σ_{eg} (эквивалентные) и смятия $(\sigma_{crush})_n$ в элементах МИШ, соответствующие действию предельного скручивающего момента Q_{spind}^{damage} , (см. 6.5.2.1), не должны превосходить нижеследующих максимально допустимых величин:

$$\sigma_{eg} \leq k_{safety}(\sigma_{0,2})_{\min}, \quad (6.5.2.3-1)$$

$$\text{где } \sigma_{eg} = \sqrt{(\sigma_{bend})_n^2 + 3\tau_n^2};$$

$(\sigma_{bend})_n$ — номинальное расчетное напряжение изгиба в элементе МИШ;

τ_n — номинальное расчетное касательное напряжение в элементе МИШ,

$$(\sigma_{crush})_n \leq k_{safety}(\sigma_{0,2})_{\min}, \quad (6.5.2.3-2)$$

В выражениях (6.5.2.3-1) и (6.5.2.3-2) k_{safety} — коэффициент безопасности, равный 0,75, $(\sigma_{0,2})_{\min}$ — минимальный предел текучести материала элемента МИШ (или минимальный условный предел текучести), гарантируемый техническими условиями на поставку.

Номинальные расчетные напряжения для основных проверяемых элементов МИШ должны определяться в соответствии с 6.5.4.

6.5.3 Требования к обеспечению усталостной прочности элементов МИШ ВРШ судов с ледовыми усилениями категорий ЛУ4 — ЛУ9 и ледоколов с ледовыми усилениями категорий ЛЛ6 — ЛЛ9.

6.5.3.1 Требования к величине ледовой расчетной нагрузки из условия усталостной прочности.

В качестве основной расчетной нагрузки для проверки прочных размеров элементов МИШ ВРШ из условия усталостной прочности принимается скручивающий момент $Q_{spind}^{fatigue}$, Н·м, относительно оси поворота лопасти от воздействия ледовой силы $(F_{ice})_{\max}$ на режиме фрезерования льда, определяемый по формуле

$$Q_{spind}^{fatigue} = k_{exp} k_{frict} (F_{ice})_{\max} b_{spind}, \quad (6.5.3.1)$$

где b_{spind} — расстояние от оси вращения лопасти до линии действия расчетной ледовой силы $(F_{ice})_{\max}$ в плоскости спрямленных радиальных сечений, м;

$(F_{ice})_{\max}$ — ледовая сила, действующая на лопасть в режиме фрезерования льда, Н;

k_{frict} — см. 6.5.2.1;

k_{exp} — см. 6.2.2.9.

Ледовая сила $(F_{ice})_{\max}$, действующая на лопасть, определяется в соответствии с 6.2.2.2.

6.5.3.2 Требования к напряжениям в элементах МИШ для обеспечения усталостной прочности.

Номинальные расчетные напряжения Мизеса σ_{eg} в элементах МИШ, соответствующие действию скручивающего момента $Q_{spind}^{fatigue}$ (см. 6.5.3.1), не должны превосходить следующих максимально допустимых значений:

$$\sigma_{eg} \leq \frac{0,45(\sigma_u)_{\min}}{\bar{\sigma}_y (k_{stress})_{ef}}, \quad (6.5.3.2-1)$$

где σ_{eg} — номинальное расчетное напряжение Мизеса, определяемое аналогично 6.5.2.3, МПа;
 $(\sigma_u)_{\min}$ — минимальная величина временного сопротивления (предела прочности на разрыв) материала элемента МИШ ВРШ, гарантируемая техническими условиями на его поставку;

$(k_{stress})_{ef}$ — эффективный коэффициент концентрации напряжений;

$\bar{\sigma}_y$ — безразмерное эквивалентное напряжение усталостной прочности.

Эффективный коэффициент концентрации напряжений $(k_{stress})_{ef}$ в местах соединения элементов МИШ должен определяться в соответствии с 6.5.5.

Безразмерное эквивалентное напряжение усталостной прочности $\bar{\sigma}_y$ определяется по формуле

$$\bar{\sigma}_y = 0,063[4 + \lg(N_{ice}/N_0)]^{1,25} + 0,1, \quad (6.5.3.2-2)$$

где $N_0 = 5 \times 10^6$;

N_{ice} — число нагружений лопасти ледовой нагрузкой.

Значение N_{ice} определяется по формуле

$$N_{ice} = 6,2 \times 10^8 k T_{ice} n, \quad (6.5.3.2-3)$$

где k — см. 6.1.3.2;

T_{ice} — см. 6.1.3.2;

n — см. 6.1.3.2.

6.5.4 Номинальные расчетные напряжения в элементах МИШ ВРШ.

Номинальные расчетные напряжения в проверяемых элементах МИШ ВРШ (см. 6.5.1) должны рассчитываться в соответствии с расчетными схемами на рис. 6.5.4-1 — 6.5.4-4.

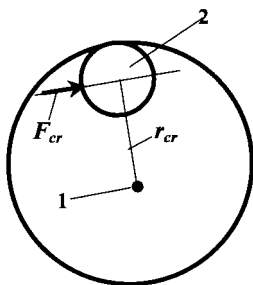


Рис. 6.5.4-1: 1 — центр вращения фланца лопасти; 2 — палец

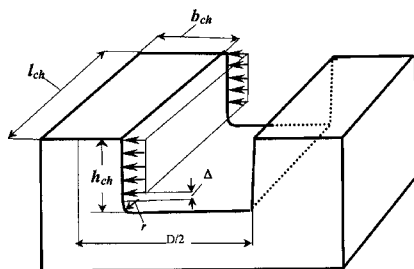


Рис. 6.5.4-2 Ползун

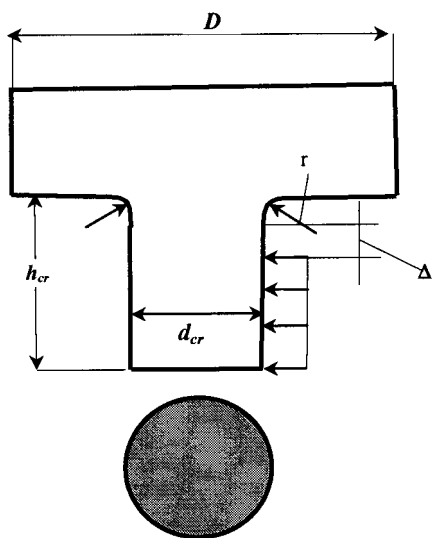


Рис. 6.5.4-3 Палец

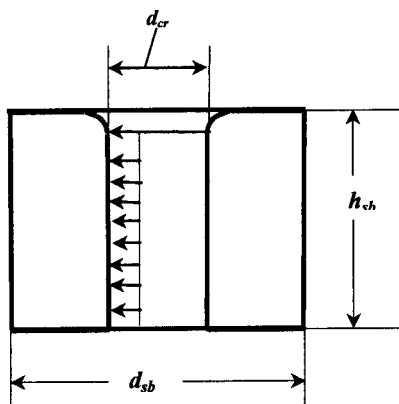


Рис. 6.5.4-4 Сухарь

6.5.4.1 Расчетная сила, действующая на палец.

Расчетная сила, действующая на палец, N , определяется по формуле

$$F_{cr} = Q_{spind} / r_{cr}, \quad (6.5.4.1)$$

где r_{cr} — расстояние от центра вращения лопасти до центра пальца, м (см. рис. 6.5.4-1);
 Q_{spind} — скручивающий лопасть момент относительно оси поворота, Н·м (Q_{spind}^{damage} или $Q_{spind}^{fatigue}$).

Примечание. В качестве Q_{spind} используется Q_{spind}^{damage} и $Q_{spind}^{fatigue}$ для расчета пирамидальной и усталостной прочности, соответственно.

6.5.4.2 Номинальные расчетные напряжения в пальце.

Номинальное расчетное напряжение изгиба в пальце, Па , определяется по формуле

$$(\sigma_{bend})_n = (Q_{bend})_{cr} / W_{cr}, \quad (6.5.4.2-1)$$

где $(Q_{bend})_{cr}$ — расчетный изгибающий палец момент, Н·м;

W_{cr} — расчетный момент сопротивления пальца, м^3 .

Расчетный изгибающий палец момент $(Q_{bend})_{cr}$, Н·м, определяется по формуле

$$(Q_{bend})_{cr} = F_{cr} h_{cr} / 2, \quad (6.5.4.2-2)$$

где h_{cr} — высота пальца, м (см. рис. 6.5.4-3).

Расчетный момент сопротивления пальца W_{cr} , м³, определяется по формуле

$$W_{cr} = \pi d_{cr}^3 / 32, \quad (6.5.4.2-3)$$

где d_{cr} — диаметр пальца, м (см. рис. 6.5.4-3).

Номинальное расчетное касательное напряжение в пальце, Па, определяется по формуле

$$(\tau_{cr})_n = \frac{F_{cr}}{\pi d_{cr}^2 / 4}, \quad (6.5.4.2-4)$$

6.5.4.3 Номинальное расчетное напряжение в сухаре.

Номинальное расчетное напряжение смятия в сухаре, Па, определяется по формуле

$$(\sigma_{crush})_n = F_{cr} / h_{sb} d_{cr}, \quad (6.5.4.3-1)$$

где F_{cr} — расчетная сила, действующая на палец, Н (см. 6.5.4.1);

h_{sb} — высота сухаря, м (см. рис. 6.5.4-4).

6.5.4.4 Номинальные расчетные напряжения в ползуне.

Номинальное расчетное напряжение изгиба в ползуне, Па, определяется по формуле

$$(\sigma_{bend})_n = (Q_{bend})_{cr} / W_{ch}, \quad (6.5.4.4-1)$$

где $(Q_{bend})_{cr}$ — расчетный изгибающий момент, Н·м (см. 6.5.4.2);

W_{ch} — расчетный момент сопротивления выступа ползуна, м³.

Расчетный момент сопротивления выступа ползуна W_{ch} , м³, определяется по формуле

$$W_{ch} = l_{ch} b_{ch}^2 / 6, \quad (6.5.4.4-2)$$

где l_{ch} и b_{ch} — продольный и поперечный размеры выступа ползуна, м, соответственно (см. рис. 6.5.4-2).

Номинальное расчетное касательное напряжение в ползуне, Па, определяется по формуле

$$(\tau_{ch})_n = F_{cr} / (l_{ch} b_{ch}), \quad (6.5.4.4-3)$$

где F_{cr} — расчетная сила, действующая на палец, Н (см. 6.5.4.1);

6.5.5 Эффективный коэффициент концентрации напряжений.

6.5.5.1 Для пальца и ползуна величина эффективного коэффициента концентрации напряжений должна определяться в соответствии с расчетными схемами на рис. 6.5.4-1 — 6.5.4-4.

Величина эффективного коэффициента концентрации напряжений должна рассчитываться по формуле

$$(k_{stress})_{ef} = \frac{(k_{stress})_{th}}{k_{scale}\{1 + 0,3[1 - 0,5\lg(L/G)]\}} + k_{surf} \frac{(\sigma_u)_{\min}}{500}, \quad (6.5.5.1)$$

где $(k_{stress})_{th}$ — теоретический коэффициент концентрации напряжений;

k_{scale} — коэффициент, учитывающий влияние абсолютных размеров рассчитываемой детали;

L/G — коэффициент, характеризующий отношение размера напряженной зоны концентратора напряжений L к градиенту G действующих напряжений в этом концентраторе;

k_{surf} — коэффициент, учитывающий обработку и состояние поверхности;

$(\sigma_u)_{\min}$ — минимальная величина временного сопротивления (предела прочности на разрыв) элемента МИШ, гарантируемая техническими условиями на его поставку, МПа.

6.5.5.2 Теоретический коэффициент концентрации напряжений $(k_{stress})_{th}$ рассчитывается следующим образом:

для пальца:

$$(k_{stress})_{th} = \alpha_1 \left[1 + \frac{0,45}{1 + 0,07(\Delta/r)^2} \right], \quad (6.5.5.2-1)$$

$$\alpha_1 = 1 + \frac{0,062}{\bar{r}^{0,72}} \left[1 + 1,2 \left(\frac{D}{d_{cr}} - 1 \right)^{0,2} \right], \quad (6.5.5.2-2)$$

где $\bar{r} = r/d_{cr}$;

r — радиус галтели;

Δ , D , d_{cr} , r — см. рис.6.5.4-3;

для ползуна:

$$(k_{stress})_{th} = \alpha_2 \left[1 + \frac{0,75}{1 + 0,07(\Delta/r)^2} \right], \quad (6.5.5.2-3)$$

$$\alpha_2 = 1 + \frac{0,080}{\bar{r}^{0,65}} \left[1 + 1,4 \left(\frac{D}{b_{ch}} - 1 \right)^{0,2} \right], \quad (6.5.5.2-4)$$

$\bar{r} = r/b_{ch}$;

Δ , D , b_{ch} , r — см. рис. 6.5.4-2.

6.5.5.3 Коэффициент k_{scale} , учитывающий влияние абсолютных размеров рассчитываемой детали, рассчитывается следующим образом:

для пальца:

$$k_{scale} = \frac{1}{1 + k_b(100d_{cr} - 1)}, \quad (6.5.5.3-1)$$

где d_{cr} — диаметр пальца, м (см. рис. 6.5.4-3);

для ползуна:

$$k_{scale} = \frac{1}{1 + k_b(100b_{ch} - 1)}, \quad (6.5.5.3-2)$$

где b_{ch} — поперечный размер выступа ползуна, м (см. рис. 6.5.4-2);
 k_b — коэффициент, значения которого представлены в табл. 6.5.5.3.

Таблица 6.5.5.3

№ п/п	Материал	Значения коэффициента k_b
1	Углеродистая сталь	0,005
2	Легированная сталь	0,01
3	Чугун с шаровидным графитом	0,016
4	Модифицированный чугун	0,03
5	Серый чугун	0,25

6.5.5.4 Коэффициент L/G рассчитывается следующим образом:

для пальца:

$$L/G = \frac{10^3 \times r}{[2,3/(10^3 \times r)] + [2/(10^3 \times d_{cr})]}, \quad (6.5.5.4-1)$$

где r, d_{cr} — размеры согласно рис.6.5.4-3, м;

для ползуна:

$$L/G = \frac{10^3 \times r}{[2,3/(10^3 \times r)] + [2/(10^3 \times b_{ch})]}, \quad (6.5.5.4-2)$$

где r и b_{ch} — размеры согласно рис. 6.5.4-2, м.

6.5.5.5 Коэффициент k_{surf} учитывающий обработку и состояние поверхности.

Значения коэффициента k_{surf} представлены в табл. 6.5.5.5.

Таблица 6.5.5.5

№ п/п	Способ обработки поверхности	Коэффициент k_{surf}
1	Шлифование	0,05
2	Тонкая обточка	0,12
3	Грубая обточка	0,20

6.5.6 Требования к материалам элементов МИШ.

6.5.6.1 В качестве основного материала для изготовления деталей МИШ должна использоваться сталь, отвечающая требованиям гл. 3.7 и 3.8 части XIII «Материалы». Применение чугуна может быть допущено только при специальном согласовании с Регистром результатов испытаний на ударную вязкость и усталостную прочность.

6.5.6.2 Средняя величина предела усталостной прочности материала $\sigma_-(N)$, определяемая на гладких стандартных образцах диаметром $d \approx 10$ мм при симметричном цикле нагружения вращательным изгибом и при числе циклов нагружения $N = (1 \div 5) \times 10^6$, не должна быть ниже определяемой из условия

$$\sigma_{-}(N) \geq 0,4\sigma_u(5 \times 10^6/N)^{1/8},$$

где σ_u — временное сопротивление материала (минимальное значение).

Число испытываемых образцов должно быть не менее 10.

Коэффициент изменчивости v результатов определения σ_{-} (отношение среднеквадратичного отклонения к среднему значению) при указанном числе испытанных образцов должен быть не более 0,07.

6.5.6.3 В соответствии с требованиями разд. 3 части XIII «Материалы» отливки, используемые для деталей МИШ, не должны иметь дефектов, отрицательно влияющих на применение их по назначению. Критерии оценки и размеры допускаемых дефектов подлежат согласованию с Регистром в составе проектно-технической документации на изделие.

Глава 6.6. ТРЕБОВАНИЯ К ВЕЛИЧИНЕ ПРЕДЕЛЬНОЙ ЛЕДОВОЙ НАГРУЗКИ НА ГЛАВНЫЕ ВИНТОРУЛЕВЫЕ КОЛОНКИ ЛЕДОКОЛОВ И СУДОВ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ

6.6.1 В настоящей главе приведены формулы для определения предельных ледовых нагрузок, связанных с воздействием льда на главные винторулевые колонки (ГВРК): ледовой силы F_{ice} , ледового изгибающего момента M_b и ледового момента сопротивления вращению винторулевой колонки M_r .

Для судов ледового плавания расчетные формулы применимы для водоизмещений 1000 т и более. Для судов ледового плавания с водоизмещением менее 1000 т определение ледовой нагрузки на ГВРК является в каждом случае предметом специального рассмотрения Регистром.

Предельная ледовая нагрузка принимается в качестве основной расчетной для проверки статической прочности соединений и элементов крепления ГВРК к корпусу.

6.6.2 Ледовую нагрузку на ГВРК от воздействия льда необходимо принимать по наибольшему значению, определенному для одного из расчетных сценариев взаимодействия ГВРК со льдом:

- 1** удар ГВРК о притопленный корпусом обломок льда;
- 2** нагрузка от поломки лопасти гребного винта ГВРК при взаимодействии со льдом;
- 3** нагрузка от прорезания льда корпусом ГВРК (этот вид нагрузки учитывается только для ледоколов).

6.6.3 Расчетная ледовая сила F_{ice} , МН, действующая на ГВРК, определяется по формулам:

- 1** при ударе о притопленный корпусом обломок льда:

$$F_{ice} = (1 + m l_{\text{ГВРК}})(q_1 + q_2 \Delta), \quad (6.6.3.1)$$

где $l_{ГВРК}$ — наибольший продольный размер ГВРК, м;

Δ — водоизмещение судна, т;

m — коэффициент равный:

0,081 — для судов ледового плавания с ледовыми усилениями категорий ЛУ4 — ЛУ6,

0,051 — для судов ледового плавания с ледовыми усилениями категорий ЛУ7 — ЛУ9,

0,041 — для ледоколов;

q_1, q_2 — коэффициенты, зависящие от типа судна и категории ледовых усиления для судов ледового плавания и мощности N_E , кВт, для ледоколов.

Для судов ледового плавания значения коэффициентов выбираются в соответствии с табл. 6.6.3.1.

Для ледоколов значения коэффициентов q_1, q_2 вычисляются по следующим формулам:

Таблица 6.6.3.1

Значения коэффициентов q_1, q_2 в формуле (6.3.3.1) для судов ледового плавания

Категория судна	ЛУ4	ЛУ5	ЛУ6	ЛУ7	ЛУ8	ЛУ9
q_1	0,01254	0,00596	−0,03446	0,07692	0,1038	0,835
$q_2 \times 10^6$	4,021	9,37	17,02	59,74	116,78	238

для ледоколов водоизмещением 10000 т и более и мощностью N_E 10000 кВт и более:

$$q_1 = (-3,763 + 6,218 \times 10^{-4} N_E) / (0,5 + 5 \times 10^{-5} N_E),$$

$$q_2 = (7,035 \times 10^{-6} - 1,374 \times 10^{-9} N_E + 7,945 \times 10^{-14} N_E^2) / (0,5 + 5 \times 10^{-5} N_E);$$

для ледоколов водоизмещением менее 10000 т и мощностью менее 10000 кВт:

$$q_1 = (-3009,6 / N_E) + 1,00079 + 1,62688 \times 10^{-4} N_E,$$

$$q_2 = (0,142277 / N_E) - 5,64547 \times 10^{-5} + 6,17401 \times 10^{-9} N_E;$$

2 при разрушении лопасти при взаимодействии со льдом:

$$F_{ice} = 0,3 \frac{\sigma_n c_r t_r^2}{D[0,9 - (R_R / R)]} 10^{-3}, \quad (6.6.3.2)$$

где $\sigma_n = 0,37\sigma_b + 0,6\sigma_y$,

σ_b — предел прочности материала лопасти на растяжение, Н/мм²;

σ_y — предел текучести материала лопасти, Н/мм²;

c_r — длина хорды на расчетном радиусе R_R , мм;

t_r — толщина сечения на расчетном радиусе R_R , мм;

D — диаметр гребного винта, м;

$R = D/2$, м;

R_R — расчетный радиус, на котором заканчивается галтель.

Сила приложена на расстоянии $0,9R$ от оси вращения винта;

.3 при прорезании льда корпусом ГВРК:

$$F_{ice} = 6,6R_{comp}bh_{ice}, \quad (6.6.3.3)$$

где R_{comp} — нормативное сопротивление льда сжатию, МПа, определяемое по табл. 6.6.3.3.

b — ширина стойки ГВРК, м;

h_{ice} — расчетная толщина льда, определяемая по формуле

$$h_{ice} = 0,04 + 18,9(P_E/B) - 25,6(P_E/B)^2,$$

где B — ширина ледокола, м;

P_E — тяга движительного комплекса ледокола на швартовном режиме, МН.

Таблица 6.6.3.3

Предел прочности льда на сжатие, МПа

Соленость льда, %	Нормативное сопротивление льда сжатию при среднесуточной температуре - 20°C, МПа
Менее 1 (пресный лед)	1,5
1 — 2	1,35
3 — 6	1,23

Если данные о тяге движительного комплекса отсутствуют, то приближенно она может быть рассчитана по формуле

$$P_E = \begin{cases} (1 + 0,3k_n)[1 + 0,26(k_P - 1)](0,0716N_E)^{0,75} & \text{при } k_P \leq 2 \\ (1 + 0,3k_n)[1 + 0,43(k_P - 2)](0,0716N_E)^{0,75} & \text{при } k_P = 3 \end{cases},$$

где k_n — коэффициент, указывающий на наличие насадки, равный:

1 — если на винт установлена насадка,

0 — если насадка не установлена;

k_P — число гребных винтов на ледоколе.

6.6.4 Расчетный изгибающий момент M_b , МН·м, действующий на ГВРК, определяется по формулам:

.1 при ударе о плавающий обломок льда:

$$M_b = F_{ice}h_{ГВРК}, \quad (6.6.4.1)$$

где F_{ice} — расчетное значение ледовой силы, определяемое по формуле (6.6.3.1);

$h_{ГВРК}$ — высота ГВРК, отсчитываемая от оси гребного вала до точки крепления ГВРК к корпусу;

.2 при поломке лопасти:

$$M_b = F_{ice}(h_{ГВРК} + 0,45D), \quad (6.6.4.2)$$

где D — диаметр гребного винта, м;

F_{ice} — расчетное значение ледовой силы, определяемое по формуле (6.6.3.2);

.3 при прорезании льда стойкой ГВРК:

$$M_b = 0,5 F_{ice} h_{ice}, \quad (6.6.4.3)$$

где F_{ice} — расчетное значение ледовой силы, определяемое по формуле (6.6.3.3).

6.6.5 Расчетный момент сопротивления вращению винторулевой колонки, M_r , действующий на ГВРК, определяется по формулам:

.1 при ударе о плавающий обломок льда:

$$M_r = F_{ice} l_{ГВРК} / 3, \quad (6.6.5.1)$$

где F_{ice} — расчетное значение ледовой силы, определяемое по формуле (6.6.3.1);

.2 при поломке лопасти:

$$M_r = 0,45 F_{ice} D, \quad (6.6.5.2)$$

где F_{ice} — расчетное значение ледовой силы, определяемое по формуле (6.6.3.2).

РОССИЙСКИЙ МОРСКОЙ РЕГИСТР СУДОХОДСТВА
СБОРНИК НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ
Книга двенадцатая

Ответственный за выпуск *Е.Б.Мюллер*

Главный редактор *Г.В.Шелкова*

Редактор *Е.Н.Сапожникова*

Компьютерная верстка *С.С.Ларионова*

Лицензия ИД № 04771 от 18.05.01

Подписано к печати 20.11.02. Формат 60 × 84/16.

Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 1,7.

Уч.-изд. л. 1,6. Тираж 300. Заказ 2138.

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