

РОССИЙСКИЙ МОРСКОЙ РЕГИСТР СУДОХОДСТВА

СБОРНИК НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Книга двадцатая



**Санкт-Петербург
2010**

В настоящем Сборнике нормативно-методических материалов публикуются:

Проект новой редакции требований раздела 6 части VII «Механические установки» Правил классификации и постройки морских судов;

Инструкция по применению лакокрасочных покрытий на судах, плавучих буровых установках и морских стационарных платформах;

Руководство по единым эксплуатационным ограничениям для высокоскоростных судов.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЕКТ НОВОЙ РЕДАКЦИИ ТРЕБОВАНИЙ РАЗДЕЛА 6 ЧАСТИ VII «МЕХАНИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ» ПРАВИЛ КЛАССИФИКАЦИИ И ПОСТРОЙКИ МОРСКИХ СУДОВ

6	Двигатели	7
6.1	Общие указания и требования.....	7
6.2	Требования к лопастям гребных винтов судов с ледовыми усилениями категорий Arc4 – Arc9 и ледоколов с ледовыми усилениями категорий Icebreaker6 – Icebreaker9	8
6.3	Требования к лопастям гребных винтов судов без ледовых усилений и с ледовыми усилениями категорий Icel – Ice3	22
6.4	Ступица и детали крепления лопасти.....	25
6.5	Балансировка винтов.....	35
6.6	Винты регулируемого шага	36
6.7	Гидравлические испытания	37
6.8	Специальные требования.....	37
Приложение	Требования к обеспечению пирамидальной и усталостной прочности элементов МИШ для гребных винтов судов ледового плавания арктических категорий Arc4 – Arc9 и ледоколов.....	38

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СУДАХ, ПЛАВУЧИХ БУРОВЫХ УСТАНОВКАХ И МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМАХ

Введение	47
1 Область применения	48
2 Термины и определения	48
3 Обозначения и сокращения	50
4 Нормативные ссылки	50
4.1 Перечень международных стандартов, регламентирующих работы по подготовке лакокрасочных материалов перед их нанесением, технологические операции по подготовке поверхности и нанесению лакокрасочных материалов, по охране труда и окружающей среды	50

5	Теоретические представления о защите металла лакокрасочными покрытиями	52
5.1	Механизм защитного действия и разрушения лакокрасочных покрытий	52
5.2	Общие сведения о пленкообразовании	55
5.3	Общие сведения о лакокрасочных материалах	57
5.4	Основные компоненты лакокрасочных материалов	59
5.5	Типы красок	61
5.6	Совместимость материалов в системах лакокрасочных покрытий	64
5.7	Принципы выбора лакокрасочных материалов для различных условий эксплуатации	68
6	Системы окраски	80
6.1	Классификация окружающих сред и окрашиваемых поверхностей	80
6.2	Срок службы	81
6.3	Системы красок для подводной части	82
6.4	Системы красок для балластных танков	82
6.5	Системы красок для морских платформ	83
7	Общие положения по проведению подготовительно-окрасочных работ	86
7.1	Планирование	86
7.2	Ответственность	87
7.3	Полномочия	87
7.4	Предоставление оборудования	87
7.5	Удаление отработанных расходных материалов	87
7.6	Прочее	87
7.7	Установка лесов и подмостей, доступность и освещение	88
7.8	Технологическая защита оборудования	89
7.9	Другие условия	89
7.10	Входной контроль ЛКМ и документации	89
7.11	Документация	90
8	Охрана труда, здоровья и окружающей среды	90
8.1	Безопасность при окраске	90
8.2	Требования охраны окружающей среды	91
9	Подготовка поверхности	93
9.1	Подготовка перед струйной очисткой	93
9.2	Струйная очистка	93
9.3	Окончательные условия для подготовки поверхности	94
9.4	Очистка ручным и механическим инструментом	94

10	Нанесение покрытия	94
10.1	Общие вопросы.....	94
10.2	Подготовка перед нанесением.....	95
10.3	Оборудование для нанесения.....	95
10.4	Нанесение.....	95
11	Контроль за соблюдением требований при нанесении покрытия	97
11.1	Квалификация персонала.....	97
11.2	Документация по контролю качества.....	97
11.3	Условия приемки.....	98
11.4	Контроль и испытания.....	98
11.5	Адгезия.....	101
11.6	Толщина покрытия.....	101
12	Исправление дефектов	103
12.1	Общие требования.....	103
12.2	Несоответствующая толщина покрытий.....	103
12.3	Загрязненные поверхности.....	103
12.4	Повреждения покрытия, не обнажающие поверхности стали.....	103
12.5	Повреждения покрытия, обнажающие поверхность стали.....	104
13	Область деятельности инспектора по покрытиям	107
13.1	Обязанности.....	107
13.2	Навыки.....	109
13.3	Особенности деятельности.....	110
Приложение 1. Лист согласования окрасочных работ.....		112
Приложение 2. Информация о нормативных документах, в которых представлены системы окраски.....		114
Приложение 3. Окончательный инспекционный отчет о подготовке поверхности к нанесению защитного покрытия.....		116

РУКОВОДСТВО ПО ЕДИНЫМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ ОГРАНИЧЕНИЯМ ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ СУДОВ

1	Введение	121
2	Максимальное удаление от места убежища	122
3	Имеющиеся ресурсы спасения и оперативной поддержки	122
4	Сила ветра, минимальная температура воздуха, видимость и глубина воды	124
5	Ограничения по состоянию моря – значительная высота волны	125

5.1	Общие положения	125
5.2	Аварийная остойчивость	125
5.3	Конструктивная безопасность	125
5.4	Динамическая устойчивость	126
5.5	Безопасное использование эвакуационных систем и спасательных средств	127
5.6	Ограничения для безопасного управления	128
6	Испытания, демонстрирующие соотношение между эксплуатационными характеристиками и эксплуатационными ограничениями	130
7	Навигационные вопросы	131
8	Представление эксплуатационных ограничений	132
Приложение 1. Визуальная оценка значительной высоты волны.....		135
Приложение 2. Руководство по эксплуатации высокоскоростных судов в условиях попутного волнения и волн с кормовых курсовых углов.....		140

ПРОЕКТ НОВОЙ РЕДАКЦИИ ТРЕБОВАНИЙ РАЗДЕЛА 6 ЧАСТИ VII «МЕХАНИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ» ПРАВИЛ КЛАССИФИКАЦИИ И ПОСТРОЙКИ МОРСКИХ СУДОВ

В раздел 6 части VII «Механические установки» Правил классификации и постройки морских судов включены новые требования Регистра к прочным размерам ледакольных гребных винтов (ЛГВ) судов ледового плавания арктических категорий и ледаколов (толщины лопастей, прочные размеры элементов механизма изменения шага, болты крепления лопастей к ступице) из совместного обеспечения усталостной и пирамидальной прочности.

Целью публикации проекта новой редакции раздела 6 является апробирование новых требований Российского морского регистра судоходства. По согласованию с Регистром представленный проект может быть использован в дополнение к существующему тексту указанных Правил.

Проект подготовлен гл. специалистом отдела 009 д. т. н. А.В. Андрушиным, д. т. н. Ф.М. Кацманом, д. т. н. Г.В. Бойцовым при участии Н.Д. Лемус.

6 ДВИЖИТЕЛИ

6.1 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ И ТРЕБОВАНИЯ

6.1.1 Требования настоящего раздела распространяются на металлические гребные винты фиксированного шага (ВФШ) цельнолитые и со съёмными лопастями, а также на винты регулируемого шага (ВРШ).

6.1.2 Конструкция и размеры винтов главных средств активного управления судами (САУС) должны отвечать 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.

6.2 ТРЕБОВАНИЯ К ЛОПАСТЯМ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ СУДОВ С ЛЕДОВЫМИ УСИЛЕНИЯМИ КАТЕГОРИЙ Arc4 – Arc9 и ЛЕДОКОЛОВ С ЛЕДОВЫМИ УСИЛЕНИЯМИ КАТЕГОРИЙ Icebreaker6 – Icebreaker9

6.2.1 Общие требования к проверке и назначению прочных размеров лопастей гребных винтов судов с ледовыми усилениями категорий Arc4 – Arc9 и ледоколов с ледовыми усилениями категорий Icebreaker6 – Icebreaker9.

В 6.2.1 – 6.2.5 представлен поверочный метод для прочных размеров лопастей гребных винтов грузовых и пассажирских судов с ледовыми усилениями категорий Arc4 – Arc9 и ледоколов с ледовыми усилениями категорий Icebreaker6 – Icebreaker9. Назначение прочных размеров лопастей гребных винтов, диаметром больших 5,7 м, является в каждом случае предметом специального рассмотрения Регистром.

Прочные размеры лопастей гребных винтов назначаются из условия совместного обеспечения усталостной и статической прочности от воздействия ледовых нагрузок (см. 6.2.2). Средний ресурс лопасти из условия обеспечения усталостной прочности должен составлять не менее 50 лет, а минимальный ресурс – не менее 25 лет с обеспеченностью 0,999.

Представленный метод применим к открытым гребным винтам и винтам в насадках фиксированного и регулируемого шага. Метод распространяется на кормовые и носовые гребные винты, включая гребные винты судов двойного действия.

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 .

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.

При большой конусности ступицы радиусы жесткозаделанного сечения $\bar{r}_{hub}$ и основного расчетного $\bar{r}_1$ должны определяться вдоль вертикальной оси 1, проходящей через центр расчетного сечения на радиусе $\bar{r}_1$, в соответствии с рис. 6.2.1-2.

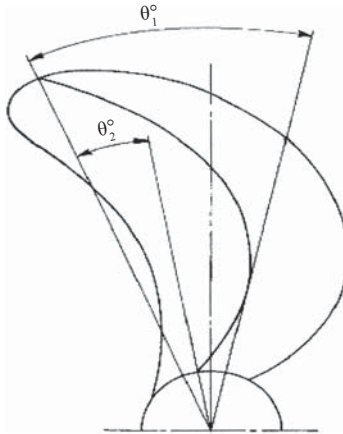


Рис. 6.2.1-1:

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

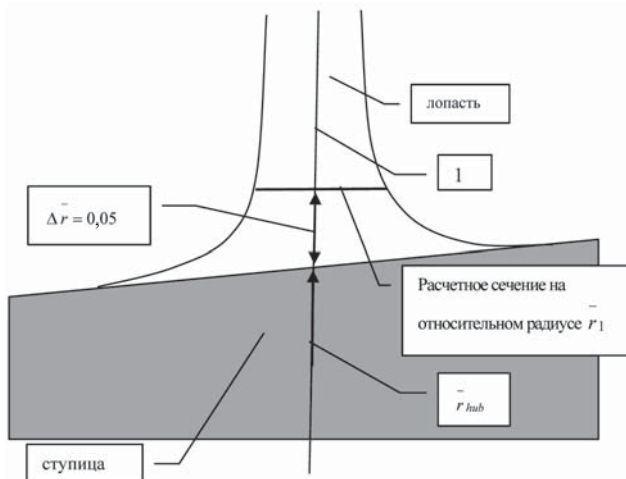


Рис. 6.2.1-2

Схема расположения расчетного корневой сечения на относительном радиусе $\bar{r}_1$ при большой конусности ступицы

Толщина спрямленного корневого сечения на радиусе $\bar{r}_1 = \bar{r}_{\text{hub}} + 0,05$ регламентируется в трех точках, соответственно, на координатах $\xi_{0,6}(\bar{r}_1) = 0,6[c(\bar{r}_1)/2]$; $\xi_{0,0}(\bar{r}_1) = 0,0$; $\xi_{-0,6}(\bar{r}_1) = -0,6[c(\bar{r}_1)/2]$ (см. рис. 6.2.1-3).

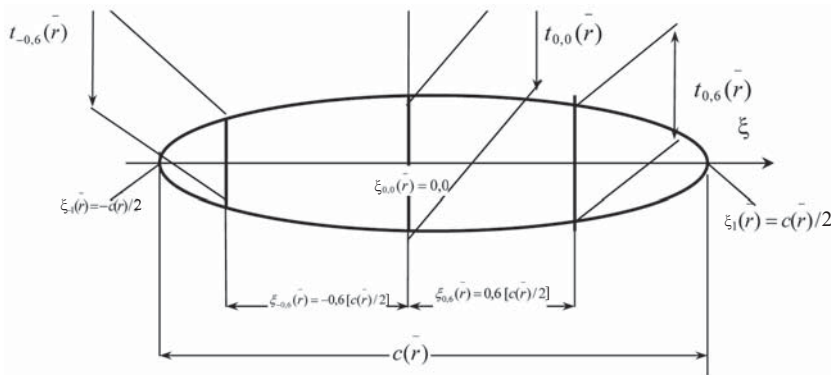


Рис. 6.2.1-3

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 $\bar{r}_1$.

Толщина кромок лопастей регламентируется для спрямленного цилиндрического сечения $\bar{r}_1 = 0,8$ на координатах $\xi_{0,9}(\bar{r} = 0,8) = 0,9[c(\bar{r} = 0,8)/2]$ и $\xi_{-0,9}(\bar{r} = 0,8) = -0,9[c(\bar{r} = 0,8)/2]$ (см. также 6.2.4.4).

На относительном радиусе $\bar{r}_1 = 1$ толщина лопасти проверяется без учета скругления.

6.2.2 Расчетные ледовые нагрузки для назначения прочных размеров лопастей гребных винтов судов с ледовыми усилениями категорий Arc4 – Arc9 и ледоколов с ледовыми усилениями категорий Icebreaker6 – Icebreaker9.

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 для назначения прочных размеров лопастей гребных винтов. При эксплуатации судна в тяжелых ледовых условиях указанные эксплуатационные режимы должны быть максимально ограничены и выполняться с предельной осторожностью.

Для бортовых гребных винтов параметры расчетных ледовых нагрузок, представленные в данном разделе, соответствуют направлению вращения гребных винтов наружу от корпуса при движении судна носом вперед. При направлении вращения бортовых гребных винтов «внутри корпуса» для режима движения судна носом вперед назначение параметров расчетных ледовых нагрузок является в каждом случае предметом специального рассмотрения Регистром.

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 в 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).

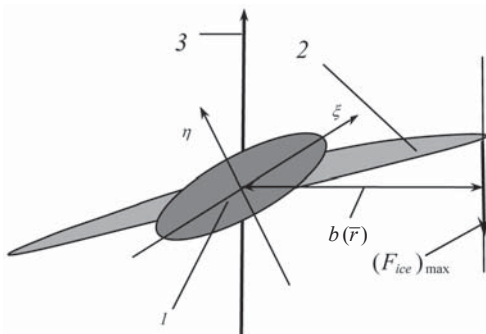


Рис. 6.2.2.2

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

$$(F_{ice})_{max} = 10^3 \cdot [22 + 24 \cdot e^{-0,17 \cdot \alpha(\bar{r}=0,9)}] \cdot D^{1,6} c_{mean} \sigma_{compr}(\bar{r}=0,8), \quad (6.2.2.2)$$

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

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

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 $\sigma(\bar{r})$ на относительном радиусе $\bar{r}$.

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

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

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

n_{design} – расчетная частота вращения гребного винта, с⁻¹, определяемая в соответствии с 6.2.2.6;

V_{ice} – расчетная скорость взаимодействия гребного винта со льдом, м/с (см. 6.2.2.7);

$\pi = 3,14$.

Значение расчетного угла атаки не должно быть меньше 0.

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

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

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

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

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

Для гребных ВРШ в качестве расчетного шага $H_{design}(\bar{r})$ принимается

$$H_{design}(\bar{r}) = 0,8 H_{constr}(\bar{r}),$$

где $H_{constr}(\bar{r})$ – установочный шаг на $\bar{r}$, соответствующий скорости судна $V_{ship} = V_{ice} / (1 - W)$ при полной мощности пропульсивной установки (на валу);

V_{ice} – расчетная скорость взаимодействия гребного винта со льдом (см. 6.2.2.7);

W – коэффициент расчетного попутного потока, соответствующий скорости судна V_{ship} при полной мощности.

6.2.2.6 Расчетная частота вращения гребного винта.

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

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

где $n_{bollard}$ – частота вращения гребного винта на швартовом режиме при полной мощности пропульсивной установки, c^{-1} .

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

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

где n_{constr} – частота вращения ВРШ для установочного шага $H_{constr}(\bar{r})$, соответствующего скорости судна $V_{ship} = V_{ice} / (1 - W)$ при полной мощности пропульсивной установки (на валу), c^{-1} .

6.2.2.7 Расчетная скорость взаимодействия гребного винта со льдом.

Для пассажирских и грузовых судов арктических категорий 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

Категория ледового усиления	Arc4 – Arc6			Arc7 – Arc9, ледоколы		
	цен- тральное	бортовое	носовое	цен- тральное	бортовое	носовое
Расчетная скорость взаимодействия гребного винта со льдом V_{ice} , м/с	4,12	5,15	5,15	4,9	6,2	6,2

Табл. 6.2.2.7 распространяется также на буксиры ледовых категорий **Arc4**, **Arc5**. Для указанных буксиров значения V_{ice} могут быть уменьшены по согласованию с Регистром. В этом случае назначение значений V_{ice} является предметом специального рассмотрения Регистром.

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

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

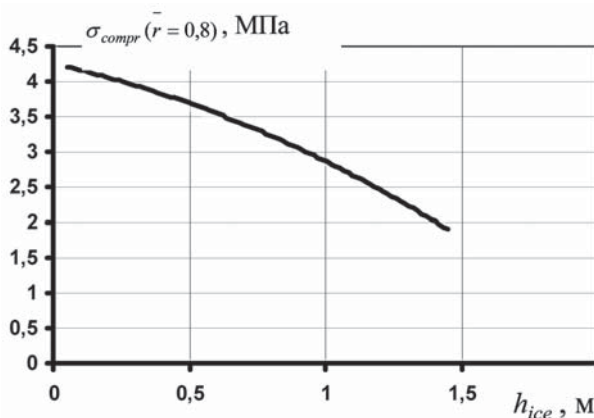


Рис. 6.2.2.8

Прочность льда при одноосном сжатии в зависимости от глубины ледового покрова

Для судов арктической категории **Arc4** и ледоколов категории **Icebreaker6** расчетная прочность льда $\sigma_{compr}(\bar{r} = 0,8)$ 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

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

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

$\varphi_{design}(\bar{r})$ – шаговый угол на относительном радиусе $\bar{r}$, определяемый в соответствии с требованиями 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

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

где k_{exp} – коэффициент, учитывающий определение изгибающего и скручивающего моментов через расстояния в плоскости спрямленных сечений, принимаемый равным 0,7;

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

6.2.3 Допустимые напряжения для назначения прочных размеров лопастей гребных винтов грузовых и пассажирских судов с ледовыми усилениями категорий Arc4 – Arc9 и ледоколов с ледовыми усилениями категорий Icebreaker6 – Icebreaker9.

6.2.3.1 Прочные размеры лопастей гребных винтов судов с ледовыми усилениями категорий Arc4 – Arc9 и ледоколов с ледовыми усилениями категорий Icebreaker6 – Icebreaker9 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, определяются по формуле

$$(\sigma_{perm})_S = k_{safety}^{st} \cdot \sigma_{0,2}, \quad (6.2.3.2)$$

где $\sigma_{0,2}$ – минимальный предел текучести материала лопасти (или минимальный условный предел текучести), гарантируемый техническими условиями на его поставку, Па;
 k_{safety}^{st} – коэффициент безопасности, учитывающий снижение допустимых напряжений с учетом реальных свойств отливок, принимаемый равным: 0,8 – для сталей; 0,95 – для бронз.

6.2.3.3 Допустимые напряжения из условия усталостной прочности.

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

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

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 $n_{bollard}$, а также принятая согласно 6.2.2.6 проектная частота вращения ВРШ для конструктивного шага на расчетном режиме при полной мощности n_{const} , с⁻¹;

σ_{-} – условный предел усталостной прочности лопасти гребного винта в морской воде при числе циклов нагружения $N_0 = 5 \cdot 10^7$, Па, определяемый в соответствии с формулой (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 , определяемая 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
	Arc4	Arc5	Arc6	Arc7	Arc8	Arc9	Icebreaker6 – Icebreaker9
T_{ice}	2E-3	3E-3	4E-3	5,5E-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	2

Функция от $\psi(m)$

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

Для гребных винтов в составе главных винторулевых колонок относительное время взаимодействия, приведенное 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 $N_0 = 5 \cdot 10^7$ определяется по формуле

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

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

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

$k_{var} = 0,82$; $k_{surf} = 1$ – для лопастей без упрочнения поверхности;

$k_{var} = 0,87$; $k_{surf} = 1,2$ – для лопастей, поверхность которых упрочнена дробеструйной обработкой.

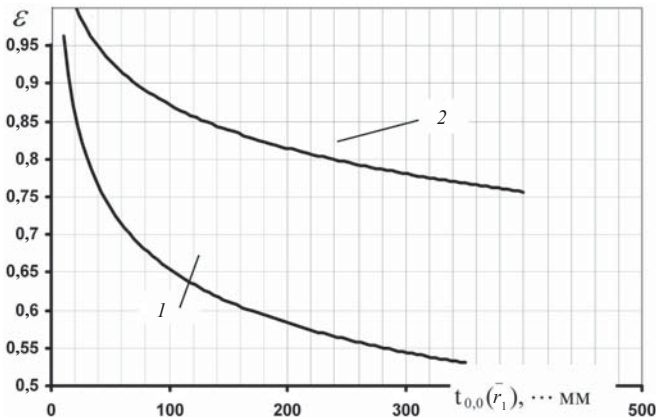


Рис. 6.2.3.3

Коэффициент влияния абсолютных размеров лопасти на усталостную прочность:

1 – сталь; 2 – медные сплавы

Коэффициент k_{var} учитывает влияние вероятностно-статистического разброса усталостной прочности лопасти гребного винта. Коэффициент k_{surf} учитывает влияние обработки поверхности лопасти на ее усталостную прочность.

Для улучшения усталостной прочности лопастей рекомендуется упрочнять их поверхность обкаткой роликом. В этом случае коэффициенты k_{var} , k_{surf} аналогичны коэффициентам для дробеструйного упрочнения. Для лопастей, поверхность которых упрочнена обкаткой роликом, допускается использование уточненных значений коэффициентов k_{var} , k_{surf} . Назначение уточненных значений соответствующих коэффициентов с целью уменьшения прочных размеров лопастей является в каждом случае предметом специального рассмотрения Регистром.

Рекомендуется использование высококоррозионных сталей с высокими усталостными характеристиками в морской воде. В табл. 6.2.3.3-4, 6.2.3.3-5 представлены химический состав и прочностные характеристики сталей, применение которых апробировано многолетней эксплуатацией в полярных водах.

Таблица 6.2.3.3-4

**Химический состав винтовых коррозионно-стойких сталей
для изготовления гребных винтов**

Марка стали	Массовая доля химических элементов, %								
	C	Mn	Si	Cr	Ni	Cu	Mo	S	P
	He более		He более					He более	
08X14НДЛ	0,08	0,5 – 0,8	0,4	13,0 – 14,5	1,2 – 1,6	0,8 – 1,2	–	0,015	0,015
08X15Н4ДМЛ	0,08	1,0 – 1,5	0,4	14,0 – 16,0	3,5 – 3,9	1,0 – 1,4	0,3 – 0,45	0,015	0,015
06X15Н4ДМЛ	0,06	0,6 – 0,9	0,4	14,0 – 15,5	4,0 – 4,4	1,0 – 1,5	0,11 – 0,28	0,015	0,015

Таблица 6.2.3.3-5

**Механические свойства винтовых коррозионно-стойких сталей
для изготовления гребных винтов**

Марка стали								
	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_u , МПа	δ , %	ψ , %	KV^{-10} , Дж	$(\sigma_{-1})_{d_0}$, МПа	m	НВ
	Минимально-требуемые значения по условиям спецификации					Средние значения		Не более
08X14НДЛ	500	650	15,0	40,0	21,0	143	8,3	241
08X15Н4ДМЛ	600	750	17,0	45	40,0	193	8,3	290
06X15Н4ДМЛ	620	790	19,0	48	40,0	Не менее	8,3	290
						193		
Условные обозначения: σ_u – временное сопротивление разрыву; δ – относительное удлинение; ψ – относительное сужение; KV^{-10} – работа удара; НВ – твердость; $(\sigma_{-1})_{d_0}$ – среднее значение условного предела усталостной прочности стандартных гладких образцов диаметром $d_0 = 10$ мм в морской воде с 3 %-ным содержанием NaCl при числе циклов нагружения $N_0 = 5 \cdot 10^7$.								

Применение стали 08X15Н4ДМЛ допускается по специальному разрешению Регистра.

6.2.4 Прочные размеры лопастей гребных винтов судов с ледовыми усилениями категорий Arc4 – Arc9 и ледоколов с ледовыми усилениями категорий Icebreaker6 – Icebreaker9.

6.2.4.1 Прочные размеры корневых сечений.

Минимально допустимая толщина $t_{0,6}(\bar{r}_1)$, м, на координате $\xi_{0,6}(\bar{r}_1) = 0,6 [c(\bar{r}_1)/2]$ (см. рис. 6.2.1-3) для корневого 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 $A(\bar{r}_1) = [(Q_{bend}(\bar{r}_1))/(118 c(\bar{r}_1)) + 24,6 (Q_{spind}(\bar{r}_1))/(D \cdot \alpha(\bar{r}_1))];$

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

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

$Q_{bend}(\bar{r}_1)$ – изгибающий лопастей ледовый момент относительно нейтральной оси спрямленного корневого сечения лопасти 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 лопастей ледовый момент относительно нейтральной оси спрямленного корневого сечения лопасти на относительном радиусе $\bar{r}_2 = \bar{r}_1 + 0,05$, Н·м, определяемый в соответствии с 6.2.2.9;

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

$c(\bar{r}_2)$ – длина хорды корневого сечения лопасти на относительном радиусе $\bar{r}_2 = \bar{r}_1 + 0,05$, 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 $\xi_{0,0}(\bar{r}_1) = 0,0$ (см. рис. 6.2.1-3) для корневого сечения на $\bar{r}_1 = \bar{r}_{hub} + 0,05$ должна быть не менее определяемой по формуле

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

Минимально допустимая толщина $t_{-0,6}(\bar{r}_1)$, м, на координате $\xi_{-0,6}(\bar{r}_1) = -0,6 [c(\bar{r}_1) / 2]$ (см. рис. 6.2.1-3) для корневого сечения на относительном радиусе $\bar{r}_1 = \bar{r}_{hub} + 0,05$ должна быть не менее определяемой по формуле

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

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 определяться по формуле

$$t_{0,0}(\bar{r}_1 = 0,6) = \left[\frac{17,4k_{exp}(F_{ice})_{max} \cos[\varphi_{design}(\bar{r} = 0,8)] \sqrt{0,1D^2 + 0,25[c(\bar{r} = 0,8)]^2}}{\sigma_{perm} \sqrt{D^2(1 - \bar{r}_{hub})^2 + [c(\bar{r}_{hub})]^2}} \right]^{0,5}, \quad (6.2.4.2-1)$$

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).

Максимальная толщина периферийного сечения лопасти $t_{0,0}(\bar{r}_1 = 0,6)$, м, на относительном радиусе $\bar{r} = 0,6$ не должна быть менее определяемой по формуле

$$t_{0,0}(\bar{r}_1 = 0,6) = \left[(0,12 D \cdot (F_{ice})_{\max}) / (0,085 c(\bar{r} = 0,6) \cdot \sigma_{perm}) \right]^{0,5}. \quad (6.2.4.2-2)$$

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

Толщина лопасти t_{up} , 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_{up} на радиусе $\bar{r} = 1$

Категория ледового усиления	Транспортные суда			Ледоколы
	Arc4 – Arc7	Arc8	Arc9	Icebreaker6 – Icebreaker9
t_{up}	$0,23 t_{0,0}(\bar{r}_1 = 0,6)$	$0,24 t_{0,0}(\bar{r}_1 = 0,6)$	$0,26 t_{0,0}(\bar{r}_1 = 0,6)$	$0,27 t_{0,0}(\bar{r}_1 = 0,6)$

6.2.4.4 Толщина входящей и выходящей кромок лопасти.

Для реверсируемых гребных винтов, меняющих направление вращения в процессе эксплуатации в ледовых условиях:

толщина входящей кромки 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;

толщина выходящей кромки лопасти для спрямленного сечения на относительном радиусе $\bar{r} = 0,8$ на расстоянии 5 % длины хорды профиля от края лопасти не должна быть менее 42 % максимальной толщины лопасти на данном радиусе.

Для «нереверсируемых» гребных винтов, направление вращения которых в процессе эксплуатации не меняется:

толщина входящей кромки 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;

толщина выходящей кромки лопасти для спрямленного сечения на относительном радиусе $\bar{r} = 0,8$ на расстоянии 5 % длины хорды профиля от края лопасти не должна быть менее 33 % максимальной толщины лопасти на данном радиусе.

Возможность использования более острых кромок для улучшения эксплуатационных характеристик гребного винта является в каждом случае

предметом специального рассмотрения Регистром. Для обоснования такой возможности необходимо определение напряженного состояния кромки (входящей, выходящей) в составе лопасти под действием распределенного ледового давления в области зоны контакта лопасти со льдом на режиме фрезерования льда. Расчет напряженного состояния должен быть выполнен методом конечных элементов. Рассчитанные таким образом напряжения должны быть сопоставлены с соответствующими допустимыми (см. 6.2.3).

6.2.4.5 Радиусы галтелей перехода лопасти в ступицу или фланец.

Переход лопасти в ступицу или фланец должен выполняться плавным сопряжением. Радиусы галтелей и сопряжений перехода должны составлять не менее 90 % от толщины корневого сечения на относительном радиусе $\bar{r}_1 = \bar{r}_{hub} + 0,05$.

Допускается плавный переход переменным радиусом. В этом случае оформление галтельного перехода должно выполняться таким образом, чтобы действующие напряжения от воздействия ледовой нагрузки не превосходили соответствующих допустимых (см. 6.2.3).

6.2.5 При использовании на судах с ледовыми усилениями категорий **Arc4 – Arc9** и ледоколах с ледовыми усилениями категорий **Icebreaker6 – Icebreaker9** 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 модельных испытаний в ледовом опытовом бассейне (испытания самоходных моделей судов в эксплуатационных ледовых условиях, испытания моделей гребных винтов на режимах фрезерования льда). Программа и методика таких испытаний, включая пересчет ледовых нагрузок с модельного масштаба на натурный, должны быть согласованы с Регистром.

6.3 ТРЕБОВАНИЯ К ЛОПАСТЯМ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ СУДОВ БЕЗ ЛЕДОВЫХ УСИЛЕНИЙ И С ЛЕДОВЫМИ УСИЛЕНИЯМИ КАТЕГОРИЙ Ice1 – Ice3

6.3.1 Толщина лопасти гребного винта проверяется в расчетном корневом сечении и в сечении на радиусе $r = 0,6R$, где R – радиус винта. Расчетное корневое сечение принимается:

для цельнолитых винтов – на радиусе $0,2R$, если радиус ступицы меньше $0,2R$, и на радиусе $0,25R$, если радиус ступицы больше или равен $0,2R$;

для винтов со съёмными лопастями – на радиусе $0,3R$, при этом значения коэффициентов A и c принимаются для $r = 0,25R$;
для ВРШ – на радиусе $0,35R$.

Примечание. Толщина лопасти в расчетном сечении определяется без учета галтелей.

Наибольшая толщина s спрямленного цилиндрического сечения лопасти цельнолитых, сборных винтов и ВРШ, мм, должна быть не менее определяемой по формуле

$$s = 9,8 \left[A \sqrt{\frac{0,14 \cdot k \cdot P}{z \cdot b \cdot \sigma \cdot n}} + c \frac{m}{\sigma} \left(\frac{Dn}{300} \right)^2 \right], \quad (6.3.1)$$

где A – коэффициент, определяемый по номограмме на рис. 6.3.1 в зависимости от относительного радиуса r/R расчетного сечения и шагового отношения H/D на этом

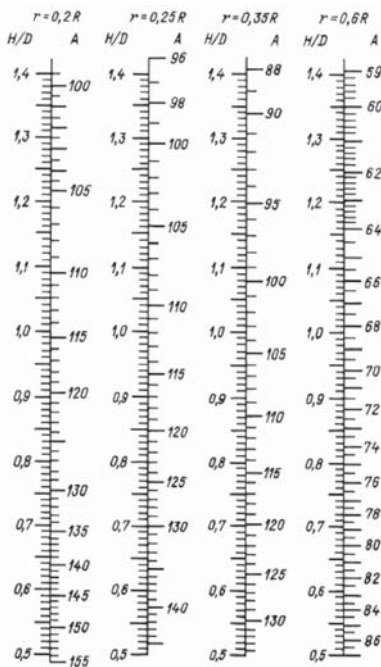


Рис. 6.3.1

- радиусе (для ВРШ принимается шаговое отношение, соответствующее основному проектному режиму);
- k – коэффициент, определяемый по табл. 6.3.1-1;
- P – мощность на гребном валу, при расчетной мощности главных механизмов, кВт;
- z – число лопастей винта;
- b – ширина спрямленного цилиндрического сечения лопасти на расчетном радиусе, м;
- $\sigma = 0,6 R_{\text{пл}} + 175$, МПа, но не более 570 МПа для стали и не более 610 МПа для медных сплавов;
- $R_{\text{пл}}$ – временное сопротивление материала лопасти, МПа;
- n – частота вращения винта при расчетной мощности, об/мин;
- c – коэффициент центробежных напряжений, определяемый по табл. 6.3.1-2;
- t – уклон лопасти, мм;
- D – диаметр винта, м.

Таблица 6.3.1-1

Коэффициент k		
Суда без ледовых усилений	Суда с ледовыми усилениями	
	Ice1, Ice2	Ice3
8	9	10
Примечания: 1. Если на судне установлены поршневые двигатели с числом цилиндров менее четырех, коэффициент k должен быть увеличен на 7 %. 2. Для установок с поршневыми двигателями, оборудованных гидравлическими или электромагнитными муфтами, коэффициент k может быть уменьшен на 5 %. 3. Для бортовых винтов судов без ледовых усилений и с ледовыми усилениями категорий Ice1, Ice2 коэффициент k может быть уменьшен на 7 %.		

Таблица 6.3.1-2

Коэффициент c	
r/R	c
0,20	0,50
0,25	0,45
0,35	0,30
0,60	0

Отверстия для деталей крепления съемных лопастей гребных винтов и лопастей ВРШ не должны уменьшать расчетное корневое сечение лопасти.

Для судов смешанного (река-море) плавания и судов ограниченных районов плавания **R2** и **R3** толщина лопастей может быть уменьшена на 5 %.

6.3.2 Толщина концевых кромок лопастей на радиусе $D/2$ должна быть не менее определяемой по табл. 6.3.2. Толщина входящих и выходящих кромок лопастей, измеренная на расстоянии 0,05 ширины сечения от кромок, должна быть не менее 50 % толщины концевой кромки лопастей.

Таблица 6.3.2

Коэффициент k	
Суда без ледовых усилений	Суда с ледовыми усилениями Ice1 – Ice3
0,0035 <i>D</i>	0,005 <i>D</i>
Примечание. <i>D</i> – диаметр гребного винта.	

6.3.3 Толщина лопасти с несимметричным контуром нормальной проекции и большой откидкой (саблевидностью) ($\theta > 25^\circ$) проверяется в соответствии с требованиями 6.3.1. Дополнительно толщина лопасти на радиусе $0{,}6R$ на расстоянии $0{,}8$ ширины сечения b должна быть не менее определяемой по формуле

$$s_k = 0{,}4 \cdot s \cdot (1 + 0{,}064 \cdot \sqrt{\theta - 25}), \quad (6.3.3)$$

где s – определяется на радиусе $0{,}6R$ по формуле (6.3.1);

θ – угол, град, равный наибольшему из углов θ_1 или θ_2 (см. рис. 6.2.1-1).

Если плавность профиля сечения лопасти на радиусе $0{,}6R$ при обязательном удовлетворении требований к минимальной толщине вблизи задней кромки (на $0{,}8b$) не обеспечивается, увеличивается толщина s на радиусе $0{,}6R$.

6.3.4 Радиусы галтелей перехода лопасти в ступицу или фланец должны составлять по засасывающей поверхности не менее $0{,}04D$, а по нагнетающей поверхности – не менее $0{,}03D$.

При отсутствии уклона лопасти радиус галтелей по обеим сторонам должен быть не менее $0{,}03D$.

Допускается плавный переход лопасти в ступицу переменным радиусом.

6.3.5 Толщина лопасти, определенная согласно 6.3.1 – 6.3.4, в обоснованных случаях (например, при использовании специального профиля лопасти) может быть уменьшена при условии представления Регистру подробных расчетов прочности.

6.4 СТУПИЦА И ДЕТАЛИ КРЕПЛЕНИЯ ЛОПАСТИ

6.4.1 Общие принципы обеспечения прочности.

Прочные размеры деталей ступицы гребного винта (крепления лопасти к ступице, элементы МИШ ВРШ, крепления ступицы ВРШ к валу и т. п.), находящихся в потоке силовых линий, должны проверяться из условия обеспечения усталостной и статической прочности от воздействия

эксплуатационных ледовых и гидродинамических нагрузок, воздействующих на лопасти гребного винта.

Для судов ледового плавания и ледоколов детали ступицы гребного винта дополнительно должны отвечать принципу обеспечения пирамидальной прочности.

Обеспечение пирамидальной прочности означает, что при поломке лопасти элементы гребного винта (детали крепления лопасти к ступице, элементы механизма изменения шага ВРШ и т. п.), находящиеся в потоке силовых линий под воздействием предельной разрушающей лопасть нагрузки, должны остаться неповрежденными, а при замене лопасти на плаву они должны обеспечивать эксплуатацию 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.

Соответствующие критерии проверки пирамидальной прочности представлены в 6.4.2. Требования к величине предельной, разрушающей лопасть нагрузки представлены в 6.4.3.

6.4.2 Критерии проверки пирамидальной прочности.

6.4.2.1 Пирамидальная прочность должна быть проверена из условия обеспечения допустимых номинальных напряжений и допустимых упругопластических деформаций в местах концентрации напряжений для варианта нагрузки от поломки лопасти, приводящего к наиболее нагруженному состоянию проверяемых элементов. Соответствующие требования представлены в 6.4.2.2 и 6.4.2.3.

6.4.2.2 Требования к номинальным напряжениям в основных деталях, находящихся в потоке силовых линий, при действии на них усилий от поломки лопасти гребного винта.

При действии нагрузки от поломки лопасти номинальные эквивалентные напряжения Мизеса (без учета коэффициента концентрации напряжений) в проверяемых элементах не должны превышать 0,8 минимального предела текучести (или минимального условного предела текучести), гарантируемого техническими условиями на его поставку.

6.4.2.3 Требования к упругопластическим деформациям в основных деталях, находящихся в потоке силовых линий, при действии на них усилий от поломки лопасти гребного винта.

При обеспечении пирамидальной прочности основных деталей, находящихся в потоке силовых линий, их напряженное состояние должно быть рассмотрено с учетом концентраторов напряжений. При действии усилий от поломки лопасти гребного винта расчетные значения упру-

гопластической деформации ε в районах концентрации напряжений не должны превышать допустимых значений $k_{safety} \varepsilon_{cr}$, определяемых из неравенства

$$\varepsilon \leq k_{safety} \varepsilon_{cr}, \quad (6.4.2.3)$$

где k_{safety} – коэффициент безопасности, учитывающий вероятностно-статистический разброс физико-механических характеристик материала в отливках деталей;
 $k_{safety} = 0,7$ при $(\sigma_{0,2})_{\min} \geq 0,6(\sigma_u)_{\min}$ (мартенситные стали);
 $k_{safety} = 0,83$ при $(\sigma_{0,2})_{\min} < 0,6(\sigma_u)_{\min}$ (аустенитные стали и медные сплавы);
 $(\sigma_{0,2})_{\min}$ – минимальный предел текучести (или минимальный условный предел текучести) материала элемента, гарантируемый техническими условиями на его поставку;
 $(\sigma_u)_{\min}$ – минимальная величина временного сопротивления (или предела прочности на разрыв) материала элемента, гарантируемая техническими условиями на его поставку.

Расчетное значение упругопластической деформации ε в районах концентрации напряжений должно определяться в соответствии с требованием 6.4.2.4.

Значение ε_{cr} критической упругопластической макродеформации, соответствующее возникновению макротрещины, должно определяться в соответствии с требованием 6.4.2.5.

6.4.2.4 Расчетное значение упругопластической деформации ε в районах концентрации напряжений определяется по формуле

$$\varepsilon = (\sigma_{tensile}^2 / B \cdot E)^{1/(n+1)}, \quad (6.4.2.4-1)$$

где $\sigma_{tensile} = (k_{stress})_{th} \cdot \sigma_{eq}$ – наибольшее напряжение для концентратора напряжения при упругом нагружении, соответствующее действию предельной нагрузки от полочки лопасти, МПа;
 $(k_{stress})_{th}$ – теоретический коэффициент концентрации напряжений для упругой области нагружения;
 σ_{eq} – номинальное расчетное напряжение Мизеса (эквивалентное), соответствующее действию предельной нагрузки от полочки лопасти, МПа.
 B – коэффициент в соответствии с уравнением Людвига-Холломоуна $\sigma = B \cdot \varepsilon^n$ для определения взаимозависимости «напряжение (σ) – деформация (ε)» в зоне упругопластического деформирования;
 n – показатель Людвига;
 E – модуль Юнга, МПа;

Показатель Людвига n определяется по формуле

$$n = 1,157 \cdot \ln(1 + \delta_u) + 0,002, \quad (6.4.2.4-2)$$

где δ_u – равномерное относительное удлинение стандартного образца при одноосном растяжении.

Равномерное относительное удлинение (деформация) стандартного образца δ_u до начала образования шейки текучести определяется по формуле

$$\delta_u \cong 0,7 \cdot \delta_{\min}, \quad (6.4.2.4-3)$$

где $\delta_{\min}$ – минимальное относительное удлинение стандартного образца при одноосном растяжении, требуемое техническими условиями.

Коэффициент B определяется по формуле

$$B = (\sigma_{0,2})_{\min} / 0,002^n, \quad (6.4.2.4-4)$$

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

Для определения коэффициента концентрации напряжения $(k_{\text{stress}})_{th}$ в упругой зоне нагружения могут быть использованы известные аналитические решения.

Для определения расчетного значения упругопластической деформации ε в районах концентрации напряжений по формуле (6.4.2.4-1) напряжение σ_{tensile} в упругой зоне нагружения может определяться методом конечных элементов по одобренной Регистром программе.

6.4.2.5 Значение ε_{cr} критической упругопластической макродеформации, соответствующее образованию макротрещины.

Значение ε_{cr} критической упругопластической макродеформации определяется по формулам (6.4.2.5-1) или (6.4.2.5-2) в зависимости от вида материала.

При $(\sigma_{0,2})_{\min} \geq 0,6 (\sigma_u)_{\min}$ (мартенситные стали) значение ε_{cr} критической упругопластической макродеформации определяется по формуле

$$\varepsilon_{cr} \cong 6,4 \cdot [\sqrt{KV}/(\sigma_{0,2})_{\min}] \cdot (1/t^{0,5}) \cdot \ln(1+\delta_{\min}) \text{ при } (\sigma_{0,2})_{\min} \geq 0,6(\sigma_u)_{\min}. \quad (6.4.2.5-1)$$

При $(\sigma_{0,2})_{\min} \leq 0,6 (\sigma_u)_{\min}$ (аустенитные стали и медные сплавы) значение ε_{cr} критической упругопластической макродеформации определяется по формуле

$$\varepsilon_{cr} \cong 1,3 \cdot [KV^2/(\sigma_{0,2})_{\min}^{0,4}] \cdot (1/t^{0,2}) \cdot \ln(1+\delta_{\min}) \text{ при } (\sigma_{0,2})_{\min} \leq 0,6(\sigma_u)_{\min}, \quad (6.4.2.5-2)$$

где $(\sigma_{0,2})_{\min}$ – минимальный предел текучести (или минимальный условный предел текучести), гарантируемый техническими условиями на его поставку, МПа;
 $(\sigma_u)_{\min}$ – минимальная величина временного сопротивления (или предела прочности на разрыв), гарантируемая техническими условиями на его поставку, МПа;
 KV – работа удара по методу Шарпи при рабочей температуре, Дж;
 $\delta_{\min}$ – минимальное относительное удлинение стандартного образца при одноосном растяжении, требуемое в соответствии с техническими условиями;
 t – характерная толщина детали, м.

В качестве характерной толщины детали t рекомендуется использовать ее максимальную толщину для расчетного сечения.

6.4.3 Требования к величине предельной, разрушающей лопасть нагрузки.

6.4.3.1 В качестве основного расчетного сечения лопасти для назначения предельной разрушающей лопасть нагрузки принимается наиболее слабое корневое цилиндрическое сечение между относительными радиусами $\bar{r}_1$ и $\bar{r}_2$, где $\bar{r}_1 = \bar{r}_{hub} + 0,05$, $\bar{r}_2 = \bar{r}_1 + 0,05$, $\bar{r}_{hub}$ – относительный радиус ступицы (см. рис. 6.2.1-2).

Для назначения предельной разрушающей лопасть нагрузки должны быть использованы значения толщины и длины реального сечения на относительном радиусе $\bar{r}$, $\bar{r}_1 \leq \bar{r} \leq \bar{r}_2$.

Предельная сила поломки лопасти F_{spind}^{damage} , Н, приложенная на относительном радиусе $\bar{r}$, равном 0,8, направлена противоположно гидродинамическому упору вдоль оси вала и определяется по формуле

$$F_{spind}^{damage} = 0,322 \cdot 10^6 \rho_{sp} \cdot (1/\ell_{arm}) \cdot c(\bar{r}) \cdot t_{\max}^2(\bar{r}) \cdot (\beta(\bar{r}))^{1,5} \sigma_{0,2}^{design}. \quad (6.4.3.1-1)$$

Предельный скручивающий момент Q_{spind}^{damage} , Н·м, относительно оси поворота лопасти при ее поломке, который передается на МИШ ВРШ, определяется по формуле

$$Q_{spind}^{damage} = 0,166 \cdot 10^6 \cdot k_{frict} \cdot \rho_{cr} \cdot \frac{C_d(\bar{r} = 0,8)}{\ell_{arm}} \cdot c(\bar{r}) \cdot t_{\max}^2(\bar{r}) \cdot (\beta(\bar{r}))^{1,5} \cdot \sigma_{0,2}^{design}, \quad (6.4.3.1-2)$$

$$\text{где } \rho_{cr} = 1 / (1 + k_{cr}^{1,5})^{2/3},$$

$$k_{cr} = \frac{3 \left(C_d(\bar{r} = 0,8) / c(\bar{r}_1) \right)}{1 + 4,7 \left(\ell_{arm} / c(\bar{r}_1) \right)^2},$$

k_{frict} – коэффициент трения между фланцем лопасти и ступицей, принимаемый равным 0,66;

$C_d(\bar{r}=0,8)$ – 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;
 $\ell_{arm} = (0,8 - \bar{r}) \cdot R$ – плечо предельной силы поломки лопасти, м;
 $\bar{r}_{hub}$ – относительный радиус ступицы;
 R – радиус гребного винта, м;
 $c(\bar{r})$ – спрямленная длина хорды сечения лопасти на относительном радиусе $\bar{r}$, м;
 $t_{max}(\bar{r})$ – наибольшая толщина расчетного сечения лопасти на относительном радиусе $\bar{r}$, м;
 $\beta(\bar{r})$ – коэффициент полноты сечения лопасти на относительном радиусе $\bar{r}$;
 $\sigma_{0,2}^{design}$ – расчетный предел текучести материала лопасти, МПа;

При предоставлении Регистру необходимых расчетов допускается использование коэффициента трения между фланцем лопасти и ступицей k_{frict} , отличающегося от указанного в формуле (6.4.3.1-2).

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

$$\sigma_{0,2}^{design} = (\sigma_{0,2})_{min} \cdot \left[1 + 2/3 \cdot (\bar{\epsilon}_{cr})_{max} \cdot \left((\sigma_u)_{min} / (\sigma_{0,2})_{min} - 1 \right) \right], \quad (6.4.3.1-3)$$

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;
 $(\bar{\epsilon}_{cr})_{max}$ – относительная величина максимальной критической упругопластической макродеформации материала в составе лопасти, равная 0,35 при $(\sigma_{0,2})_{min} \geq 0,6(\sigma_u)_{min}$ (мартенситные стали) и 0,75 при $(\sigma_{0,2})_{min} \leq 0,6(\sigma_u)_{min}$ (аустенитные стали и медные сплавы).

Для толщин расчетного корневого сечения, меньших $t_{max}(\bar{r}) \leq 0,1$ м, значения максимальных критических упругопластических макродеформаций $(\bar{\epsilon}_{cr})_{max}$ должны определяться в соответствии с 6.4.3.2.

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 (6.4.3.1-3) должна увеличиваться пропорционально коэффициенту $k_{0,2}$, определяемому по формуле

$$k_{0,2} = (\sigma_{0,2})_{real} / 1,3 (\sigma_{0,2})_{min} \geq 1. \quad (6.4.3.1-4)$$

6.4.3.2 Расчетное значение максимальной критической упругопластической макродеформации материала в составе лопасти гребного винта.

Относительная величина максимальной критической упругопластической макродеформации материала в составе лопасти гребного винта $(\bar{\epsilon}_{cr})_{\max}$ определяется по формуле

$$(\bar{\epsilon}_{cr})_{\max} = f_2 \cdot \epsilon_{cr} / \delta_u, \quad (6.4.3.2)$$

где ϵ_{cr} – значение критической упругопластической макродеформации материала в составе лопасти, определяемое по формулам (6.4.2.5-1) и (6.4.2.5-2);

δ_u – равномерное относительное удлинение (деформация) стандартного образца до начала образования шейки текучести, определяемое по формуле (6.4.2.4-3);

f_2 – коэффициент запаса, равный 1,2 при $(\sigma_{0,2})_{\min} \leq 0,6 (\sigma_u)_{\min}$ (медные сплавы и аустенитные стали) и 1,4 при $(\sigma_{0,2})_{\min} \geq 0,6 (\sigma_u)_{\min}$ (мартенситные стали).

При определении $(\bar{\epsilon}_{cr})_{\max}$ по формуле (6.4.3.2) необходимо использовать значения прочностных характеристик материала лопасти, соответствующих минимальным величинам, гарантируемым техническими условиями на поставку материала лопасти.

Значение работы удара KV по методу Шарпи принимается для температуры 0 °С.

В качестве характерной толщины детали t необходимо использовать максимальную толщину $t_{\max}(\bar{r})$ расчетного корневого сечения лопасти на относительном радиусе $\bar{r}$, для которого определяется величина предельной, разрушающей лопасть нагрузки (см. 6.4.3.1).

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

6.4.4 В ступице гребного винта должны быть выполнены отверстия для заполнения свободных полостей между ступицей и конусом вала инертной, в отношении коррозионного воздействия, массой; заполнению такой массой подлежит также полость под обтекателем.

6.4.5 Диаметр болтов (шпилек), крепящих лопасти к ступице гребного винта.

6.4.5.1 Общие положения и требования.

Затяжка болтов (шпилек) должна обеспечить нераскрытие фланцевого соединения от воздействия всех эксплуатационных нагрузок, включая силу поломки лопасти.

Прочные размеры болтов (шпилек) назначаются из совместного условия обеспечения усталостной и пирамидальной прочности.

Расчет усталостной прочности болтов (шпилек) от воздействия переменных эксплуатационных гидродинамических и ледовых нагрузок является в каждом случае предметом специального рассмотрения Регистром.

6.4.5.2 Эквивалентные номинальные напряжения σ_{nom} от затяжки и силы поломки лопасти F_{spind}^{damage} (см. 6.4.3) в ненарезной части болта

(шпильки) не должны превосходить $0,8 \cdot \sigma_{0,2}$ и должны определяться по формуле

$$\sigma_{nom} = \sqrt{(\sigma_{pret} + \sigma_{pir})^2 + 3 \tau^2} \leq 0,8 \cdot (\sigma_{0,2})_{min}, \quad (6.4.5.2-1)$$

где σ_{pret} – нормальные напряжения от затяжки болта (шпильки);

τ – касательное напряжение от затяжки болта динамометрическим ключом;

σ_{pir} – нормальное напряжение, обусловленное изгибом фланцевого соединения от силы поломки лопасти;

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

Нормальные напряжения от затяжки болта (шпильки), σ_{pret} , и от изгиба фланцевого соединения, σ_{pir} , определяются по формуле

$$\sigma = F / 0,785 \cdot d_{bolt}^2 \quad (6.4.5.2-2)$$

где F – сила от затяжки болта (шпильки), F_{pret} , или от изгиба фланцевого соединения, F_{pir} ;
 d_{bolt} – диаметр ненарезной части болта (шпильки).

Сила затяжки болта (шпильки) F_{pret} определяется по формуле

$$F_{pret} = k_{opensafety} \cdot (1 - \mu) \cdot (S/n) \cdot (Q_{bend} \cdot l_{max}/I) + (p_{connect} \cdot S/n), \quad (6.4.5.2-3)$$

где $k_{opensafety}$ – коэффициент запаса на нераскрытие фланца, принимаемый равным 1,5;

$\mu = 0,3$ – коэффициент внешней нагрузки;

S – площадь фланцевого соединения за вычетом отверстий под болты;

Q_{bend} – момент от силы поломки лопасти, изгибающий фланец лопасти;

n – число болтов (шпилек);

$p_{connect} = 1,5$ МПа;

I – момент инерции фланца лопасти относительно оси, проходящей через опорный край фланца и перпендикулярной линии действия силы поломки лопасти F_{spind}^{damage} (см. рис. 6.4.5.2).

l_{max} – максимальное расстояние от центра наиболее удаленного болта (шпильки) до оси, проходящей через опорный край фланца и перпендикулярной линии действия силы поломки лопасти F_{spind}^{damage} (см. рис. 6.4.5.2).

Изгибающий фланец момент Q_{bend} от силы поломки лопасти определяется по формуле

$$Q_{bend} = F_{spind}^{damage} \cdot R \cdot (0,8 - \bar{r}_{fl}), \quad (6.4.5.2-4)$$

где F_{spind}^{damage} – сила поломки лопасти;

R – радиус гребного винта;

$\bar{r}_{fl}$ – относительный диаметр плоскости стыка (опорной поверхности фланца).

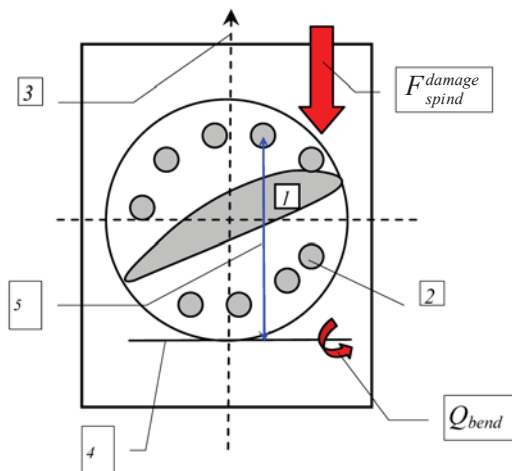


Рис. 6.4.5.2:

1 – корневое сечение лопасти; 2 – болт; 3 – направление движения судна; 4 – ось, проходящая через опорный край фланца и перпендикулярная линии действия силы поломки лопасти F_{spind}^{damage} ; 5 – максимальное расстояние l_{max} от центра наиболее удаленного болта (шпильки) до оси, проходящей через опорный край фланца и перпендикулярной линии действия силы поломки лопасти F_{spind}^{damage} .

Максимальная сила от Q_{bend} , воздействующая на наиболее удаленный болт (шпильку) фланцевого соединения, определяется по формуле

$$F_{pir} = \mu \cdot (Q_{bend} / \sum_{i=1}^n l_i^2) \cdot l_{max} \quad (6.4.5.2-5)$$

где l_i – расстояние от центра i -го болта (шпильки) до оси, проходящей через опорный край фланца и перпендикулярной линии действия силы поломки лопасти F_{spind}^{damage} .

Касательное напряжение τ при затяжке болта динамометрическим ключом определяется по формуле

$$\tau = M_{tigh} / 0,2 \cdot d_{bol}^3 \quad (6.4.5.2-6)$$

где M_{tigh} – момент затяжки болта.

Момент затяжки болта определяется по формуле

$$M_{tigh} = M_{tigh}^1 + M_{tigh}^2, \quad (6.4.5.2-7)$$

где M_{tigh}^1 – момент от трения в резьбе;

M_{tigh}^2 – момент от трения между поверхностью фланца и головкой болта.

Момент от трения в резьбе M_{tigh}^1 определяется по формуле

$$M_{tigh}^1 = k_{friction} \cdot F_{pret} \cdot 0,5 \cdot (d_{bolt} + d_{bolth}), \quad (6.4.5.2-8)$$

где $k_{friction}$ – коэффициент трения для чисто обработанных поверхностей при наличии смазки, принимаемый равным 0,07;

d_{bolth} – диаметр болта (внешний диаметр резьбы).

Момент от трения между поверхностью фланца и головкой болта M_{tigh}^2 определяется по формуле

$$M_{tigh}^2 = 0,333 \cdot k_{friction} \cdot F_{pret} \cdot \left((D_{bh}^3 - d_h^3) / (D_{bh}^2 - d_h^2) \right), \quad (6.4.5.2-9)$$

где D_{bh} – диаметр головки болта;

d_h – диаметр отверстия под болт.

Для реверсируемых гребных ВФШ представленный выше поверочный расчет прочности должен быть выполнен для случаев переднего и заднего хода, т.е. случаев, когда сила поломки лопасти прикладывается к лопасти как со стороны засасывающей, так и со стороны нагнетающей поверхностей.

Для ВРШ представленный выше поверочный расчет прочности также должен быть выполнен для случаев переднего и заднего хода. Для режима переднего хода шаг лопасти должен соответствовать конструктивному. Для режима заднего хода шаг лопасти должен соответствовать скорости судна $V_s = 4$ уз при полной мощности. Также должен быть рассмотрен случай для положения лопасти, соответствующего нулевому упору.

Диаметр ненарезанной части болта (шпильки) может быть уменьшен при представлении уточненных расчетов прочности фланцевого соединения лопасти и ступицы.

6.4.5.3 Дополнительно должны быть представлены расчеты основных параметров резьбы (длина нарезанной части болта, высота и шаг резьбы).

6.4.5.4 Болт (шпилька) должен быть спроектирован с минимальным уровнем концентрации напряжений для снижения риска возникновения

пластических деформаций. При возникновении пластических деформаций в зонах концентрации напряжений (переходная зона между телом болта и его головкой, резьба) должны быть выполнены требования 6.4.2 по их допустимым значениям.

6.4.5.5 В случае использования шпильки должны быть представлены расчеты достаточной высоты накидной гайки.

6.4.5.6 Затяжка болтов (шпилек) должна сопровождаться прямым контролем их деформации растяжения. Применение косвенных методов контроля не допускается. Затяжка болтов должна быть выполнена в присутствии инспектора. При невозможности прямого контроля деформации растяжения при затяжке болтов (шпилек), например, в случае замены лопасти под водой, допускается контроль по величине момента затяжки.

6.4.5.7 Должны быть использованы проверенные методы стопорения от выворачивания болтов (шпилек) из ступицы, а также отворачивания гаек от шпилек, предусмотренные чертежом на гребной винт.

6.4.5.8 Детали стопорения болтов (гаек) крепления лопастей сборных гребных винтов судов с ледовыми усилениями должны быть утоплены во фланец лопасти.

6.5 БАЛАНСИРОВКА ВИНТОВ

6.5.1 Окончательно обработанный винт должен быть статически отбалансирован.

Степень балансировки должна быть проверена контрольным грузом, при подвешивании которого на конец каждой горизонтально расположенной лопасти винт должен начать вращение. Масса контрольного груза должна быть не больше определяемой по формуле

$$m \leq k \cdot m_B / R, \quad (6.5.1)$$

где m – масса контрольного груза, кг;

m_B – масса винта, т;

R – радиус винта, м;

k – коэффициент, равный: 0,75 при $n \leq 200$;

0,5 при $200 < n \leq 500$;

0,25 при $n > 500$;

n – расчетная частота вращения винта, об/мин.

При массе винта более 10 т коэффициент k должен приниматься не более 0,5 независимо от частоты вращения винта.

6.6 ВИНТЫ РЕГУЛИРУЕМОГО ШАГА

6.6.1 Силовая система гидравлики ВРШ должна оборудоваться двумя насосами с одинаковой подачей – основным и резервным, – один из которых может быть приводным от главных механизмов. Приводной насос должен обеспечивать перекладку лопастей на всех режимах работы главных механизмов.

При числе насосов более двух их подача должна выбираться из условия, что при выходе из строя любого насоса суммарная подача оставшихся насосов должна обеспечивать время перекладки лопастей, не превышающее указанного в 6.5.5.

На судах, имеющих два ВРШ, может быть предусмотрен один независимый резервный насос для обоих винтов.

6.6.2 Механизм изменения шага (МИШ) должен быть выполнен таким образом, чтобы при выходе из строя силовой системы гидравлики имела возможность установки лопастей в положение переднего хода.

На многовальных судах, кроме ледаколов и судов с ледовыми усилениями категорий **Arc4** – **Arc9**, указанное требование может не выполняться.

6.6.3 На судах с ВРШ, на которых по условиям эксплуатации возможна перегрузка главного двигателя, рекомендуется применять устройства, автоматически предохраняющие главный двигатель от перегрузки.

6.6.4 Силовая система гидравлики должна выполняться согласно требованиям, указанным в разд. 7 части IX «Механизмы», а трубопроводы этой системы должны испытываться согласно требованиям разд. 21 части VIII «Системы и трубопроводы».

6.6.5 Время перекладки лопастей ВРШ из положения полного переднего хода на положение полного заднего хода при неработающих главных механизмах не должно превышать 20 с для винтов диаметром до 2 м включительно и 30 с – для винтов диаметром свыше 2 м.

6.6.6 В гравитационных системах смазки ВРШ напорные цистерны должны располагаться выше самой высокой грузовой ватерлинии и должны оборудоваться указателями уровня и сигнализацией нижнего уровня.

6.6.7 Прочные размеры элементов МИШ ВРШ, находящихся в потоке силовых линий, должны назначаться и проверяться по согласованным с Регистром методикам из условий обеспечения пирамидальной и усталостной прочности от воздействия эксплуатационных ледовых и гидродинамических нагрузок, воздействующих на лопасть гребного винта. Расчеты пирамидальной прочности должны быть выполнены в соответствии с требованиями 6.4.1 – 6.4.3.

Для судов арктических категорий **Arc4 – Arc9** и ледоколов поверочные расчеты усталостной и пирамидальной прочности элементов МИШ ВРШ рекомендуется выполнять по методике, предложенной в приложении к настоящему разделу.

Для судов с ледовыми усилениями **Ice1 – Ice3** прочные размеры элементов МИШ ВРШ из условия обеспечения усталостной прочности должны назначаться и проверяться от воздействия на лопасть эксплуатационных ледовых и гидродинамических нагрузок.

Указанные расчеты нагрузок и прочности должны быть представлены Регистру.

6.7 ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ ИСПЫТАНИЯ

6.7.1 Уплотнения конуса и кожуха фланца гребного вала после установки винта должны быть испытаны давлением не менее 0,2 МПа. Если указанные уплотнения находятся под давлением масла из дейдвудной трубы или ступицы винта, они должны быть испытаны вместе с дейдвудными уплотнениями или ступицей гребного винта.

6.7.2 Ступица ВРШ после сборки лопастей должна испытываться внутренним давлением, равным высоте столба рабочего уровня масла в напорной цистерне, или давлением, создаваемым насосом, действующим в системе смазки ступицы.

Как правило, испытание должно проводиться при перекладке лопастей.

6.8 СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

6.8.1 При наличии у проектанта достаточных обоснований Регистр может понизить требования настоящего раздела к буксирам с ледовыми усилениями категорий **Arc4 – Arc5** в случае использования в качестве главных механизмов ДВС с прямой механической передачей мощности на гребной винт.

6.8.2 Возможность снижения ледовых усилий для всех остальных грузовых и пассажирских судов, а также для ледоколов является в каждом случае предметом специального рассмотрения Регистром.

**ТРЕБОВАНИЯ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПИРАМИДАЛЬНОЙ
И УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ МИШ
ДЛЯ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ СУДОВ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ
АРКТИЧЕСКИХ КАТЕГОРИЙ Arc4 – Arc9 И ЛЕДОКОЛОВ**

**1 ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ И ТРЕБОВАНИЯ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ
ПРОЧНОСТИ МИШ ДЛЯ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ СУДОВ АРКТИЧЕСКИХ
КАТЕГОРИЙ Arc4 – Arc9 И ЛЕДОКОЛОВ**

1.1 Прочные размеры элементов МИШ ВРШ, находящихся в потоке силовых линий, должны назначаться и проверяться из условий пирамидальной и усталостной прочности.

Должна быть произведена проверка пирамидальной и усталостной прочности 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. 1.1. Расчеты пирамидальной и усталостной прочности должны установить достаточность прочных размеров указанных элементов из условия непревышения расчетных деформаций и напряжений допустимых значений.

Для судов арктических категорий **Arc4 – Arc9** и ледоколов прочные размеры элементов МИШ ВРШ из условия усталостной прочности назначаются и проверяются от воздействия ледовых нагрузок в соответствии с 6.2.2 настоящей части.

Для типовой конструкции МИШ ВРШ (см. рис. 1.1) расчеты пирамидальной и усталостной прочности основных элементов должны выполняться в соответствии с настоящим приложением. 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.

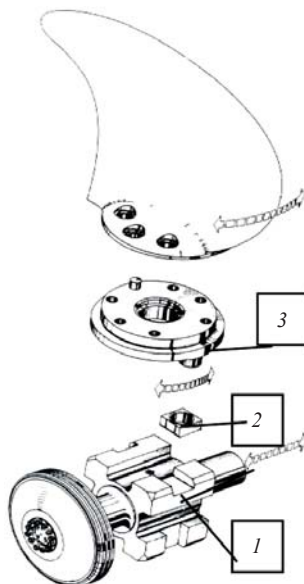


Рис. 1.1
Типовая конструкция МИШ ВРШ:
1 – ползун; 2 – сухарь; 3 – палец

2 ТРЕБОВАНИЯ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ ПИРАМИДАЛЬНОЙ ПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ МИШ ВРШ СУДОВ С ЛЕДОВЫМИ УСИЛЕНИЯМИ И ЛЕДОКОЛОВ

2.1 Требования к величине предельной, разрушающей лопасть нагрузки.

Прочность элементов МИШ ВРШ должна проверяться на действие предельной нагрузки от поломки лопасти.

Требования к предельной силе поломке лопасти F_{spind}^{damage} и предельному скручивающему лопасть моменту Q_{spind}^{damage} относительно оси ее поворота, который передается на МИШ ВРШ, представлены в 6.4.3 настоящей части.

2.2 Требования к допустимым напряжениям и деформациям в элементах МИШ для обеспечения пирамидальной прочности.

Критерии проверки пирамидальной прочности в отношении требований к допустимым напряжениям и деформациям в элементах МИШ представлены в 6.4.2 настоящей части. Расчетные значения номинальных

напряжений и теоретических коэффициентов концентрации напряжений для основных элементов МИШ (см. рис. 1.1) представлены в разд. 3 и 4 приложения.

2.3 Требования к обеспечению усталостной прочности элементов МИШ ВРШ судов с ледовыми усилениями категорий Arc4 – Arc9 и ледоколов с ледовыми усилениями категорий Icebreaker6 – Icebreaker9.

2.3.1 Требования к величине ледовой расчетной нагрузки из условия обеспечения 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·мм, относительно оси поворота лопасти от воздействия ледовой нагрузки $(F_{ice})_{max}$ (см. 6.2.2.2 настоящей части), на режиме фрезерования льда, определяемый по формуле

$$Q_{spind}^{fatigue} = k_{exp} \cdot k_{frict} \cdot (F_{ice})_{max} \cdot (b_{spind})_{flange} \quad (2.3.1)$$

где $(b_{spind})_{flange}$ – расстояние от центра фланца лопасти до линии действия расчетной ледовой нагрузки $(F_{ice})_{max}$ в плоскости спрямленных радиальных сечений, м;

$(F_{ice})_{max}$ – ледовая нагрузка (см. 6.2.2.2 настоящей части), воздействующая на лопасть в режиме фрезерования льда, Н;

k_{frict} – см. 6.4.3.1 настоящей части;

k_{exp} – см. 6.2.2.9 настоящей части.

2.3.2 Требования к допустимым напряжениям в элементах МИШ для обеспечения усталостной прочности.

Номинальные расчетные напряжения Мизеса σ_{eq} в элементах МИШ, соответствующие действию скручивающего момента $Q_{spind}^{fatigue}$ (см. 2.3.1), не должны превосходить соответствующее допустимое значение $(\sigma_{perm})_f^{CPP}$ из условия обеспечения усталостной прочности:

$$\sigma_{eq} \leq (\sigma_{perm})_f^{CPP} = 0,45 (\sigma_u)_{min} / \bar{\sigma}_f \cdot (k_{stress})_{ef} \quad (2.3.2-1)$$

где $(\sigma_u)_{min}$ – 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;

$\bar{\sigma}_f$ – безразмерное эквивалентное напряжение усталостной прочности.

Эффективный коэффициент концентрации напряжений $(k_{stress})_{ef}$ в местах соединения элементов МИШ должен определяться в соответствии с разд. 4.

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

$$\bar{\sigma}_f = 0,063 \cdot \left(4 + \lg(N_{ice}/N_0)\right)^{1,25} + 0,1, \quad (2.3.2-2)$$

где $N_0 = 5 \cdot 10^6$;

N_{ice} – число нагружений лопасти ледовой нагрузкой.

Значение N_{ice} определяется по формуле

$$N_{ice} = 6,2 \cdot 10^8 \cdot k \cdot T_{ice} \cdot n_{constr}, \quad (2.3.2-3)$$

где k – см. 6.2.3.3 настоящей части;

T_{ice} – см. 6.2.3.3 настоящей части;

n_{constr} – см. 6.2.2.6 настоящей части.

Для выполнения требования (2.3.2-1) средняя величина предела усталостной прочности материала $\sigma_{-1}(N)$, определяемая на гладких стандартных образцах диаметром $d \approx 10$ мм при симметричном цикле нагружения вращательным изгибом и при числе циклов нагружения $N = (1 \div 5) \cdot 10^6$, не должна быть ниже определяемой из условия

$$\sigma_{-1}(N) \geq 0,4(\sigma_u)_{\min} \cdot \left(5 \cdot 10^6 / N\right)^{1/8}. \quad (2.3.2-4)$$

3 НОМИНАЛЬНЫЕ РАСЧЕТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕМЕНТАХ МИШ ВРШ

3.1 Номинальные расчетные напряжения в проверяемых элементах МИШ ВРШ (см. рис. 1.1) должны рассчитываться в соответствии с расчетными схемами на рис. 3.1-1 – 3.1-4.

3.2 Расчетная сила, действующая на палец.

Расчетная сила, действующая на палец, F_{pin} , Н, определяется по формуле

$$F_{pin} = Q_{spind} / r_{pin}, \quad (3.2)$$

где r_{pin} – расстояние от центра вращения лопасти до центра пальца, м (см. рис. 3.1-1);

Q_{spind} – скручивающий 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.

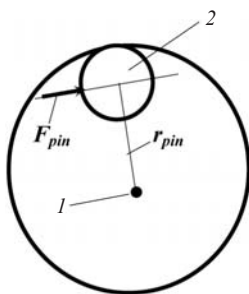


Рис 3.1-1:
 l – центр вращения
 фланца лопасти; 2 – палец

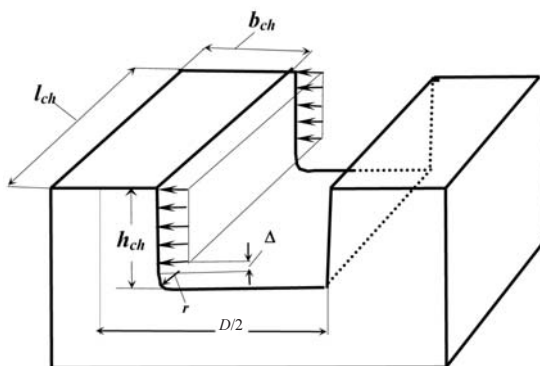


Рис. 3.1-2
 Ползун

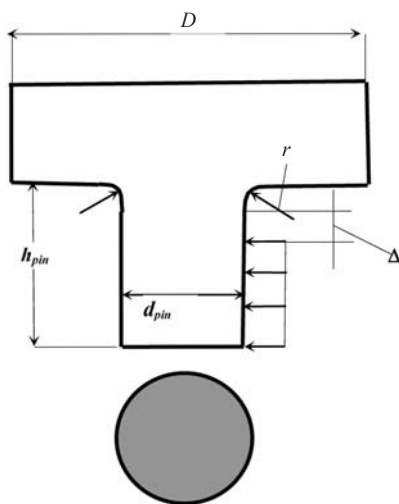


Рис. 3.1-3
 Палец

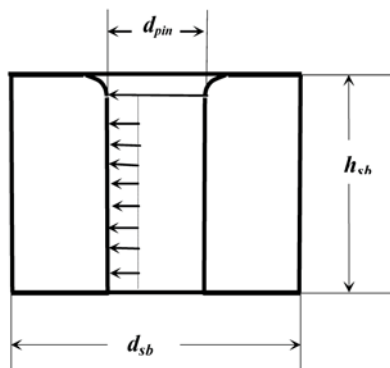


Рис. 3.1-4
 Сухарь

3.3 Номинальные расчетные напряжения в пальце.

Номинальное расчетное напряжение изгиба в пальце $(\sigma_{bend})_n$, Па, определяется по формуле

$$(\sigma_{bend})_n = (Q_{bend})_{pin} / W_{pin}, \quad (3.3-1)$$

где $(Q_{bend})_{pin}$ – расчетный изгибающий палец момент, Н · м;
 W_{pin} – расчетный момент сопротивления пальца, м³.

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

$$(Q_{bend})_{pin} = F_{pin} \cdot (h_{pin} / 2), \quad (3.3-2)$$

где h_{pin} – высота пальца, м (см. рис. 3.1-3).

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

$$W_{pin} = \pi \cdot (d_{pin}^3 / 32), \quad (3.3-3)$$

где d_{pin} – диаметр пальца, м, (см. рис. 3.1-3).

Номинальное расчетное касательное напряжение в пальце $(\tau_{pin})_n$, Па, определяется по формуле

$$(\tau_{pin})_n = F_{pin} / (\pi/4 \cdot d_{pin}^2). \quad (3.3-4)$$

3.4 Номинальное расчетное напряжение в сухаре.

Номинальное расчетное напряжение смятия в сухаре σ_{crush} , Па, определяется по формуле

$$\sigma_{crush} = F_{pin} / (h_{sb} \cdot d_{pin}), \quad (3.4)$$

где F_{pin} – расчетная сила, действующая на палец, Н (см. рис. 3.1-1);
 h_{sb} – высота сухаря, м (см. рис. 3.1-4).

3.5 Номинальные расчетные напряжения в ползуне.

Номинальное расчетное напряжение изгиба в ползуне $(Q_{bend})_{pin}$, Па, определяется по формуле

$$(Q_{bend})_{pin} = (Q_{bend})_{pin} / W_{ch}, \quad (3.5-1)$$

где $(Q_{bend})_{pin}$ – расчетный изгибающий момент, Н · м (см. 3.3);
 W_{ch} – расчетный момент сопротивления выступа ползуна, м³.

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

$$W_{ch} = (\ell_{ch} \cdot b_{ch}^2) / 6, \quad (3.5-2)$$

где ℓ_{ch} и b_{ch} – продольный и поперечный размеры выступа ползуна, м, соответственно (см. рис. 3.1-2).

Номинальное расчетное касательное напряжение в ползуне $(\tau_{ch})_n$, Па, определяется по формуле

$$(\tau_{ch})_n = F_{pin} / (\ell_{ch} \cdot b_{ch}), \quad (3.5-3)$$

где F_{pin} – расчетная сила, действующая на палец, Н (см. 3.2);

4 ЭФФЕКТИВНЫЙ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ КОЭФФИЦИЕНТЫ КОНЦЕНТРАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ

4.1 Для пальца и ползуна величина эффективного коэффициента концентрации напряжений должна определяться в соответствии с расчетными схемами на рис. 3.1-1 – 3.1-4.

Величина эффективного коэффициента концентрации напряжений должна рассчитываться по формуле

$$(k_{stress})_{ef} = \frac{(k_{stress})_{th}}{k_{scale} [1 + 0,3 (1 - 0,5 \cdot \lg (L/G))]} + k_{surf} \frac{(\sigma_u)_{min}}{500}, \quad (4.1)$$

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) материала лопасти, гарантируемая техническими условиями на его поставку, МПа.

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

для пальца:

$$(k_{stress})_{th} = \alpha_1 \left[1 + \frac{0,45}{1 + 0,07 \cdot (\Delta / r)^2} \right], \quad (4.2-1)$$

где $\alpha_1 = 1 + 0,062 / \bar{r}^{0,72} \cdot [1 + 1,2 \cdot (D / d_{pin} - 1)^{0,2}]$;
 $\bar{r} = r / d_{pin}$;
 r – радиус галтели;
 Δ, D, d_{pin}, r – см. рис. 3.1-3;

для ползуна:

$$(k_{stress})_{th} = \alpha_2 \left[1 + \frac{0,75}{1 + 0,07 \cdot (\Delta / r)^2} \right], \quad (4.2-2)$$

где $\alpha_2 = 1 + 0,080 / \bar{r}^{0,65} \cdot [1 + 1,4 \cdot (D / b_{ch} - 1)^{0,2}]$;
 $\bar{r} = r / b_{ch}$;
 Δ, D, b_{ch}, r – см. рис. 3.1-2.

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

для пальца:

$$k_{scale} = 1 / \left[1 + k_b (100 \cdot d_{pin} - 1) \right], \quad (4.3-1)$$

где d_{pin} – диаметр пальца, м (см. рис. 3.1-3);

для ползуна:

$$k_{scale} = 1 / \left[1 + k_b (100 \cdot b_{ch} - 1) \right], \quad (4.3-2)$$

где b_{ch} – поперечный размер выступа ползуна, м (см. рис. 3.1-2);
 k_b – коэффициент, значения которого представлены в табл. 4.3.

Т а б л и ц а 4.3

№ пп.	Сталь	Значения коэффициента k_b
1	Углеродистая	0,005
2	Легированная	0,01

4.4 Коэффициент L/G рассчитывается следующим образом:

для пальца:

$$L/G = \frac{10^3 \cdot r}{[2,3 / (10^3 \cdot r)] + [2 / (10^3 \cdot d_{pin})]}, \quad (4.4-1)$$

где r, d_{pin} – размеры согласно рис. 3.1-3, м;

для ползуна:

$$L/G = \frac{10^3 \cdot r}{[2,3 / (10^3 \cdot r)] + [2 / (10^3 \cdot b_{ch})]}, \quad (4.4-2)$$

где r и b_{ch} – размеры согласно рис. 3.1-2, м.

4.5 Коэффициент k_{surf} , учитывающий обработку и состояние поверхности.

Значения коэффициента k_{surf} представлены в табл. 4.5.

Таблица 4.5

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

ИНСТРУКЦИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ НА СУДАХ, ПЛАВУЧИХ БУРОВЫХ УСТАНОВКАХ И МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМАХ

Инструкция по применению лакокрасочных покрытий на судах, плавучих буровых установках и морских стационарных платформах предназначена для инспекторского состава Регистра и сторон, вовлеченных в процессы подготовительно-окрасочных работ для конструкций морских объектов. Служит справочным материалом для единообразного понимания организации проведения подготовительно-окрасочных работ в зависимости от методов защиты от коррозии и обрастания металлических конструкций.

Инструкция вводится впервые. Содержит основные положения о механизме защитного действия лакокрасочных материалов, классификацию лакокрасочных покрытий, описание их типов, общие положения по проведению подготовительно-окрасочных работ.

Инструкция подготовлена сотрудниками ЦНИИМФ в соответствии с планом НИР Регистра 2008 года.

ВВЕДЕНИЕ

Незащищенная сталь в морской и промышленной атмосфере, в морской и пресной воде и почве подвергается коррозии, которая приводит к разрушению металла. Поэтому отдельные конструкции обычно защищают для придания им свойства противостоять коррозионным воздействиям в течение всего срока службы, требуемого от конструкции.

Существуют различные способы защиты стальных конструкций от коррозии. Для защиты судов наиболее распространенным является применение лакокрасочных покрытий.

Для того, чтобы обеспечить эффективную защиту судов, плавучих буровых установок и морских стационарных платформ от коррозии, владельцу подобных конструкций, планирующим органам, консультантам, фирмам, проводящим работы по защите от коррозии, инспекторам по защитным покрытиям и производителям лакокрасочных материалов необходимо иметь в своем распоряжении самую современную информацию в сжатой форме, касающуюся защиты от коррозии при помощи системы красок.

В целях исключения осложнений и непонимания между сторонами, участвующими в проведении работ по защите от коррозии, такая информация должна быть по возможности полной, ясной и легко воспринимаемой.

Инструкция по применению лакокрасочных покрытий на судах, плавучих буровых установках и морских стационарных платформах (в дальнейшем – Инструкция) учитывает требования отечественных и зарубежных стандартов, применяемых в лакокрасочной промышленности.

В Инструкции учтены действующие нормативные документы и рекомендации Госстандарта, соответствующих комитетов Международной морской организации и стандартов Международной организации по стандартизации, а также требования предприятий-изготовителей лакокрасочных материалов.

Основные понятия, термины и т.п., используемые в Инструкции, приняты в соответствии с требованиями действующих нормативных документов Регистра.

1 ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ

Настоящая Инструкция распространяется на корпуса и корпусные конструкции строящихся и ремонтируемых судов, ПБУ и МСП и устанавливает:

- основные положения технологии подготовки поверхности и окрашивания;

- общие требования контроля технологического процесса очистки и окрашивания в соответствии с требованиями международных стандартов;

- общие требования по охране труда и окружающей среды при проведении очистных и окрасочных работ.

2 ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В Инструкции приняты следующие основные термины и определения (отдельные термины, принятые в международных стандартах, представлены в других разделах Инструкции).

Адгезия лакокрасочного покрытия – прочность сцепления между пленкой лакокрасочного материала и окрашиваемой поверхностью.

Антикоррозионная защита – комплекс работ, включающий подготовку стальной поверхности судна, ПБУ, МСП, нанесение защитного антикоррозионного покрытия, контроль качества.

Жизнеспособность лакокрасочного материала – время, в течение которого необходимо использовать двухкомпонентный лакокрасочный материал после приготовления рабочего состава.

Заказчик – владелец судна, ПБУ, МСП, на которых осуществляется проведение работ по антикоррозионной защите. Заказчик выдает задание на проведение работ и согласует проект производства работ по антикоррозионной защите судна, ПБУ, МСП, разрабатываемой производителем работ.

Инспектор по покрытиям – инспектор контроля качества выполнения подготовительно-окрасочных работ.

Лакокрасочные материалы (ЛКМ) – материалы на основе синтетических пленкообразующих смол, содержащие пигмент, наполнители, пластификаторы и предназначенные для антикоррозионной защиты стальных конструкций.

Механическая очистка – способ очистки поверхности с применением ручного или механического инструмента.

Отверждение лакокрасочного покрытия – формирование пленки из лакокрасочного материала за счет физического и (или) химического процессов.

Подготовка металлической поверхности перед окраской – удаление с поверхности, подлежащей окраске, загрязнений и окислов для обеспечения сцепления лакокрасочного материала с металлической поверхностью.

Пооперационный контроль – контроль технологических параметров при проведении каждой технологической операции.

Поставщик лакокрасочного материала – предприятие или организация, поставляющая ЛКМ для антикоррозионной защиты. Поставщик при поставке материала обязан предоставить заказчику или производителю работ следующую информацию:

- информацию по обращению или разбавлению растворителями;
- информацию по заводской грунтовке;
- спецификацию основных физических свойств и результатов испытаний материалов;
- сертификат на каждую партию поставляемого материала;
- срок службы системы покрытия при использовании поставляемого материала с соблюдением технологии.

Производитель работ (по антикоррозионной защите) – подрядчик – организация, участвующая в приемке судна, ПБУ, МСП под проведение антикоррозионных работ и осуществляющая комплекс работ по антикоррозионной защите судна, ПБУ, МСП. Производитель работ несет ответственность за качественное выполнение работ в

объеме, предусмотренном в задании заказчика, и дает письменные гарантии на весь период гарантированного срока службы системы покрытия.

Система покрытий – система последовательно нанесенных и совместимых слоев лакокрасочных материалов.

Срок службы или долговечность лакокрасочного покрытия – промежуток времени до первого капитального ремонта.

Струйно-абразивная очистка – способ очистки поверхности с помощью струи воздуха с абразивным материалом.

Схема технологического процесса – последовательность технологических операций по созданию защитного покрытия.

Толщина покрытия – номинальная толщина отвержденного покрытия в соответствии с нормативной документацией на систему покрытия.

3 ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В Инструкции использованы следующие обозначения и сокращения:

ИМО – Международная морская организация;

ИСО (ISO) – Международная организация по стандартизации;

ЛКМ – лакокрасочный (-ые) материал (-ы);

ЛКП – лакокрасочное (-ые) покрытие (-ия);

МС – международные стандарты;

МСП – морские стационарные платформы;

НД – нормативная документация;

ПБУ – плавучие буровые установки;

ТВП – толщина высохшей пленки.

4 НОРМАТИВНЫЕ ССЫЛКИ

4.1 ПЕРЕЧЕНЬ МЕЖДУНАРОДНЫХ СТАНДАРТОВ, РЕГЛАМЕНТИРУЮЩИХ РАБОТЫ ПО ПОДГОТОВКЕ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ПЕРЕД ИХ НАНЕСЕНИЕМ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ ПО ПОДГОТОВКЕ ПОВЕРХНОСТИ И НАНЕСЕНИЮ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПО ОХРАНЕ ТРУДА И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

ИСО 1512 «Лаки и краски. Отбор проб от жидких и пастообразных материалов».

ИСО 1513 «Лаки и краски. Контроль и приготовление образцов для испытаний».

ИСО 1514 «Лаки и краски. Стандартные пластины для испытаний».

ИСО 2409 «Лаки и краски. Испытания методом решетчатого надреза».

ИСО 2431 «Лаки и краски. Метод определения времени истечения с использованием воронок».

ИСО 2808 «Лаки и краски. Определение толщины пленки».

ИСО 2811 «Лаки и краски. Метод определения плотности».

ИСО 4624 «Лаки и краски. Определение адгезии методом отрыва».

ИСО 4627 «Лаки и краски. Оценка совместимости продукта с окрашиваемой поверхностью. Методы испытаний».

ИСО 4628 «Оценка степени разрушения лакокрасочных покрытий. Обозначение интенсивности, количества и размера дефектов общего типа».

ИСО 9117 «Лаки и краски. Определение состояния и времени полного высыхания. Метод испытания».

ИСО 8501 «Подготовка стальной основы перед нанесением красок и подобных покрытий. Визуальная оценка чистоты поверхности».

ИСО 8502 «Подготовка стальной основы перед нанесением красок и подобных покрытий. Испытания для оценки чистоты поверхности».

ИСО 8503 «Подготовка стальной основы перед нанесением красок и подобных покрытий. Характеристики шероховатости поверхности стальной основы, очищенной методом струйной очистки».

ИСО 8504 «Подготовка стальной основы перед нанесением красок и подобных покрытий. Методы подготовки поверхности».

ИСО 11124 «Подготовка стальной основы перед нанесением красок и подобных покрытий. Спецификации металлического абразива для струйной очистки».

ИСО 11125 «Подготовка стальной основы перед нанесением красок и подобных покрытий. Методы испытаний металлического абразива для струйной очистки».

ИСО 11126 «Подготовка стальной основы перед нанесением красок и подобных покрытий. Спецификация неметаллического абразива для струйной очистки».

ИСО 11127 «Подготовка стальной основы перед нанесением красок и подобных покрытий, методы испытаний неметаллического абразива для струйной очистки».

ИСО 12944-5 «Лаки и краски. Антикоррозионная защита стальных конструкций от коррозии с помощью защитных лакокрасочных систем».

ИСО 20340 «Краски и лаки. Требования к рабочим характеристикам защитных окрашивающих систем для морских и аналогичных сооружений».

NACE RP 0188 «Определение сплошности покрытий».

АСТМД 4752 «Стандартный метод по измерению стойкости цинксликатного (неорганического) с высоким содержанием цинка покрытия к протирке метилэтилкетонам (МЭК)».

5 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ЗАЩИТЕ МЕТАЛЛА ЛАКОКРАСОЧНЫМИ ПОКРЫТИЯМИ

5.1 МЕХАНИЗМ ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

Способность лакокрасочного покрытия (ЛКП) предотвращать или замедлять коррозию металла определяется пятью основными группами его свойств: 1 – барьерными; 2 – адгезионными; 3 – диэлектрическими; 4 – пассивирующими; 5 – физико-механическими.

Барьерные свойства покрытия – это способность, во-первых, ограничивать доставку через пленку к металлу воды, кислорода, хлоридов и других коррозионных агентов и удаление через пленку в среду продуктов коррозии; и, во-вторых, самому противостоять воздействию среды. Барьерные свойства покрытия (проницаемость, сорбция) тесно связаны со структурой полимерной пленки, ее наполнением, степенью гидрофильности и пр. Различают полимеры линейные и с трехмерной структурой. Очевидно, что полимер с частой трехмерной сеткой представляет собой большее препятствие для частиц среды, чем линейный полимер. Полимер с гидрофильными и полярными группами будет более активно сорбировать воду, чем полимер гидрофобный. Проницаемость пленки будет меньше, если ее наполнить, например, частицами стекла чешуйчатой формы.

Адгезионные свойства покрытия объясняются сложным взаимодействием (физическим, химическим, электрическим) функциональных групп полимера с активными центрами металла. Возникшие связи препятствуют взаимодействию металла с частицами среды, т.е. процессу коррозии. Попросту говоря, чем выше адгезия, т.е. чем больше связей металла с полимером и чем сильнее эти связи, тем меньше остается вакантных участков, на которых возможен коррозионный процесс.

Диэлектрические свойства покрытия характеризуются электрическим сопротивлением покрытия в данной среде и являются суммой двух его

составляющих – омического и поляризационного сопротивлений. Суть влияния электрического сопротивления на процесс коррозии состоит в уменьшении стока ионных зарядов и электронов от поверхности металла через пленку в среде, т.е. в торможении как анодного, так и катодного процесса. Существует прямая зависимость между электрическим сопротивлением покрытия и его защитными свойствами. В частности, хорошую защиту в морской воде обеспечивают покрытия, имеющие электрическое сопротивление не менее $10^8 \text{ Ом} \cdot \text{см}^2$.

Пассивирующие свойства характеризуют способность покрытия пассивировать металл под пленкой покрытия в местах нарушения адгезии с помощью экстрагируемых из покрытия пигментов или ингибиторов коррозии. Пассивирующие свойства могут проявляться на металле по-разному: изменением потенциала анодных или катодных участков, изменением pH-среды под пленкой, образованием оксидных пленок и ингибирующих комплексов. Эффективность пигментов и ингибиторов в покрытии определяется оптимальной концентрацией пассивирующего раствора под пленкой и продолжительностью поддержания металла в пассивном состоянии.

Физико-механические свойства характеризуют устойчивость покрытия к механическому разрушению пленки под действием внешних и внутренних напряжений. Механизм разрушения лакокрасочного покрытия и коррозии окрашенного металла включает в себя множество последовательных и параллельных превращений физического, химического, электрохимического и механического характера. Условно этот процесс можно представить в виде четырех нижеперечисленных последовательных стадий.

Стадия 1: диффузия коррозионно-активных агентов (воды, кислорода, хлоридов) через пленку покрытия к металлу.

Под покрытием вследствие шероховатости и наличия неадгезированных участков имеют место не заполненные лакокрасочным материалом полости. В эти полости проникает сначала вода (молекула воды имеет меньшие размеры), затем кислород и хлориды. Процесс диффузионного проникновения включает в себя адсорбцию реагентов среды на поверхности покрытия, растворение их в пленке покрытия, перенос через пленку под влиянием градиента химического потенциала и адсорбцию на поверхности металла.

На этой стадии начинается и продолжается в течение всего срока службы покрытия взаимодействие его со средой и изменение физико-химических и физико-механических характеристик покрытия. Результатом такого взаимодействия являются набухание пленки, ослабление межмолекулярных связей, вымывание из полимерной матрицы растворителей, пигментов и низкомолекулярных фракций полимера, деструкция

макромолекул и т.п. Это приводит к снижению прочности пленки, ослаблению адгезионных связей.

Стадия 2: растворение водой пассивирующих пигментов (в случае их присутствия), торможение коррозионных процессов, осмотическое проникновение воды на участках неадгезированного покрытия.

Вода, проникая в покрытие, частично растворяет противокоррозионные пигменты, образуя пассивирующий раствор на границе металл-покрытие. При определенной концентрации этого раствора полностью тормозится коррозия металла. Содержание водорастворимых пигментов в покрытии выбирается обычно с учетом оптимального сочетания их положительных свойств (защита от коррозии) и отрицательных (осмос, снижение барьерных качеств).

При осмотическом заполнении полостей водой давление в ней возрастает, что приводит к образованию под пленкой осмотических пузырей. Со временем давление возрастает настолько, что в отдельных местах начинают нарушаться слабые адгезионные связи, чему способствует расклинивающее действие раствора.

Стадия 3: снижение концентрации пассивирующего раствора под пленкой покрытия ниже минимального защитного уровня, начало коррозионного процесса.

С ростом объема осмотических пузырей концентрация пассиватора в них начинает уменьшаться и, соответственно, увеличивается скорость коррозии под пленкой покрытия. Продолжается разрушение адгезионных связей и рост микрополости за счет осмотического проникновения воды и вследствие давления образующихся продуктов коррозии (их объем, как известно, в несколько раз превышает объем разрушений металла).

Стадия 4: когезионное или адгезионное разрушение покрытия.

На этой стадии на пленку покрытия с длительной прочностью $\sigma_{\text{дл}}$ действуют механические напряжения от давления продуктов коррозии $\sigma_{\text{корр}}$, осмотического давления $\sigma_{\text{осм}}$, деформаций окрашенной конструкции σ_{σ} , а также внутренние напряжения в пленке $\sigma_{\text{вн}}$.

Характер разрушения ЛКП определяется не только внешними воздействиями, но и природой лакокрасочного материала, главным образом, типом пленкообразующей основы и наполнения. Например, кремнийорганические покрытия обладают хорошими термостойкими свойствами вследствие высокой энергии связи Si-O (446 кДж/моль против 250 – 290 кДж/моль для связи C-C), однако имеют низкую стойкость при контакте с водой и влажной атмосферой. Благоприятно влияют на термостойкость различных покрытий пигменты с чешуйчатой формой частиц: алюминиевая пудра, слюда, стекло.

Часто критическое состояние ЛКП определяется не коррозией металла под покрытием и не разрушением пленки, а ее декоративным видом. В этом случае покрытие оценивают такими показателями как меление, изменение цвета и блеска, грязеудержание.

Таким образом, описанный выше механизм разрушения ЛКП, наиболее типичный для антикоррозионных покрытий, может иметь существенные специфические отличия для различных условий эксплуатации окрашенного объекта и различных по природе лакокрасочных материалов. Это следует учитывать при выборе оптимальных систем покрытий для конкретных условий эксплуатации объекта.

5.2 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПЛЕНКООБРАЗОВАНИИ

Образование твердого ЛКП из жидкого лакокрасочного материала, как правило, происходит из:

физического процесса испарения растворителей (хлоркаучуковых, виниловых, сополимерно-винилхлоридных материалов);

химической реакции отверждения с использованием сшивающих низкомолекулярных агентов (эпоксидных, полиуретановых);

химической реакции окисления сопряженных двойных связей с кислородом воздуха (алкидных, масляных материалов).

Химические реакции обычно протекают одновременно с физическим процессом испарения растворителей.

Независимо от того, какие процессы лежат в основе пленкообразования, внешним их проявлением служит постепенное или скачкообразное увеличение вязкости материала. Если исходный материал был жидким, то на определенной стадии процесса он становится вязкотекучим и, наконец, приобретает свойства твердого стеклообразного тела.

Пленкообразование, при котором отсутствуют химические превращения (пленка формируется лишь за счет физических процессов), предопределяет получение обратимых (термопластичных и растворимых) покрытий. При этом свойства материала пленки во многом соответствуют свойствам исходных пленкообразователей, которыми служат преимущественно полимеры аморфного или кристаллического строения: виниловые, акриловые, полиолефины, полиамиды, полифторолефины, пентапласт, эфиры целлюлозы и др.

В зависимости от химической природы пленкообразующего вещества, его растворимости, термопластичности получают покрытия из растворов, расплавов, водных и органических дисперсий, аэродисперсий (порошковых систем).

Более 90 % промышленных лаков и красок содержат растворители. Поэтому пленкообразование из растворов, связанное с удалением из них растворителей, крайне распространено в технологии лакокрасочных покрытий. Растворители удаляются обычно испарением.

С кинетической точки зрения процесс испарения растворителей можно разделить на две стадии:

1 – испарение из жидкой пленки, скорость которого пропорциональна разности парциальных давлений насыщенного пара над раствором и в окружающей среде;

2 – испарение из сформировавшейся пленки, скорость которого контролируется диффузией растворителя внутри пленки.

Скорость первой стадии возрастает с увеличением температуры и уменьшением относительной влажности воздуха; второй стадии – с увеличением скорости движения воздуха вблизи окрашенной поверхности и повышением температуры.

При формировании покрытий из растворов, как и из любых жидких лакокрасочных материалов, различают два состояния пленок: высыхание «от пыли», когда пленка утрачивает липкость, и практическое высыхание, когда покрытие приобретает твердость, необходимую для последующей эксплуатации изделий. Время высыхания «от пыли» обычно коррелируется с продолжительностью испарения из пленки примерно 60 % растворителей, в то время как растворение лакокрасочного материала по поверхности прекращается уже при испарении 25 – 30 % растворителя. О завершении процесса формирования покрытия обычно судят по их твердости, липкости, электрическим параметрам.

Сформированные в естественных условиях покрытия всегда содержат некоторое количество (0,1 – 2 %) остаточных растворителей, которые нередко сохраняются длительное время, отрицательно сказываясь на свойствах покрытий и ухудшая условия эксплуатации окрашенных помещений. Эти дефекты возникают в случае применения очень летучих растворителей, и их можно избежать, применяя менее летучий растворитель.

Пленкообразование, осуществляемое в результате химических превращений, предусматривает химические реакции с мономерами или олигомерами в тонком слое на подложке, в результате которых образуются линейные разветвленные или пространственно-сшитые полимеры. Получаемые покрытия, как правило, необратимы.

Продолжительность формирования покрытий определяется скоростью протекания химических реакций, а их свойства – степенью завершенности процесса.

Покрyтия формируются при положительных температурах, скорость отверждения возрастает с увеличением температуры.

Физико-механические характеристики и химическая стойкость таких покрытий, как правило, высокие, особенно в случае получения покрытия с трехмерной пространственной структурой.

Химически отверждающиеся лакокрасочные материалы готовят из двух или более компонентов непосредственно перед применением. Такие лакокрасочные материалы обычно содержат минимальное число растворителей, их можно наносить в широком интервале толщин. Из материалов химического отверждения чаще всего применяют эпоксидные и полиуретановые.

5.3 ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛАХ

5.3.1 Классификация лакокрасочных материалов.

5.3.1.1 В судостроении используется широкий ассортимент лакокрасочных материалов. Это обусловлено сложными и разнообразными условиями эксплуатации судов, МСП, ПБУ, разнообразием коррозионных сред, необходимостью использования покрытий различного цвета и т.п.

Лакокрасочные материалы классифицируют по виду, области преимущественного назначения,

типу пленкообразующего вещества.

По виду лакокрасочные материалы разделяют на лаки, краски, грунтовки, шпатлевки и эмали.

В зависимости от области преимущественного назначения материалов они делятся на девять групп: 1 – атмосферостойкие, 2 – ограниченно атмосферостойкие, 3 – консервационные, 4 – водостойкие, 5 – специальные, 6 – маслбензостойкие, 7 – химически стойкие, 8 – термостойкие, 9 – изоляционные и электропроводные.

По типу пленкообразующего вещества лакокрасочные материалы разделяют на более чем 40 групп, из которых наиболее употребительны для изготовления лакокрасочных материалов следующие: ЭП – эпоксидные; ПФ – пентафталевые; ГФ – глифталевые; УР – полиуретановые; ХВ – перхлорвиниловые и поливинилхлоридные; ХС – сополимерно-винилхлоридные; ЭФ – эпоксиэфирные; КЧ – каучуковые; БТ – битумные; КО – кремнийорганические; КФ – канифольные; ФЛ – фенольные; ЖС – силикатные и др.

Обозначение лакокрасочного материала записывают в следующем порядке:

вид лакокрасочного материала;

обозначение пленкообразующего вещества;

обозначение группы по преимущественному назначению;
порядковый номер, присвоенный данному материалу;
словесное обозначение цвета.

Для ряда лакокрасочных материалов перед обозначением пленкообразующего вещества ставится индекс, определяющий разновидность материала: Б – без растворителя; ВД – вододисперсионные; П – порошковые. Для грунтовой и полуфабрикатных лаков вместо обозначения группы по преимущественному назначению записывается цифра 0, для шпатлевок – цифры 00.

5.3.1.2 Грунтовки.

Лакокрасочные материалы наносятся на защищаемую поверхность, как правило, по системам, состоящим из нескольких слоев грунтовок и эмалей. Первым слоем такой системы обычно является грунтовка, основное назначение которой – обеспечение хорошей адгезии с подложкой и последующими слоями покрытия, а также повышение противокоррозионных свойств системы ЛКП.

Грунтовки разделяют на пять основных групп: изолирующие, пассивирующие, фосфатирующие, протекторные и модификаторы ржавчины.

Изолирующие (или химически неактивные) грунтовки готовят на основе инертных пигментов (оксиды железа, цинка, титана и др.). Они предназначены для улучшения адгезии и создания механического барьера проникновению коррозионно-активных компонентов атмосферы и отводу продуктов коррозии.

Пассивирующие грунтовки создают на поверхности металла адсорбционные или фазовые пассивные слои, приводящие к торможению коррозионного процесса. Вода, проникая через покрытие к металлу, частично растворяет пигменты (хроматы цинка, бария, стронция и других металлов; фосфаты хрома, цинка и др.), содержащиеся в грунтовочном слое. При этом образуется раствор, обладающий при определенной концентрации пассивирующими свойствами.

Фосфатирующие грунтовки образуют на металле фосфатную пленку, улучшающую адгезию покрытия и способствующую пассивации металла. В составе грунтовок всегда содержится фосфорная кислота, которая при неправильной дозировке может стимулировать коррозию металла и вызывать разрушение покрывных слоев покрытия.

Протекторные грунтовки содержат в себе частицы металла, имеющие более электроотрицательный потенциал и выполняющие функцию расходоуемых анодов, т.е. растворяясь, они электрохимически защищают металл под пленкой лакокрасочного покрытия. В качестве таких пигментов обычно используется мелкодисперсионный цинковый порошок.

Грунтовки-модификаторы ржавчины используют в том случае, когда нет возможности или экономически нецелесообразно полностью очистить окрашиваемую металлическую поверхность от продуктов коррозии. Эти грунтовки взаимодействуют с гидратированными оксидами металла (например, Fe_2O_3) с образованием нерастворимых и неактивных в коррозионном отношении соединений. Однако, в большинстве случаев покрытия, полученные с использованием грунтовок-модификаторов ржавчины без удаления продуктов коррозии, уступают по защитным свойствам покрытиям, нанесенным на очищенную от оксидов поверхность.

5.3.1.3 Шпатлевки.

Шпатлевками называют густые пасты, состоящие из пленкообразующей основы, наполнителей и пигментов. Их применяют для устранения неровностей и исправления таких дефектов, как вмятины, раковины или царапины на окрашиваемой поверхности.

Шпатлевки в отличие от грунтовок и эмалей содержат меньше пленкообразующей основы, количество которой должно правильно дозироваться. При избытке основы шпатлевка плохо шлифуется, при недостатке становится хрупкой, слабоводостойкой. Наполнителями для шпатлевок обычно служат мел, тальк, литопон, железоксидные пигменты.

5.3.1.4 Эмали и краски.

После грунтования и шпатлевания (если последнее предусмотрено в системе покрытия) наносятся последующие слои покрытия. Материал верхних (покрывных) слоев выбирают в зависимости от условий эксплуатации и требуемого внешнего вида изделия, при этом учитывается природа материала нижних слоев. В соответствии с назначением покрытий применяют различные по типу и химической природе эмали и краски.

Между эмалями и красками нет четкого различия. Обычно эмалями называют суспензию пигментов или смеси пигментов с наполнителями в растворе синтетического пленкообразующего вещества, образующего после высыхания непрозрачную твердую пленку с различным блеском и фактурой поверхности. Если в качестве пленкообразующего вещества используются олифы, масла или дисперсии, такой материал называют краской.

Многообразие внешних факторов, воздействующих на покрытия, и их сочетания приводят к необходимости применения множества систем покрытий, отвечающих конкретным условиям эксплуатации.

5.4 ОСНОВНЫЕ КОМПОНЕНТЫ ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

5.4.1 Для приготовления лакокрасочных материалов используют различные компоненты. Иногда рецептура лакокрасочного материала

включает в себя 20 и более компонентов. Ниже приводятся основные из них.

Лаки – растворы смол в летучих органических растворителях или воде. При введении в лак пигментов и наполнителей получают эмаль. При нанесении лака или эмали на поверхность растворитель улетучивается, а не летучая часть образует пленку.

Наполнители – инертные вещества, вводимые в лакокрасочный материал для снижения расхода пигментов, а также для улучшения барьерных свойств (например, наполнители чешуйчатой формы из стекла, слюды и т.п.).

Олифы – растительные масла, обработанные особым способом. Пленка таких масел, нанесенных на поверхность тонким слоем, под влиянием света и кислорода воздуха подвергается внутренним изменениям и отвердевает. Для приготовления красок используют натуральные (льняные, конопляные, тунговые, касторовые и др.) и синтетические олифы.

Отвердители – вещества, используемые для отверждения термореактивных лакокрасочных материалов (эпоксидных, полиэфирных, полиуретановых и др.). В результате взаимодействия реакционно-способных групп пленкообразующей основы и отвердителя образуется твердая нерастворимая пленка с трехмерной молекулярной структурой.

Пигменты – сухие красящие вещества минерального происхождения, не растворяющиеся в связующем растворе. Пигменты вводят в состав грунтовок, шпатлевок, красок, эмалей, чтобы придать им нужный цвет. Вместе с тем пигменты влияют и на защитные свойства покрытий. Они повышают твердость и прочность пленки, уменьшают ее водо-, кислородо-, и солепроницаемость, оказывают влияние на высыхание пленкообразующей основы. Некоторые пигменты придают покрытию дополнительные антикоррозионные свойства.

Пластификаторы – вещества, которые повышают эластичность пленки покрытия. В качестве пластификаторов применяют растительные масла невысыхающего типа, различные смолообразные вещества. Пластификаторы должны хорошо совмещаться с пленкообразующей основой и не изменять цвет покрытия под влиянием солнечных лучей.

Разбавители – органические летучие жидкости, не растворяющие пленкообразующую основу, но способные разводить лакокрасочный материал до рабочей вязкости. Одно и то же вещество, например, ацетон или скипидар, может быть растворителем для одних пленкообразователей и разбавителем для других.

Растворители – органические летучие жидкости, способные растворить пленкообразующую основу. Растворители вводят в состав ла-

кокрасочных материалов для придания им такой консистенции, при которой их можно наносить на окрашиваемую поверхность тонким равномерным слоем. После нанесения покрытия растворитель улетучивается из пленки.

Сиккати́вы – вещества, ускоряющие высыхание растительных масел и лакокрасочных материалов, содержащих эти масла. Сиккатив поглощает кислород воздуха и быстро передает его маслу. Благодаря этому сокращается время, необходимое для образования твердой пленки покрытия. Сиккативы представляют собой соли различных металлов: кобальта, марганца, кальция, свинца и др. В некоторых случаях сами пигменты являются ускорителями высыхания красок (например, свинцовый сурик, свинцовые белила и др.).

5.5 ТИПЫ КРАСОК

5.5.1 Типы красок приведены в соответствии с ИСО 12944-5 «Лаки и краски. Антикоррозионная защита стальных конструкций от коррозии с помощью защитных лакокрасочных систем. Часть 5. Защитные лакокрасочные системы».

5.5.2 Краски, сохнущие на воздухе.

Пленка затвердевает благодаря испарению органических растворителей или воды с последующей реакцией связующего вещества с кислородом воздуха.

Типичными связующими веществами являются: алкидные смолы, уретаналкидные смолы, эпоксиэфирные смолы.

Время высыхания, помимо прочих факторов, зависит от температуры. Взаимодействие с кислородом может протекать даже при температуре около 0 °С, хотя при низких температурах скорость высыхания значительно замедляется.

5.5.3 Краски, сохнущие под влиянием физических факторов.

По составу эти краски могут быть на основе растворителя или на основе воды.

5.5.3.1 Краски на основе растворителя.

Пленка высыхает при испарении растворителя. Этот процесс обратим, то есть сухая пленка остается растворимой в исходном растворителе.

Типичными связующими веществами являются: хлоркаучуки; сополимеры винилхлорида; акриловые смолы; битум.

Время высыхания зависит, помимо прочего, от увеличения температуры воздуха. Высыхание может происходить при температуре до 0 °С, хотя при низких температурах оно протекает намного медленнее.

5.5.3.2 Краски на водной основе.

В этих красках связующее вещество диспергировано в воде. Пленка затвердевает при испарении воды и образовании пленки (коалесцентности) из диспергированного связующего вещества.

Процесс необратим, то есть покрытие этого типа не способно повтор- ное после высушивания, диспергироваться в воде.

Типичными связующими веществами являются: акриловые дисперсии, виниловые дисперсии, полиуретановые дисперсии.

Время высыхания, помимо прочего, зависит от движения воздуха, относительной влажности и температуры.

Высыхание может происходить при температуре до + 3 °С, хотя при низких температурах оно протекает значительно медленнее.

5.5.4 Краски, отверждаемые химическим путем.

Краски этого типа состоят из основного компонента и отверждающего компонента.

Отверждение пленки краски происходит благодаря испарению растворителей, если они присутствуют, и последующей химической реакции между основным и отверждающим компонентами.

5.5.4.1 Эпоксидные двухкомпонентные краски.

Основной компонент. Связующими веществами основного компонента служат полимеры, содержащие эпоксидные группы, которые взаимодействуют с отвердителями.

Типичными связующими веществами являются: эпоксидные смолы; эпоксивиниловые/эпоксиакриловые смолы; комбинации эпоксидных смол.

Композиции могут быть на растворителе, воде, либо могут не содержать растворителей.

Эпоксидные смолы под воздействием солнечного света белеют. Поэтому, если требуется атмосферостойкость, верхний слой необходимо выполнять из алифатического полиуретана или краски, высыхающей под действием физических факторов.

Отверждающий компонент. Чаще всего используются полиамиды или продукты на их основе.

В качестве грунтовочных материалов наиболее пригодны полиамиды, поскольку они обладают хорошими увлажняющими свойствами. Полиамиды применяют в покрытиях, которые должны быть наиболее устойчивы к воздействию химических веществ.

Для отверждения нет необходимости в движении воздуха. Время отверждения, однако, зависит, помимо прочего, от движения воздуха и от температуры. Реакция отверждения протекает при температуре до + 5 °С.

В настоящее время используются специальные отверждающие агенты, которые позволяют отверждать покрытие при более низких температурах (так называемый «зимний вариант»).

5.5.4.2 Двухкомпонентные полиуретановые краски.

Связующие вещества представляют собой полимеры со свободными гидроксильными группами, которые вступают в реакции с отверждающими веществами. Композиции могут быть на основе растворителя или без растворителя.

Типичными связующими веществами являются: сложные полиэфиры, эпоксины, простые полиэфиры, фторкаучуки.

Отверждающий компонент. Чаще всего используются ароматические или алифатические полиизоцианаты.

Продукты, отвержденные при использовании алифатических полиизоцианатов, обладают прекрасными характеристиками по сохранению блеска и цвета, если их применили в сочетании с подходящим основным компонентом.

Ароматические полиизоцианаты – отвердители приводят к более быстрому высыханию, однако они менее пригодны с точки зрения внешних воздействий, поскольку более склонны быстрее белеть и обесцвечиваться.

Для отверждения нет необходимости в воздействии воздуха. Вместе с тем, время высыхания, помимо прочего, зависит от движения воздуха и температуры. Реакция отверждения может протекать при температуре до 0 °C или ниже, однако необходимо поддерживать относительную влажность в рекомендованных производителем рамках для получения покрытий не содержащих пузырей и точечных отверстий.

5.5.5 Краски, отверждаемые влагой.

Пленка высыхает благодаря испарению растворителя. Ее отверждение осуществляется химическим путем за счет реакции с влагой, содержащейся в воздухе.

Типичные виды связующих: полиуретановые (однокомпонентные), алкилсиликатные (однокомпонентные и двухкомпонентные этилсиликатные).

Время высыхания зависит, помимо прочего, от температуры, движения воздуха, влажности и толщины пленки. Реакция отверждения может протекать при температуре до 0 °C при условии, что в воздухе еще содержится влага. Чем ниже относительная влажность, тем меньше скорость отверждения.

Во избежание образования пузырьков, точечных отверстий, отслаивания покрытия важно руководствоваться указаниями производителей,

касающихся предельных величин влажности, относительной влажности, а также толщины сырой и сухой пленки.

При использовании цинкнаполненных этилсиликатных ЛКМ помимо стандартных методов определения степени высыхания рекомендуется проверка устойчивости покрытия по методу МЭК (стандарт АСТМД 4752).

5.6 СОВМЕСТИМОСТЬ МАТЕРИАЛОВ В СИСТЕМАХ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ

Лакокрасочные материалы наносятся на защищаемую поверхность, как правило, по многослойным системам, которые могут состоять из грунтовок, шпатлевок, эмалей различного назначения. При этом лакокрасочные материалы, входящие в систему, могут быть разнородными не только по пигментной части, но и по пленкообразующей основе, но они должны быть совместимы друг с другом. Стандарт ИСО 12944-5 дает определение совместимости ЛКМ как способность двух или большего числа ЛКМ быть использованными в системе покрытий без выявления нежелательных эффектов. Использование материалов с несовместимыми связующими и растворителями, которые не обеспечивают необходимой межслойной адгезии или качественного равномерного послойного покрытия, приводит к необходимости удаления некачественного покрытия и повторному выполнению подготовительных и окрасочных работ.

При составлении систем покрытий лучше всего использовать материалы с одним типом связующего. Особенно это касается материалов химического отверждения (эпоксидных и полиуретановых). Для обеспечения необходимой межслойной адгезии при нанесении этих материалов необходимо очень точно выполнять рекомендации по времени межслойной сушки. В состав эпоксидов и полиуретанов входят очень активные растворители (ксилол, ацетон, циклогексанон), поэтому эти материалы нельзя наносить по обратимым покрытиям физического отверждения (хлоркаучуковым, виниловым, сополимерно-винилхлоридным, нитроцеллюлозным и т.п.), так как может произойти растворение обратимых покрытий и образование дефектов. При нанесении эпоксидных или полиуретановых покрытий на материалы, отверждающиеся кислородом воздуха (алкидные, масляные), может произойти набухание и подрастворение этих покрытий и отслоение всего покрытия от металла.

Полиуретановые эмали можно наносить только по полиуретановым, поливинилбутиральным или эпоксидным грунтовкам и эмалям, соблюдая

требования по условиям межслойной сушки для обеспечения межслойной адгезии. Эпоксидные эмали можно наносить только по эпоксидным, поливинилбутаральным, цинксиликатным и этилсиликатным грунтовкам и эмалям.

Кремнийорганические и силикатные лакокрасочные материалы не рекомендуется наносить ни по каким другим видам лакокрасочных материалов, так как большинство из них является материалами термического отверждения.

Алкидные и масляные эмали можно наносить практически по всем лакокрасочным материалам физического отверждения, кроме битумных и пековых. В случае применения алкидных и масляных эмалей по покрытиям, содержащим битумы и пеки, возможна миграция последних в верхние слои и изменение их цвета.

Виниловые, сополимерно-винилхлоридные и хлоркаучуковые материалы можно наносить по поливинилбутиральным, акриловым, эпоксиэфирным, цинксиликатным и эпоксидным материалам.

При ремонте лучше использовать те же лакокрасочные материалы, что и при предыдущем окрашивании или аналогичные им (на том же связующем).

Для исключения ошибок лучше всего пользоваться экспериментально проверенными рекомендациями, приведенными в технологической инструкции или других документах на данный материал.

Оценку совместимости ЛКМ следует выполнять в соответствии с ГОСТ 29318-92 или ИСО 4627. Данные стандарты устанавливают методы оценки совместимости ЛКМ или системы покрытий с окрашиваемой поверхностью. Поверхность может быть неокрашенной, специально обработанной, окрашенной или окрашенной и подвергнутой старению перед нанесением на нее лакокрасочного материала или системы покрытий. Приведенные в стандарте методы могут быть использованы для проведения оценки совместимости в лаборатории или непосредственно на изделии.

Обобщенные экспериментальные данные по совместимости ЛКМ на различных пленкообразующих основах представлены в табл. 5.6-1.

Рекомендации по совместимости покрытий на различной основе

Предыдущее покрытие (основа)		Обозначение последующего покрытия												
		МА	Алк.	БТ	XB +пек.	XB	ВЛ	КЧ	ЭФ	ЭП	ЭП +пек.	УР	КО	ЖС
Масляная, масляно-смоляная	МА	+	+	+	-	-	-	6	1	-	-	-	-	-
Алкидная	Алк.	+	+	+	-	-	-	6	1	-	-	-	-	-
Битумная и пековая	БТ	-	-	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Винилово-пековая и хлоркаучуково-пековая	XB+пек.	2	2	+	+	2,3	-	2,3	-	-	-	-	-	-
Виниловая	XB	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-
Поливинилбутиральная	ВЛ	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Хлоркаучуковая	КЧ	+	+	-	+	4	-	+	1	-	-	-	-	-
Эпоксифирная	ЭФ	+	+	-	+	+	-	6	+	-	-	-	-	-
Эпоксидная	ЭП	5	5	-	5	5	-	5	5	5	5	+	-	-
Эпоксидно-пековая	ЭП+пек.	-	-	-	-	5	-	5	5	5	+	2	-	-
Полиуретановая	УР	+	+	-	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-
Кремнийорганическая	КО	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	-
Цинксиликатная на жидком стекле	ЖС	-	-	-	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+

Условные обозначения:

«+» – наносить можно;
«-» – наносить нельзя;
«цифра» – можно наносить со следующими ограничениями:
1 в случае, если эпоксифирное пленкообразующее разбавлено уайт-спиритом;
2 если не пробиваются (не мигрируют) битумы и пеки к поверхности пленки;

- .3 при нанесении противообрастающей эмали целесообразно использовать промежуточный слой для предотвращения диффузии токсинов в битумные (пековые) нижележащие слои;
- .4 после проверки адгезии из-за разнообразия входящих растворителей;
- .5 после придания шероховатости покрытию или по отглицу;
- .6 после эксплуатации не менее 3 мес.

При выборе межоперационных (заводских) грунтовок необходимо учитывать их совместимость с используемыми в дальнейшем системами покрытий. Для правильного выбора следует руководствоваться табл. 5.6-2 (согласно рекомендациям стандарта ИСО 12944-5).

Таблица 5.6-2
Совместимость межоперационных (заводских) грунтовок с лакокрасочными материалами на основе различных пленкообразующих материалов

Заводская грунтовка		Совместимость грунтовки с лакокрасочными материалами							
Тип связующего компонента	Антикоррозийный пигмент	Алкидные	Хлоркаучуковые	Виниловые/ПВХ	Акриловые	Эпоксидные ¹	Полиуретановые	Силикатные/с цинковым порошком	Битумные
Алкидные	Смешанные	+	(+)	(+)	(+)	–	–	–	+
Поливинилбутиральные	Смешанные	+	+	+	+	(+)	(+)	–	+
Эпоксидные	Смешанные	(+)	+	+	+	+	(+)	–	+
Эпоксидные	Порошок цинка	–	+	+	+	+	(+)	–	+
Силикатные	Порошок цинка	–	+	+	+	+	+	+	+
Условные обозначения: «+» – совместимы; «(+))» – проверить на совместимость при участии производителя красок; «–» – совместимость отсутствует.									
¹ Включая сочетания с эпоксидами, например, на основе каменноугольного лака.									

5.7 ПРИНЦИПЫ ВЫБОРА ЛАКОКРАСОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

5.7.1 Основным фактором, влияющим на выбор лакокрасочных материалов для окрашивания конкретных конструкций и изделий, является характер и параметры окружающей среды.

По условиям эксплуатации лакокрасочные материалы обычно разделяют на атмосферостойкие, водостойкие и стойкие в особых средах. Под особыми средами понимают нефтепродукты, различные химикаты, биоактивные среды, среды с повышенными температурами, излучениями и др.

Однако недостаточно при выборе лакокрасочного материала ориентироваться только на тип окружающей среды, необходимо учитывать

ряд эксплуатационных, технологических и экономических факторов, в том числе:

- материал окрашиваемой конструкции;
- требуемую долговечность покрытия;
- ремонтпригодность;
- совместимость с другими методами защиты (например, с катодной защитой);
- технологичность нанесения материала;
- требования декоративности;
- необходимую степень подготовки поверхности;
- требования взрыво- и пожаробезопасности;
- санитарно-гигиенические требования;
- экономическую целесообразность.

Рассматривается, как правило, несколько вариантов покрытия и по совокупности преимуществ и недостатков выбирается оптимальный вариант.

Ниже рассматриваются основные типы лакокрасочных материалов: их свойства, предпочтительные области применения, достоинства и недостатки.

5.7.2 Эпоксидные материалы.

Эпоксидные материалы практически всегда двухупаковочные. Основной эпоксидных лакокрасочных материалов служат эпоксидные смолы, которые представляют собой линейные простые полиэфиры, молекулярные цепи которых имеют реакционно-способные эпоксидные группы на обоих концах и вторичные гидроксильные группы, расположенные вдоль всей цепи.

Образование пространственных полимеров (отверждение смол) происходит в результате сшивки линейных молекул при взаимодействии их с органическими азотосодержащими соединениями (отвердителями). В процессе реакции происходит отверждение смолы и превращение ее в нерастворимое, неплавкое соединение трехмерного строения без выделения побочных продуктов реакции, поэтому почти не происходит усадки покрытия.

Одним из наиболее перспективных лакокрасочных материалов являются материалы, не содержащие растворителей. Их получают на основе жидких эпоксидных смол. Для снижения вязкости в них вводят активные разбавители, которые придают лакокрасочному материалу малярные свойства без использования летучих растворителей. Особенно важно использовать лакокрасочные материалы без растворителей при окрашивании различных цистерн и других замкнутых объемов. Это позволяет резко снизить токсичность, пожаро- и взрывоопасность окрашивания.

Покрытия на основе эпоксидных смол обладают хорошей адгезией к металлу, дереву и другим материалам, высокой твердостью и химической стойкостью, отличной водостойкостью; они устойчивы к воздействию нефти и нефтепродуктов и многих растворителей.

К недостаткам чистых эпоксидных лакокрасочных материалов можно отнести ограничение по нижнему температурному пределу нанесения (не ниже 10 °С), необходимость тщательной подготовки поверхности (Sa2 ½ – Sa3), двухкомпонентность, ограничения жизнеспособности после смешения компонентов (для некоторых материалов – менее 1 ч), склонность к мелению под воздействием солнечного излучения, необходимость шерохования в случае нанесения последующих слоев после некоторого промежутка времени.

Для решения температурного предела применения эпоксидных материалов их модифицируют другими, например, сополимерно-винилхлоридными или хлорвиниловыми смолами. У модифицированных эпоксидных материалов нижний температурный предел снижается до –5 °С и более. В них при необходимости вводят также специальные добавки, которые позволяют снизить требования по подготовке поверхности до степени St2 – St3.

5.7.3 Полиуретановые материалы.

Полиуретановые материалы могут быть одноупаковочными и двухупаковочными. Это продукты взаимодействия полиспиртов с полиизоцианатами. В последнее время начали довольно широко применяться одноупаковочные полиуретаны, отверждаемые влагой воздуха. Использование их наиболее оправдано в районах с высокой влажностью воздуха.

По стойкости к различным агрессивным воздействиям (газы, кислоты, щелочи, растворители, в том числе ароматические) полиуретаны превосходят все остальные лакокрасочные материалы. Покрытия на основе полиуретанов обладают превосходным блеском, очень высокой устойчивостью к истиранию и атмосферостойкостью, включая воздействие ультрафиолетового излучения. Полиуретановые лакокрасочные материалы могут наноситься при более низкой температуре, чем эпоксидные. Допускается их применение при температуре до –10 °С.

5.7.4 Алкидные материалы.

Алкидными смолами называют полиэфиры разветвленного строения, представляющие собой продукты взаимодействия многоосновных спиртов, многоосновных кислот и жирных масел.

В зависимости от спирта, используемого при изготовлении, различают глифталевые (на основе глицерина), пентафталевые (на основе пентаэритрита) и другие смолы.

Для придания алкидным смолам растворимости, а покрытиям на их основе водостойкости и эластичности, их модифицируют растительными маслами или жирными кислотами.

В зависимости от содержания масла в алкидах их разделяют на жирные, средние и тощие, содержащие, соответственно, 56 – 70 %, 46 – 55 % и 35 – 45 % масла. Для глифталевых смол наименьшая водонепроницаемость и наибольшая атмосферостойкость лаковых пленок наблюдается при содержании масла около 50 %, для пентафталевых – при 60 – 65 %. Скорость высыхания и водостойкость смол зависят от типа масла и убывают по следующему ряду: тунговое, льняное, дегидрированное касторовое, соевое, подсолнечное. По показателю светостойкости масла располагаются в обратном порядке. Для грунтовочных покрытий, которые не подвергаются ультрафиолетовому облучению, наибольшее применение нашли смолы на основе льняного и тунгового масел.

Алкидные лакокрасочные материалы чаще всего однокомпонентны. Иногда для ускорения сушки и отверждения в них рекомендуется перед применением вводить сиккатив.

Для алкидных материалов покрытий рекомендуется высокая степень очистки $Sa2\frac{1}{2}$, однако допускается степень очистки $St2$.

Алкидные покрытия обладают достаточно высокой атмосферостойкостью, эластичностью, хорошей адгезией к металлическим поверхностям, дереву, бетону и высокой межслойной адгезией.

К недостаткам алкидов можно отнести низкую стойкость в воде и химически активных средах, сравнительно большой срок высыхания (от 24 ч при 20 °C), необходимость сушки при температуре воздуха не ниже 5 °C.

5.7.5 Акриловые материалы.

Большое распространение в последние годы получили акриловые лакокрасочные материалы. Акриловые смолы получают в результате полимеризации акриловой и метакриловой кислот или их производных. Их используют в виде растворов, а также дисперсий водных и органических.

Лакокрасочные покрытия на основе акриловых сополимеров отличаются высокой атмосферо- и светостойкостью. Эти покрытия эластичны, стойки к удару, имеют хорошую адгезию к окрашиваемой поверхности. Акрилаты горячей сушки используются обычно в качестве высококачественных декоративных покрытий.

К недостаткам акриловых лакокрасочных материалов можно отнести низкую стойкость к растворителям, низкий сухой остаток (до 50 %), небольшую толщину однослойного покрытия (20 – 30 мкм).

5.7.6 Материалы на основе сополимеров винилхлорида.

Большое распространение в России получили лакокрасочные материалы на основе сополимеров винилхлорида с винилацетатом.

В сополимере, содержащем 85 % винилхлорида, примерно на каждые девять молекул хлорида приходится одна молекула винилацетата. Это позволяет улучшить растворимость смолы, так как с увеличением содержания винилацетата растворимость сополимеров возрастает.

Покрытия, полученные на основе сополимера винилхлорида с винилацетатом (А-15), обладают водостойкостью, химической стойкостью и высокой эластичностью. При частичном омылении (гидролизе) сополимера образуется сополимер А-15-0, имеющий некоторое количество гидроксильных групп, способствующих увеличению адгезии. Это – материалы физического отверждения, поэтому их можно наносить при отрицательных температурах.

Лакокрасочные покрытия на основе сополимера А-15-0 обладают водостойкостью, атмосферостойкостью, механической прочностью.

К их положительным качествам можно отнести также быстрое высыхание (1 – 3 ч) и однокомпонентность.

Для придания большей химической стойкости лакокрасочные материалы на основе сополимеров винилхлорида модифицируют эпоксидной смолой. Эти покрытия стойки в воде, щелочах и кислотах, в морской и промышленной атмосфере. Такие покрытия наносятся при температуре от –10 до +35 °С.

К недостаткам сополимерно-винилхлоридных материалов можно отнести низкий сухой остаток (30 – 45 %), небольшую толщину однослойного покрытия (40 – 50 мкм), низкую стойкость к воздействию растворителей, необходимость тщательной подготовки поверхности ($Sa2\frac{1}{2}$).

5.7.7 Материалы на основе хлоркаучуков.

Эти материалы чаще всего представляют собой продукты хлорирования натурального и синтетического каучуков газообразным хлором. В результате хлорирования каучуки теряют свою эластичность и приобретают растворимость в ароматических растворителях. Для получения сильных эластичных покрытий их пластифицируют. Для получения эластичных покрытий необходимо вводить от одной до двух частей пластификатора на одну часть хлоркаучука. В качестве пластификаторов чаще всего применяют хлорпарафины. Хлоркаучуки – материалы физического отверждения. В России перечень таких материалов довольно ограничен.

Хлоркаучуковые покрытия являются водо-, кислото- и щелочестойкими. Благодаря высокому содержанию хлора они обладают по-

ниженной горючестью. К их достоинствам также можно отнести однокомпонентность, возможность нанесения при отрицательных температурах (до -15°C) и относительно непродолжительное время межслойной сушки.

Недостатками хлоркаучуковых материалов являются ухудшение физико-механических свойств под воздействием солнечного света, низкая стойкость к воздействию растворителей и нефтепродуктов, невысокий сухой остаток (не более 50 %), небольшая толщина однослойного покрытия (50 – 70 мкм), необходимость тщательной подготовки поверхности (до степени $\text{Sa}2\frac{1}{2}$).

Обобщенные данные по защитным и декоративным свойствам основных типов лакокрасочных материалов представлены в табл. 5.7.7 (в соответствии со стандартом ИСО 12944-5).

Таблица 5.7.7
Обобщенные данные по защитным и декоративным свойствам основных типов лакокрасочных материалов

Свойства		Различные типы лакокрасочных материалов										Виниловые про-изводные камен-ноу-гольного лака
		Со-поли-меры ви-нилх-лори-да	Хлор-каучук	Акри-ловые	Би-тум-ные	Ал-кид-ные	Отно-сящи-ся к клас-су слож-ных поли-эфир-ов	По-лиуре-таны акри-ловые, алифа-тиче-ские	Эпок-сиды	Сили-каты цинка	Эпоксидно-полиуретановые производные каменноуголь-ного лака	
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Сохранение блеска		Δ	Δ	○	●	Δ	●	○	●	—	●	●
Сохранение окраски		Δ	Δ	○	●	Δ	●	○	●	—	—	—
Стойкость по отношению к:												
Погружению в воду		Δ	Δ	●	○	●	●	Δ/●	○	Δ	○	○
Дождю/конденсации		○	○	○	○	Δ	○	○	○	○	○	○
Растворителям		●	●	●	●	●	Δ	●	Δ	○	●	●
Растворителям (в виде брызг)		●	●	●	●	Δ	○	○/Δ	○	○	●	●
Кислотам		●	●	●	●	●	Δ	●	●	●	●	●
Кислотам (в виде брызг)		Δ	Δ	Δ	●	●	Δ	Δ/●	Δ	●	Δ	●
Щелочам		●	●	●	●	●	●	●	○	●	Δ	●
Щелочам (в виде брызг)		Δ	Δ	Δ	Δ	●	●	○	○	●	○	Δ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Стойкость к сухому нагреву:											
От 60 до 70 °С	Δ	Δ/●	○	Δ	○	○	○	○	○	○	○
От 70 до 120 °С	●	●	/Δ	●	Δ	○	○	○	○	Δ/●	●
От 120 до 150 °С	●	●	●	●	●	Δ	Δ	Δ	○	●	●
Свыше 150 °С	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	●
Физические свойства:											
Стойкость к истиранию	●	●	●	●	Δ	○	Δ	○	○	Δ	●
Устойчивость к ударной нагрузке	Δ	Δ	Δ	Δ	●	○	○	Δ	●	○	Δ
Упругость	Δ	Δ	Δ	Δ	●	○	○	○/Δ	●	Δ	Δ
Твердость	Δ	Δ	Δ	Δ	○	○	Δ	○/Δ	○	Δ	●
Возможность нанесения:											
Кистью	Δ	Δ	Δ	○	○	Δ	Δ	○	●	Δ	Δ
Валиком	●	●	●	○	○	Δ	Δ	Δ	●	Δ	Δ
Напылением	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
Условные обозначения: ○ – отлично; Δ – хорошо; ● – плохо.											
Примечание. Два символа в одном и том же столбце означают, что для различных композиций одного и того же типа материалов могут быть расхождения, т.е. можно применять оба символа.											

5.7.8 Противообрастающие лакокрасочные материалы.

Основную массу обрастателей, отрицательно влияющих на мореходные качества судов, составляют водоросли (зеленые, бурые, красные) и зоообрастатели (балаюсы, мидии, мшанки, гидроиды, трубчатые черви).

На величину обрастания в значительной мере влияют факторы окружающей среды, важнейшими из которых являются: географическое положение, температуры воды, сезонные колебания температуры, глубина, скорость течения, наличие загрязнений и их состав.

Выделяют три основные зоны обрастания: тропическую, субтропическую и умеренную. Тропическая зона характеризуется максимальной интенсивностью обрастания, максимальным видом и размеров обрастателей. Субтропическая зона по видовому составу почти не отличается от тропической, лишь несколько уменьшаются размеры обрастателей. В умеренной зоне размеры обрастания во много раз меньше, чем в тропической и субтропической. Такое распределение достаточно условно, так как существуют значительные различия в обрастании между отдельными районами в пределах одной зоны.

Распределение обрастания по глубине определяется образом жизни обрастателей, их потребностью в солнечном свете, растворенном в воде кислороде, в определенном виде жизни, а также температурными условиями. Поэтому обрастание водорослями происходит в основном в верхних слоях воды, а животные организмы поселяются на большей глубине. Максимальная глубина, на которой отмечалось обрастание, достигает 1000 – 1500 м, однако, чем больше глубина, тем меньше размеры и число организмов данного вида.

Обрастание происходит также в зоне переменного смачивания. Наиболее устойчивыми видами, выдерживающими периодическое осушение, являются балаюсы и зеленые водоросли.

Установлено, что прикрепление обрастателей происходит при скорости течения, не превышающей 1 м/с. Возникающие на первоначальной стадии силы сцепления обрастателей с твердой поверхностью недостаточно велики, чтобы противостоять обтеканию водой при скорости, превышающей 1 м/с. Однако, сила сцепления постепенно увеличивается, и взрослые формы обрастателей выдерживают обтекание водой даже при высокой скорости.

Таким образом, скорость обрастания судна зависит от района эксплуатации и еще в большей степени от длительности стоянок судна.

Обрастание ухудшает эксплуатационные характеристики объектов (судов, морских сооружений), а также разрушает конструкционные материалы в результате действия продукта жизнедеятельности обрастателей.

Современный ассортимент лакокрасочных противообрастающих материалов включает эмали, отличающиеся типом связующего компонента, степенью эффектности, сроком службы и стойкостью. В настоящее время на первый план выступают экологические характеристики, обусловленные наличием в противообрастающих покрытиях биоцидных добавок, которые выделяются в окружающую среду и влияют на жизнедеятельность морских организмов.

Применяемые в настоящее время лакокрасочные материалы по механизму защитного действия можно разделить на материалы контактного типа, растворимые материалы и самополирующиеся лакокрасочные материалы.

Механизм защитного действия традиционных эмалей контактного типа основан на выщелачивании биоцида приблизительно пропорционально его содержанию в лакокрасочной пленке. Увеличение содержания биоцида в пленке приводит к увеличению эффективного действия покрытия, но при этом возрастает и скорость расходования биоцидов. Поэтому увеличение срока службы не связано линейно с количеством биоцида. Кроме этого, постепенное увеличение толщины выщелоченного слоя приводит к снижению скорости выщелачивания биоцида из остальной массы покрытия. При толщине выщелоченного слоя около 50 – 70 мкм скорость выщелачивания снижается до значений, при которых становится возможным прикрепление обрастателей. Таким образом, оставшийся в пленке биоцид уже не обеспечивает защиту от обрастания. Поэтому очевидно, что простое увеличение толщины традиционного покрытия не позволяет увеличить срок его службы.

Традиционные противообрастающие лакокрасочные материалы в настоящее время выпускаются в основном на виниловой и хлоркаучуковой основах. В качестве биоцидов в них используется закись меди. Срок службы таких покрытий не превышает 2 – 2,5 лет. Эти эмали рекомендуются применять для судов, район плавания которых ограничен северными и умеренными широтами.

Противообрастающие краски растворимого типа выпускаются обычно на основе канифоли, и в качестве биоцидов в них используются соединения меди. Эти материалы обычно используются для защиты от обрастания судна на период достройки. Срок службы их невелик и составляет примерно 6 – 12 мес. Увеличение срока службы этих покрытий за счет толщины практически невозможно из-за роста внутренних напряжений, приводящих к растрескиванию и отслаиванию.

Удовлетворительные результаты получены при использовании комплексной системы покрытий, включающей эмаль контактного типа и рас-

творимую эмаль. Принцип действия такой системы заключается в том, что на первой стадии защиту от обрастания обеспечивает верхний слой покрытия (растворимое покрытие), и после полного его растворения вступает в силу нижерасположенный слой покрытия контактного типа. Срок службы таких комплексных систем может составлять 3 – 3,5 года.

Механизм защитного действия самополирующихся покрытий заключается в следующем: происходит диффузия молекул воды в покрытие, гидролиз связей полимерной цепи, а затем растворение и эрозия материала под действием потока воды. Параллельно идет растворение и диффузия биоцидов. Для того чтобы поддерживался необходимый уровень биоцидов на границе покрытие-вода, необходимо постоянное обновление поверхности, что и происходит при движении судна. Кроме того, поверхность самополирующегося противообрастающего покрытия при движении судна становится более гладкой, за счет чего снижается сопротивление движению судна. При выборе самополирующихся покрытий необходимо учитывать скорость движения судна, частоту и продолжительность стоянок, необходимый срок службы покрытия. В зависимости от скорости судна и необходимого срока защиты рассчитывается толщина покрытия. Срок службы покрытия может достигать 5 лет. Самополирующиеся лакокрасочные материалы ранее выпускались на основе гидролизуемых оловоорганических полимеров, представляющих собой продукты полимеризации акрилового или малеинового рядов.

В результате гидролиза оловоорганического сополимера из покрытия выделялся биоцид бистрибутилоловооксид, определенная концентрация которого обеспечивала защиту от обрастания.

Однако, научные исследования, выполненные компетентными международными организациями, показали, что используемые на судах оловосодержащие противообрастающие покрытия создают опасность токсичности для экологически и экономически важных морских организмов, а также возможный вред здоровью человека в результате употребления в пищу морских продуктов.

Руководствуясь результатами этих испытаний и рекомендациями 46-й сессии Комитета по защите морской среды (МЕРС) ИМО Международная конференция по контролю за вредными противообрастающими системами на судах в апреле 2001 г. в Лондоне приняла Международную конвенцию о контроле за вредными противообрастающими системами на судах, которая предусматривает следующее:

с 1 января 2003 г. при строительстве и ремонте судов прекратить нанесение на подводную часть морских судов всех назначений противообрастающих покрытий с оловоорганическими токсинами;

с 1 января 2008 г. на подводной части корпусов не должно быть противообрастающих покрытий с оловоорганическими токсинами или должно быть изолирующее покрытие, препятствующее их выщелачиванию.

Международная конвенция предусматривает требования к освидетельствованию и контролю за применением противообрастающих покрытий на судах и предлагает проект международного свидетельства по противообрастающей системе.

На основе этого проекта Регистром разработано Международное свидетельство по противообрастающей системе (форма 2.4.30), а также Перечень противообрастающих систем (форма 2.4.31), который является приложением к данному Свидетельству.

В течение последних лет различные страны и организации провели многочисленные исследования по разработке систем окраски подводной части корпусов судов с использованием противообрастающих покрытий без оловоорганических токсинов.

Эта работа выполнялась по двум направлениям:

усовершенствованию старых противообрастающих покрытий в основном с токсинами из соединений меди. Эти эмали хотя и удовлетворяют требованиям экологозащитных организаций, так как не содержат в своем составе оловоорганических токсинов, однако, не являются самополирующимися и имеют срок службы 2 – 2,5 года;

разработке новых противообрастающих покрытий без оловоорганических токсинов. Это в первую очередь самополирующиеся эмали на металакрилатной (медно- и цинкакрилатной) основе или на гидролизующемся цинковом полимере, а также эмали на силиконовой основе, к которым морские организмы имеют очень низкую адгезию, не могут удержаться и легко смываются.

Были разработаны новые самополирующиеся противообрастающие краски, не содержащие оловоорганических токсинов.

Самополирующиеся противообрастающие краски, не содержащие оловоорганических токсинов I поколения, имели в своем составе большое количество закиси меди, биологически активные вещества и растворимый в морской воде полимер.

Самополирование таких красок и происходило за счет растворения связующего в морской воде, обеспечивая высвобождение медных токсинов в пограничный слой, без контроля скорости полирования. Срок защиты от обрастания такими красками составлял не более 2 – 3 лет. Эти краски также имели низкую механическую прочность, не отвечающую требованиям к судовым покрытиям.

Разработка самополирующихся противообрастающих красок, не содержащих оловоорганических токсинов II поколения, предусматривала применение нового полимера, растворимого в морской воде с жестко контролируемой скоростью полирования и увеличением механической прочности этих материалов.

Самополирующиеся противообрастающие покрытия II поколения содержат в своем составе совершенно новую волокнистую композитную структуру.

Волокна, внедренные в краску, обеспечивают исключительную механическую прочность с одной стороны и контроль за скоростью полирования в широких пределах с другой, что позволяет получить максимальную защиту от обрастания даже в самых жестких условиях эксплуатации.

Идея использования микроволокон в противообрастающих красках стала возможной за счет введения солей гидролизующего цинккарбоксилатного полимера в технологии связующего. Основным токсином осталась закись меди.

Такие противообрастающие краски имеют высокое содержание нелетучих веществ, позволяют получить большую толщину покрытия за один слой, уменьшить число слоев и обеспечить срок между докованиями 5 лет.

Кроме того, существует направление разработки противообрастающих красок на силиконовой основе, к которой морские организмы имеют низкую адгезию и смываются при движении судна.

К настоящему времени практически все ведущие зарубежные лакокрасочные фирмы производят большой ассортимент противообрастающих самополирующихся покрытий без оловоорганических токсинов.

6 СИСТЕМЫ ОКРАСКИ

Указания по выбору различных типов защитных систем красок приведены в ИСО 12944-5 «Лаки и краски. Антикоррозионная защита стальных конструкций от коррозии с помощью защитных лакокрасочных систем. Часть 5. Защитные лакокрасочные системы».

6.1 КЛАССИФИКАЦИЯ ОКРУЖАЮЩИХ СРЕД И ОКРАШИВАЕМЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В соответствии с ИСО 12944-2 окружающие среды подразделяются на шесть категорий по атмосферной коррозионной активности и на три категории для воды и почвы.

Для морской атмосферы установлена категория C5-M очень высокая (морская).

Для пресной воды установлена категория Im1 – погружение в пресную воду.

Для морской воды установлена категория Im2 – погружение в морскую или солоноватую воду.

В главе 5.7 Инструкции представлены предпочтительные области применения, достоинства и недостатки различных типов.

Системы красок представлены в РД 31.28.10-97 «Комплексные методы защиты судовых конструкций от коррозии» и дополнении к РД 31.28.10-97 «Руководство по окрашиванию судов отечественными и импортными лакокрасочными материалами».

6.2 СРОК СЛУЖБЫ

Определение срока службы, а также интервалов срока службы приведено в ИСО 12944-1.

Срок службы защитной системы зависит от нескольких факторов, в том числе:

- типа системы красок;
- проектных характеристик конструкции;
- состояния подложки перед нанесением;
- эффективности подготовки поверхности;
- стандарта для работ по нанесению;
- условий в процессе нанесения;
- воздействия окружающей среды после нанесения.

В ИСО 12944-1 сроки службы защитной системы подразделяются на три группы:

- малый (М) – от 2 до 5 лет;
- средний (С) – от 5 до 15 лет;
- большой (Б) – свыше 15 лет.

Интервал срока службы не является «гарантийным сроком». Срок службы – техническое понятие, призванное помочь владельцу при разработке графика технического ухода.

Гарантийный срок – понятие, содержащееся в статьях, относящихся к стороне контракта. Гарантийный срок, как правило, короче, чем интервал срока службы. Правил, которые связывали бы два эти промежутка, не существует.

В приложении А к ИСО 12944-5 приведены примеры систем красок, предназначенных для различных окружающих сред.

6.3 СИСТЕМЫ КРАСОК ДЛЯ ПОДВОДНОЙ ЧАСТИ

6.3.1 В системы красок для подводной части входят противокоррозионные и противообрастающие краски.

При выборе и применении противообрастающих красок следует руководствоваться требованиями Международной конвенции о контроле за вредными противообрастающими системами на судах, 2001 г.

6.3.2 Для ориентировки и обоснованного выбора покрытий при разработке нормативно-технической документации при строительстве и ремонте судов ЗАО «ЦНИИМФ» разработал «Руководство по выбору и применению противообрастающих покрытий без оловоорганических биоцидов для подводной части корпусов судов с учетом требований ИМО (МЕРС) и Международной конвенции по контролю за вредными противообрастающими системами для судов в части экологической безопасности морской среды» (ЯКУТ 25-118-2006).

В этой НТД представлена информация о сроках службы противообрастающих систем, составе и содержании биоцидов. Руководство можно использовать в качестве справочного материала при оформлении свидетельств о противообрастающих системах.

6.4 СИСТЕМЫ КРАСОК ДЛЯ БАЛЛАСТНЫХ ТАНКОВ

6.4.1 Выбор и применение систем красок для балластных танков должны основываться на резолюции MSC.215(82) «Стандарт качества защитных покрытий, специально предназначенных для забортной воды балластных танков на судах всех типов и помещений двойного борта на навалочных судах» (принята 8 декабря 2006 г.) с учетом PR34 для общих правил МАКО по конструкции и прочности для навалочных и нефтеналивных судов «Процедурные требования МАКО по использованию стандарта ИМО по применению защитных покрытий (PSPC)» и UISC223 для стальных судов.

6.4.2 В настоящей Инструкции применяются следующие определения, взятые из вышеуказанного Стандарта качества:

Балластные цистерны – цистерны, как они определены в Руководстве по выбору, применению и обслуживанию систем защиты от коррозии, предназначенных для водяного балласта цистерн (резолюция А.798(19)) и в Руководстве по расширенной программе проверок во время освидетельствований навалочных судов и нефтеналивных судов (резолюция А.744(18) с поправками).

Грунтовое покрытие – первое покрытие системы покрытий, применяемое на верфи после применения заводского грунтового покрытия.

Заводское грунтовое покрытие – грунтовое покрытие, применяющееся на заводе для стальных листов автоматическими установками (и перед первым покрытием системы покрытий).

Лист технических данных – лист данных на продукцию изготовителя краски, который содержит детальную информацию и инструкцию, относящуюся к покрытию и его применению.

НТСП (N DFT) – номинальная толщина сухой пленки. Правило 90(10) означает, что 90 % всей измеренной толщины будет больше, или равняться НТСП, и ни один из 10 % оставшихся замеров толщины не должен быть ниже $0,9 \times \text{НТСП}$.

Планируемый срок службы – ожидаемое значение, в годах, срока службы, для которого система покрытий разработана.

Полосовое покрытие – окраска граней, сварных швов (мест сварки), труднодоступных областей и т.п. для обеспечения хорошей адгезии краски и надлежащей ее толщины в критических областях.

Пыль – свободные частицы веществ, присутствующих на поверхности, приготовленной к нанесению покрытия, появляющиеся в результате пескоструйной очистки или других процессов подготовки поверхности или являющиеся результатом действия окружающей среды.

Твердое покрытие – покрытие, которое химически преобразовывается при его формировании, или покрытие, не преобразующееся воздушной сушкой, которое может использоваться для целей эксплуатации. Может быть также неорганическим или органическим.

Точка росы – температура, при которой воздух насыщается влагой.

ТСП (DFT) – толщина сухой пленки.

«Хорошее» – состояние покрытия с незначительной точечной коррозией, как оно определено в резолюции А.744(18).

6.5 СИСТЕМЫ КРАСОК ДЛЯ МОРСКИХ ПЛАТФОРМ

6.5.1 Для выбора и применения систем красок для морских платформ рекомендуется применять стандарт ИСО 20340 «Краски и лаки. Требования к рабочим характеристикам защитных окрашивающих систем для морских и аналогичных сооружений».

Согласно стандарту ИСО 20340 воздействие коррозионной среды на конструкции морских нефтегазовых платформ подразделяется на 4 типа:

атмосферное воздействие (категория коррозионной среды C5-M);

подводную зону – постоянное погружение конструкции в морскую воду (категория коррозионной среды Im2);

приливную зону – участок, в котором уровень воды изменяется из-за природных или искусственных воздействий, ведущих к усилению коррозии благодаря попеременному воздействию морской воды и морской атмосферы (категория коррозионной среды Im2);

зону облива – участок, смачиваемый морской водой и брызгами воды, которые могут дать исключительно интенсивное коррозионное воздействие (категория коррозионной среды Im2).

6.5.2 Для лакокрасочных материалов, предназначенных для противокоррозионной защиты морских платформ, требуется тройная сертификация. Выбор независимых лабораторий должен быть согласован между заинтересованными организациями.

В документации должно быть подтверждено, что ни химический состав отдельных красок, ни описанные системы не будут изменяться после проверки. Если изменения произошли, то окрасочная система должна быть представлена на перепроверку по согласованию между заинтересованными организациями.

6.5.3 Лист технических данных (Technical Data Sheet).

Этот документ определяет всю необходимую информацию на определенный красочный продукт. Информация включает область применения, вид эксплуатационных свойств, характеристики по нанесению, инструкцию по нанесению, информацию об упаковке, об условиях хранения и транспортировке.

6.5.4 Требования к системам покрытий приведены в табл. 6.5.4.

Таблица 6.5.4

Требования к системам покрытий для морских платформ

Подложка	Абразивно-очищенная углеродистая сталь до степени Sa2½ >Sa3, с профилем средним (G)							
Категория коррозионной среды	C-5M			Im2				
Первый слой	Цинкнаполненные грунты в соответствии с ИСО 12944-5			Цинкнаполненные грунты в соответствии с ИСО 12944-5		Другие		
	Силикатный, обогащенный Zn	Органический, обогащенный Zn	Другие грунты	Силикатный, обогащенный Zn	Органический, обогащенный Zn			
Толщина, мкм	≥ 60	≥ 40	≥ 60	≥ 60	≥ 40	≥ 60	≥ 200	–
Число слоев рекомендуемого покрытия	4, включая связывающий (если необходимо)	3	3	4, включая связывающий (если необходимо)	2	3	2	1
Толщина всей системы, мкм	≥ 280	≥ 300	≥ 350	≥ 330	≥ 350	≥ 450	≥ 600	≥ 800
Значение адгезии на отрыв по ИСО 4624 перед испытанием, МПа	3	3	4	3	3	4	6	8

6.5.5 Система красок для морских платформ должна включать лакокрасочные покрытия с большим сроком службы (Б) – свыше 15 лет.

6.5.6 Упаковка и этикетка.

Все материалы, покрытия, растворители, разбавители должны храниться в отдельном контейнере, снабженном фирменной этикеткой и инструкцией. На этикетке должна быть указана следующая информация:

- название материала;
- название отверждающего компонента;
- название предприятия-изготовителя краски;
- цвет материала;
- номер партии;
- дата изготовления;

инструкция и предостережения, касающиеся здоровья, безопасности и защиты окружающей среды в соответствии с существующими правилами; ссылки на соответствующий лист технических данных продукта.

6.5.7 Для каждого продукта, представленного для квалификационных испытаний, должна быть получена дополнительная информация в соответствии с ИСО 20340.

7 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПО ПРОВЕДЕНИЮ ПОДГОТОВИТЕЛЬНО-ОКРАСОЧНЫХ РАБОТ

7.1 ПЛАНИРОВАНИЕ

7.1.1 Все работы, связанные с окраской, должны быть полностью включены в производственный план судостроительного/судоремонтного предприятия; должен быть составлен генеральный график, содержащий этапы работ, предусмотренные настоящей Инструкцией. До начала работ верфь, субподрядчик, судовладелец, орган технического наблюдения и изготовитель (поставщик) ЛКМ должны определить и согласовать линии взаимодействия и уровни полномочий, в результате чего оформляется Лист согласования окрасочных работ по форме приложения 1.

7.1.2 В зависимости от существующих договоренностей изготовитель (поставщик) ЛКМ направляет/может направить своего консультанта (инспектора) по окраске на весь период работ с начала подготовки поверхности до окончательной приемки системы покрытия.

Для крупных работ особенно важно:

.1 предварительное совещание и регулярные рабочие совещания между верфью, владельцем, субподрядчиком, органом технического наблюдения и изготовителем (поставщиком) ЛКМ.

.2 рабочие совещания, которые должны проводиться не реже одного раза в неделю или любое другое время, когда потребует одна из заинтересованных сторон.

.3 повестка дня таких совещаний должна содержать следующие вопросы:

- ход работ по отношению к согласованной программе (графику);
 - факторы, препятствующие продвижению работ;
 - требования временного прекращения работ;
 - дополнения или исключения;
 - любые другие вопросы, которые могут повлиять на программу;
- .4** на каждом совещании должен вестись протокол.

Генеральный график должен быть представлен на согласование судовладельцу, органу технического наблюдения и изготовителю (поставщику) ЛКМ до начала работ, во время предварительного совещания или до него.

7.2 ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

7.2.1 Ответственность верфи, возможного субподрядчика, судовладельца, органа технического наблюдения и изготовителя (поставщика) ЛКМ должна быть согласована между всеми заинтересованными сторонами и включена в контракт. Ответственность за выполнение работ лежит исключительно на верфи/субподрядчике, и присутствие консультанта (инспектора) по окраске изготовитель (поставщик) ЛКМ не освобождает верфь/субподрядчика от ответственности за правильность выполнения соответствующих работ и гарантии качества.

7.3 ПОЛНОМОЧИЯ

7.3.1 Положения, регулирующие полномочия судовладельца, верфи, субподрядчика, органа технического наблюдения и изготовителя (поставщика) ЛКМ, должны быть согласованы между сторонами и включены в контракт.

7.4 ПРЕДОСТАВЛЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ

7.4.1 Верфь или субподрядчик предоставляет все необходимое оборудование для очистки и окраски поверхности, установки лесов, освещения, вентиляции, сушки, отопления и изоляции (если необходимо), оборудование вакуумной очистки, подачи сжатого воздуха и электроэнергии, для защиты (безопасности) рабочих, а также расходные материалы, запасные части, и обеспечивает техническое обслуживание.

7.5 УДАЛЕНИЕ ОТРАБОТАННЫХ РАСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

7.5.1 Использованные абразивы, грязь, пустые емкости из-под краски, использованные жидкости для очистки инструментов и т.п. удаляет верфь или субподрядчик.

7.6 ПРОЧЕЕ

7.6.1 Верфь или субподрядчик должны обеспечить удобное и достаточное помещение для хранения оборудования, инструмента и всех материалов, включая абразивы и краску.

Верфь или субподрядчик должны обеспечить постоянный доступ, движение материалов, крановое оборудование и достаточное рабочее пространство.

Верфь или субподрядчик должны предоставить инспектору по окраске соответственно оборудованное офисное помещение с телефоном, шкафами для сменной одежды, туалетом и возможностями для мытья.

7.6.2 Использование всего вышеперечисленного должно быть возможным постоянно. Инспектор по окраске должен иметь круглосуточный доступ на объект на весь период проведения работ. Также, при необходимости, должно быть дано разрешение фотографировать.

7.7 УСТАНОВКА ЛЕСОВ И ПОДМОСТЕЙ, ДОСТУПНОСТЬ И ОСВЕЩЕНИЕ

7.7.1 Для надлежащего проведения работ и контроля в течение всей работы должны быть установлены леса и освещение.

7.7.2 Прочно закрепленные леса, подмости, люльки, тачки и т.п. должны использоваться, когда это необходимо, при очистке поверхности и окраске. Леса устанавливаются в достаточном количестве, и они должны обеспечивать легкий доступ для правильной окраски и контроля всех поверхностей.

7.7.3 Леса должны иметь как можно меньше точек соприкосновения с окрашиваемыми поверхностями. Если используются свободностоящие леса, контакт между стойками лесов и стальными поверхностями должен ограничиваться только этими точками.

7.7.4 Рабочие платформы должны размещаться так, чтобы было выдержано оптимальное расстояние от поверхности (от 30 до 50 см), что обеспечит хорошие условия для распыления, и будет способствовать вентиляции между конструкциями лесов.

7.7.5 Для улучшения вентиляции рекомендуется использовать платформы с решетками, если используются деревянные доски; зазор между ними должен быть около 3 см. Кроме того, рекомендуется, чтобы доски были отструганными и могли переворачиваться, так как это облегчает удаление абразива и пыли (выбор этой процедуры зависит от местных правил техники безопасности).

7.7.6 До окончательной инспекции покрытия леса не убираются.

7.7.7 Освещение в местах проведения работ должно быть достаточным, т.е. не менее 500 люкс. Оно должно сочетаться с низковольтными переносными фонарями во время дробеструйной очистки, нанесением полосовых слоев и инспекции.

Все осветительное оборудование должно отвечать действующим правилам техники безопасности. Особенно важно использование взрывобезопасного электрооборудования во время нанесения и сушки краски.

7.8 ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ОБОРУДОВАНИЯ

7.8.1 Все оборудование и конструкции, а также другие участки по требованию заказчика должны быть полностью защищены от воздействия абразивных частиц из установок очистки поверхности, от попадания капель и брызг краски. Примеры участков, которые должны быть защищены: шпиндели вентилях, иллюминаторы, лицевые стекла манометров, инструменты, установленные стальные трубы, решетки, нержавеющая сталь, контрольные доски и панели, таблички на оборудовании или любые участки конструкций или частей оборудования, не подлежащие окраске в данное время.

Применяемые методы защиты должны быть особенно эффективными при абразивоструйной очистке поверхности.

По завершении работы на любом участке все защитные материалы, шлак (или дробь), оборудование и т.п. должны быть полностью убраны.

7.9 ДРУГИЕ УСЛОВИЯ

7.9.1 Работы по очистке поверхности или окраске не должны проводиться при относительной влажности более 85 % и температуре поверхности стали менее чем на 3 °C выше точки росы.

Изготовитель (поставщик) ЛКМ указывает минимальную и максимальную температуры окраски и сушки каждого материала в любой системе покрытия.

Покрyтия не должны наноситься и сушиться при температурах ниже +5 °C.

7.10 ВХОДНОЙ КОНТРОЛЬ ЛКМ И ДОКУМЕНТАЦИИ

7.10.1 Все лакокрасочные материалы должны храниться потребителем в оригинальной упаковке, снабженной этикетками изготовителя (поставщика) ЛКМ и инструкциями.

Для всех ЛКМ на упаковке должны быть указаны дата изготовления и гарантийный срок хранения.

7.10.2 Входной контроль качества ЛКМ включает проверку сопроводительной документации и осмотр транспортной тары.

7.11 ДОКУМЕНТАЦИЯ

7.11.1 Для перед началом всех окрасочных работ должны быть составлены:

технологические инструкции верфи, описывающие особенности технологии, управления, проверок, производства работ и оборудования для конкретного объекта;

письменное подтверждение, что входной контроль, как требуется в 7.10, проведен и его результаты положительны.

В течение работы ежедневно должны проводиться записи, которые включают следующее (но не ограничиваются этим):

погодные условия, влажность, температуру, условия струйной очистки, отдельные виды работ (т.е. струйную очистку, грунтование, промежуточное покрытие и т.п.), метод нанесения, толщину влажной и сухой пленки, номера партий продукции, приборы контроля/испытаний, выполненные корректирующие действия.

8 ОХРАНА ТРУДА, ЗДОРОВЬЯ И ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

8.1 БЕЗОПАСНОСТЬ ПРИ ОКРАСКЕ

8.1.1 Все работы, связанные с хранением и подготовкой ЛКМ, а также с их нанесением в помещениях, должны проводиться при работающей общеобменной и местной вентиляции, обеспечивающих чистоту воздуха рабочей зоны производственных помещений.

8.1.2 Безопасность работ, связанных с производством, испытанием и применением ЛКМ, должна соответствовать нормам ГОСТ 12.3.002, ГОСТ 12.3.005 и «Санитарным правилам организации технологических процессов и гигиеническим требованиям к производственному оборудованию» № 1042-73, раздел IV.

8.1.3 Судовые ЛКМ являются пожаро- и взрывоопасными, что обусловлено свойствами растворителей, входящих в их состав и применяемых для разбавления, а также свойствами отвердителей, применяемых для отверждения эмалей.

8.1.4 Изготовитель сообщает характеристики пожароопасности компонентов ЛКМ.

Изготовитель ЛКМ информирует о степени воздействия на организм человека по классу опасности в соответствии с ГОСТ К1.007.

8.1.5 Высохшие покрытия не оказывают вредного воздействия на организм человека и на окружающую среду.

8.1.6 К производству, испытаниям и применению эмалей допускаются лица не моложе 18 лет, прошедшие обучение безопасным приемам работы, сдавшие экзамены на право самостоятельной работы и не имеющие медицинских противопоказаний.

8.1.7 В соответствии с ГОСТ 12.4.021 и СНиП 2.04.05-91* все работы, связанные с нанесением красок в помещениях, должны проводиться при работающей общеобменной и местной вентиляции, обеспечивающих чистоту воздуха рабочей зоны производственных помещений. При этом содержание вредных веществ в воздухе производственных помещений не должно превышать предельно допустимых концентраций для воздуха рабочей зоны и ориентировочных безопасных уровней воздействия, приведенных в ГОСТ 12.1.005 и гигиенических нормативах ГН 2.2.5.686-98 и ГН 2.2.5.687-98.

8.1.8 Вредные вещества, входящие в состав эмали, оказывают токсическое действие на кроветворные органы, нервную систему, кожные покровы, слизистые оболочки глаз и дыхательных путей.

8.1.9 Определение содержания вредных веществ в воздухе рабочей зоны проводят по методикам, разработанным по ГОСТ 12.1.005 и ГОСТ 12.1.016 и утвержденным органами Госсанэпиднадзора.

8.1.10 Лица, занятые в производстве эмалей ХС-436С различных цветов, должны проходить предварительные и периодические медицинские осмотры в соответствии с приказом Минздрава № 90 от 14 марта 1996 г.

8.1.11 Все работники, занятые изготовлением, применением и испытаниями красок, должны быть обеспечены комплектом спецодежды и средствами индивидуальной защиты по ГОСТ 12.4.011 и ГОСТ 12.4.103 и в соответствии с отраслевыми типовыми нормами, средствами защиты рук – резиновыми перчатками, надетыми поверх хлопчатобумажных, или дерматологическими средствами по ГОСТ 12.4.068, средствами защиты органов дыхания – респираторами РУ-6Ому или РУ-6Ому по ГОСТ 17269, средствами защиты органов зрения – очками типа ЗП по ГОСТ 12.4.013.

8.1.12 С целью защиты от статического электричества все оборудование должно быть заземлено в соответствии с ВСН 10-72.

8.2 ТРЕБОВАНИЯ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

8.2.1 При производстве и применении ЛКМ образуются твердые и жидкие отходы. Твердые отходы (пленки красок, минеральное сыпучее сырье) утилизируются как бытовые. Жидкие отходы (промывные воды от замывки оборудования и тары) возвращаются в производство.

8.2.2 Концентрации вредных химических веществ, выделяющихся из красок при хранении и транспортировании, а также из покрытий на их основе при эксплуатации, не должны превышать, с учетом их рассеивания в атмосфере, среднесуточные предельно допустимые концентрации и максимальные разовые концентрации в атмосферном воздухе населенных мест по ГН 2.1.695-98, а также – ориентировочные безопасные уровни воздействия по ГН 2.1.696-98.

8.2.3 Высохшие покрытия ЛКМ вредного воздействия на организм человека не оказывают вредного воздействия на организм человека и на окружающую среду.

8.2.4 При производстве и применении красок должны соблюдаться гигиенические требования к охране атмосферного воздуха населенных мест согласно СанПиН 2.1.6.1032-01.

8.2.5 Контроль за соблюдением предельно допустимых выбросов в атмосферу должен проводиться в соответствии с ГОСТ 17.2.3.02.

8.2.6 При производстве, транспортировке, хранении и применении красок должны выполняться мероприятия по исключению попадания отходов в почву и воду.

8.2.7 Исполнитель (верфь/субподрядчик) должен разработать и внедрить нормативные документы для поддержания требований безопасности для следующего:

- снабжения оборудованием для личной защиты;
- выбора фильтров и дыхательных аппаратов, соответствующих типу разбавителей, красок и абразивов струйной очистки;
- использования оборудования высокого давления;
- указания химических веществ, раздражающих кожу;
- заземления оборудования;
- значений ПДК для рабочей зоны, приведенные в паспортах безопасности;
- информации по продукции на этикетках;
- пожаро- и взрывобезопасности;
- взрывозащищенного оборудования освещения;
- указания опасных веществ и препаратов;
- работы в цистернах и закрытых аппаратах;
- возведения настилов, лесов, подмостей.

9 ПОДГОТОВКА ПОВЕРХНОСТИ

9.1 ПОДГОТОВКА ПЕРЕД СТРУЙНОЙ ОЧИСТКОЙ

9.1.1 В соответствии с требованиями стандарта ИСО 8501-3 должно быть выполнено следующее:

перед струйной очисткой особое внимание должно быть уделено всем зонам сварных швов с учетом удаления сварного флюса, других инородных частиц, устранения дефектов поверхности;

острые кромки, пояски, углы и сварные швы должны быть закруглены или сглажены зашлифовкой с минимальным радиусом 2 мм;

все крупные дефекты поверхности, вредные для системы защитного покрытия, в частности – отслоение поверхности или наросты, должны быть удалены соответствующей зачисткой. Там, где такие дефекты обнаружены при проведении струйной очистки, и уже проведена зачистка, зачищенные участки должны быть заново подвергнуты струйной очистке до выполнения требований стандарта. Все сварные швы должны быть проверены и, при необходимости, отремонтированы до окончательной струйной очистки участка;

соль и морской грунт должны быть удалены со стальной поверхности чистой водой под высоким давлением и, при необходимости, щетками;

любые загрязнения горюче-смазочными материалами должны быть удалены до операции струйной очистки растворителем или щелочной очисткой.

9.2 СТРУЙНАЯ ОЧИСТКА

9.2.1 Используемый сжатый воздух должен быть без воды и минеральных масел.

Чистящий абразив должен быть металлической колотой дробью или улучшенным неметаллическим расходным материалом, пригодным для воспроизводства стандартных нормативов по чистоте и шероховатости поверхности. Размер частиц абразива для струйной очистки должен быть таким, чтобы, за исключением особо оговоренных случаев, высота профиля подготовленной поверхности (форма профиля) соответствовала среднему классу Ry 5 (50 – 85 мкм), как это нормировано в ИСО 8503-1: см. образец сравнения G в табл. 2 разд. 5. Метод классификации профиля поверхности должен соответствовать ИСО 8503-4.

Чистящие абразивы должны отвечать требованиям ИСО 11126, ИСО 11127, должны быть сухими, чистыми и свободными от загрязнений, которые портят внешний вид покрытия.

Должны быть приняты меры для избежания накопления инородных материалов в повторно используемых чистящих абразивах.

Чистота струйно-очищенной поверхности должна соответствовать системе покрытия Sa2½ согласно приложению 1 к ИСО 8501-1.

9.3 ОКОНЧАТЕЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ПОВЕРХНОСТИ

9.3.1 Поверхность, на которую будет наноситься покрытие, должна быть чистой, сухой и обладать нормированной шероховатостью и чистотой до нанесения покрытия.

В соответствии с ИСО 8502-2 или аналогичными стандартами содержание соли на струйно-очищенной поверхности не должно превышать 15 мг/м².

На поверхности не должно быть никакой видимой пыли или оставшихся частиц чистящего абразива.

После струйной очистки металлические поверхности не должны обрабатываться кислотными смывками или другими чистящими растворами или растворителями, включая ингибирующие моющие средства, предотвращающие коррозию.

9.4 ОЧИСТКА РУЧНЫМ И МЕХАНИЧЕСКИМ ИНСТРУМЕНТОМ

9.4.1 Использование иных методов подготовки поверхности, нежели струйная очистка, должно быть ограничено только теми участками, где струйная очистка запрещена, и должно производиться только с разрешения заказчика и органа технического наблюдения. Нормативная документация и используемое оборудование должно быть согласовано с заказчиком и органом технического наблюдения. Нельзя использовать оборудование, дающее полированную поверхность поверхности. Чистота очищенной поверхности должна соответствовать системе покрытия St3 согласно приложению 1 к ИСО 8501-1.

10 НАНЕСЕНИЕ ПОКРЫТИЯ

10.1 ОБЩИЕ ВОПРОСЫ

10.1.1 Для каждого слоя краски обычно используют контрастные цвета. В процессе нанесения каждого слоя маляры должны измерять соот-

ветствующим инструментом толщину мокрого слоя. Повреждения, вызванные измерением толщины мокрого слоя, должны быть устранены.

10.1.2 Технические требования к каждой используемой системе покрытия, содержат следующую информацию для каждого материала:

- требования к предварительной обработке поверхности;
- массовую долю нелетучих веществ, %;
- толщину мокрой пленки, толщину высохшего покрытия;
- продолжительность межслойной сушки при температурах;
- информацию о разбавителе (количество и тип);
- теоретическое значение расхода;
- технические требования и рекомендации по нанесению.

Технические условия на ЛКМ и паспорта безопасности для всех используемых продуктов должны быть доступны на месте проведения работ.

10.2 ПОДГОТОВКА ПЕРЕД НАНЕСЕНИЕМ

10.2.1 Перед использованием все ЛКМ должны быть перемешаны эффективным смесителем для тщательного смешения пигментов и связующего компонента, и дана возможность выйти захваченному воздуху.

Необходимо следовать указаниям изготовителя ЛКМ по перемешиванию и разбавлению. Следует использовать только разбавители, указанные изготовителем ЛКМ.

10.3 ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ НАНЕСЕНИЯ

10.3.1 Метод нанесения указывается в листе технических данных изготовителя ЛКМ для конкретного наносимого покрытия.

Распылительное оборудование должно соответствовать рекомендациям изготовителя ЛКМ. Сжатый воздух должен быть очищен от масел и воды.

Не приемлемо нанесение валиком первого слоя покрытия. При нанесении красок кистями тип и качество кистей изготовитель ЛКМ должен согласовать с инспектором по покрытиям. Нанесение кистями должно выполняться так, чтобы покрытие получилось гладким и как можно более однородным по толщине.

10.4 НАНЕСЕНИЕ

10.4.1 Перед нанесением каждого слоя должны быть закрашены кистью полосами все сварные швы, наружные и внутренние углы, острые

кромки балок и т.п. и участки, не полностью доступные для краскораспылителя, чтобы обеспечить одинаковость покрытия и толщины.

Каждый слой должен наноситься одинаково по всей поверхности. Следует избегать пропусков, разнотолщинности, наплывов и капель. В случае их появления, они должны быть немедленно убраны кистью, иначе материал должен быть удален, и поверхность перекрашена. В каждом слое не должно быть кратеров, пузырей и пропусков.

10.4.2 При проведении измерений на шероховатых поверхностях необходимо делать большое число измерений на одном и том же участке (как минимум, 10). Предпочтительно, чтобы значение параметра шероховатости поверхности Ry_s (средняя максимальная высота от пика до впадины) не превышало 5 % толщины пленки. В противном случае для определения толщины пленки рекомендуется использовать метод микроскопии (ИСО 2808/Метод 5А), который также используется как эталонный метод в спорных случаях.

Все приборы перед применением, а также через каждые 4 ч во время применения должны быть откалиброваны на «0», верхний предел, а также на те значения толщин, которые предпочтительно будут контролироваться. Для этого используют набор эталонных образцов.

10.4.3 При контроле толщины покрытия в производственных условиях количество и место положения для измерений должно быть предметом соглашения между заинтересованными сторонами и отмечено в технологической документации.

Число контролируемых участков зависит от площади и конфигурации защищаемой поверхности. Следует провести измерения на всех обособленных и отличающихся конструктивно частях сооружения, особенно в тех местах, к которым затруднен доступ при окрашивании.

На каждом месте измерения площадью около 0,5 м² следует проводить не менее трех измерений и рассчитывать среднее значение. Для решения вопроса о допустимости толщины покрытия рекомендуется применять правило «90-10» (либо правило «80-20»), которое гласит, что 90 % (либо 80 %) измеренных толщин должно быть не менее толщины, указанной в технологической документации, а 10 % (либо 20 %) измеренных толщин должно быть не ниже 90 % (либо 80 %) от толщины, указанной в технологической документации.

Если толщина покрытия на контролируемых участках меньше допустимой, следует нанести дополнительный слой лакокрасочного материала на этот участок.

Если толщина покрытия значительно выше указанной в документации, вопрос о допустимости покрытия решают заинтересованные сторо-

ны. Обычно покрытие считают неприемлемым, если его толщина более чем в два раза превышает требуемую.

Перед нанесением каждого последующего слоя следует дать возможность нижележащему слою высохнуть/отвердиться в течение времени, определенного в листе технических данных.

Следует избегать загрязнения окрашенных поверхностей между нанесением слоев. Любое загрязнение должно быть удалено.

Толщина высохшей пленки каждого слоя должна соответствовать спецификации на систему покрытия.

Общая толщина сухой пленки должна соответствовать описанию системы (см. приложение 2).

11 КОНТРОЛЬ ЗА СОБЛЮДЕНИЕМ ТРЕБОВАНИЙ ПРИ НАНЕСЕНИИ ПОКРЫТИЯ

11.1 КВАЛИФИКАЦИЯ ПЕРСОНАЛА

11.1.1 Квалификация рабочих.

Рабочие должны иметь квалификацию, подтвержденную документально, операторов струйной очистки, маляров и т.п.

Персонал должен иметь существенные знания о технике безопасности и вредных факторах при нанесении покрытий, ЛКМ, об использовании средств индивидуальной защиты и т.п.

11.1.2 Квалификация персонала по контролю качества.

Персонал, ответственный за проверку и наблюдение за работами, должен иметь сертификат инспектора по покрытиям, выданный национальным или международным органом.

11.2 ДОКУМЕНТАЦИЯ ПО КОНТРОЛЮ КАЧЕСТВА

11.2.1 В течение производства всех работ по нанесению покрытий необходимо следовать документам и формам их заполнения по технологии нанесения покрытий, согласованным со всеми заинтересованными сторонами, по форме приложения 1.

11.2.2 Проводится тщательный документальный контроль всего технологического процесса нанесения лакокрасочных материалов, включая: качество используемых материалов;

работоспособность оборудования, технологической оснастки, приборов контроля;

соответствие климатических условий требованиям технологической документации на проведение окрасочных работ;
параметры технологического процесса;
соблюдение правил техники безопасности и охраны окружающей среды.

11.2.3 Окрасочное оборудование, приборы контроля, технологическая оснастка, индивидуальные средства защиты должны находиться в работоспособном состоянии, что должно быть засвидетельствовано в соответствующих документах.

11.2.4 Результаты измерений климатических параметров с соответствующими значениями должны быть зафиксированы в рабочем журнале. Если работы выполняются на открытом воздухе, в рабочем журнале необходимо отмечать тип погоды (солнце, ветер, осадки).

11.2.5 Документ по технологии нанесения покрытий требует проверки и согласования со всеми заинтересованными сторонами при следующих отклонениях параметров покрытий:

любой замене материала покрытия,
замене метода и оборудования для подготовки поверхности и нанесения покрытия,
отклонении минимальной толщины покрытия более чем на 120 % от спецификации.

11.2.6 По завершении окрасочных работ на основании фактических данных контроля при подготовке поверхности и нанесении покрытия инспектором по окраске составляется Окончательный инспекционный отчет о подготовке поверхности к нанесению защитного покрытия (см. приложение 3).

11.3 УСЛОВИЯ ПРИЕМКИ

11.3.1 Условиями приемки являются соответствие полученных данных при инспекции работ требованиям к системам покрытий, указанным в настоящей Инструкции. Колебания в толщине покрытий должны находиться в пределах, приведенных в спецификации на покрытие.

11.4 КОНТРОЛЬ И ИСПЫТАНИЯ

11.4.1 Испытания и контроль проводятся в соответствии с табл. 11.4.1 и главами 11.5 и 11.6. До окончания всех контрольных операций поверхность должна быть доступной для испытаний и контроля.

Таблица 11.4.1

Испытания и контроль

Тип испытаний	Метод испытаний	Периодичность	Условия приемки	Последствия	Примечания
1	2	3	4	5	6
Внешние условия	Температура окружающего воздуха и стали. Относительная влажность. Точка росы	В начале каждой смены То же Дважды за смену	В соответствии с применимым стандартом	Без струйной очистки или покрытия	–
Визуальный контроль	Визуально для острых кромок, брызг сварки, сколов на поверхности с ИСО 8501-3	100 % всей поверхности	Отсутствие дефектов в соответствии с ИСО 8501-3	Дефекты должны быть устранены	–
Чистота поверхности	.1 в соответствии с ИСО 8501-1; .2 проба липкой лентой на пыль в соответствии с ИСО 8501-3	.1 100 %-ный осмотр всех поверхностей; .2 каждая деталь или один раз на 100 м ²	.1 в соответствии с ИСО 8501-1; .2 без видимых частиц, класс 1	.1 повторная струйная очистка; .2 удалить все частицы	.1 –; .2 размер липкой ленты не менее 5 см ² . Липкую ленту следует поместить на белую бумагу.
Испытания на наличие соли	SCM-400 (в соответствии с ИСО 8502-2)	Точечный контроль	Не более 15 мг/м ²	Повторная очистка или повторные испытания до получения удовлетворительного результата	Оборудование производителя NNC Ltd. Watlington или равноценное
Шероховатость поверхности	Компаратор или профилометр (в соответствии с ИСО 8503-4)	Каждая деталь или один раз на 100 м ²	В соответствии с ИСО 8503-4	Повторная струйная очистка	–

1	2	3	4	5	6
Визуальный контроль покрытия	ИСО 4268	100 % после нанесения каждого слоя	В соответствии с ИСО 4268	Ремонт дефектов	– отверждение; – включения пыли, чистящего материала струйной чистки и соли; – удержание растворителя; – точечные проколы/пузыри, потеки; – дефекты поверхности
Обнаружение пропусков	NACE RP 0188*	В соответствии с соответствующим стандартом на систему покрытия	Отсутствие пропусков	Ремонт и повторное испытание	Напряжение в соответствии с табл. 1 в NACE RP 0188
Толщина покрытия	См. 11.6				
Адгезия	См. 11.6				
*Сплошность покрытия в балластных танках проверяется по следующей методике: .1 после полного становления покрытия (7 сут при температуре 20 °С) танк заполняется морской водой и выдерживается в течение 24 ч, затем морская вода удаляется, внутренние поверхности танка промываются пресной водой и высушиваются; .2 высушенная поверхность проверяется визуально на сплошность покрытия; .3 дефекты сплошности не допускаются.					

11.5 АДГЕЗИЯ

11.5.1 Метод.

Испытания межслойной адгезии следует проводить на окрашенной поверхности после того, как система покрытия полностью высохнет или отвердится.

Испытания по показателю адгезия следует проводить как в соответствии с ИСО 4624, так и в соответствии с ИСО 2409.

Испытания по показателю адгезия в соответствии с ИСО 2409 проводятся следующим образом:

поверхность испытываемого покрытия должна быть чистой и сухой, и в продолжение испытания следует записывать температуру окружающего воздуха и относительную влажность;

должно быть 6 надрезов;

расстояние между надрезами должно быть 2 мм;

в качестве режущего инструмента следует использовать острый нож с узким лезвием из прочной стали;

испытание проводят, используя липкую ленту. Липкую ленту следует плотно прижать рукой к испытуемой поверхности для обеспечения прочного прилипания и равномерно и быстро стянуть с испытываемого участка под углом 45°.

Поврежденные участки следует отремонтировать.

11.5.2 Периодичность.

Точечные испытания при нанесении покрытия.

11.5.3 Условия приемки.

Условием приемки по показателю адгезии является выполнение требований ИСО 4624 и степени (балл) 0 или 1 в соответствии с ИСО 2409. Адгезия при производстве работ должна быть не менее 3,0 МПа. При невыполнении этих требований покрытие бракуется. Для покрытий с большим сроком службы (свыше 15 лет) по ИСО 12944-1 адгезия при производстве работ должна быть не менее 7 МПа (по ИСО 20340).

11.6 ТОЛЩИНА ПОКРЫТИЯ

11.6.1 Метод.

Толщину мокрой пленки во всех слоях следует измерять непрерывно в процессе нанесения слоя ЛКМ, чтобы гарантировать спецификационную толщину высохшего покрытия.

Толщину высохшего покрытия отдельных слоев и общую толщину системы покрытия следует измерять с помощью электромагнитного тол-

щиномера (ELKOMETR 456) как на магнитных, так и на немагнитных металлах.

11.6.2 Калибровка.

Толщиномер в процессе использования следует калибровать, по меньшей мере, один раз в два часа. Толщиномер следует калибровать, используя специальные калибровочные пластинки в интервале измеряемых толщин.

11.6.3 Периодичность.

Соотношение площади окрашенной поверхности и числа мест измерения толщины определяется по табл. 11.6.3.

Таблица 11.6.3

Число мест измерений

Площадь окрашенной поверхности, м ²	Число мест измерений
10	5
20	10
30 – 100	15
200	20
400	30
600	40
800	50
1000	60
2000	70
5000	90
10000	100
25000	125

Все измерения должны быть записаны.

11.6.4 Последствия.

Покрытие, не отвечающее требованиям настоящей Инструкции, должно быть снято. Допустимо как полное перекрашивание, так и нанесение дополнительных слоев.

12 ИСПРАВЛЕНИЕ ДЕФЕКТОВ

12.1 ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ

12.1.1 Перед нанесением любого слоя краски должны быть исправлены все недостатки предыдущих слоев. Все потеки краски следует удалить до плотного слоя абразивным или механическим способом. Все неоднородности поверхности и включения должны быть удалены. Твердым и блестящим поверхностям может потребоваться обработка абразивным инструментом для получения шероховатости поверхности, пригодной под окраску. Подготовленные к окраске поверхности должны соответствовать по чистоте степени PSa2½ или PSa3.

В процессе устранения дефектов следует принять меры предосторожности во избежание повреждения соседних окрашенных поверхностей.

Для правильного проведения ремонтных работ следует использовать соответствующее оборудование.

Перед перекрытием всей поверхности должен быть определен допустимый максимум ремонтных работ (процент поверхности и число ремонтов) в соответствии с нормативными документами по нанесению.

12.2 НЕСООТВЕТСТВУЮЩАЯ ТОЛЩИНА ПОКРЫТИЙ

12.2.1 Участки поверхности с несоответствующей толщиной покрытий должны быть тщательно очищены (при необходимости – абразивным инструментом), и должны быть нанесены дополнительные слои, пока не будет достигнута требуемая толщина покрытия. Эти дополнительные слои должны сочетаться с окончательным покрытием соседних участков.

12.3 ЗАГРЯЗНЕННЫЕ ПОВЕРХНОСТИ

12.3.1 Очистку загрязненных поверхностей, которые необходимо заново окрасить, следует проводить методом, рекомендуемым для конкретного вида загрязнений. Следует использовать очистку растворителями, паром или чистой водой под высоким давлением.

12.4 ПОВРЕЖДЕНИЯ ПОКРЫТИЯ, НЕ ОБНАЖАЮЩИЕ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ

12.4.1 Поврежденные участки следует очистить.

Покрытие вокруг поврежденного участка следует оконтурить, чтобы обеспечить непрерывность покрытия. Затем следует нанести соответствующие слои системы покрытия, чтобы восстановить полную систему.

12.5 ПОВРЕЖДЕНИЯ ПОКРЫТИЯ, ОБНАЖАЮЩИЕ ПОВЕРХНОСТЬ СТАЛИ

12.5.1 Поврежденные участки должны быть вновь обработаны в соответствии с настоящей Инструкцией, и должна быть заново нанесена полная система покрытия. Очистка поверхности должна распространяться на окружающие участки, минимум на 25 мм во все стороны, а границы должны быть оконтурены.

Не допускаются следующие дефекты лакокрасочных покрытий: потеки и наплывы, апельсиновая корка, шелушение, отслаивание, сухая струя (шероховатость покрытия), межслойная проницаемость, вздутие пленки, кратеры, поры, пузыри, «рыбы глаза», растрескивание, морщинистость, неравномерный блеск, различные оттенки цвета, сорность пленки.

12.5.2 Визуальная оценка размеров типовых дефектов проводится в соответствии с ИСО 4628 «Лаки и краски. Оценка разрушения лакокрасочных покрытий, Определение интенсивности, количества и размера типовых дефектов».

12.6 Описание дефектов лакокрасочных покрытий, причины их возникновения и рекомендации по их устранению представлены в табл. 12.6.

Таблица 12.6

**Дефекты лакокрасочных покрытий, причины их возникновения
и рекомендации по их устранению**

Дефекты	Причины	Предупреждение. Исправление	Рекомендации
1	2	3	4
Потеки и наплывы	Вязкость ниже нормы	Применять материалы с вязкостью, соответствующей норме	Устранить потеки и наплывы можно, убрав их кистью, пока материал не начал подсыхать. После высыхания пленки дефектные участки необходимо очистить и нанести покрытие заново
	Слишком толстый слой лакокрасочного материала	Уменьшить расход материала	
	Расстояние от распылителя до окрашиваемой поверхности меньше нормы, распылитель неправильно ориентирован относительно окрашиваемой поверхности	Распылитель держать перпендикулярно к окрашиваемой поверхности на расстоянии 200 – 400 мм	

1	2	3	4
	Замедленное перемещение распылителя по отношению к окрашиваемой поверхности	Ускорить перемещение Распылителя	
	Слишком высокая температура лакокрасочного материала (в случае применения двухкомпонентных материалов)	Уменьшить температуру лакокрасочного материала	
Апельсиновая корка	Плохое диспергирование частиц, вызванное низким давлением на выходе из сопла	Отрегулировать давление	Удалить покрытие и нанести заново
	Низкая температура воздуха во время нанесения лакокрасочного материала	Прекратить окраску до установления допустимой температуры	
	Повышенная вязкость лакокрасочного материала	Применять лакокрасочный материал с вязкостью, соответствующей норме	
	Слишком быстрое испарение растворителя	Применять растворитель в соответствии с нормативной документацией	
Шелушение, отслаивание	Неудовлетворительная подготовка поверхности	Тщательно контролировать подготовку поверхности	Удалить покрытие и нанести заново
	Несовместимость с нижележащим покрытием	Провести испытания на совместимость	
	Загрязнение промежуточного слоя покрытия	Тщательно контролировать чистоту поверхности	
	Нанесение лакокрасочного материала на пересушенные нижележащие слои	Поверхность прошку- рить. Соблюдать сроки сушки слоев	
	Нанесение при низкой температуре и высокой влажности	Прекратить окраску до установления допустимых температуры и влажности	

1	2	3	4
Сухая струя (шероховатость покрытия)	Расстояние от распылителя до поверхности слишком большое	Держать распылитель на правильном расстоянии от окрашиваемой поверхности	Удалить покрытие и нанести заново
	Слишком большой угол распыления	Держать распылитель под нужным углом	
	Растворитель испаряется слишком быстро	Использовать подходящий Растворитель	
	Слишком высокая температура воздуха	Прекратить окраску до снижения температуры до допустимых значений	
Межслойная проницаемость	Проникновение красящих пигментов из предыдущего слоя в последующий	Изменить систему покрытия	Удалить покрытие и нанести заново
Кратеры, поры	Пористость окрашиваемой поверхности или предыдущего слоя покрытия	Контролировать подготовку поверхности и нанесение каждого слоя покрытия	Удалить покрытие и нанести заново
	Краска нанесена при повышенной температуре воздуха или на грязную поверхность	Выполнять требования технологической документации	
	Присутствие в краске воды, пузырьков воздуха	Заменить материал	
Пузыри	Применение разбавителей, не предусмотренных документацией	Использовать разбавитель, предусмотренный документацией	Удалить покрытие, промыть поверхность и заново окрасить
	Недостаточная очистка поверхности от растворимой соли, влаги, масел и других загрязнителей	Тщательная промывка или обезжиривание поверхности	
	Загрязнение лакокрасочного материала водой, минеральными маслами	Заменить материал	
	Присутствие пузырьков воздуха в лакокрасочном материале	Заменить материал	
Растрескивание	Нанесение лакокрасочного материала неравномерным по толщине слоем	Наносить материал равномерно по толщине	Удалить покрытие и нанести заново

1	2	3	4
Растрескивание	Нанесение лакокрасочного материала по пересушенному предыдущему слою	Соблюдать сроки сушки слоев	Удалить покрытие и нанести заново
Морщинистость	Повышенная температура окрашиваемой поверхности	Прекратить окраску до установления допустимой температуры	Удалить покрытие и нанести заново
	Нанесение слишком толстого слоя лакокрасочного материала	Наносить слой краски требуемой толщины	
	Нанесение лакокрасочного материала по пересушенному предыдущему слою	Соблюдать сроки сушки слоев	
Неравномерный блеск, различные оттенки цвета	Нанесение краски при низкой температуре и высокой влажности	Окраску прекратить до установления допустимых температуры и влажности	Зачистить покрытие и нанести дополнительный слой краски
	Присутствие влаги в краске	Заменить краску	
	Плохое перемешивание краски перед нанесением	Тщательно перемешать краску	
Сорность пленки	Плохой перетир краски	Перетереть краску	Зачистить покрытие и нанести дополнительный слой краски
	Загрязнение краски механическими примесями, плохая фильтрация	Профильтровать краску	
	Загрязнение поверхности механическими частицами	Тщательно контролировать чистоту поверхности перед окрашиванием	

13 ОБЛАСТЬ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ИНСПЕКТОРА ПО ПОКРЫТИЯМ

13.1 ОБЯЗАННОСТИ

13.1.1 Обязанности инспектора по покрытиям заключаются в подтверждении и обеспечении выполнения всех работ, обеспечивающих защиту системой покрытия от коррозии, в соответствии со спецификациями и необходимыми стандартами, а также тщательную проверку, включая точечный контроль и отбор образцов в необходимых зонах.

Инспектор по покрытиям обязан также исполнять все обязанности, определенные индивидуально в контракте или спецификации.

В обязанности инспектора входит постоянное обновление знаний в сфере развития отрасли защиты стальных конструкций от коррозии системами покрытий во избежание того, что знания его и навыки устареют.

13.1.2 Работать инспектор по покрытиям должен в соответствии со спецификацией.

Различные фазы и аспекты его работ по защите стальных конструкций от коррозии включают в себя следующее:

.1 в отношении оборудования:

инспектор по покрытиям должен убедиться, что при окрашивании используется соответствующее оборудование, отвечающее требованиям спецификации по проведению работ;

во время работ по защите от коррозии он должен контролировать и документировать используемое оборудование;

оборудование, которым он пользуется в своей ежедневной деятельности, должно быть всегда соответствующим образом откалибровано (настроено) и всегда быть в отличном рабочем состоянии;

.2 в отношении подготовки стали:

инспектор по покрытиям должен гарантировать, что неровности стальной поверхности, края и сварочные швы обработаны в соответствии со спецификацией;

.3 в отношении подготовки поверхности:

инспектор по покрытиям должен гарантировать, что поверхность под окраску подготовлена в соответствии со спецификацией;

.4 в отношении нанесения покрытия:

инспектор по покрытиям должен гарантировать, что краски наносятся в соответствии со спецификацией и инструкциями производителя;

.5 в отношении климатических условий:

инспектор по покрытиям должен проводить мониторинг и документировать условия микро- и макроклимата. В случае обнаружения несоответствия существующих условий и заданных в спецификации, он должен устранить несоответствие;

.6 в отношении окружающей среды, здоровья и безопасности:

в обязанности инспектора по покрытиям входит знание основных правил, директив и руководств по охране окружающей среды, здоровья и безопасности;

.7 в отношении отчетности:

при проведении работ по защите от коррозии, инспектор по покрытиям должен в течение всех этапов работы вести своевременные записи. Отчеты следует оформлять и подавать с требуемой периодичностью.

Форма подобных отчетов может меняться в зависимости от требований каждого вида работ по защите от коррозии;

.8 в отношении исследования:

в случае, если это не указано в требованиях, инспектор по покрытиям не обязан предоставлять информацию по результатам процесса защиты от коррозии (произведенного или не произведенного) никому, кроме основных сторон.

Инспектор по покрытиям должен обладать точными знаниями о:
типичных проблемах размещения (мастерские, участки);
методах подготовки и очистки стали;
методах нанесения красок и других защитных покрытий;
функциональных принципах красок и покрытий;
характеристиках красок и покрытий;
соответствующих кодексах, национальных правилах и стандартах.

Инспектор по покрытиям должен обладать общими знаниями о:
типовых требованиях дизайна;

технологии соответствующих материалов;

теории коррозии;

катодной защите;

оборудовании для подготовки поверхности и нанесении материалов в соответствии с необходимостью каждого случая;

нанесении термически распыляемого цинка, алюминия и их сплавов;

симптомах и/или схемах разрушения красок и покрытий;

факторах риска, относящихся к здоровью и окружающей среде;

соответствующем уничтожении отходов.

13.2 НАВЫКИ

13.2.1 Инспектор по покрытиям должен уметь:

читать и понимать спецификации;

планировать и выполнять работу в соответствии со спецификациями;

настраивать и пользоваться всем инспекционным оборудованием, необходимым в каждом конкретном случае;

пользоваться таблицами и стандартами, соответствующими проводимым работам;

оценить вопросы, связанные с нижеследующим:

подготовкой поверхности стальных конструкций,

правильным использованием красок и других защитных покрытий,

совместимостью (например, с другими красками),

общими подходящими условиями дизайна (например, с соединениями, гальваническими парами, удобством подхода, частями коробов и других конструкций),

методами сборки и производства,

классификацией окружающей среды (например, с категориями коррозии, коррозионным напряжением),

состоянием поверхности (например, с предварительной шпатлевкой, гальванизацией, металлизацией, существующей системой окраски),

местоположением (например, мастерской или строительства) и общими условиями окружающей среды),

мастерством (например, навыками оператора),

отклонениями от спецификаций,

спецификой охраны здоровья и окружающей среды,

с цветами покрытия и его оттенками,

соответствующим нанесением,

документацией и отчетностью,

обеспечением соответствующего нанесения на необходимых зонах и подготовкой соответствующих отчетов по этим зонам,

подготовкой инспекционного отчета и обеспечением правильного распределения подобного отчета,

разрешением проблем в сфере его компетенции, как определено в этом стандарте.

13.3 ОСОБЕННОСТИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

13.3.1 Инспектор по покрытиям не входит в группу специалистов предварительного контроля качества, ответственность за которое ложится исключительно на плечи тех, кто осуществляет подготовку поверхности и нанесение покрытия. Однако спектр его обязанностей определяется строителями и их субподрядчиками. Особенности деятельности инспектора по покрытиям должна быть оговорена между сторонами в контракте заранее так же, как и его обязанности и требования к знаниям и навыкам.

За исключением случаев, когда инспектор по покрытиям нанят напрямую строителем или субконтрактором, он входит в так называемую группу вторичного контроля качества. Таким образом, от него не могут ожидать никаких действий для исправления работ, выполненных не в соответствии со спецификациями, стандартами или не отвечающих требованиям и практике высокого мастерства.

13.3.2 Вторичный контроль качества включает в себя наугад выбранные проверки для удостоверения в правильном выполнении работ. В слу-

чае обнаружения недостатков, они подлежат устранению строительной организацией/субподрядчиками. Никто из представителей группы вторичного контроля качества не должен останавливать проводимые работы (за исключением случаев, когда безопасность персонала под угрозой), так как в обязанности инспектора по покрытиям входит соблюдение, документирование и отчетность.

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ ОКРАСОЧНЫХ РАБОТ

(Рекомендуемая форма)

_____ $S =$ _____
(наименование поверхности, площадь (m^2))

1 Общие сведения

1.1 Название судна _____

1.2 Судовладелец _____

1.3 Завод-строитель _____

1.4 Место и продолжительность работ _____

1.5 Изготовитель краски/покрытия _____
(название предприятия)

1.6 Изготовитель межоперационного грунта _____
(название предприятия)

1.7 Контроль за выполнением работ выполняет _____
(название предприятия)

2 Подготовка поверхности металлопроката

2.1 Технологическая документация (исполнителя работ) _____
(наименование документа)

2.2 Исполнитель работ _____
(название предприятия)

3 Устранение дефектов поверхности (сварных швов, острых кромок и прочих дефектов)

3.1 Технологическая документация (исполнителя работ) _____
(наименование документа)

3.2 Исполнитель работ _____
(название предприятия)

4 Подготовка металлоконструкций

4.1 Технологическая документация (исполнителя работ) _____
(наименование документа)

4.2 Исполнитель работ _____
(название предприятия)

5 Нанесение покрытия

5.1 Система покрытия _____
(марка, типовой цвет, число слоев, толщина (мкм),
номер Свидетельства о типовом одобрении)

5.2 Технологическая документация (исполнителя работ) _____
(наименование документа)

5.3 Исполнитель работ _____
(название предприятия)

6 Основополагающие документы

6.1 Технические данные на основные материалы _____
(наименование документа)

6.2 Системы покрытий (окрасочные спецификации) предприятия-изготовителя красок _____
(наименование документа)

6.3 Стандарт(инструкция)предприятия-изготовителякрасокпо подготовке поверхности и нанесению покрытий _____
(наименование документа)

6.4 Требования предприятия-изготовителя красок к примененному межоперационному грунту _____
(удаляется/сохраняется, наименование документа)

6.5 Схема установки электрохимической защиты _____

6.6 Инструкция по техническому обслуживанию и ремонту системы покрытия в эксплуатации _____
(наименование документа)

Завод-строитель Предприятие- Исполнитель работ Судовладелец
изготовитель покрытий

(должность, ф.и.о., подпись, дата)

**ИНФОРМАЦИЯ О НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТАХ,
В КОТОРЫХ ПРЕДСТАВЛЕНЫ СИСТЕМЫ ОКРАСКИ**

Системы лакокрасочных покрытий для защиты судовых конструкций отечественными и импортными лакокрасочными материалами приведены в РД 31.28.10-97 «Комплексные методы защиты судовых конструкций от коррозии» и в дополнении к РД 31.28.10-97 «Системы окраски судов отечественными и импортными лакокрасочными материалами» (2004 г.).

Системы представлены по форме, указанной в табл. 1.

Таблица 1

Системы лакокрасочных покрытий для защиты судовых конструкций

Наименование судовых конструкций	Тип и назначение судна, конструкции	Материал окрашиваемой поверхности	Номер системы	Обозначение и наименование ЛКМ	Число слоев, толщина одного слоя, мкм	Общая толщина покрытия, мкм	Степень подготовки поверхности по ISO 8501-1:1988
1	2	3	4	5	6	7	8

ОКОНЧАТЕЛЬНЫЙ ИНСПЕКЦИОННЫЙ ОТЧЕТ № ____
о подготовке поверхности к нанесению защитного покрытия
(Рекомендуемая форма)

ОКОНЧАТЕЛЬНЫЙ ИНСПЕКЦИОННЫЙ ОТЧЕТ № ____

О ПОДГОТОВКЕ ПОВЕРХНОСТИ К НАНЕСЕНИЮ ЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ _____

(наименование объекта, площадь (м²))

1 Общие сведения

1.1 Название судна _____

1.2 Судовладелец _____

1.3 Завод-строитель _____

1.4 Место и период выполнения работ _____

1.5 Система покрытия _____

(марка, типовой цвет, число слоев, толщина (мкм),
номер Свидетельства о типовом одобрении)

1.6 Изготовитель краски/покрытия _____

(название предприятия)

2 Подготовка поверхности металлопроката

2.1 Исполнитель работ _____

(название предприятия)

2.2 Абразив _____

(марка, тип, предприятие-изготовитель)

2.2.1 Размер _____ 2.2.2 Медь _____ 2.2.3 Масло _____ 2.2.4 Пыль _____

2.2.5 Влага _____ 2.2.6 Водорастворимые загрязнения, мСм/м _____

2.2.7 Условия хранения _____

2.3 Очистка поверхности:

2.3.1 Обмыв пресной водой _____ 2.3.2 Степень очистки _____

2.3.3 Шероховатость, мкм _____ 2.3.4 Масло _____ 2.3.5 Пыль _____

2.3.6 Водорастворимые загрязнения, мг/м² _____

2.4 Окружающие условия в процессе работ _____

(температуры воздуха и стали, влажность, точка росы)

2.5 Межоперационный грунт _____

(марка, тип, цвет, толщина (мкм))

2.5.1 Предприятие-изготовитель _____

(название предприятия)

3 Подготовка корпусных конструкций и деталей насыщения

3.1 Исполнитель работ _____
(название предприятия)

3.2 Обработка острых кромок ____ 3.3 Размер отверстий (вырезов) ____

3.4 Состояние сварных швов и околошовной зоны _____

3.5 Установка насыщения, протекторов _____

4 Подготовка поверхности корпусных конструкций

4.1 Исполнитель работ _____
(название предприятия)

4.2 Абразив _____
(марка, тип, предприятие-изготовитель)

4.2.1 Размер ____ 4.2.2 Твердость по Мосу ____ 4.2.3 Медь ____ 4.2.5 Масло ____

4.2.6 Влага _____ 4.2.7 Пыль _____

4.2.8 Водорастворимые загрязнения, мСм/м _____

4.3 Очистка поверхности:

4.3.1 Обмыв пресной водой ____ 4.3.2 Степень очистки поверхности ____

4.3.3 Степень очистки дефектов и сварных швов _____ 4.3.4 Пыль _____

4.3.5 Масло _____ 4.3.6 Способ удаления абразива _____

4.3.7 Водорастворимые загрязнения, мг/м² _____

4.3.8 Противообрастающая система удалена, % _____

4.4 Окружающие условия в процессе работ ($T_{\text{ст}} - T_{\text{росы}} > 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$):

№ пп.	Наименование показателей	Минимальное значение	Максимальное значение
1	Дата/Время		
2	Температура воздуха ($T_{\text{возд}}$), $^{\circ}\text{C}$		
3	Влажность воздуха (RH), %		
4	Температура стали ($T_{\text{ст}}$), $^{\circ}\text{C}$		
5	Точка росы ($T_{\text{росы}}$), $^{\circ}\text{C}$		

5 Нанесение системы покрытия

№ пп.	Наименование объекта	Окружающие условия ($T_{ст} - T_{росы} > 3\text{ }^{\circ}\text{C}$)												Разбавитель, %	Расход краски, л	Номер партии и цвет краски
		Минимум						Максимум								
		Дата	Время	Воз- дух		Сталь	$T_{росы}$	Дата	Время	Воз- дух		Сталь	$T_{росы}$			
				$T_{возд},\text{ }^{\circ}\text{C}$	RH, %					$T_{возд},\text{ }^{\circ}\text{C}$	RH, %					
1																
2																
3																
4																
5																
6																
¹Перечень операций: нанесение межоперационного грунта, полосовых и основных слоев покрытий; отверждение каждого слоя покрытий и термообработка готового покрытия.																

5.1 Исполнитель работ _____
(название предприятия)

6 Толщина готового покрытия

№ пп.	Наименование покрытий¹	Толщина (мкм)								
		Спецификационная				Фактическая				
		Мо- крого слоя	Сухой пленки			Мокрого слоя		Сухой пленки		
			Мини- мум	Номи- нал	Мак- симум	Мини- мум	Мак- симум	Мак- симум	Сред- няя	Мак- симум
1										
2										
3										
4										
5										
6										
¹Перечень покрытий: межоперационный грунт; основные и общие слои покрытий.										

7 Дефекты покрытий

7.1 Потеки _____ 7.2 Наплывы _____ 7.3 Апельсиновая корка _____

7.4 Кратеры _____ 7.5 Рыбий глаз _____ 7.6 Морщинистость _____

7.7 Неравномерный блеск _____ 7.8 Сорность пленки _____

8 Степень отверждения _____

(оборудование, результаты и стандарт)

9 Сплошность покрытия _____

(оборудование, результаты и стандарт)

Работы произведены в соответствии с технической документацией
завода-строителя

(наименование документа)

Согласовано с изготовителем покрытия _____

Данный отчет составлен инспектором по окраске предприятия _____

(название предприятия)

Инспектор по окраске _____

(подпись, ф.и.о. и дата)

РУКОВОДСТВО ПО ЕДИНЫМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ ОГРАНИЧЕНИЯМ ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ СУДОВ

Руководство ИМО по единым эксплуатационным ограничениям для высокоскоростных судов (см. MSC.1/Circ.1329, 11 June 2009) предназначено для применения при разработке Разрешения на эксплуатацию высокоскоростного судна. На английском языке представлен текст официального документа. Перевод на русский язык приведен в качестве справочного материала.

**МЕЖДУНАРОДНАЯ МОРСКАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ**
4 ALBERT EMBANKMENT
LONDON SE1 7SR

Телефон: 020 7735 7611
Факс: 020 7587 3210



ИМО

E

Исх. Т4/3.01

MSC.1/Circ.1329
11 июня 2009 г.

РУКОВОДСТВО ПО ЕДИНЫМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ ОГРАНИЧЕНИЯМ ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ СУДОВ

1 Комитет по безопасности на море на своей 87-й сессии (27 мая – 5 июня 2009 г.), признавая, что неограниченное плавание неприменимо к высокоскоростным судам, и что необходимо введение эксплуатационных ограничений, одобрил Руководство по единым эксплуатационным ограничениям для высокоскоростных судов, подготовленное Подкомитетом по проектированию и конструкции судов на его 42-й сессии, приведенное в приложении.

2 Правительствам-членам предлагается использовать данное в приложении Руководство при применении положений Кодекса по безопасности высокоскоростных судов 2000 г. при выдаче Разрешений на эксплуатацию высокоскоростного судна и довести настоящее Руководство до сведения всех заинтересованных сторон.

РУКОВОДСТВО ПО ЕДИНЫМ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМ ОГРАНИЧЕНИЯМ ДЛЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ СУДОВ

1 ВВЕДЕНИЕ

1.1 В Кодексе по безопасности высокоскоростных судов 2000 г. (в дальнейшем – Кодекс) четко сформулировано положение относительно того, что неограниченное плавание неприемлемо для высокоскоростных судов, и что необходимы эксплуатационные ограничения. В связи с этим особое внимание обращается на пункты 1.2, 1.3.4 и 1.4.61 Кодекса.

1.2 Настоящее Руководство по эксплуатационным ограничениям для высокоскоростных судов (в дальнейшем – Руководство) разработано с целью оказания помощи в единообразном применении Кодекса с поправками 2007 г. и, в частности, пункта 1.9 и приложения 12 к Кодексу, и обеспечения информацией для обоснования таких эксплуатационных ограничений.

1.3 Необходимо иметь в виду, что факторам, перечисленным в приложении 12 к Кодексу, предпосланы слова «как минимум», и эти факторы могут при необходимости дополняться другими факторами в тех случаях, когда администрации государств флага и/или порта считают, что такие дополнительные факторы относятся к безопасной эксплуатации судов в рамках Разрешения на эксплуатацию судна.

1.4 Вопросы, определяющие эксплуатационные ограничения, указанные в Разрешении на эксплуатацию, и рассмотренные в настоящем Руководстве, могут относиться к одному или нескольким из трех нижеуказанных аспектов:

- 1** вопросы, оказывающие влияние на безопасность судна в целом;
- 2** вопросы, особо влияющие на безопасность пассажиров и экипажа как отдельных людей; и
- 3** вопросы, оказывающие влияние на безопасность людей, находящихся за пределами судна.

1.5 Эксплуатационные ограничения, устанавливаемые настоящим Руководством, относятся к условиям нормальной эксплуатации. Например, если автоматическая система управления движением обычно используется в условиях, приближающихся к наихудшим эксплуатаци-

онным условиям, то следует предполагать, что эта система находится в исправном состоянии для установления эксплуатационных ограничений, но она должна быть также включена в анализ характера и последствий отказов (FMEA), рассматриваемый в Кодексе.

1.6 Любые эксплуатационные ограничения, вытекающие из рассмотрения всех соответствующих факторов, изложенных в настоящем Руководстве, должны определять допустимую область рабочих режимов судна. Эти ограничения должны быть изложены в ясной, но сжатой форме в Разрешении на эксплуатацию судна и Руководстве по эксплуатации судна и быть четко доведены до сведения экипажа судна.

2 МАКСИМАЛЬНОЕ УДАЛЕНИЕ ОТ МЕСТА УБЕЖИЩА

2.1 В пункте 1.3.4 Кодекса оговариваются временные пределы для пассажирских судов (4 ч) и грузовых судов (8 ч) для перехода к месту убежища (определение дается в 1.4.48 Кодекса) при ходе на 90 % максимальной скорости (согласно определению, данному в 1.4.38 Кодекса). Это сделано для того, чтобы разрешить судам работать исключительно в районах, где имеется необходимая береговая поддержка, и безопасно уйти в убежище в случае ухудшения погодных условий и состояния моря.

2.2 Такое ограничение обычно налагается вышеуказанными положениями Кодекса и должно быть четко указано в судовой документации и обозначено в Разрешении на эксплуатацию судна, если это не оговаривается косвенным образом (например, координатами границ района плавания).

2.3 Максимальная удаленность от базового порта или места убежища должна устанавливаться в соответствии с 18.1.4 Кодекса с учетом соответствующих ограничений, указанных в 1.3.4 Кодекса.

3 ИМЕЮЩИЕСЯ РЕСУРСЫ СПАСЕНИЯ И ОПЕРАТИВНОЙ ПОДДЕРЖКИ

3.1 В некоторых случаях эксплуатационные ограничения больше зависят от тех ресурсов, которые имеются на пути следования судна, чем от ограничений судна, поэтому основу Кодекса составляют надлежащие средства связи, прогнозы погоды и средства технического обслуживания и ремонта, имеющиеся в районе эксплуатации судна. Требование, касаю-

щееся прогноза погоды, в совокупности с требованием близости к месту убежища, предназначено для того, чтобы облегчить своевременное принятие решения о поиске убежища.

3.2 При установлении эксплуатационных ограничений администрации должны рассматривать вопрос о том, должна ли высота волны, соответствующая наихудшим эксплуатационным условиям, быть такой, чтобы судну могло быть дано разрешение на завершение данного рейса без значительного уменьшения скорости, создавая тем самым более тяжелые условия для пассажиров и экипажа. При этом само судно должно рассматриваться как наилучшее спасательное средство в ухудшающихся условиях.

3.3 В пункте 1.2.7 Кодекса говорится: *«в установленном для судна районе эксплуатации будут находиться подходящие средства спасания, готовые к немедленному использованию»*. Кроме того, в 1.4.12.1 Кодекса сказано, что высокоскоростное судно категории А – судно *«, эксплуатируемое на маршруте, на котором, в соответствии с требованиями государств флага и порта, была продемонстрирована высокая вероятность того, что в случае эвакуации в любой точке маршрута все пассажиры и члены экипажа могут быть надежно спасены в течение наименьшего из следующих периодов времени:*

- периода времени, необходимого для обеспечения того, чтобы люди, находящиеся в спасательных шлюпках и плотках, не подвергались воздействию окружающей среды, вызывающему гипотермию в наихудших предполагаемых условиях,

- периода времени, достаточного с учетом окружающих условий и географических особенностей маршрута, или

- 4 часов».

3.4 Слова *«высокая вероятность»* в данном тексте означают, что вероятность того, что эвакуация не окажется успешной, *«мала»* согласно определению, данному в приложении 3 к настоящему Кодексу.

3.5 Хотя в настоящем Кодексе не дано никаких указаний относительно того, что представляют собой *«подходящие средства спасания»*, Разрешение на эксплуатацию судна должно выдаваться только в тех случаях, когда администрации государств флага и порта убеждены в том, что приняты соответствующие меры и сделана надлежащая оценка, демонстрирующие к их удовлетворению, что требования Кодекса выполняются во всем районе эксплуатации судна в соответствии с 18.2.2.4 Кодекса. В этих целях администрации могут требовать, чтобы к заявке на Разрешение на эксплуатацию был приложен анализ движения судов и других ресурсов, которые могут быть доступны в дан-

ном районе эксплуатации в случае эвакуации судна и необходимости в спасании. Значительную помощь в определении недостатков и слабых мест и повышении эффективности при подготовке к реальному спасанию может оказать оценка подходящих средств спасания путем контрольной эвакуации или учения по спасанию, однако обычно это не должно требоваться.

3.6 Особое внимание должно быть обращено на сезонную доступность ресурсов. Например, присутствие льда благодаря сезонным колебаниям может привести к невозможности использования того или иного места убежища из-за соображений безопасности плавания.

4 СИЛА ВЕТРА, МИНИМАЛЬНАЯ ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА, ВИДИМОСТЬ И ГЛУБИНА ВОДЫ

4.1 В пункте 1.4.61 Кодекса при определении наихудших эксплуатационных условий приводится конкретная ссылка на следующие параметры, которые должны быть указаны в Разрешении на эксплуатацию судна:

.1 значительную высоту волны (см. разд. 5 ниже);

.2 силу ветра (см. гл. 2, п. 1.1.4 приложения 6, пп. 1.3 и 2.2 приложения 7 и пп. 1.1 и 2.1.4.3 приложения 8 к Кодексу. Например, в наихудших предполагаемых условиях максимальное давление ветра не должно превышать давление, используемое в расчетах остойчивости судна, и не должно создавать аэродинамическую подъемную силу, кроме той, которая связана с нормальным рабочим положением судна);

.3 минимальную температуру воздуха (с учетом, например, свойств хрупкого разрушения материалов, склонности к обледенению и возникающего в результате влияния на остойчивость судна и т.п.);

.4 видимость (например, такие условия, как ослабленная видимость и плавание в ночное время могут вызвать необходимость в улучшенном навигационном оборудовании или приборах ночного видения) и

.5 минимальную глубину моря, обеспечивающую безопасную работу (например, безопасное плавание, вымывание грунта, вредное влияние на флору морского дна, спутную струю (см. 7.2 ниже).

4.2 Перечень параметров, приведенный в предыдущем пункте, носит лишь иллюстративный характер, но не является полным. Он может быть дополнен администрациями и включать, например, воздействие морского льда на конструкцию судна, движители и забортные отверстия, а также способность судна обеспечить безопасное плавание и дойти до места убежища.

5 ОГРАНИЧЕНИЯ ПО СОСТОЯНИЮ МОРЯ – ЗНАЧИТЕЛЬНАЯ ВЫСОТА ВОЛНЫ

5.1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

5.1.1 Наихудшие предполагаемые условия обычно устанавливаются по величине значительной высоты волны, определение которой дано в 1.4.54 Кодекса. Настоящее Руководство разработано на основе этого параметра, но, тем не менее, основополагающие принципы по-прежнему применимы в случае использования любого другого параметра. При применении настоящего Руководства необходимо иметь в виду, что перемещения судна зависят от периода волны, а также от значительной высоты волны.

5.1.2 Для эксплуатационных целей значительная высота волны наиболее надежно измеряется либо со спутника, либо с помощью системы, обеспечивающей контроль в реальном времени высоты между поверхностью моря и точкой на судне, в сочетании с гироскопическим измерением ускорений в этой точке. В качестве альтернативного способа, записи значительной высоты волны могут быть получены с помощью волноизмерительных буйев передающего типа, расположенных вдоль маршрута движения судна. При отсутствии таких систем необходимы визуальные наблюдения за значительной высотой волны, для чего могут быть использованы указания, приведенные в приложении 1 к Руководству.

5.1.3 Ограничения по состоянию моря, применяемые к судну, могут изменяться в зависимости от курса судна относительно волн, однако для каждого курса они не должны быть больше, чем самая низкая балльность моря, определенная при учете факторов, перечисленных в оставшейся части настоящего раздела.

5.2 АВАРИЙНАЯ ОСТОЙЧИВОСТЬ

5.2.1 В пункте 2.6.11 Кодекса требуемый минимальный остаточный надводный борт до затопления является функцией значительной высоты волны, соответствующей наихудшим предполагаемым условиям.

5.3 КОНСТРУКТИВНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ

5.3.1 Для конструктивной целостности высокоскоростного судна очень важно, чтобы судно не эксплуатировалось за рамками тех ограничений, на которые его конструкция была рассчитана.

5.3.2 В этом отношении, принимая во внимание равноценность тех стандартов безопасности судна, которые рассматриваются в Кодексе с учетом гл. X Конвенции СОЛАС, необходимо отметить, что правило II-1/3-1 требует: *«...суда должны проектироваться, строиться, технически обслуживаться и ремонтироваться в соответствии с требованиями признанного администрацией классификационного общества к конструкции, механическим и электрическим установкам согласно положениям правила XI-1/1 или применимым национальным стандартам администрации, обеспечивающим равноценный уровень безопасности»*.

5.3.3 Нагрузки на конструкции в правилах некоторых классификационных обществ основаны на предельном вертикальном ускорении в точке, соответствующей продольному положению центра тяжести. Для того чтобы избежать превышения такого конструктивного ограничения, классификационные общества могут выдавать судам диаграмму, построенную исходя из допущения, при котором соотносится максимально допустимая скорость судна и преобладающая значительная высота волны. Относительно представления получающихся в результате эксплуатационных ограничений, которые могут определяться другими факторами согласно 1.6, – см. 8.2.

5.3.4 Иногда уменьшение скорости на волнении может быть произвольным из-за повышенного сопротивления. Однако для того, чтобы на сильном волнении остаться в безопасных пределах, необходимо преднамеренно уменьшить скорость.

5.4 ДИНАМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ

5.4.1 На безопасность эксплуатации большинства высокоскоростных судов значительное влияние оказывает состояние моря. Ограничения, касающиеся безопасности плавания, могут быть результатом некоторых примеров, приведенных в 2.1.5 и 17.5.4.1 Кодекса, включая, в частности, склонность к уходу палубы под воду или бродяжничеству, удары в корпус или заливание палубы со слемингом, зарывание носом, рысканье и разворот судна (см. информацию и указания об эксплуатации в условиях попутного волнения и волн с кормовых курсовых углов, приведенные в приложении 2 к Руководству).

5.4.2 Подразумеваемые, но не явные, ограничения должны также включать крайне сильные колебания, воздействующие на пассажиров и экипаж (см. также 5.6 Руководства).

5.4.3 Пункт 18.1.3.2 Кодекса требует, чтобы администрации были убеждены, что условия эксплуатации на предполагаемом маршруте со-

ответствуют возможностям судна. Это должно быть проверено во время испытаний, проводимых в соответствии с приложением 9 к Кодексу, и требуемых 17.2.1 Кодекса.

5.4.4 Администрации должны иметь в виду, что в 3.1.2 приложения 9 к Кодексу четко указано, что *«наихудшими предполагаемыми условиями, упомянутыми в 1.4.57 настоящего Кодекса, являются условия, в которых должна быть обеспечена возможность поддерживать безопасный ход без особых навыков рулевого. Однако движение любым курсом относительно ветра и волнения может быть неосуществимо»*. Это положение должно учитываться при установлении эксплуатационных ограничений относительно динамической устойчивости.

5.5 БЕЗОПАСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭВАКУАЦИОННЫХ СИСТЕМ И СПАСАТЕЛЬНЫХ СРЕДСТВ

5.5.1 В Кодексе особое внимание обращается на возможность быстрой и безопасной эвакуации высокоскоростного судна, при этом максимальное время эвакуации увязывается (см. 4.8.1 Кодекса) со временем конструктивной противопожарной защиты. С этой целью пункт 8.6.5 Кодекса требует, чтобы была *«предусмотрена возможность спуска спасательных шлюпок и плотов и последующей посадки в них ... во всех условиях эксплуатации, а также во всех условиях затопления...»*.

5.5.2 *«Все условия эксплуатации»* включают все условия нагрузки судна в неповрежденном состоянии, независимо от условий окружающей среды. Слова *«все условия затопления»* были включены для того, чтобы учесть необходимость обеспечить эвакуацию судна в условиях повреждения, определение которых дается в гл. 2 Кодекса.

5.5.3 В тех случаях, когда эвакуация судна проводится с помощью морской эвакуационной системы (МЭС), отвечающей требованиям Кодекса, Кодекс предполагает, что условия окружающей среды, требующиеся для проведения ходовых испытаний в тяжелых погодных условиях (в соответствии с пунктом 12.6 Переработанной рекомендации по испытаниям спасательных средств (см. резолюцию MSC.81(70) с поправками)), обеспечивают уверенность в работоспособности МЭС в тяжелых погодных условиях. Опыт показывает, что проведение ходовых испытаний в тяжелых погодных условиях, более суровых, чем те условия, которые оговариваются для типового одобрения МЭС, связаны со значительной физической опасностью для участвующего в них персонала.

5.5.4 Если эвакуация судна должна быть проведена непосредственно в спасательные шлюпки и спасательные плоты в соответствии с 8.7.5

Кодекса без использования МЭС, администрации могут потребовать проведения эвакуационных испытаний на данном или однотипном высокоскоростном судне в погодных условиях и условиях волнения вплоть до наихудших предполагаемых условий, указанных в Разрешении на эксплуатацию судна, с тем, чтобы быть уверенными, что в таких условиях эвакуация может быть проведена безопасно.

5.6 ОГРАНИЧЕНИЯ ДЛЯ БЕЗОПАСНОГО УПРАВЛЕНИЯ

5.6.1 В Кодексе рассматриваются три уровня безопасности (см. табл. 1 приложения 3 к Кодексу) и предписывается приемлемая вероятность, которая может иметь место на каждом уровне безопасности. Предполагается, что уровень 1 должен иметь вероятность более 10^{-5} , т. е. частую или вполне вероятную. Табл. 1 приложения 3 показывает, что для уровня безопасности 1 (маловероятные последствия) предписание заключается только в том, что горизонтальные ускорения не должны превышать 0,2 g.

5.6.2 При применении этих стандартов необходимо иметь в виду, что 4.3.1 Кодекса рекомендует избегать суммарных вертикальных ускорений, превышающих 1,0 g, в центре тяжести по длине, *«если не приняты специальные меры предосторожности в отношении безопасности пассажиров»*. Для вертикальных ускорений, превышающих 1,0 g, возникает опасность для сидящих пассажиров и экипажа.

5.6.3 Аналогичным образом, табл. 1 приложения к 3 Кодексу оговаривает приемлемые максимальные горизонтальные ускорения для тяжелых и предельно тяжелых эксплуатационных условий.

5.6.4 Табл. 2 приложения 3 к Кодексу указывает, что уровень безопасности 2 относится к условиям, когда требуется использование аварийных процедур, и возможны травмы пассажиров; уровень безопасности 3 – к условиям, когда происходит значительное понижение пределов безопасности и возникает возможность серьезных травм небольшому числу находящихся на судне людей.

5.6.5 Верхний предел уровня 2 соответствует наихудшим предполагаемым условиям – см. 3.3.2 приложения 9 к Кодексу. Пассажиры должны занять сидячее положение до наступления уровня 2 в соответствии с положениями Кодекса, изложенными в пункте 4.2.4 Кодекса и в пункте 3.3.2 приложения 9 к Кодексу.

5.6.6 Для различных видов высокоскоростных судов может возникнуть необходимость в различных ограничениях, относящихся к безопасности управления, как это указано в 17.5.4.1 Кодекса, например:

.1 для амфибийных судов на воздушной подушке может возникнуть необходимость в том, чтобы избежать некоторых сочетаний скорости и угла дрейфа для предотвращения зарывания носом или подламывания юбки, а также возможного опрокидывания;

.2 для различных видов высокоскоростных судов может возникнуть необходимость в том, чтобы избежать чрезмерного дифферента на нос с целью сохранения безопасности при маневрировании при зарывании судна носом или бросинге (см. 17.2.1 Кодекса);

.3 указания по безопасному управлению приведены в приложении 2 к настоящему Руководству и в переработанном Руководстве для капитана с тем, чтобы при необходимости можно было избежать опасных ситуаций в условиях плохой погоды и волнения (резолюция MSC.1/Circ.1228), имея в виду, что последний документ больше адресован судам традиционных типов.

5.6.7 Гл. 7 Кодекса требует проведения полномасштабных испытаний для определения эксплуатационных ограничений и методик эксплуатации судна в условиях ограничений. В приложении 9 к Кодексу дано определение контрольных методик, которые необходимы для разработки таких эксплуатационных ограничений. В частности, в разд. 3 приложения 9 к Кодексу и табл. 1 приложения 3 к Кодексу даются определения уровней горизонтальных и вертикальных ускорений, которые не должны превышать в целях обеспечения безопасности пассажиров. В нормальных эксплуатационных условиях судно не должно превышать уровень безопасности 1 (0,2 g в горизонтальной плоскости) при максимальной эксплуатационной скорости согласно 3.3 приложения 9 к Кодексу. В наихудших предполагаемых условиях судно не должно превышать уровень безопасности 2 (0,35 g в горизонтальной плоскости). Измерения вертикальных ускорений также требуются приложением 9 к Кодексу, и эти ограничения связаны с конструктивными ограничениями, для чего судно не должно превышать предельное вертикальное ускорение в центре тяжести по длине в соответствии с 4.3.1 Кодекса и 5.3.3 настоящего Руководства. Вышеуказанные пределы, результаты испытаний и таблица соотношения значительной высоты волны и скорости дают информацию для определения эксплуатационных ограничений. Необходимо иметь в виду, что 17.4 Кодекса требует проведения испытаний в соответствии с приложением 9 и включения проверки последствий отказа(ов), считающихся критическими.

5.6.8 Хотя 17.1 Кодекса предусматривает, при необходимости, возможность использования данных, полученных при проведении модельных испытаний, в тех случаях, когда это практически возможно, использование таких данных должно быть подтверждено соответствующими ис-

пытаниями самого судна или однотипного ему судна. Модельные испытания должны использоваться для оценки безопасного предела в ситуациях, исследование которых при проведении ходовых испытаний опасно. Для этих целей модельные испытания должны включать математическое моделирование, а также испытания физической модели.

5.6.9 Ссылки на вертикальные ускорения в пункте 4.3.1 и табл. 1 приложения 3 к Кодексу следует понимать как ссылку на среднюю величину, равную 1/100-й самых высоких ускорений (не среднеквадратичное значение), которая должна измеряться с использованием критериев, приведенных в сноске 1 к табл. 1 приложения 3 к Кодексу.

6 ИСПЫТАНИЯ, ДЕМОНИСТРИРУЮЩИЕ СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫМИ ОГРАНИЧЕНИЯМИ

6.1 Наихудшие предполагаемые условия в отношении ветра и волнения, необходимые для проведения контрольных испытаний, требуемых гл. 17 Кодекса, могут отсутствовать; в этом случае может возникнуть необходимость некоторой экстраполяции удовлетворительных результатов испытаний. При любой экстраполяции должен учитываться нелинейный характер поведения судна в отношении его мореходных качеств и изменения в периоде волны (частоты) и высоте (амплитуде). В таких случаях наихудшие предполагаемые условия, указанные в Разрешении на эксплуатацию судна, не должны превышать 130 % значительной высоты волны, при которой проводились контрольные испытания. Экстраполяция периода волны должна проводиться отдельно от высоты волны. Когда результаты испытаний, проведенных на одном судне, оказываются удовлетворительными, на последующих однотипных судах проведения таких испытаний не требуется, если не происходит существенных изменений в области рабочих режимов в отношении высоты и периода волны. Любая экстраполяция, основанная на результатах ходовых испытаний другого судна, близкого по конструкции и аналогичного размера (отклонение как длины, так и высоты в пределах 5 % длины и высоты рассматриваемого судна), должна быть проверена путем проведения испытаний нового судна. Экстраполяция не применима к испытаниям, о которых речь идет в гл. 5.5 Руководства.

6.2 Для того, чтобы экстраполяцию высоты волны можно было провести надлежащим образом, минимальный период волны необходимо увязывать с каждой значительной высотой волны, использованной для установления наихудших предполагаемых условий.

7 НАВИГАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ

7.1 Аварии высокоскоростных судов показывают, что существует ряд навигационных ситуаций, которые должны учитываться при установлении эксплуатационных ограничений в Разрешении на эксплуатацию судна. Они включают:

- 1 соответствие стационарного оборудования навигационным условиям на маршруте;
- 2 видимость в ночное время с учетом неосвещенных препятствий; и
- 3 другие ситуации, связанные с ограниченной видимостью.

7.2 Администрации должны иметь в виду, что в 3.1.2 приложения 9 к Кодексу четко указано, что *«наихудшими предполагаемыми условиями, упомянутыми в 1.4.57 Кодекса, являются условия, в которых должна быть обеспечена возможность поддерживать безопасный ход без особых навыков рулевого. Однако движение любым курсом относительно ветра и волнения может быть неосуществимо»*. Данное положение может учитываться администрациями при установлении эксплуатационных ограничений относительно поддержания курса судна и возможности следовать альтернативными курсами в условиях ухудшения погоды и усиления волнения.

7.3 Кроме безопасности плавания, минимальная безопасная глубина воды может быть связана с местными экологическими правилами или опасностями для других судов, людей и собственности в районе эксплуатации судна. Например, администрации могут потребовать исследования спутной струи, создаваемой судном, которая опасна для находящихся поблизости малых судов и людей на береговой линии, исследования экологических опасностей, связанных с эрозией. В этом случае в Разрешении на эксплуатацию судна должны быть указаны любые ограничения скорости судна на конкретном маршруте в отношении глубины воды¹ с целью предотвращения этой опасности.

7.4 Если маршрут считается особо опасным с точки зрения посадки судна на мель, администрации могут потребовать оценки риска этой опасности, учитывая применимость, например:

- 1 минимальных запасов по критериям безопасности в связи с конкретными опасностями на маршруте;
- 2 снижения скорости на критических участках маршрута; или

¹ Для спутной струи это основано на числе Фруда, но также зависит от профиля по глубине вблизи берега.

.3 требования о наличии на борту двух судоводителей в ходовой рубке на критических участках маршрута.

8 ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

8.1 Все эксплуатационные ограничения, указываемые в Разрешении на эксплуатацию судна, независимо от того, относятся ли они, например, к географическим границам или предельным условиям в отношении ветра, погоды и волнения, должны представляться таким образом, чтобы экипаж судна имел простые и ясные указания, доступные для немедленного использования судоводителем в ходовой рубке. При наличии возможности информация должна быть вывешена в ходовой рубке в месте, хорошо видимом с поста (постов) судоводителя. При необходимости в Разрешении на эксплуатацию судна или в Руководстве по эксплуатации судна может быть приведена дополнительная и более подробная информация.

8.2 Представленная информация не должна выходить за рамки допустимой эксплуатации, если четко не обозначена цель такой расширенной информации. Если предусматривается дополнительная информация, например, для обозначения границ района эксплуатации в контексте географии, информация должна быть представлена таким образом, чтобы было четко указано, что эксплуатация за пределами этих границ не допускается.

8.3 Ограничения в отношении значительной высоты волны, если они меняются в зависимости от курса, могут быть представлены различными способами, включая:

.1 полярную диаграмму, показывающую безопасную скорость в зависимости от высоты волны и курса, поскольку безопасная скорость на встречном волнении часто бывает меньше, чем скорость, допустимая на других курсах (см. рис. 1); или

.2 графики, имеющие разные линии для курсовых углов с носа в корму с интервалами не более 15° (см. рис. 2).

8.4 Для поддержания безопасных условий эксплуатации, в частности, в отношении конструктивной безопасности, на судне могут быть предусмотрены стационарно установленные приборы, показаниями которых должен руководствоваться экипаж судна для непосредственного контроля на борту судна вертикальных и поперечных ускорений и/или измерения высоты волны. В случае, если эксплуатационные ограничения включают ограничения по волнению, в том числе опасности, которые не могут распознаваться с помощью приборов, превышение конкретных ограничений

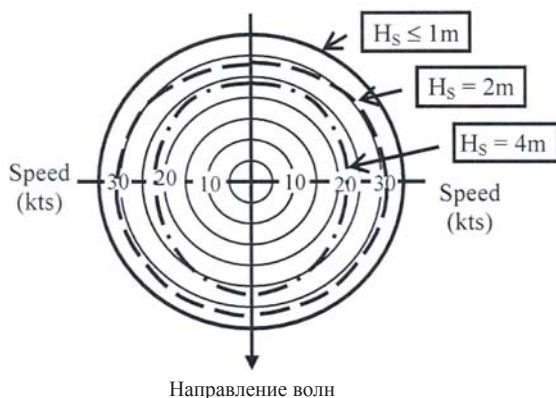


Рис. 1

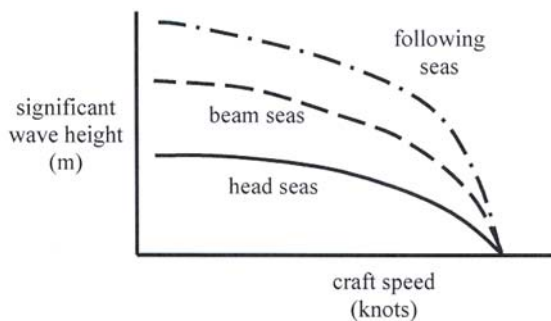


Рис. 2

по волнению не допускается, независимо от информации, выдаваемой системой приборов.

Приборы должны:

.1 подвергаться калибровке и поверке администрациями или по их поручению, с тем, чтобы экипаж был обеспечен ясной, точной и надежной информацией для безопасной эксплуатации судна в соответствии с 4.2.4 Кодекса;

.2 удовлетворять требованиям 17.1 Кодекса к проведению проверочных испытаний;

.3 дополняться ограничениями по волнению, которых следует придерживаться в случае неисправности приборов; и

.4 испытания, требуемые в приложении 9 к Кодексу, в отношении районов, контролируемых с помощью приборов, должны ограничиваться теми испытаниями, проведение которых необходимо в соответствии с 8.4.1 для поверки системы приборов.

8.5 В случае если информация, предусматриваемая в соответствии с 8.1, не отражает все зоны опасности на одном дисплее или в одном документе, ее представление должно однозначно включать одновременное выполнение всех эксплуатационных ограничений, перечисленных в Разрешении на эксплуатацию судна, рассматривая все опасности, связанные с безопасной эксплуатацией судна, такими, как те опасности, которые были упомянуты в предыдущих разделах настоящего Руководства.

ВИЗУАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЗНАЧИТЕЛЬНОЙ ВЫСОТЫ ВОЛНЫ¹

1 На рис. 1 показаны типичные очертания волн.

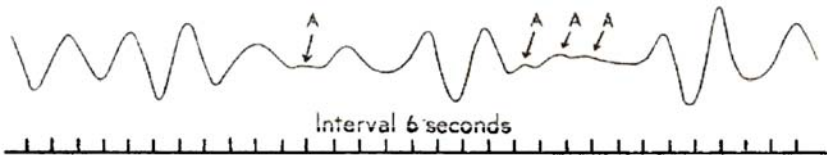


Рис. 1
Форма волн на поверхности моря

2 Такой график, как правило, имеет сложный характер и непосредственно отражает все трудности, свойственные визуальному наблюдению. Например, следует ли рассматривать все волны на равной основе или учитывать только большие волны? Поскольку характеристики волн имеют очень значительные отличия, какие же средние значения следует брать? Совершенно очевидно, что если нужно получить сопоставимые результаты, наблюдатель должен следовать какой-то определенной методике. Плохие и плохо сформированные волны («А» на рис. 1) точно наблюдать визуально невозможно. Если бы была сделана попытка включить их в график, разные наблюдатели несомненно получили бы различные результаты. Поэтому, метод, который следует при этом использовать, состоит в том, чтобы наблюдать только хорошо оформленные волны в центре группы волн. В результате наблюдения волн проводится либо измерение, либо оценка следующих характеристик: направление, период, высота.

3 Надежные средние величины периода волны могут быть получены только путем наблюдения, по крайней мере, двадцати волн. Естественно,

¹ Воспроизводится из Руководства для морских наблюдателей (The Marine Observers Handbook (Великобритания), Издательство Ее Величества, Лондон, 1969 г.

они не могут быть последовательными; из каждой последующей группы следует выбрать несколько волн, пока не будет получено необходимое число волн. Грубые оценки не имеют особой ценности, и их не следует регистрировать. Во многих случаях становится очевидным, что волны идут не с одного направления. Например, возможно волнение, вызываемое ветром, и зыбь, вызываемая ветром, который либо прошел мимо, либо дует в районе, находящемся на значительном удалении. Или возможны две волны зыби (т.е. пересекающиеся волны), вызываемые ветром, дующим с разных направлений в отдаленном районе. В таком случае наблюдатель должен делать различие между волнением и зыбью и учитывать их отдельно, представляя, при необходимости, две группы волн. Направление, высота и период морских волн могут совершенно отличаться от направления, высоты и периода волн зыби. Однако часто случается, особенно при волнении 8 и более баллов по шкале Бофорта, что морские волны и волны зыби идут с одного и того же направления. В этом случае практически невозможно сделать различие между волнением и зыбью, и лучший вариант заключается в том, чтобы рассматривать суммарную волну как морскую волну и соответственно регистрировать ее таким образом.

4 НАБЛЮДЕНИЕ ЗА ВОЛНАМИ С ДВИЖУЩЕГОСЯ СУДНА

Особое внимание следует обращать на то, чтобы на наблюдения, особенно наблюдения, относящиеся к периоду волны, не влияли волны, вызываемые движением судна.

4.1 НАПРАВЛЕНИЕ, С КОТОРОГО ИДУТ ВОЛНЫ. Оно легко устанавливается либо наблюдением непосредственно поперек, либо вдоль вершин волн, имея в виду при этом, что требуемое направление отличается от него на 90° . Всегда должно регистрироваться истинное направление, а не магнитное.

4.2 ПЕРИОД ¹. Для измерения периода волны желательно использовать секундомер. Если секундомера нет, можно использовать обычные часы с секундной стрелкой или, как вариант, опытный наблюдатель может отсчитывать секунды. Наблюдатель выбирает кусочек пены или не-

¹ Существует несколько различных определений периода волны, таких, как модальный период, период, пересекающий ноль, и т.п. Визуальное наблюдение периода волны необязательно представляет собой те необходимые периоды, которые требуются для цифровой обработки, и, соответственно, при необходимости должны вноситься поправки.

большой предмет, плавающий на воде на некотором расстоянии от судна, и замечает время, когда пена или предмет находятся на гребне каждой последовательной волны. Эта процедура повторяется для крупных волн каждой последовательной группы, пока не будет получено, по крайней мере, двадцать наблюдений. Этот период принимается как среднее время полного колебания от вершины до вершины волны. На быстроходном судне оказывается, что метод, использующий «кусочек пены», редко распространяется более чем на одно полное колебание, и что необходимо наблюдать большое число волн в отдельности. При наличии значительной практики появляется возможность легко выбирать надлежащие волны, и хронометрирование от вершины до вершины волны становится очень простым делом. Если есть желание использовать какой-то предмет (пустая пивная банка хорошо заметна на фоне моря, и она остается на плаву достаточно долго, чтобы выполнить свою функцию), то его необходимо бросить вперед настолько далеко, насколько это только возможно. Еще один метод, доступный для наблюдателя с секундомером, состоит в том, чтобы наблюдать одну или несколько последовательных «центральных» волн из группы волн при непрерывно работающем секундомере, затем остановить его до появления центральных волн следующей группы волн и затем снова включить секундомер. Эта процедура должна продолжаться, пока не будет проведено наблюдение, по крайней мере, за 20 полными колебаниями. Далее рассчитывается период путем деления полного времени на число колебаний. Необходимо иметь в виду, что периоды между временем прохождения вершин судном, — это не те, которые требуются.

4.3 ВЫСОТА. Хотя волнографы уже установлены на нескольких научно-исследовательских судах, на торговых судах в настоящее время не существует способа измерения высоты волн, пригодного для общего пользования, однако опытный наблюдатель может сделать полезные оценки. Применяемая методика зависит от соотношения длины волн и длины судна. Если длина волн коротка по сравнению с длиной судна, т.е. судно располагается на двух или нескольких вершинах волн, высота должна оцениваться по появлению волн у судна или на борту судна в те моменты, когда килевая и бортовая качка судна являются наименьшими. Для получения наилучшего результата наблюдатель должен занять максимально возможно низкое положение на судне, предпочтительно на миделе, где воздействие килевой качки наименьшее, и у борта судна, в направлении которого идут волны.

4.3.1 Данный метод не применим, когда длина волн превышает длину судна, так как тогда судно поднимается при прохождении вершины каждой волны.

Наблюдатель может занять место на судне так, чтобы его глаза находились точно в линию с вершиной бегущей волны и горизонтом, когда судно находится в вертикальном положении на подошве волны. Высота глаза над ватерлинией судна – это высота волны. Чем ближе положение наблюдателя к миделю, тем меньше возможность искажения измерения из-за килевой качки. При сильной бортовой качке судна особенно важно сделать наблюдение в момент, когда судно находится в вертикальном положении на подошве волны.

Слишком высокая оценка высоты волны происходит в основном в результате ошибок, вызываемых бортовой качкой (см. рис. 2.1 и 2.2). При бортовой качке судна (рис. 2.2) для того, чтобы получить линию на горизонт, наблюдатель при начале замера волны должен занять более высокое положение, чем то, когда судно находится в вертикальном направлении (рис. 2.1).



Рис. 2.1



Рис. 2.2

4.3.2 Наблюдение за высотой волн особенно затруднительно, когда длина волн превышает длину судна, а их высота мала. Наилучшая оценка высоты может быть достигнута, если быть максимально близко к воде, но даже в этом случае оценка может быть только грубой. При оценке высоты следует попытаться установить стандартную высоту относительно роста человека или высоты фальшборта, бака или хорошо известного раз-мерения судна. Как правило, существует тенденция переоценки высоты коротких волн и недооценка высоты длинных волн.

4.3.3 Оценка высоты волны с высокого мостика на быстро идущем судне представляется затруднительной и в значительной мере зависит от

опыта и умения наблюдателя; во многих случаях единственное, на что можно при этом надеяться, – это лишь на очень грубую оценку. Предпочтительно проводить все оценки высоты волны при нахождении судна на ровном киле, чтобы высота глаза наблюдателя была постоянной. Учитывая возникающие при этом трудности, указанные выше, в сочетании с практическими трудностями оценки, очень важно, чтобы регистрируемая высота представляла собой среднюю величину примерно двадцати отдельных наблюдений. Такие наблюдения необходимо проводить на центральных волнах наиболее значительных групп волн.

5 НАБЛЮДЕНИЕ ВОЛН В НОЧНОЕ ВРЕМЯ ИЛИ В УСЛОВИЯХ ПЛОХОЙ ВИДИМОСТИ

В вышеуказанных условиях самое большее, на регистрацию чего, как правило, может надеяться наблюдатель, – это направление и оценка высоты волн или, что вполне вероятно, только направление, что укажет, по крайней мере, на присутствие волн. Такие наблюдения могут иметь значительную ценность в тропических водах в сезон ураганов. Единственно, когда возможно наблюдать период волны, – это только в очень ясные ночи.

РУКОВОДСТВО ПО ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ СУДОВ В УСЛОВИЯХ ПОПУТНОГО ВОЛНЕНИЯ И ВОЛН С КОРМОВЫХ КУРСОВЫХ УГЛОВ

1 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1 Основная цель настоящего приложения состоит в том, чтобы дать рекомендации морякам, чего следует ожидать и как следует управлять высокоскоростным судном в условиях сильного попутного волнения и волн с кормовых курсовых углов. Предлагаемые здесь указания основаны не только на последних научных исследованиях, но и на накопленном опыте моряков.

1.2 Основные опасности, которым высокоскоростное судно может подвергаться в условиях сильного попутного волнения и волн с кормовых курсовых углов, – это скольжение на волне, зарывание носом и брочинг.

1.3 Капитану будет гораздо легче избегать проблем с поведением судна, с которыми ему, может быть, придется встретиться в течение рейса, если у него есть приборы, которые позволят ему получать информацию о поведении судна, а также о состояниях моря. Эти параметры включают в себя скорость судна, курс, вертикальное ускорение, продольное ускорение, прогнозы волнения и состояние моря в данный конкретный момент.

1.4 Попутное волнение относится к волнам прямо с кормы, а волны с кормовых курсовых углов означают направление волн между прямо с кормы и 45° с направления «прямо с кормы».

1.5 При пересечении баров судно может вести себя так, как это указано в настоящем приложении. Поскольку эти указания носят общий характер, они не включают конкретную информацию по пересечению баров, опасности и поведение судна, и поэтому сильно разнятся в зависимости от конкретных обстоятельств. Конкретная информация в этом отношении касательно того или иного судна и его маршрута должна быть приведена в Руководстве по эксплуатации судна.

1.6 Необходимо иметь в виду, что рекомендации, данные в настоящем приложении, предназначены служить только в качестве руководства и должны дополнять, а не заменять опыт и здравый смысл моряка или принципы хорошей морской практики.

2 КРИТИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ СУДНА В УСЛОВИЯХ ПОПУТНОГО ВОЛНЕНИЯ И ВОЛН С КОРМОВЫХ КУРСОВЫХ УГЛОВ

2.1 ЗАХВАТ ВОЛНОЙ

2.1.1 Захват волной может иметь место при движении судна непосредственно в направлении бега волн, длина которых приблизительно равна длине судна по ватерлинию. При подъеме на гребень одной волны сопротивление судна будет меньше, что вызывает его более быстрое движение на подошву волны впереди и вход в воду его носовой части в следующую волну. Если в результате этого не происходит зарывания носом, судно будет испытывать значительное увеличение сопротивления, которое будет замедлять его движение до скорости волн. Это может быть предвестником зарывания носом.

2.1.2 Признаки опасности:

- .1** движение со скоростью волны, – см. табл. 1; и
- .2** одна вершина волны в корме, а другая – в носу; и
- .3** высота волны, превышающая 4 % длины судна на ватерлинии;
- .4** судно оказывается между двумя последовательными волнами.

2.1.3 Корректирующее действие:

- .1** замедлить ход и пропустить волны вперед.

2.2 ПРОДОЛЬНО-ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ КОЛЕБАНИЯ И СКОЛЬЖЕНИЕ НА ВОЛНЕ

2.2.1 При движении высокоскоростного судна на попутных волнах, которые бегут непосредственно с кормы, и длине волны, равной длине судна или превышающей ее, в условиях продольно-горизонтальных колебаний при прохождении вершин волн судно может ускорять или замедлять ход. Такие скорости продольно-горизонтальных колебаний могут меняться в диапазоне примерно 50 % средней скорости; они вызываются значительными изменениями сопротивления и пропульсивных качеств при прохождении волн. Неожиданно судно может быстро увеличивать скорость относительно скорости волн и начать скользить. Скольжения на волне лучше всего избегать из-за возможности почти полной потери контроля в процессе такого скольжения. Скольжение на волне может быть предвестником зарывания носом или бродинга.

2.2.2 Признаки опасности:

- .1** большие изменения в скорости при постоянной тяге;

- .2 судно движется со скоростью волны $\pm 10\%$ (1/10), – см. табл. 1; и
- .3 длина волны составляет $1 \div 2,5$ длины судна по ватерлинию; и
- .4 судно имеет небольшой дифферент на нос при гребне волны в корму от миделя;
- .5 реакция на управление очень плохая; и
- .6 разрушающиеся волны увеличивают тенденцию к скольжению на волне.

2.2.3 Корректирующее действие:

- .1 избежать хода на скорости волны (см. табл. 1) на волнах опасной длины;
- .2 в случае возникновения скольжения на волне подождать, пока не пройдет критическая волна, не пытаясь предпринимать какие-либо значительные действия рулем;
- .3 затем замедлить ход.

2.3 ЗАРЫВАНИЕ НОСОМ

2.3.1 Зарывание носом происходит, когда высокоскоростное судно уходит носом в волну на попутном волнении и волнах с кормовых курсовых углов. Это может привести к гибели судна: судно испытывает сильный дифферент на нос, и нос погружается в воду, что иногда приводит к конструктивным разрушениям и травмам экипажа. Это особенно тяжелая ситуация для таких судов, как катамараны с поперечной палубой и ограниченной остаточной плавучестью в носовой части. Это происходит не так, как при входе носа в воду на встречном волнении, поскольку волна позади поднимает корму и ухудшает ситуацию.

При движении со скоростью волны зарывание носом может начинаться медленно, но неожиданно может приобрести опасный характер, если судно будет двигаться значительно быстрее, чем волны.

2.3.2 Признаки опасности:

- .1 если этому предшествует захват волной (см. 2.1 выше):
 - .1 то же, что и при захвате волной; и
 - .2 высота волны превышает примерно 75% (3/4) высоты надводного борта в носу на тихой воде; и
 - .3 волны с направления между непосредственно с кормы и кормового курсового угла;
 - .4 нос, почти полностью ушедший в воду до палубы или верха поперечной конструкции;
 - .2 если судно движется быстрее, чем волны:

.1 волны с направления между непосредственно с кормы и кормового курсового угла; и

.2 высота волны превышает 25 % (1/4) высоты надводного борта в носу на тихой воде; и

.3 длина волны составляет от 100 до 150 % длины судна по ватерлинию.

2.3.3 *Корректирующее действие:*

.1 обращать внимание на признаки опасности, избегая их;

.2 избегать любого дифферента на нос;

.3 сбавить ход примерно до 70 % скорости волн;

.4 как вариант, если это практически возможно, изменить курс, даже на встречное волнение.

2.4 БРОЧИНГ

2.4.1 Брочинг – это сильное и часто неконтролируемое зарыскивание судна на попутном волнении, которое разворачивает судно лагом к волне, что приводит к сильной и опасной бортовой качке и боковому дрейфу в направлении бега волн. Для однокорпусных судов с недостаточной остойчивостью это может привести к опрокидыванию. Этому может предшествовать скольжение со склона волны.

2.4.2 *Признаки опасности:*

.1 предпочтительный курс – слегка или значительно поперек волн, до 45° непосредственно в направлении бега волн; и

.2 длина волны, аналогичная длине судна по ватерлинию или несколько короче на кормовых курсовых углах; и

.3 скорость судна, близкая к скорости волн (± 15 % или 1/7), – см. табл. 1; и

.4 высота волны, превышающая 4 % длины судна по ватерлинию; и

.5 нос судна направлен вниз и зарывается в бегущую впереди волну;

.6 выход из воды водомётов или гребных винтов;

.7 сильные рыскающие движения от предполагаемого курса;

.8 скольжение на волне.

2.4.3 *Корректирующее действие:*

.1 избегать диагонального курса поперек волн, т.е. до 45° в направлении бега волн;

.2 избегать движения со скоростью, близкой к скорости волны (см. табл. 1) на волнах, имеющих опасную длину;

.3 снизить скорость примерно до 70 % скорости волны;

.4 после зарыскивания контроль устойчивости на курсе лучше всего восстанавливать путем снижения скорости.

3 ДРУГИЕ ВИДЫ ПОВЕДЕНИЯ СУДНА НА ВОЛНЕНИИ

Капитаны должны знать также о других видах возможного поведения судна, а именно:

.1 потере поперечной остойчивости в результате уменьшения площади ватерлинии, когда судно находится в равновесии на волне;

.2 слеминге, который может возникать на высокоскоростных судах на попутном волнении, если их скорость превышает, по крайней мере, в два раза скорость волн;

.3 резонансной бортовой качке, которая может возникнуть на волнении с кормовых курсовых углов, когда период поперечных составляющих волн совпадает с собственным периодом бортовых колебаний судна;

.4 параметрической бортовой качке, которая может возникнуть на попутном волнении, если время, требующееся для прохождения каждой волны мимо судна, приблизительно равно половине собственного периода бортовых колебаний судна;

.5 сочетаниях различных видов поведения судна, таких как скольжение, которое может привести к зарыванию носом; и то и другое может повлечь за собой дальнейшие опасные явления, такие как погружение носа в воду или опрокидывание.

4 ВЫВОДЫ

4.1 СКОРОСТЬ СУДНА

4.1.1 Важно, чтобы скорость судна соответствовала состоянию моря. В условиях попутного волнения и волнения с кормовых курсовых углов в дневное время сравнительно легко определить, движется ли судно быстрее или медленнее, чем преобладающие волны. Однако в ночное время такую оценку сделать нелегко.

4.1.2 Предполагается, что скорость судна будет известна достаточно точно. Если нет, то при движении на скорости преобладающих волн или скорости, близкой к ней (когда возможны захват волной или опасность скольжения), килевая и вертикальная качка будут значительно меньше, а скольжение значительно увеличится.

4.1.3 Примерное представление о скорости доминирующих волн при заданном состоянии моря можно получить из табл. 1.

Таблица 1

Ожидаемые скорости волн, уз.

Значительная высота волны, м	1	2	3	4	5	6
Прибрежные волны, уз.	15 – 18	17 – 23	19 – 27	20 – 30	21 – 33	23 – 35
Океанские волны, уз.	19 – 29	21 – 31	25 – 35	29 – 39	32 – 42	36 – 46

4.2 ДЛИНА ВОЛНЫ

Из данной выше рекомендации можно видеть, что соотношение между длиной волны и длиной судна по ватерлинию также имеет большое значение для оценки возможности неблагоприятного поведения судна. Поэтому важно контролировать длину волн, в которых эксплуатируется судно.

4.3 ВЫВОДЫ В ТАБЛИЧНОЙ ФОРМЕ

В табл. 2 приводятся указания, изложенные в настоящем приложении.

Таблица 2

Обобщение указаний при движении в условиях попутного волнения и волнении с кормовых курсовых углов

Поведение судна	Критическая скорость судна		Критическая длина волны		Критическая высота волны
Захват волной	$\approx V_w$	и	$\approx L_s$	и	$> 4 \% L_s$
Скольжение	$\approx V_w \pm 10 \%$	и	$\approx 1 \rightarrow 2,5 L_s$	и	$> 4 \% L_s$
Зарывание носом (медленное)	$\approx V_w$	и	$\approx L_s$	и	$> 75 \% F$
Зарывание носом (внезапное)	$> V_w$	и	$\approx 1 \rightarrow 1,5 L_s$	и	$> 25 \% F$
Броaching	$\approx V_w \pm 15 \%$	и	$\approx L_s$	и	$> 4 \% L_s$
Условные обозначения: $\approx$ – примерно равно; $>$ – больше; L_s – длина судна; $\pm$ – плюс или минус; V_w – скорость волны; F – высота надводного борта в носу на тихой воде.					

INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION
4 ALBERT EMBANKMENT
LONDON SE1 7SR

Telephone: 020 7735 7611
Fax: 020 7587 3210



E

Ref. T4/3.01

MSC.1/Circ.1329
11 June 2009

GUIDELINES FOR UNIFORM OPERATING LIMITATIONS OF HIGH-SPEED CRAFT

1 The Maritime Safety Committee, at its eighty-sixth session (27 May to 5 June 2009), recognizing that unrestricted operation is not suitable for high-speed craft and that, therefore, operating limitations are necessary, approved the Guidelines for uniform operating limitations of high-speed craft, prepared by the Sub-Committee on Ship Design and Equipment at its fifty-second session, as set out in the annex.

2 Member Governments are invited to utilize the annexed Guidelines when applying the Permit to Operate High-Speed Craft provisions of the 2000 HSC Code and to bring them to the attention of all parties concerned.

ANNEX

GUIDELINES FOR UNIFORM OPERATING LIMITATIONS OF HIGH-SPEED CRAFT

1 INTRODUCTION

1.1 An explicit element of the Code of Safety for High-Speed Craft, 2000 (2000 HSC Code – “the Code”) is that unrestricted operation is not suitable for high-speed craft and that operating limitations are necessary. In this regard, attention is drawn to paragraphs 1.2, 1.3.4 and 1.4.61 of the Code.

1.2 These Guidelines for uniform operating limitations of high-speed craft have been prepared to assist in the uniform implementation of the Code as amended in 2007, in particular paragraph 1.9.7 and annex 12, and to provide information on the rationale underpinning such operating limitations.

1.3 It should be noted that the factors listed in annex 12 of the Code are prefaced by the words “as a minimum” and may, where appropriate, be supplemented by other factors where the flag and/or port State Administrations are of the view that those additional factors are applicable to the satisfactory operations of the craft under the Permit to Operate.

1.4 Matters determining the operating limitations set out in the craft’s Permit to Operate, as outlined in these Guidelines, may relate to one or more of the following three sectors:

- .1 those affecting the safety of the craft as a whole;
- .2 those specifically affecting the safety of the passengers and crew as individuals; and
- .3 those affecting the safety of persons outside the craft.

1.5 The operating limitations established under these Guidelines should relate to the craft’s normal operations. For example, if an automatic ride control system is normally used in conditions approaching the *worst operating conditions*, then that system should be assumed operational for the establishment of the operating limitations but should also be included in the FMEA analysis specified in the Code.

1.6 Any operating limitations resulting from consideration of all the relevant factors outlined in the following sections of these Guidelines should define the permitted operational envelope for the craft. Those limitations should be described in clear but succinct terms on the Permit to Operate and the Craft Operating Manual and clearly communicated to the craft’s operating personnel.

2 MAXIMUM DISTANCE FROM REFUGE

2.1 Paragraph 1.3.4 of the Code gives time limits for passenger craft (4 hours) and cargo craft (8 hours) for the passage to a *place of refuge* (defined in paragraph 1.4.48 of the Code) when proceeding at 90% of *maximum speed* (as defined in paragraph 1.4.38 of the Code). This is to allow the craft to operate solely in areas where the necessary shore-based support is available and to safely retire to shelter in the event of changes in the weather and sea state.

2.2 This limitation is generally set by the referenced provisions of the Code, but should be clearly stated in the craft's documentation and shown on the Permit to Operate unless covered indirectly (e.g., by coordinates of boundaries of the operational area).

2.3 The maximum distance from base port or place of refuge should be established in accordance with paragraph 18.1.4 of the Code, taking account of the relevant limits specified in paragraph 1.3.4 of the Code.

3 AVAILABLE RESCUE AND OPERATIONAL SUPPORT RESOURCES

3.1 In some cases, the operating limitations are functions of the resources available on the route, rather than the craft's limitations. Specifically, the Code is predicated on adequate communications facilities, weather forecasts and maintenance facilities being available within the area of craft operation. Taken in conjunction with the requirement for proximity to place of refuge, the weather forecast requirement is intended to facilitate timely decision-making with regard to seeking refuge.

3.2 In setting the operating limitations, Administrations should consider whether the wave height corresponding to the *worst intended conditions* should be such as to permit the craft to complete its passage without relying on a drastic reduction in speed, thus increasing the exposure of the passengers and crew to progressively more severe conditions. Such consideration relates to the craft being considered its own best survival craft in deteriorating conditions.

3.3 Paragraph 1.2.7 of the Code states: "*in the intended area of operation, suitable rescue facilities will be readily available*". Further, paragraph 1.4.12.1 states that a category A high-speed craft is one "*operating on a route where it has been demonstrated to the satisfaction of the flag and port States that there is a high probability that in the event of an evacuation at any point of the route all passengers and crew can be rescued safely within the least of:*

- *the time to prevent persons in survival craft from exposure causing hypothermia in the worst intended conditions,*
- *the time appropriate with respect to environmental conditions and geographical features of the route, or*
- *4 hours*".

3.4 The words "a high probability" in this text should be taken to mean that the probability of an evacuation **not** being successful is "remote" as defined in annex 3 of the Code.

3.5 Although the Code gives no guidance on what constitutes "suitable rescue facilities", the Permit to Operate should only be issued where the flag and relevant coastal State Administrations are satisfied that appropriate measures have been implemented and an appropriate assessment made that demonstrates to their satisfaction that the Code's requirements are met across the operational area in accordance with paragraph 18.2.2.4 of the Code. For this purpose Administrations may require the application for the Permit to Operate to be accompanied by an analysis of shipping traffic and other resources likely to be available in the operating area in the event that the craft evacuates and rescue is required. Assessment of suitable rescue facilities through trial evacuation or rescue exercise may be highly beneficial in identifying gaps and weaknesses and in improving overall performance in preparation for an actual rescue, but should not normally be required.

3.6 Appropriate consideration should be given to the seasonal availability of resources. For example, presence of ice due to seasonal variation may render a specified place of refuge unusable due to navigational safety considerations.

4 WIND FORCE, MINIMUM AIR TEMPERATURE, VISIBILITY AND DEPTH OF WATER

4.1 Paragraph 1.4.61 of the Code, in defining the *worst intended conditions*, makes specific reference to the following parameters, which should therefore appear on the Permit to Operate, when appropriate:

- .1 significant wave height (refer to section 5 of these Guidelines);
- .2 wind force (refer to chapter 2, paragraph 1.1.4 of annex 6, paragraphs 1.3 and 2.2 of annex 7 and paragraphs 1.1 and 2.1.4.3 of annex 8 of the Code. For example, in worst intended conditions the maximum wind pressure should not exceed that used in the craft's stability calculations, nor should it create aerodynamic lift beyond that associated with the craft's normal operating attitude);
- .3 minimum air temperature (reference for example brittle fracture properties of materials, susceptibility to icing and resulting effect on stability, etc.);
- .4 visibility (e.g., conditions of impaired vision and night navigation may necessitate improved navigation equipment or night vision equipment); and
- .5 minimum safe water depth (e.g., safe navigation, bottom scouring, adverse effects on seabed flora and fauna, wash waves (see paragraph 7.2 below).

4.2 The matters outlined in the preceding paragraph are intended to only comprise an illustrative and non-exhaustive list. They may be supplemented by Administrations to include, for example, the effect of sea ice on the craft's structure, propellers, rudders and sea intakes and its ability to navigate safely and reach a place of refuge.

5 SEA STATE LIMITATIONS – SIGNIFICANT WAVE HEIGHT

5.1 General

5.1.1 The *worst intended sea conditions* are usually set in terms of a *significant wave height* value as defined in paragraph 1.4.54 of the Code. These Guidelines have been prepared on the assumption that this parameter is used but the underlying principles are still applicable if another parameter is used. In applying the Guidelines, it should be noted that craft motions are dependent upon wave period as well as significant wave height.

5.1.2 For operational purposes, significant wave height is most reliably measured either by satellite or by a system providing real-time monitoring of the height between the sea surface and a point on the craft in conjunction with gyroscopic measurement of accelerations at that point. Alternatively, significant wave height readings could be provided by transmitting-type wave measurement buoys located along the route. In the absence of such systems, visual observations of significant wave height will be necessary, for which the guidance provided in appendix 1 may be used.

5.1.3 Sea state limitations applicable to a craft may vary according to the craft's course relative to waves, but for each course should not be greater than the lowest sea state derived from taking account of the factors listed in the remainder of this section.

5.2 Damage stability

In paragraph 2.6.11 of the Code, the required minimum residual freeboard to downflooding is a function of the significant wave height corresponding to the *worst intended conditions*.

5.3 Structural safety

5.3.1 It is clearly vital to the structural integrity of a high-speed craft that the craft is not operated outside the limitations to which the structure has been designed.

5.3.2 In this regard, and bearing in mind the equivalence of safety standards of craft covered by the Code with those of SOLAS in accordance with SOLAS chapter X, it should be noted that SOLAS regulation II-1/3-1 requires that:

"... ships shall be designed, constructed and maintained in compliance with the structural, mechanical and electrical requirements of a classification society which is recognized by the Administration in accordance with the provisions of regulation XI-1/1, or with applicable national standards of the Administration which provide an equivalent level of safety".

5.3.3 Some classification society rules base their structural loadings on a limiting vertical acceleration at the longitudinal centre of gravity. In order to avoid exceeding this structural limitation, the societies may issue the craft with a diagram developed from this assumption, which relates the maximum permitted speed of the craft to the prevailing significant wave height. Refer to paragraph 8.2 of these Guidelines in relation to presentation of the resulting operating limitations, which may be determined by other factors in accordance with paragraph 1.6.

5.3.4 Sometimes speed reduction in waves may be involuntary, due to increased resistance. But deliberate speed reduction is generally necessary in order to stay within safe limits in high sea states.

5.4 Dynamic stability

5.4.1 Safe operation of most high-speed craft is significantly affected by the sea state. Safe seakeeping limitations may be as a result of some of the examples listed in paragraphs 2.1.5 and 17.5.4.1 of the Code, including most particularly: propensity to deck diving or broaching; incidence of hull or wet-deck slamming; plough-in, yawing and turning. Refer to the guidance information in appendix 2 in relation to operations in following and quartering seas.

5.4.2 Implied but not explicit these limitations should also include excessively violent motions affecting the passengers and crew (see also section 5.6 of these Guidelines).

5.4.3 Paragraph 18.1.3.2 of the Code requires that the Administration be satisfied that the operating conditions on the intended route are within the capabilities of the craft. This should be verified during the trials conducted in accordance with annex 9 and invoked by paragraph 17.2.1 of the Code.

5.4.4 Administrations should note that paragraph 3.1.2 of annex 9 of the Code explicitly states that *“worst intended conditions, referred to in 1.4.57 of this Code, are those in which it shall be possible to maintain safe cruise without exceptional piloting skill. However, operations at all headings relative to the wind and sea may not be possible”*. This provision should be taken into account when setting operating limitations in relation to dynamic stability.

5.5 Safe deployment of evacuation systems and survival craft

5.5.1 The Code places great emphasis on the ability to evacuate a high-speed craft quickly and safely, the maximum evacuation time being linked (in paragraph 4.8.1) to the structural fire protection time. To this end, paragraph 8.6.5 of the Code requires that: *“Survival craft shall be capable of being launched and then boarded ... in all operational conditions and also in all conditions of flooding ...”*.

5.5.2 “All operational conditions” includes all intact loading conditions without reference to environmental conditions. “All conditions of flooding” was included to take account of the need to provide for evacuation of the craft under the damage conditions defined in chapter 2 of the Code.

5.5.3 Where the craft is to be evacuated by MES complying with the requirements of the Code, the Code assumes that the environmental conditions required for the heavy weather sea trial (in accordance with paragraph 12.6 of the Revised recommendation on testing of life-saving appliances (resolution MSC.81(70) as amended) provide an assurance of operability of the MES in heavy weather. Experience has shown that heavy weather sea trials in more severe conditions than those specified for type approval of MES involve substantial physical danger for the personnel involved.

5.5.4 Where the craft is to be evacuated directly into survival craft in accordance with paragraph 8.7.5 of the Code without the use of MES, Administrations may require evacuation trials on the craft or an identical sister high-speed craft to be conducted in weather and sea conditions up to the *worst intended conditions* specified in the Permit to Operate, in order to assure itself that such evacuation can be carried out safely in such conditions.

5.6 Safe handling limitations

5.6.1 The Code makes reference to three safety levels (see table 1 in annex 3) and prescribes the acceptable probability that each safety level may occur. Level 1 is expected to have a probability of occurrence of greater than 10^{-3} , i.e. frequent or reasonably probable. Table 1 in annex 3 reveals that for Safety Level 1 (minor effect) it only prescribes that horizontal accelerations should not exceed 0.2 g.

5.6.2 In applying these standards it should be noted that paragraph 4.3.1 of the Code advises that superimposed vertical accelerations exceeding 1 g at the longitudinal centre of gravity should be avoided “unless special precautions are taken with respect to passenger safety”. For vertical accelerations exceeding 1 g then hazards for safe seating of passengers and crew will ensue.

5.6.3 Similarly, table 1 in annex 3 of the Code stipulates acceptable maximum horizontal accelerations for severe and extreme operating conditions.

5.6.4 Table 2 in annex 3 of the Code makes it clear that Safety Level 2 relates to conditions when emergency procedures are required and passengers may be injured, and Level 3 to conditions when there is a large reduction in safety margins, and serious injury to a small number of occupants may occur.

5.6.5 The upper limit of Level 2 corresponds to the *worst intended conditions* – see paragraph 3.3.2 of annex 9 of the Code. Passengers must be seated before the onset of Level 2 in accordance with the Code provisions in paragraph 4.2.4 and annex 9, paragraph 3.3.2.

5.6.6 Many forms of high-speed craft may have safe handling limitations as suggested in paragraph 17.5.4.1 of the Code, for example:

- .1 Amphibious hovercraft may have to avoid certain speed and drift angle combinations in order that plough-in or skirt tuck-under and possible capsizing do not occur.
- .2 Many forms of high-speed craft may have to avoid excessive bow-down trim in order to preserve safe manoeuvring behaviour, such as avoidance of bow-diving or broaching (see paragraph 17.2.1 of the Code).
- .3 Guidance in this safe handling may be obtained from appendix 2 and the Revised Guidance to the master for avoiding dangerous situations in adverse weather and sea conditions (MSC.1/Circ.1228), as appropriate, bearing in mind that the latter document is largely addressed to conventional ships.

5.6.7 Chapter 17 of the Code requires full-scale testing to determine operating limitations and procedures for operation of the craft within limitations. Annex 9 defines the test procedures needed to develop these operational limits. In particular section 3 of annex 9 and table 1 of annex 3 define the horizontal and vertical acceleration levels which must not be exceeded to ensure passenger safety. Under normal operation conditions, craft must not exceed Safety Level 1 (0.2 g in horizontal plane) at maximum operating speed as per paragraph 3.3 of annex 9 of the Code. In worst intended conditions, craft should not exceed Safety Level 2 (0.35 g in horizontal plane). Vertical acceleration measurements are also required by annex 9, and these limits are driven by structural limitations for which craft must not exceed the limiting vertical acceleration at the longitudinal centre of gravity as per paragraph 4.3.1 of the Code and paragraph 5.3.3 of these Guidelines. The above limits, trial results, and the significant wave height to speed table inform the process of defining operational limits. It should be noted that paragraph 17.4 of the Code requires the trials conducted under annex 9 to include verification of the effects of failure(s) identified as being critical.

5.6.8 Although paragraph 17.1 of the Code makes provision for use of data from model tests where appropriate, wherever practicable use of such data should be confirmed by suitable trials of the craft or an identical craft. Model tests should be used to evaluate safe limits in situations that would be hazardous to investigate during sea trials. For these purposes, model tests should be taken to include mathematical modelling as well as testing of a physical model.

5.6.9 The references to vertical accelerations in paragraph 4.3.1 and table 1 of annex 3 of the Code should be interpreted as referring to the mean of the 1/100th highest accelerations (not RMS), which should be measured using the criteria of footnote 1 to table 1 of annex 3.

6 TRIALS DEMONSTRATING PERFORMANCE IN RELATION TO OPERATING LIMITATIONS

6.1 The *worst intended conditions* of wind and sea may not be available for the conduct of the verification trials required by chapter 17 of the Code, in which case some extrapolation of satisfactory trial results may be necessary. Any extrapolation should take account of the non-linear nature of seakeeping behaviour and of variation in wave period (frequency) and height (amplitude). In such cases, the *worst intended conditions* specified on the craft's Permit to Operate should not be more than 130% of the significant wave height in which the verification trials were conducted. Extrapolation of wave period should be conducted separately from wave height. Where satisfactory trials have been completed on a craft, those trials are not required on subsequent identical sister craft, provided the operational envelope of wave height and wave period is not significantly changed. Any extrapolation based on trial results of another closely similar design of similar size (length and breadth both within 5% of that of the craft in question) should be verified through trials of the new craft. Extrapolation is not applicable to trials conducted under section 5.5 of these Guidelines.

6.2 In order that extrapolation of wave height may be conducted in a consistent manner, a minimum wave period should be associated with each significant wave height used to establish the *worst intended conditions*.

7 NAVIGATIONAL MATTERS

7.1 Casualties to high-speed craft have illustrated that there are number of navigational circumstances that need to be taken into account when establishing the operating limitations under the Permit to Operate. These include:

- .1 adequacy of fixed aids to navigation on the route;
- .2 night vision with regard to unlit obstacles; and
- .3 other restricted visibility.

7.2 Administrations should note that paragraph 3.1.2 of annex 9 of the Code explicitly states that "*worst intended conditions, referred to in 1.4.57 of this Code, are those in which it shall be possible to maintain safe cruise without exceptional piloting skill. However, operations at all headings relative to the wind and sea may not be possible*". This provision can be taken into account by Administrations when setting operating limitations in relation to the craft's course-keeping and ability to follow alternative courses in worsening weather and sea conditions.

7.3 Minimum safe water depth may relate to local environmental regulations or hazards to other craft, persons and property in the operational area in addition to navigational safety. For example, Administrations may require investigation of wash waves generated by the craft that are hazardous to nearby small craft and persons on the shoreline, investigation of environmental hazards due to erosion, and any restrictions on craft speed on the specific route in relation to water depth* in order to avoid these hazards should be stipulated in the Permit to Operate.

* For wake wash waves this is based on depth Froude Number but is also dependent on the depth profile adjacent to the shore.

7.4 Where a route is considered to be especially vulnerable to grounding or stranding, Administrations may require a risk assessment of these hazards, considering the applicability of, for example:

- .1 minimum safety margins around particular hazards on the route;
- .2 reduced speed during critical sections of the route; or
- .3 requiring two navigators in the operating compartment during critical sections of the route.

8 PRESENTATION OF OPERATING LIMITATIONS

8.1 All operating limitations shown on the Permit to Operate, irrespective of whether they relate, for example, to geographical boundaries or limits of wind, weather and sea conditions, should be presented in a manner that provides simple and clear direction to the craft's personnel and should be immediately available to the operator in the operating compartment. Wherever practicable, the information should be posted in a prominent position in the operating compartment readily visible from the operator's position(s). Supplementary and more detailed information may be provided in the Craft Operating Manual or Route Operational Manual, as appropriate.

8.2 The presented information should not extend beyond the limits of permitted operations unless clearly labelled with the purpose of the extended information. Where additional information is provided, for example to place the boundaries of the operating area in geographic context, the presentation should be such as to clearly indicate that operations outside those boundaries are not permitted.

8.3 Limitations with regard to significant wave height, if varied according to heading, may be presented in a number of forms, including:

- .1 polar diagram showing safely attainable speed versus wave height and relative heading, since the safe speed in head seas will often be less than that attainable on other headings (see figure 1); or
- .2 graph(s) having different lines for heading angles from head through to stern at intervals of not more than 15° (see figure 2).

8.4 Permanently installed instruments may be provided to guide the craft's personnel in maintaining safe operating conditions, particularly in respect of structural safety, through direct onboard monitoring of vertical and lateral accelerations and/or measurement of wave height. Where the operational limitations include limiting sea conditions covering hazards other than those covered by the instrumentation, the specified limiting sea conditions should not be exceeded irrespective of the guidance information provided by the instrumentation system. The instrumentation should:

- .1 be calibrated and verified by, or on behalf of, the flag Administration as providing clear, accurate and reliable information to operating personnel for the safe operation of the craft in accordance with paragraph 4.2.4 of the Code;

- .2 meet the requirements of paragraph 17.1 of the Code for the conduct of verification trials;
- .3 be supplemented by sea state limitations that are to be adhered to in the event of failure of the instrumentation; and
- .4 trials required by annex 9 of the Code in relation to areas monitored by the instrumentation should be limited to those necessary under subparagraph .1 above for verification of the instrumentation system.

8.5 Where the information provided in accordance with paragraph 8.1 is not consolidated so as to cover all hazard areas in a single display or document, its presentation should unambiguously facilitate simultaneous compliance with **all** operational limitations listed on the Permit to Operate, addressing as appropriate all the hazards associated with the safe operation of the craft such as those covered in all the preceding sections of these Guidelines.

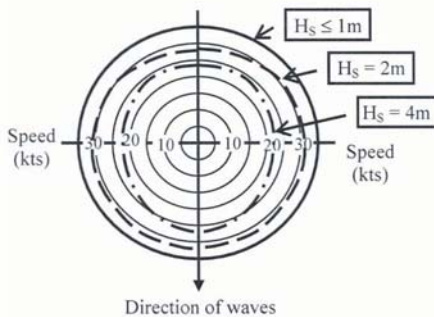


Figure 1

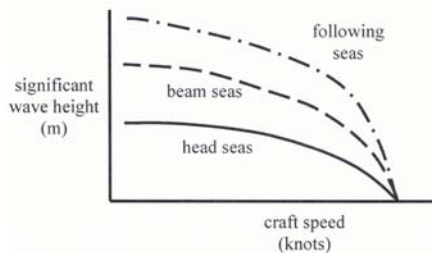


Figure 2

APPENDIX 1

VISUAL ESTIMATION OF SIGNIFICANT WAVE HEIGHT*

- 1 A typical record of wave traces is shown in figure 1 below.
- 2 The record is, in general, complex and shows immediately all the difficulties inherent in eye observation. For example, are all the waves to be considered on an equal footing or are only the big waves to be counted? Since the wave characteristics vary so much, what average values shall be taken? It is obvious that if comparable results are to be obtained the observer must follow a definite procedure. The flat and badly formed waves ("A" in figure 1) between the wave groups cannot be observed accurately by eye and different observers would undoubtedly get different results if an attempt were made to include them in the record. The method to be adopted, therefore, is to observe only the well-formed waves in the centre of the wave groups. The observation of waves entails the measurement or estimation of the following characteristics:

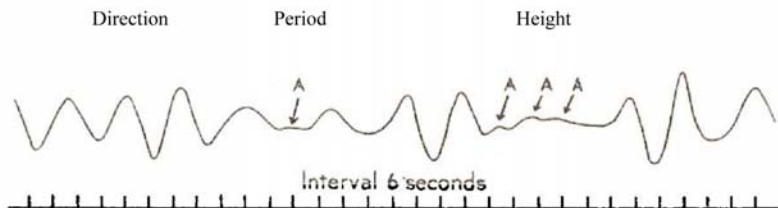


Figure 1 – Wave form of the sea surface

- 3 Reliable average values of period and height can only be obtained by observing at least twenty waves. Of course, these cannot be consecutive; a few should be selected from each succeeding wave group until the required number has been obtained. Only measurements or quite good estimates are required. Rough guesses have little value and should not be recorded. It will often be found that there are waves coming from more than one direction. For example, there may be a sea caused by the wind then blowing and a swell caused by a wind that has either passed over or is blowing in a distant area. Or there may be two swells (i.e. cross swells) caused by winds blowing from different directions in distant areas. In such cases, the observer should distinguish between sea and swell, and report them separately, giving two groups for swell when appropriate. The direction, height and period of the sea wave may be quite different from that of the swell wave. It will, however, often happen – particularly with winds of Beaufort force 8 and above – that the sea and swell waves are both coming from the same direction. In that case, it is virtually impossible to differentiate between sea and swell, and the best answer is to look upon the combined wave as being a sea wave and log it accordingly.

* Reproduced from Meteorological Office (UK), *The Marine Observers Handbook*, Her Majesty's Stationery Office, London, 1969.

Observing waves from a moving ship

4 Care should be taken to ensure that the observations, especially those of period, are not influenced by the waves generated by the motion of the ship.

4.1 DIRECTION FROM WHICH THE WAVES COME. This is easily obtained either by sighting directly across the wave front or by sighting along the crests of the waves and remembering that the required direction differs from this by 90°. Direction is always recorded true, not magnetic.

4.2 PERIOD*. For measurements of period, a stopwatch is desirable. If this is not available, an ordinary watch with a seconds hand may be used or, alternatively, a practised observer may count seconds. The observer selects a distinctive patch of foam or a small object floating on the water at some distance from the ship, and notes the time at which it is on the crest of each successive wave. The procedure is repeated for the larger waves of each successive group until at least twenty observations are available. The period is then taken as the average time for a complete oscillation from crest to crest. In a fast ship it will be found that the "patch of foam" method will rarely last for more than one complete oscillation and that many waves should be observed separately. With practice, suitable waves can easily be picked out and the timing from crest to crest becomes quite simple. When it is desired to use an object (an empty beer can is usually conspicuous against the sea and will remain afloat long enough to serve its purpose) it should be thrown as far forward as possible. Another method available to the observer with a stopwatch is to observe two or more consecutive "central" waves of a wave group while the watch is running continuously, then to stop the watch until the central waves of the next wave group appear, the watch being then restarted. This procedure is repeated until at least twenty complete oscillations have been observed. The period is then obtained by dividing the total time by the number of oscillations. It is important to note that the periods between times of crests passing a point on the ship are not the ones required.

4.3 HEIGHT. Although wave-recorders are fitted to a few research ships, there is at present no method of measuring the height of waves suitable for general use on merchant ships, but a practised observer can make useful estimates. The procedure to be adopted depends on the length of the waves relative to the length of the ship. If the length of the waves is short in comparison with the ship's length, i.e. if the ship spans two or more wave crests, the height should be estimated from the appearance of the waves at or on the side of the ship, at times when the pitching and rolling of the ship is least. For the best result, the observer should take up a position as low down the ship as possible, preferably amidships where the effect of pitching is least, and on the side of the ship towards which the waves are coming.

4.3.1 This method fails when the length of the waves exceeds the length of the ship, for then the ship rises bodily with the passage of each wave crest. The observer should then take up a position in the ship so that his eye is just in line with the advancing wave crest and the horizon, when the ship is vertical in the trough. The height of eye above the ship's waterline is then the height of the wave. The nearer the observer is to an amidships position, the less chance will there be of the measurement being vitiated by pitching. If the ship rolls heavily, it is particularly important to make the observation at the moment when she is upright in the trough.

* There are several different definitions of wave period, such as modal period, zero up-crossing period, etc. The visual observation of wave period does not necessarily represent the necessary wave periods required for numerical processing, and corrections should be made as appropriate.

Exaggeration of estimates of wave height is mostly due to errors caused by rolling (see figures 2.1 and 2.2). When the ship is rolling (figure 2.2), the observer at "0" should take up a higher position to get a line on the horizon than when she is upright (figure 2.1).



Figure 2.1



Figure 2.2

4.3.2 The observation of height of waves is most difficult when the length of the waves exceeds the length of the ship and their height is small. The best estimate of height can be obtained by going as near the water as possible, but even then the observation can only be rough. In making height estimates an attempt should be made to fix a standard of height in terms of the height of a man or the height of a bulwark, forecastle or well-known dimension in the ship. There is generally a tendency to overestimate the height of short waves and underestimate the height of long waves.

4.3.3 Estimating the height of a wave from a high bridge in a fast ship is a difficult job and much will depend on the skill and ingenuity of the observer; in many cases all one can hope for is a very rough estimate. All estimates of wave height should be made preferably with the ship on an even keel so that the observer's height of eye is consistent. The inherent difficulties already mentioned, together with the practical difficulties of estimation, make it essential that the recorded height be the average value of about twenty distinct observations. These observations should be made on the central waves of the more prominent wave groups.

Wave observations at night or in low visibility

5 Under these conditions, the most that the observer can normally hope to record is direction and an estimate of height, or perhaps direction only, which would at least indicate the presence of waves. Such observations might be of considerable value in tropical waters in the hurricane season. It is only on very bright nights that the observation of period would be practicable.

* * *

APPENDIX 2

GUIDANCE FOR OPERATION OF HIGH-SPEED CRAFT IN FOLLOWING AND STERN-QUARTERING SEAS

1 GENERAL

1.1 This note has, as its primary aim, the provision of advice to mariners on what to expect and how to handle a high-speed craft in severe following and stern-quartering seas. The guidance offered here is based, not only on the recent research, but also on the accumulated experience of practising mariners.

1.2 The principal hazards likely to be experienced by a high-speed craft in severe following or stern-quartering seas are surfing, bow-diving and broaching.

1.3 The master will be in a better position to avoid dynamic problems if he has instruments that inform of the behaviour of his vessel and information on the sea states he is likely to encounter on the voyage. These parameters include vessel speed, heading, vertical acceleration, longitudinal acceleration, wave forecasts and current sea state.

1.4 Following seas refer to seas which are dead astern while stern-quartering seas refer to wave directions between dead astern and 45° from dead astern.

1.5 Bar crossings may involve behaviours similar to a number of those outlined in this appendix. As this guidance is of a general nature, it does not include specific information on bar crossing for which the hazards and behaviours are highly variable according to the individual circumstances. Specific information in this regard in relation to the craft and its route should be provided in the Route Operational Manual.

1.6 It should be noted that the advice given in this note is for guidance only and should augment and not replace the skill and judgement of the mariner, or the tenets of good seamanship.

2 CRITICAL BEHAVIOUR IN FOLLOWING AND STERN-QUARTERING SEAS

2.1 Trapping

2.1.1 Trapping can occur when the craft is moving directly down-wave in waves whose length is roughly equal to the waterline length of the vessel. When cresting one wave, the craft will experience a reduction in resistance, which will cause it to accelerate into the trough ahead and immerse its fore-body in the next wave. If this does not result in a bow dive, the craft will experience a significant increase in resistance that will slow it down to the speed of the waves. It can be the precursor to a bow-dive.

2.1.2 *Warning signs:*

- .1 moving at the speed of the wave, see table 1; **and**
- .2 one wave crest at the stern and another at the bow; **and**
- .3 wave height greater than 4% craft waterline length;
- .4 craft becomes trapped between two successive crests.

2.1.3 Corrective action:

- .1 slow down and allow the waves to draw ahead.

2.2 Surging and surfing

2.2.1 When a high-speed craft is moving in following seas which are directly astern and where the wave length is about the same as or greater than the vessel length, it may accelerate and decelerate in surge as the crests pass. Such surge velocities may differ by as much as 50% of the average speed and are caused by significant changes in resistance and propulsive efficiency as the waves pass. Without warning the craft may accelerate rapidly to the speed of the wave and surf. Surfing is best avoided if at all possible because of the almost total loss of control that occurs while it is in progress. Surfing can be the precursor to a bow-dive, or a broach.

2.2.2 Warning signs:

- .1 large variations in craft speed at constant throttle;
- .2 craft is moving at wave speed plus or minus 10% ($1/10$ th), see table 1; **and**
- .3 the wave length is between 1 to 2.5 times craft waterline length; **and**
- .4 the craft has a slight bow-down pitch attitude, with a wave crest abaft amidships;
- .5 response to steering controls is poor;
- .6 breaking waves increase the tendency to surf.

2.2.3 Corrective action:

- .1 avoid running at wave speed (see table 1) in waves of dangerous length;
- .2 if caught in a surf wait until the critical wave has passed without attempting any major helm action;
- .3 afterwards, slow down.

2.3 Bow-diving

2.3.1 Bow-diving occurs when a high-speed craft buries its bow into a wave in following or stern-quartering seas. This causes all way to be lost, the vessel experiences a severe bow-down pitch and the bow becomes submerged, sometimes resulting in structural damage and injury to personnel. It is particularly severe for vessels such as catamarans with a cross deck and limited residual buoyancy forward. It is different to bow immersion in head seas as the wave behind lifts the stern and worsens the situation.

Bow-diving may have a slow onset if moving at wave speed, but may be dramatic without warning if craft is moving substantially faster than the waves.

2.3.2 Warning signs:

- .1 If preceded by trapping (see 2.1 above):
 - .1 as for trapping; **and**
 - .2 wave height greater than about 75% ($3/4$) of bow freeboard when stopped; **and**
 - .3 waves from between directly astern and the quarter;
 - .4 bow almost immersed to the deck or top of cross-structure.

- .2 If craft is moving faster than the waves and:
 - .1 waves from between directly astern and the stern quarter; **and**
 - .2 wave height greater than 25% ($\frac{1}{4}$) of bow freeboard when stopped; **and**
 - .3 wave length 100% to 150% of the waterline length of the craft.

2.3.3 **Corrective action:**

- .1 avoidance by attention to the warning signs;
- .2 avoiding any trim by the bow;
- .3 slow down to less than about 70% of wave speed;
- .4 alternatively, if practicable, change course, even to head seas.

2.4 **Broaching**

2.4.1 Broaching is a severe, and often uncontrollable, yawing movement in following seas which turns the vessel beam on to the waves resulting in a dangerously heavy roll, and a sideways sliding motion down-sea. In monohulls with insufficient stability it can result in capsize. It may be preceded by surfing.

2.4.2 **Warning signs:**

- .1 desired course slightly or appreciably across the waves, up to 45° from directly down-sea;
- .2 wave length similar to craft waterline length, or slightly shorter in quartering seas; **and**
- .3 craft speed similar to wave speed plus or minus 15% ($\frac{1}{7}$ th), see table 1; **and**
- .4 wave height greater than 4% craft waterline length; **and**
- .5 bow-down attitude and bow burying into wave ahead;
- .6 up-sea waterjets or propellers beginning to ventilate;
- .7 severe yaw motions either side of intended course;
- .8 surfing.

2.4.3 **Corrective action:**

- .1 avoid a diagonal course across the waves, i.e. up to 45° from directly down-sea;
- .2 avoid running close to wave speed (see table 1) in waves of dangerous length;
- .3 reduce speed to less than about 70% of wave speed;
- .4 after a broach, directional control is best reasserted by reducing speed.

3 **OTHER BEHAVIOUR WHICH MAY OCCUR**

Masters should also be aware of the other types of behaviour that may occur, viz:

- .1 loss of transverse stability due to loss of waterplane area when poised on a wave;
- .2 slamming, which can occur with high-speed craft in following seas if their speed is at least twice the speed of the waves;
- .3 synchronous rolling, which occurs in stern-quartering seas when the period of the transverse components of the waves coincides with the natural roll period of the craft;

- .4 parametric rolling, which can occur in following seas if the length of time each wave takes to pass the craft is approximately equal to half the natural roll period;
- .5 combinations of behaviour, such as surfing which can lead to a broach or a bow-dive; both of which can lead to further severe events such as fore-deck immersion or capsize.

4 SUMMARY

4.1 Craft speed

4.1.1 It is important that speed should be appropriate for the sea conditions. In a following or stern-quartering seas, it is comparatively easy to determine whether the craft is moving faster or slower than the dominant waves in daylight. At night-time, however, such assessments are not so easy.

4.1.2 Craft speed, it is assumed, will be known with some accuracy. If not, then, when moving at or near the dominant wave speed (and possibly trapped or in danger of surfing), pitch and heave motions will be considerably reduced, but surge motions will be significantly increased.

4.1.3 A rough idea of the speed of the dominant waves in a given sea state can be obtained from table 1, according to the type of waters in which the craft is operating.

Table 1 – Tabulated typical wave speeds (knots)

Significant wave height (m)	1	2	3	4	5	6
Coastal waves (knots)	15 - 18	17 - 23	19 - 27	20 - 30	21 - 33	23 - 35
Ocean waves (knots)	19 - 29	21 - 31	25 - 35	29 - 39	32 - 42	36 - 46

4.2 Wave length

It can be seen from the advice given above that wave length in relation to the waterline length of the craft is also important in assessing the vulnerability to adverse behaviour. It is therefore important to monitor the length of the waves in which the craft is being operated.

4.3 Tabular summary

Table 2 summarizes the guidance given in this note.

Table 2 – Summary of guidance in following and quartering seas

Behaviour	Critical craft speed	Critical wave length	Critical wave heights
Trapping	$\approx V_w$ and	$\approx L_s$ and	$> 4\% L_s$
Surfing	$\approx V_w \pm 10\%$ and	$\approx 1 \rightarrow 2.5 L_s$ and	$> 4\% L_s$
Bow-diving (slow)	$\approx V_w$ and	$\approx L_s$ and	$> 75\% F$
Bow-diving (sudden)	$> V_w$ and	$\approx 1 \rightarrow 1.5 L_s$ and	$> 25\% F$
Broaching	$\approx V_w \pm 15\%$ and	$\approx L_s$ and	$> 4\% L_s$

Key: $\approx$ is approximately equal $\pm$ is plus or minus
 $>$ is greater than V_w is wave speed
 L_s is ship length F is bow freeboard when stopped

Российский морской регистр судоходства

СБОРНИК НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Книга двадцатая

Редакционная коллегия Российского морского регистра судоходства

Ответственный за выпуск *Е. Б. Мюллер*

Главный редактор *М. Ф. Ковзова*

Редактор *Е. Н. Сапожникова*

Компьютерная верстка *Д. Г. Иванова*

Подписано в печать 29.04.10. Формат 60 × 84/16. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л.: 9,5. Уч.-изд. л.: 8,7. Тираж 200. Заказ 2402.

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