

РОССИЙСКИЙ МОРСКОЙ РЕГИСТР СУДОХОДСТВА

СБОРНИК НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

**ПРОЕКТЫ НОВОЙ РЕДАКЦИИ ТРЕБОВАНИЙ
ЧАСТЕЙ VII «МЕХАНИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ»
И IX «МЕХАНИЗМЫ» ПРАВИЛ КЛАССИФИКАЦИИ
И ПОСТРОЙКИ МОРСКИХ СУДОВ**

Книга семнадцатая



**Санкт-Петербург
2007**

В настоящем Сборнике нормативно-методических материалов публикуются проекты новой редакции требований частей VII «Механические установки» и IX «Механизмы» Правил классификации и постройки морских судов.

Целью настоящей публикации является апробирование новых требований Российского морского регистра судоходства. По согласованию с Регистром представленные проекты могут быть использованы в дополнение к существующему тексту указанных Правил.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРОЕКТЫ НОВОЙ РЕДАКЦИИ ТРЕБОВАНИЙ ЧАСТЕЙ VII «МЕХАНИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ» И IX «МЕХАНИЗМЫ» ПРАВИЛ КЛАССИФИКАЦИИ И ПОСТРОЙКИ МОРСКИХ СУДОВ

Проект новой редакции главы 2.1 Правил классификации и постройки морских судов, в которой регламентированы требования к главным механизмам судов ледового плавания

2.1	Мощность главных механизмов.....	5
-----	----------------------------------	---

Проект новой редакции главы 6.3 Правил классификации и постройки морских судов, в которой регламентированы требования к деталям крепления лопастей к ступице

6.3	Ступица и детали крепления лопасти.....	13
-----	---	----

Проект основных нормативных требований Регистра к судовым двигателям внутреннего сгорания с электронным управлением

1	История вопроса	18
2	Дополнительные требования к конструкции, освидетельствованиям и испытаниям двухтактных малооборотных ДВС с электронной системой управления	21
2.1	Введение	21
2.2	Определения.....	22
2.3	Общие положения.....	23
2.4	Требования к конструкции двухтактных МОД с ЭСУ	24
2.5	Требования к испытаниям двухтактных МОД с ЭСУ	26
3	Единая концепция нормативных требований Регистра к конструкции, освидетельствованиям и испытаниям всех типов судовых ДВС с электронным управлением.....	30
3.1	Концепция требований к конструкции	30
3.2	Концепция требований к испытаниям.....	32
3.3	Концепция требований к освидетельствованию	33
4	Заключение	34

Предложения по корректировке унифицированных требований международной ассоциации классификационных обществ к освидетельствованию и испытаниям судовых ДВС

1	Ссылки на нормативные и иные документы.....	35
2	Обозначения и сокращения	37
3	Понятия и определения	38
4	История вопроса	40
5	Методика исследования.....	42
6	Результаты анализа требований классификационных обществ и унифицированных требований МАКО	45
7	Предложения по корректировке УТ МАКО к освидетельствованию и испытаниям судовых ДВС	50
	<i>Приложение. Перечень ссылок на правила классификационных обществ и УТ МАКО в таблицах 6.1.1 – 6.1.3</i>	<i>51</i>

ПРОЕКТ НОВОЙ РЕДАКЦИИ ГЛАВЫ 2.1 ПРАВИЛ КЛАССИФИКАЦИИ И ПОСТРОЙКИ МОРСКИХ СУДОВ, В КОТОРОЙ РЕГЛАМЕНТИРОВАНЫ ТРЕБОВАНИЯ К ГЛАВНЫМ МЕХАНИЗМАМ СУДОВ ЛЕДОВОГО ПЛАВАНИЯ

**Отменено в связи
с потерей актуальности**

Настоящий проект новой редакции главы 2.1 части «Механические установки» Правил классификации и постройки морских судов подготовлен к.т.н., старшим экспертом А.В. Андриюшиным.

Требования к главным механизмам судов ледового плавания, рассматриваемые в вышеуказанной главе, разработаны на основе результатов исследований Российского морского регистра судоходства ¹, ФГУП ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, ГНЦ ААНИИ, ЗАО ЦНИИМФ в рамках совместного научно-исследовательского проекта «Разработка требований к мощности на гребных валах судов ледового плавания категорий **Ice 2, Ice 3, Arc 4 – Arc 9** взамен действующих требований (часть VII)» (НИР РС-36/2002, 34/2002, 35/2002).

Целью настоящей публикации является апробирование новых требований Регистра к мощности судов ледового плавания.

Проект новой редакции главы 2.1 части VII «Механические установки» Правил классификации и постройки морских судов, публикуемый ниже, может быть использован, по согласованию с Регистром, в дополнение к существующему тексту Правил.

«2.1 МОЩНОСТЬ ГЛАВНЫХ МЕХАНИЗМОВ

2.1.1 Мощность главных механизмов ледоколов должна соответствовать их категории согласно 2.2.3 части I «Классификация».

2.1.2 Минимально требуемая мощность на гребных валах транспортных судов ледового плавания категорий Ice 2, Ice 3, Arc 4 – Arc 9.

2.1.2.1 Минимально требуемая мощность $P_{\min}$ на гребных валах транспортных судов ледового плавания **Ice 2, Ice 3, Arc 4 – Arc 9** должна

¹ В дальнейшем – Регистр или РС.

обеспечивать тягу движителя, не меньшую, чем расчетное ледовое сопротивление судна R_{ice} .

Базовые эксплуатационные режимы и их характеристики для определения расчетного ледового сопротивления R_{ice} представлены в табл. 2.1.2.1.

Расчетное ледовое сопротивление определяется как наибольшее для эксплуатационных режимов 1 – 3, представленных в табл. 2.1.2.1. Расчетное ледовое сопротивление для эксплуатационных режимов 1 – 3 должно определяться в соответствии с требованиями 2.1.2.2, 2.1.2.3, 2.1.2.4, соответственно. Расчетное ледовое сопротивление определяется для традиционных режимов движения судна носом вперед. Для ледокольных судов двойного действия и судов арктических категорий **Arc 8** и **Arc 9** определение расчетного ледового сопротивления R_{ice} и минимально требуемая мощность R_{min} на гребных валах являются в каждом случае предметом специального рассмотрения Регистром.

Для судов неарктических категорий **Ice 2**, **Ice 3** расчетное ледовое сопротивление определяется для режимов движения за ледоколом и в набитом льдом канале при скорости судна $V_s = 5$ уз (см. эксплуатационные режимы 2 и 3 в табл. 2.1.2.1).

Для судов арктических категорий **Arc 4**, **Arc 5** расчетное ледовое сопротивление определяется для эксплуатационных режимов 1 – 3 (см. табл. 2.1.2.1).

Для судов арктических категорий **Arc 6**, **Arc 7** расчетное ледовое сопротивление определяется для эксплуатационных режимов 1 и 2 (см. табл. 2.1.2.1).

Для судов арктических категорий **Arc 4** – **Arc 9** и ледоколов установка направляющей насадки для увеличения тяги движителя является предметом специального рассмотрения Регистром. Возможность установки направляющей насадки должна быть рассмотрена с учетом ее блокирования обломками льда и влияния этого эффекта на тягу движителя при эксплуатации в характерных ледовых условиях. Оценка частоты блокирования насадки льдом и степень снижения тяги движителя в ледовых условиях может быть выполнена по результатам модельных испытаний в ледовом опытовом бассейне по согласованной с Регистром программе.

Таблица 2.1.2.1

**Базовые эксплуатационные режимы и их характеристики
для расчета тяги движительного комплекса и пропульсивной мощности**

Ледовые категории	Эксплуатационные режимы судна			
	1	2	3	
	Самостоятельное плавание со скоростью движения 2 уз	Плавание под проводкой ледокола в свежем канале со скоростью движения 5 уз	Самостоятельное плавание со скоростью движения 5 уз	
	Ровный лед. Толщина льда h_{ice} , м	Свежий канал. Толщина обломков льда в канале $h_{channel}$, м	Набитый льдом канал. Толщина набитого льда в канале H_m , м, и консолидированного верхнего слоя H_{consol} , м	
			H_m	H_{consol}
Ice 2	—	0,5	0,6	—
Ice 3	—	0,65	0,8	—
Arc 4	0,5	1	1	—
Arc 5	0,75	1,5	1	0,1
Arc 6	0,95	2	—	—
Arc 7	1,2	2.5	—	—

2.1.2.2 Расчетное сопротивление льда движению судна для режима самостоятельного плавания в ровном сплошном льду.

Расчетное сопротивление льда движению судна R_{ice} , кН, для режима самостоятельного плавания в ровном сплошном льду (см. режим 1 в табл. 2.1.2.1) определяется по формуле

$$R_{ice} = 7,25 \cdot K_{hull} \cdot B_{ship} \cdot h_{ice}^{1,2} \cdot \frac{1}{\Delta^{0,2}}, \quad (2.1.2.2.1)$$

$$\text{где } K_{hull} = 80 \cdot \left[(\cos \beta_1)^{0,6} \cdot (\sin \varphi_1)^{0,7} \cdot [1 + 0,006 \cdot (18 - \beta_{mid})] \cdot \left[1 + 0,4 \frac{\Delta L}{L} \right] \right];$$

L – длина судна, м;
 B_{ship} – ширина судна, м;
 ΔL – длина цилиндрической вставки, м;
 φ_1 – угол наклона форштевня, град;
 β_1 – угол наклона шпангоута в районе первого теоретического шпангоута, град;
 β_{mid} – угол наклона шпангоута на миделе, град;
 h_{ice} – расчетное значение толщины льда, м (см. табл. 2.1.2.1);
 Δ – водоизмещение судна, т.

Для судов, имеющих носовую бульбовую оконечность, значение φ_1 должно приниматься равным 90° .

Расчетные параметры L , B_{ship} , ΔL , Δ , β_1 , β_{mid} должны соответствовать осадке судна по летнюю грузовую ватерлинию.

2.1.2.3 Расчетное сопротивление льда движению судна в свежем канале за ледоколом.

Расчетное сопротивление льда движению судна в свежем канале за ледоколом при скорости $V_s = 5$ (см. режим 2 в табл. 2.1.2.1) определяется по формуле (2.1.2.2.1) для эквивалентной толщины ровного льда h_{ice}^q . Эквивалентная толщина ровного льда h_{ice}^q определяется по формуле

$$h_{ice}^q = k_{channel} \cdot \left(\frac{V_0 - 2}{V_0 - 5} \right) \cdot h_{channel} \quad (2.1.2.3.1)$$

где $h_{channel}$ – толщина льда в канале, определяемая в соответствии с табл. 2.1.2.1;

V_0 – скорость судна на чистой воде при P_{min} , уз;

$k_{channel}$ – коэффициент, зависящий от соотношения ширины судна и ширины ледокола, прокладывающего канал (ширины канала).

Коэффициент $k_{channel}$ определяется по формуле

$$k_{channel} = \begin{cases} 0,12 + 0,28 \cdot b^{2,29} & b < 1,0 \\ 0,39 + 0,52 \cdot (b - 1) & 1 \leq b < 1,4, \\ 1 - 0,56 / b & b \geq 1,4 \end{cases} \quad (2.1.2.3.2)$$

где $b = B_{ship} / B_{icebr}$ относительная ширина канала (отношение ширины судна B_{ship} к ширине проводящего ледокола B_{icebr}).

2.1.2.4 Расчетное сопротивление движению судна в набитом льдом канале.

Расчетное сопротивление льда движению судна в набитом канале R_{ice} , кН, определяется по формуле

$$R_{ice} = C_1 + C_2 + 0,845 \cdot C_{\mu} \cdot (H_f + H_m)^2 \cdot (B_{ship} + C_{\psi} H_f) + 0,042 \cdot \Delta L \cdot H_f^2 + 0,825 \cdot \left(\frac{L T}{B_{ship}^2} \right)^3 \cdot \frac{A_h}{L}, \quad (2.1.2.4.1)$$

где L – длина судна, м;

B_{ship} – ширина судна, м;

T – осадка судна, м;

ΔL – длина цилиндрической вставки, м;

A_h – площадь носового заострения ватерлинии, м²;

α – угол между диаметральной плоскостью и касательной к носовой ветви ватерлинии в точке, лежащей на расстоянии, равном 0,25 ширины судна от диаметральной плоскости, град;

φ_1 – угол наклона форштевня, град;

φ_2 – угол наклона носовой ветви батокса, расположенного на расстоянии 0,25 ширины судна от диаметральной плоскости в точке его пересечения с ватерлинией, град;

$$\psi = \arctan \left(\frac{\tan \varphi_2}{\sin \alpha} \right), \text{ град};$$

$$H_f = 0,26 + \sqrt{H_m B_{ship}}, \text{ м};$$

H_m – толщина набитого льда в канале, м, определяемая по табл. 2.1.2.1;

$C_{\mu} = (0,15 \cos \varphi_2 + \sin \psi \sin \alpha)$, величина C_{μ} должна приниматься не менее чем 0,45;

$C_{\psi} = 0,047 \cdot \psi - 2,115$ и $C_{\psi} = 0,0$ если $\psi \leq 45$;

$$C_1 = 0,023 \left(\frac{B_{ship} \cdot \Delta L}{2(T/B_{ship}) + 1} \right) + (1 + 0,021 \varphi_1) (0,0458 B_{ship} + 0,0147 L_{bow} + 0,029 B_{ship} L_{bow});$$

$$C_2 = (1 + 0,063 \varphi_1) (1,530 + 0,170 B_{ship}) + 0,40 (1 + 1,2 T / B_{ship}) \cdot (B_{ship}^2 / \sqrt{L});$$

L_{bow} – длина носовой части.

Для судов с ледовыми категориями **Ice 2**, **Ice 3**, **Arc 4** значения C_1 , C_2 принимаются равными нулю.

Для судов с бульбовой носовой оконечностью значение φ_1 должно приниматься равным 90°.

Значение параметра $(L T / B_{ship}^2)^3$ должно находиться в пределах $5 \leq (L T / B_{ship}^2)^3 \leq 20$.

Расчетные параметры L , B_{ship} , T , ΔL , A_h , α , φ_1 , φ_2 должны соответствовать осадке судна по летнюю грузовую ватерлинию.

2.1.2.5 Возможное уменьшение расчетного ледового сопротивления R_{ice} для назначения минимально требуемой мощности P_{min} является в каж-

дом случае предметом специального рассмотрения Регистром. Для определения ледового сопротивления могут быть использованы модельные испытания в ледовом опытовом бассейне, методика которых должна быть согласована с Регистром.

2.1.3 Для буксиров назначение минимально требуемой мощности $P_{\min}$ на гребных валах для обеспечения тяги движителя является предметом специального рассмотрения Регистром и осуществляется с учетом эксплуатации в ледовых условиях.

2.1.4 На ледоколах и судах арктических категорий **Arc 6 – Arc 9** использование в качестве главных механизмов турбин и ДВС с механической передачей мощности на гребной винт может быть допущено при условии применения устройств, предохраняющих турбины, редукторы ГТЗА и дизель-редукторные агрегаты от нагрузок, превышающих расчетный крутящий момент, определяемый с учетом эксплуатации этих судов в ледовых условиях в соответствии с требованиями 4.2.3.2 части IX «Механизмы».

2.1.5 Пропульсивная установка судна должна обеспечивать возможность работы на задний ход для необходимой маневренности судна при всех нормальных условиях эксплуатации.

2.1.6 Пропульсивная установка должна обеспечивать при установившемся свободном заднем ходе судна не менее 70 % расчетной частоты вращения механизмов переднего хода в течение не менее 30 мин.

Под расчетной частотой вращения механизмов переднего хода понимается частота вращения, соответствующая максимальной длительной мощности главных механизмов.

Мощность заднего хода должна быть достаточной для торможения судна, идущего полным передним ходом, в пределах приемлемого расстояния, что должно быть подтверждено во время испытаний.

2.1.7 В пропульсивных установках с реверсивными передачами или ВРШ, а также в гребных электрических установках работа на задний ход не должна приводить к перегрузке главных механизмов сверх допустимых значений.

2.1.8 Должны быть предусмотрены средства, обеспечивающие ввод в действие механизмов при нерабочем состоянии судна без помощи извне (см. 16.2.3 части VIII «Системы и трубопроводы»).

На судах, двигатели внутреннего сгорания которых запускаются сжатым воздухом, состав оборудования для пуска должен обеспечивать получение воздуха в достаточном для первоначального запуска количестве без помощи извне.

Если на судне не предусмотрен аварийный генератор, или он не отвечает требованиям 2.9.4 части IX «Механизмы», оборудование для ввода в действие главных и вспомогательных механизмов должно быть таким, чтобы первоначальный запас пускового воздуха, электроэнергии или любого другого вида энергии для привода мог быть получен на борту судна без помощи извне. Если для этого необходимо использовать аварийный воздушный компрессор или электрогенератор, то они должны получать энергию от ДВС с ручным запуском или ручного компрессора.

Аварийный генератор и другие необходимые средства для ввода в действие главных механизмов должны иметь мощность, достаточную для восстановления возможности пуска последних в течение 30 мин после наступления нерабочего состояния или обесточивания (см. 1.2).

Технические средства, предназначенные для пуска аварийного дизель-генератора, не должны напрямую использоваться для запуска главных механизмов, основных источников электроэнергии и/или других вспомогательных механизмов ответственного назначения (исключая аварийный дизель-генератор).

Для судов с паросиловой установкой под 30-минутным периодом восстановления энергии понимается время с момента наступления нерабочего состояния или обесточивания до момента включения первого котла.

2.1.9 Пропульсивная установка с одним главным двигателем внутреннего сгорания в случае выхода из строя одного или всех турбонагнетателей (см. 2.5.1 части IX «Механизмы») должна обеспечить скорость судна, при которой сохраняется управляемость судном. При этом главный двигатель должен обеспечивать не менее 10 % от номинальной мощности.

2.1.10 Мощность главных механизмов судов смешанного (река–море) плавания должна обеспечивать скорость судна в грузу на тихой воде не менее 10 уз.

2.1.11 Форсированные высокооборотные двигатели (с частотой вращения свыше 750 об/мин), повышенная шумность которых может создавать затруднения при непосредственном (с местных постов) управлении ими и контроле за их работой, могут быть допущены Регистром для использования в качестве главных двигателей на морских судах при условии обеспечения дистанционного контроля и управления, исключающих необходимость постоянного присутствия обслуживающего персонала в машинном отделении.

Применяемые при этом средства дистанционного контроля и управления должны отвечать требованиям части XV «Автоматизация».

2.1.12 Для судов катамаранного типа выход из строя механической установки одного из корпусов судна не должен служить причиной выхода из строя механической установки другого корпуса.

2.1.13 Длительная работа пропульсивной установки на всех спецификационных режимах хода судна не должна приводить к перегрузке главного двигателя. Обоснование необходимого запаса мощности главных двигателей является в каждом случае предметом специального рассмотрения Регистром.

2.1.14 Для судов ледового плавания и ледоколов главный двигатель должен поддерживать минимально требуемую мощность $P_{\min}$ на гребных валах (см. 2.1.2.1) для всех эксплуатационных режимов от швартовного до полного хода.

2.1.15 Для судов арктических категорий **Arc 4 – Arc 9** и ледоколов при взаимодействии гребного винта со льдом мощность на гребных валах должна поддерживаться постоянной и соответствовать $P_{\min}$ (см. 2.1.2.1).

2.1.16 Для судов арктических категорий **Arc 4 – Arc 9** и ледоколов мощность и момент сопротивления льду главного двигателя должны быть достаточными для предотвращения остановки гребного винта и поломки его лопастей при снижении скорости вращения в процессе взаимодействия со льдом. Обоснование необходимого запаса мощности и момента сопротивления главного двигателя являются в каждом случае предметом специального рассмотрения Регистром.

2.1.17 Для судов арктических категорий **Arc 6 – Arc 9** и ледоколов тяга движителя на заднем ходу на швартовном режиме не должна быть менее чем 70 % от соответствующей на переднем ходу.»

ПРОЕКТ НОВОЙ РЕДАКЦИИ ГЛАВЫ 6.3 ПРАВИЛ КЛАССИФИКАЦИИ И ПОСТРОЙКИ МОРСКИХ СУДОВ, В КОТОРОЙ РЕГЛАМЕНТИРОВАНЫ ТРЕБОВАНИЯ К ДЕТАЛЯМ КРЕПЛЕНИЯ ЛОПАСТЕЙ К СТУПИЦЕ

Настоящий проект новой редакции главы 6.3 части части VII «Механические установки» Правил классификации и постройки морских судов подготовлен к.т.н., старшим экспертом А.В. Андрушиным с учетом исследований, выполненных д.т.н. П.М. Лысенковым в рамках НИР РС-26/2005.

Целью настоящей публикации является апробирование новых требований Регистра к деталям крепления лопастей к ступице.

Проект новой редакции главы 6.3, публикуемый ниже, может быть использован в дополнение к существующим требованиям по согласованию с Регистром.

«6.3 СТУПИЦА И ДЕТАЛИ КРЕПЛЕНИЯ ЛОПАСТИ

6.3.1 Переход лопасти в ступицу или фланец должен выполняться плавным сопряжением. При использовании сопряжения (галтели) с постоянным радиусом его радиус должен составлять не менее 90 % от толщины корневого сечения на относительном радиусе гребного винта $\bar{r}_1 = \bar{r}_{hub} + 0,05$, где $\bar{r}_{hub}$ – относительный радиус ступицы или фланца лопасти.

Допускается плавный переход (галтель) с переменным радиусом. При использовании галтели с переменным радиусом коэффициенты концентрации напряжений в районе перехода лопасти в ступицу (фланец) не должны превышать соответствующие для галтели с постоянным радиусом.

6.3.2 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.

6.3.3 Детали крепления лопасти к ступице.

6.3.3.1 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 условия совместного обеспечения усталостной и пирамидальной прочности от воздействия предельной силы поломки лопасти, параллельной оси вала. Должны быть рассмотрены два случая направления силы поломки лопасти: со стороны засасывающей и нагнетающей поверхностей лопасти гребного винта.

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

6.3.3.2 Эквивалентные номинальные напряжения σ_{nom} от затяжки и силы поломки лопасти в ненарезанной части болта (шпильки) не должны превосходить $0,8 \cdot \sigma_{0,2}$ и должны быть равны

$$\sigma_{nom} = \sqrt{(\sigma_{pret} + \sigma_{pir})^2 + 3 \tau^2} \leq 0,8 \cdot \sigma_{0,2}, \quad (6.3.3.2-1)$$

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;

$\sigma_{0,2}$ – условный предел текучести материала болта (шпильки).

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

$$\sigma = \frac{F}{0,785 \cdot d_{bolt}^2}, \quad (6.3.3.2-2)$$

где F – сила от затяжки болта (шпильки), F_{pret} или от изгиба фланцевого соединения,

F_{pir} ;

d_{bolt} – диаметр ненарезанной части болта (шпильки).

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

$$F_{pret} = k_{opensafety} \cdot (1 - \mu) \cdot \left(\frac{S}{n} \right) \cdot \left(\frac{Q_{bend}}{W_f} \right), \quad (6.3.3.2-3)$$

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

$\mu = 0,3$ – 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);
 W_f – момент сопротивления фланца лопасти в плоскости действия момента
 Q_{bend} относительно растягиваемой части (оси изгиба).

Момент от силы поломки лопасти Q_{bend} , изгибающий фланец лопасти, определяется по формуле

$$Q_{bend} = F_{spind}^{damage} R (0,8 - \bar{r}_{hub}), \quad (6.3.3.2-4)$$

где F_{spind}^{damage} – сила поломки лопасти (см. 6.5.2.1 Сборника нормативно-методических материалов, книга 12, 2004 г.);

R – радиус гребного винта;

$\bar{r}_{hub}$ – относительный диаметр ступицы (фланца).

Максимальная сила, воздействующая на наиболее удаленный болт (шпильку) фланцевого соединения, определяется по формуле

$$F_{pir} = \mu \cdot \left(\frac{Q_{bend}}{\sum_{i=1}^n l_i^2} \right) \cdot l_{max}, \quad (6.3.3.2-5)$$

где l_{max} – максимальное расстояние от центра наиболее удаленного болта (шпильки) до оси изгиба (нейтральной оси) фигуры, образованной сечениями болтов плоскостью стыка фланцевого соединения;

l_i – расстояние от центра i -го болта до оси изгиба (нейтральной оси) фигуры, образованной сечениями болтов плоскостью стыка фланцевого соединения.

Касательное напряжение τ при затяжке болта динамометрическим ключом определяется по формуле

$$\tau = \frac{M_{tigh}}{0,2 \cdot d_{bolt}^3}, \quad (6.3.3.2-6)$$

где M_{tigh} – момент затяжки болта.

Момент затяжки болта определяется по формуле

$$M_{tigh} = M_{tigh}^1 + M_{tigh}^2, \quad (6.3.3.2-7)$$

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

$$M_{tigh}^1 = k_{frition} \cdot F_{pret} \cdot 0,5 (d_{bolt} + d_{bolth}), \quad (6.3.3.2-8)$$

где $k_{frition}$ – 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

$$M_{tigh}^2 = 0,333 \cdot k_{frition} \cdot F_{pret} \cdot \left(\frac{D_{bh}^3 - d_h^3}{D_{bh}^2 - d_h^2} \right), \quad (6.3.3.2-9)$$

где D_{bh} – диаметр головки болта;

d_h – диаметр отверстия под болт.

При использовании призонных болтов или шпилек касательное напряжение от затяжки принимается равным нулю.

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

6.3.3.4 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 7.2.7.3.2 Сборника нормативно-методических материалов, книга 12, 2004 г., по их допустимым значениям.

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

6.3.3.6 Должна соблюдаться равномерность прилегания плоских и неплоских соединительных поверхностей фланца лопасти и ступицы. При контроле на краску по технологии завода-изготовителя должно обеспечиваться не менее 1 пятна на каждый квадрат площадью 6 см² сопрягаемой поверхности.

6.3.3.7 Затяжка болтов (шпилек) должна сопровождаться прямым контролем их деформации растяжения. Применение косвенных методов контроля не допускается. Затяжка болтов должна быть выполнена в присутствии инспектора.

6.3.3.8 Должны быть использованы проверенные методы стопорения от выворачивания болтов (шпилек) из ступицы, а также отворачивания гаек от шпилек.

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

ПРОЕКТ ОСНОВНЫХ НОРМАТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ РЕГИСТРА К СУДОВЫМ ДВИГАТЕЛЯМ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ С ЭЛЕКТРОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Представленный материал является результатом научно-исследовательской работы, выполненной по договору № РС-28/2005 между ЗАО «МАКРОС» (Санкт-Петербург) и Главным управлением Регистра. Работа выполнялась под руководством д.т.н., профессора Шишкина В.А.

Предметом работы явилось уточнение нормативных требований Регистра к конструкции, освидетельствованиям и испытаниям двухтактных малооборотных двигателей¹ внутреннего сгорания с электронными системами управления² и разработка единой концепции РС к конструкции, освидетельствованию и испытаниям всех типов судовых двигателей внутреннего сгорания³ с ЭСУ по результатам их предварительной апробации в согласующих и заинтересованных организациях.

1 ИСТОРИЯ ВОПРОСА

ДВС с электронным управлением процессами их функционирования в последнее время все настойчивее пробивают себе дорогу к рынку судовых дизелей.

Сама по себе история разработок электронного управления отдельными процессами функционирования дизелей насчитывает, по крайней мере, около 50-ти лет. Так, например, еще в 50-х годах XX века в Московском автодорожном институте профессором В.М. Архангельским было предложено заменить механический привод клапанов газораспределения электромагнитным. С тех пор уровень технического совершенства микропроцессорной техники, электрических средств измерения неэлектрических величин, электрических и гидравлических исполнительных

¹ В дальнейшем – МОД.

² В дальнейшем – ЭСУ.

³ В дальнейшем – ДВС.

и приводных механизмов, используемых в ДВС, повысился настолько, что их использование в транспортных дизелях стало общепринятым и даже предписывается на законодательном уровне. Например, с 1996 года в соответствии законодательством США все продаваемые в США автомобили в отношении бортовой диагностики должны соответствовать стандарту OBD-II (On Board Diagnostic–II), а аналогичные требования европейского стандарта – EOBD (European On Board Diagnostic) – вступили в силу с 1 января 2000 года.

Применение ЭСУ для судовых дизелей начинается с 1987 г. с электронно-управляемых дизелей типа РЕЕС (Programmable Engine Electronic Control) фирмы «Caterpillar», которые выпускались в первую очередь в качестве двигателей для грузовиков и считаются родоначальниками эры так называемых электронных дизелей.

Следует заметить, что электронное управление процессами функционирования в этих двигателях по существу ограничивалось, и ограничивается до сих пор, управлением процессами топливоподдачи в цилиндры дизеля. Аналогичная ситуация пока имеет место и в других высоко- и среднеоборотных судовых дизелях. В то же время существенное развитие получило микропроцессорное диагностирование и управление режимами работы таких двигателей с учетом условий эксплуатации и экологических ограничений.

Основные работы по переводу МОД на электронное управление всеми основными процессами функционирования начались в начале 90-х годов прошлого века с исследований фирмы «MAN – B&W», а затем фирмы «Sulzer».

МОД с электронным управлением – это ДВС, у которого основные процессы функционирования (топливоподдачи, газообмена, наддува, пуска и реверса, смазки цилиндров) осуществляются с помощью гидравлических/пневматических систем, управляемых программируемыми электронными устройствами по сигналам датчика угла поворота коленчатого вала.

Основными преимуществами электронного управления судовым дизелем перед механическим являются:

- гибкость управления, позволяющая за счет соответствующего программного обеспечения оптимизировать характеристики двигателя на различных режимах и в разных условиях эксплуатации;

- снижение массы и габаритов двигателя при известном упрощении его конструкции за счет отказа от громоздких и достаточно сложных механических приводов систем топливоподдачи, газораспределения и реверса;

возможность широкой унификации программного обеспечения, элементной базы, комплектующих изделий и узлов ЭСУ для двигателей разных размерностей, моделей и даже классов при сохранении возможностей быстрой адаптации ЭСУ к конструктивным особенностям конкретного двигателя и условиям его эксплуатации;

улучшение маневренных характеристик судна за счет снижения минимальной частоты вращения, улучшения пуско-реверсивных характеристик, повышения эффективности использования контрвоздуха для уменьшения выбега судна;

возможность уменьшения выбросов окислов азота за счет изменения параметров топливоподачи при незначительном снижении экономичности во время плавания в ограниченных акваториях;

сочетание высокой экономичности с низкой эмиссией окислов азота за счет оптимизации процесса сгорания при использовании различных сортов топлива с учетом режима работы двигателя и внешних условий;

оптимизация управления системой цилиндровой смазки для снижения расхода цилиндрового масла при одновременном уменьшении износов цилиндрических втулок.

Указанные преимущества и возможности современной электронной техники привели к тому, что ведущие фирмы-изготовители двухтактных малооборотных дизелей («MAN – B&W», «Wärtsilä Corporation», включая бывший «Sulzer», «Mitsubishi Heavy Industries») осуществили разработку и изготовление двигателей с ЭСУ. В настоящее время заказаны, находятся в постройке и эксплуатации более 200 дизелей такого типа.

Таким образом, между ЭСУ МОД и ЭСУ высокооборотных дизелей¹ и среднеоборотных дизелей² имеются существенные различия. Концептуальными отличиями применения ЭСУ в МОД по сравнению с его применением в ВОД и СОД являются:

значительно большая полнота охвата электронным управлением процессов функционирования дизеля, вплоть до полного отказа от механического управления и изъятия из конструкции МОД распределительного вала с его приводом;

существенно меньший объем программно задаваемых управляющих воздействий ЭСУ на выбор и задание режима работы МОД и на его ограничения. В конечном итоге решение о выборе режима вплоть до перегрузки главного МОД остается за механиком.

¹ В дальнейшем – ВОД.

² В дальнейшем – СОД.

Очевидно, что в связи с этим и нормативные требования классификационных обществ к проектированию, изготовлению, испытаниям и освидетельствованиям МОД, СОД и ВОД с ЭСУ должны учитывать эти отличия.

В настоящее время уже накоплен некоторый опыт приемки дизелей с ЭСУ. Связанные с ними конструктивные изменения дизелей, как правило, проходят процедуру типового одобрения и получают соответствующие сертификаты классификационных обществ на основе общих правил этих обществ, хотя обычно в них отсутствуют специфические требования к дизелям с ЭСУ. Такие требования в виде руководства имеются в настоящее время только в приложении к правилам Nippon Kaiji Kiokai. Однако, ввиду ответственного назначения ЭСУ, ее новизны и достаточной сложности, целесообразна формулировка дополнительных требований Регистра, отражающих специфику этого объекта.

Необходимо заметить, что в результате применения дизелей с ЭСУ в составе электронных управляющих комплексов эксплуатация этих двигателей, с одной стороны, становится проще при одновременном повышении ее качества, а с другой – создает серьезные квалификационные и психологические трудности для пользователей.

Ниже изложены проект дополнительных требования Регистра к конструкции, освидетельствованиям и испытаниям двухтактных МОД с ЭСУ и единая концепция нормативных требований РС к конструкции, освидетельствованиям и испытаниям всех типов судовых ДВС с ЭСУ.

2 ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ, ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИЯМ И ИСПЫТАНИЯМ ДВУХТАКТНЫХ МАЛООБОРОТНЫХ ДВС С ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМОЙ УПРАВЛЕНИЯ

2.1 ВВЕДЕНИЕ

В течение последнего десятилетия ведущие фирмы-изготовители двухтактных малооборотных ДВС («MAN – B&W», «Wärtsilä (NSD – Sulzer)», «Mitsubishi Heavy Industries») анонсировали разработку и изготовление двигателей с ЭСУ. В настоящее время заказано, находятся в постройке и эксплуатации более 200 дизелей такого типа. Отличительной чертой этих двигателей является отсутствие механического привода органов распределения, функции которого выполняют гидравлические системы, управляемые электрогидравлическими клапанами (золотниками) под

воздействием сигналов, выдаваемых программируемыми электронными устройствами.

Учитывая, что МОД применяются преимущественно в качестве главных двигателей, их безотказность и управляемость требует особого внимания. Предложенные вышеупомянутыми фирмами электронные системы управления и связанные с ними конструктивные изменения дизелей прошли процедуру типового одобрения и получили соответствующие сертификаты ряда классификационных обществ на основе общих правил этих обществ, хотя в них и отсутствовали специфические требования к ЭСУ. В принципе, такой подход возможен и со стороны Регистра. Однако, ввиду ответственного назначения ЭСУ, ее новизны и достаточной сложности целесообразна формулировка дополнительных требований, отражающих специфику объекта. Ниже изложены эти дополнительные требования.

2.2 ОПРЕДЕЛЕНИЯ

В настоящей работе приняты следующие определения.

Гидравлический коллектор высокого давления – топливный или масляный трубопровод увеличенного объема, соединяющий силовой гидравлический агрегат с исполнительными органами распределения.

Главный силовой гидравлический агрегат – гидравлический (топливо- и маслоподачи) насос высокого давления переменной производительности с приводом от коленчатого вала, обеспечивающий подачу топлива в цилиндры и подачу масла для работы исполнительных органов распределения ДВС на основных эксплуатационных режимах.

Датчик системы управления – измерительный преобразователь физической величины в электрический сигнал, который поступает в систему электронного управления (например, датчик угла поворота коленчатого вала, датчик давления, датчик перемещения исполнительного органа и т.п.).

ДВС с электронным управлением – ДВС, у которого основные процессы функционирования (топливоподачи, газообмена, пуска и реверса, смазки цилиндров) осуществляются с помощью гидравлических (пневматических) систем, управляемых программируемыми электронными устройствами по сигналам датчика угла поворота коленчатого вала.

Пусковой силовой гидравлический агрегат – гидравлический (топливо- и маслоподачи) насос высокого давления переменной

производительности с приводом от электродвигателя, обеспечивающий заполнение гидравлической системы, подачу топлива в цилиндры и работу исполнительных органов распределения при пуске и реверсе ДВС.

Регулирующий гидравлический клапан – электрогидравлический клапан, управляющий работой исполнительного органа распределения по сигналам электронного устройства.

Электронный блок управления двигателем – блок ЭСУ, обеспечивающий последовательность операций при пуске и реверсе двигателя, выход на выбранный режим и поддержание заданных параметров функционирования на этом режиме;

Электронный блок управления вспомогательными механизмами – блок ЭСУ, обеспечивающий управление главным и пусковым силовыми гидравлическими агрегатами и вспомогательными воздухоудувками.

Электронный блок управления цилиндром – блок ЭСУ, управляющий регулирующими гидравлическими клапанами подачи топлива в цилиндр, перемещения выпускного клапана, перемещения пускового клапана и подачи масла в цилиндр.

2.3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

2.3.1 Настоящие требования применяются к двухтактным МОД с ЭСУ в дополнение к требованиям, изложенным в частях VIII «Системы и трубопроводы», IX «Механизмы», XI «Электрическое оборудование» и XV «Автоматизация» Правил классификации и постройки морских судов.

2.3.2 При проектировании и постройке двухтактных МОД с ЭСУ должны выполняться все процедуры технического наблюдения Регистра за проектированием и постройкой новых судовых технических средств, а также их типового одобрения.

2.3.3 Механические, гидравлические, электрические и электронные компоненты, входящие в состав дизеля с ЭСУ, должны быть одобренного типа и иметь свидетельства о типовом одобрении в соответствии с Руководством по техническому наблюдению за постройкой судов и изготовлением материалов и изделий для судов.

2.3.4 Компоненты системы управления, устанавливаемые на двигателе, должны быть испытаны в условиях, соответствующих реальным условиям в месте установки с учетом возможности повышенной вибрации и температуры.

2.3.5 В отношении системы управления главным дизелем, критическим отказом является потеря управляемости или остановка двигателя.

Главным требованием к электронной системе управления является выполнение следующего условия: единичный отказ любого элемента электронной системы управления не должен приводить к потере управляемости или к самопроизвольной остановке двигателя.

2.3.6 До начала изготовления дизеля с ЭСУ на рассмотрение Регистра должна быть представлена следующая техническая документация в дополнение к указанной в 1.2.3.1 части IX «Механизмы» Правил классификации и постройки морских судов:

- описание ЭСУ;

- функциональная блок-схема ЭСУ;

- схемы электропитания ЭСУ;

- инструкция по эксплуатации ЭСУ;

- чертежи главного и пускового силовых гидравлических агрегатов;

- чертежи гидравлических коллекторов высокого давления;

- документация по регулирующим гидравлическим клапанам;

- документация по датчикам системы управления;

результаты анализа последствий отказов механических, гидравлических, электрических и электронных компонентов системы управления с указанием конструктивных мер, предпринятых для предотвращения отказа дизеля (потеря управляемости или остановка) в случае единичного отказа какого-либо компонента.

Проектант представляет анализ дизеля для всех эксплуатационных режимов работы: нормального, экономичного, режима минимизации выброса окислов азота и режима маневрирования.

2.4 ТРЕБОВАНИЯ К КОНСТРУКЦИИ ДВУХТАКТНЫХ МОД С ЭСУ

2.4.1 В качестве конструктивных мер для предотвращения полного отказа дизеля должно быть предусмотрено дублирование следующих компонентов системы управления:

- датчика и системы определения угла поворота коленчатого вала (тахосистемы);

- главного силового гидравлического агрегата;

- пускового силового гидравлического агрегата;

- электронного блока управления двигателем;

- электронного блока управления вспомогательными механизмами.

2.4.2 Допустимость дублирования гидравлических коллекторов высокого давления является в каждом случае предметом специального рассмотрения Регистром. Для рассмотрения Регистром возможности такого дублирования проектант обязан представить расчет усталост-

ной прочности элементов системы в условиях пульсирующего давления.

2.4.3 Переход с отказавшего компонента на резервный должен осуществляться автоматически с подачей аварийного сигнала.

2.4.4 Для случаев отказа компонентов, отвечающих за работу отдельного цилиндра (подача топлива, открытие выпускного клапана, подача смазки в цилиндр), должны быть предусмотрены либо автоматическая передача функций отказавшего электронного компонента аналогичному электронному компоненту другого цилиндра, либо автоматическое отключение подачи топлива в отказавший цилиндр с подачей аварийного сигнала. При отключении подачи топлива в цилиндр должно быть предусмотрено автоматическое снижение нагрузки дизеля (частоты вращения при гребном винте фиксированного шага). Должна быть предусмотрена возможность замены отказавшего компонента без остановки дизеля.

2.4.5 Все находящиеся под высоким давлением трубопроводы системы гидравлики, содержащие горючие жидкости, должны иметь двойные стенки, а также должны быть оборудованы системой аварийной сигнализации об утечках.

2.4.6 Запорные клапаны на гидравлических трубопроводах должны располагаться как можно ближе к оборудованию, которое они отсекают. Конструкция соединительных элементов между гидравлическим коллектором высокого давления и силовыми гидравлическими агрегатами должна быть достаточно эластичной для предотвращения повреждения из-за повышенной вибрации и пульсации давления.

2.4.7 В случае использования в системе гидравлики циркуляционного масла из системы смазки двигателя должна быть предусмотрена фильтрующая установка с достаточной чистотой отсева.

2.4.8 Производительность каждого главного силового агрегата (основного и резервного) должна быть достаточной для работы двигателя на максимальной длительной (номинальной) мощности. Агрегаты должны быть подключены таким образом, чтобы резервный агрегат был способен немедленно автоматически воспринять нагрузку в случае отказа агрегата, находившегося в работе.

2.4.9 Регулирующие гидравлические клапаны должны быть одобренного типа. Расположение клапанов должно обеспечивать легкий доступ к ним для осмотра и замены. Электрическое питание к соленоидным клапанам должно подаваться от двух независимых источников по независимым линиям.

2.4.10 Электрическое питание ЭСУ должно осуществляться от двух независимых источников с автоматическим переключением и подачей

аварийного сигнала в случае отказа одного из них или обрыва в сети. В качестве резервного источника питания допускается использование аккумуляторных батарей.

2.4.11 Конструкция компонентов ЭСУ должна быть такой, чтобы в случае отказа какого-либо элемента ремонт мог быть произведен преимущественно заменой неисправного блока. В комплекте сменно-запасных частей¹ должно быть предусмотрено необходимое число сменных компонентов. Номенклатура сменных компонентов определяется проектантом на основе выполняемого анализа последствий отказов механических, гидравлических, электрических и электронных компонентов системы управления. В составе комплекта СЗЧ в обязательном порядке должны быть предусмотрены следующие компоненты:

регулирующие гидравлические клапаны для каждой функции (топливоподачи, газораспределения и др.);

датчики, обеспечивающие работу цилиндров, включая датчик угла поворота вала;

электронные блоки, обеспечивающие функционирование системы управления.

2.4.12 Полный перечень СЗЧ согласовывается при рассмотрении документации на конкретный тип дизеля.

2.5 ТРЕБОВАНИЯ К ИСПЫТАНИЯМ ДВУХТАКТНЫХ МОД С ЭСУ

2.5.1 Общие положения.

Испытания МОД с ЭСУ проводятся в виде системы испытаний различного уровня: от испытаний отдельных деталей, узлов и систем до испытаний двигателя в целом, как совокупности взаимосвязанных и взаимодействующих элементов.

Существующие требования Регистра к проведению испытаний конкретного дизеля при необходимости должны быть дополнены требованиями, выявляющими системные случаи отказа отдельных элементов, блоков и программ, характерных для функционирования МОД под управлением ЭСУ.

2.5.2 Требования к заводским испытаниям.

2.5.2.1 Испытания компонентов дизелей с ЭСУ проводятся по согласованным программам в соответствии с Руководством по техническому наблюдению за постройкой судов и изготовлением материалов и изде-

¹ В дальнейшем – СЗЧ.

лий для судов. Проектантом должен быть представлен на рассмотрение перечень компонентов, подлежащих одобрению и/или клеймению. Для компонентов, устанавливаемых непосредственно на дизель, в программе испытаний на воздействие внешних условий должны быть предусмотрены значения параметров воздействия с учетом их значений в месте установки изделия.

2.5.2.2 Головной образец дизеля с ЭСУ для получения Свидетельства о типовом одобрении должен быть подвергнут испытаниям на стенде завода-изготовителя по программе, разработанной проектантом и одобренной Регистром. Помимо традиционных режимных и маневренных испытаний, программа должна предусматривать имитацию отказов компонентов системы управления с указанием реакции двигателя на имитируемый отказ.

2.5.2.3 Перечень имитируемых отказов, включаемых в программу испытаний, определяется на основе анализа последствий отказов механических, гидравлических, электрических и электронных компонентов системы управления.

2.5.2.4 Типовая программа дополнительных испытаний должна включать в себя, по крайней мере, следующие позиции:

.1 демонстрацию возможностей управления двигателем:

пуск двигателя и выход на режим 100 % по винтовой характеристике;

изменение нагрузки при постоянной частоте вращения (имитация изменения шага винта);

установку заданной частоты вращения при работе по винтовой характеристике;

смену активного поста управления: центральный пост – ходовой мостик – местный пост – центральный пост;

перевод с режима экономичного хода на режим минимальной эмиссии окислов азота и обратно, а также демонстрацию возможности поддержания этих режимов;

ограничение подачи топлива до величины, соответствующей 50 % номинального крутящего момента;

переход с одного силового гидравлического агрегата на другой;

остановку двигателя;

.2 демонстрацию реакции двигателя на отказы элементов ЭСУ (см. табл. 2.5.2.4.2):

Т а б л и ц а 2.5.2.4.2

№ п/п	Характеристика отказа	Реакция двигателя
1	Отказ одного пускового электроприводного гидравлического насоса.	Запуск происходит нормально.
2	Отказ одного гидронасоса, приводимого от двигателя.	Двигатель продолжает нормально работать.
3	Отказ одного электронного блока управления двигателем.	Двигатель продолжает работать без ограничения нагрузки.
4	Отказ одного электронного блока управления вспомогательными механизмами.	Двигатель продолжает работать без ограничения нагрузки.
5	Отказ одного электронного блока управления цилиндром.	Двигатель продолжает работать, но подача топлива в данный цилиндр не производится (цилиндр отключен).
6	Отказ одного электронного блока управления цилиндром, если предусмотрена автоматическая передача управления электронному блоку другого цилиндра.	Двигатель продолжает нормально работать, но подается аварийно-предупредительный сигнал.
7	Единичный отказ в сети (обрыв или короткое замыкание).	Двигатель продолжает работать без ограничения нагрузки.
8	Единичный отказ в системе определения угла поворота вала (тахосистеме).	Двигатель продолжает работать без ограничения нагрузки.
9	Отказ активного пульта управления.	Управление автоматически передается на пульт, который использовался до передачи управления на отказавший пульт.
10	Ручное управление гидравлической системой.	Продемонстрирована возможность длительного управления.
11	Утечки или слишком низкое давление в гидравлической системе	Сигнал об утечке или остановка двигателя

2.5.2.5 Перечень имитируемых отказов для конкретного двигателя уточняется на основе упомянутого выше анализа последствий отказов компонентов. Испытательные процедуры должны разрабатываться проектантом двигателя и одобряться Регистром.

2.5.2.6 Программа стендовых испытаний серийных дизелей с ЭСУ может быть сокращена по сравнению с программой испытаний головного образца за счет исключения демонстрации имитационных отказов (см. 2.5.2.4.2).

2.5.2.7 Изготовитель двигателя обязан в присутствии инспектора Регистра продемонстрировать во время заводских приемочных испытаний, что реакции системы на управляющие и возмущающие воздействия соответствуют проектным.

2.5.3 Испытания на судне, выходящем из постройки.

2.5.3.1 Швартовные и ходовые испытания дизеля с ЭСУ проводятся по программам, разрабатываемым проектантом судна и одобренным Регистром.

2.5.3.2 На швартовных испытаниях после монтажа двигателя, постов управления и выполнения всех наладочных работ должна быть проведена проверка функционирования системы управления со всех постов, во время которой проверяются запуск, остановка, реверсирование двигателя и возможность перехода с одного установившегося нагрузочного режима на другой.

2.5.3.3 На ходовых испытаниях судна помимо традиционных режимных и маневренных испытаний должна быть продемонстрирована реакция двигателя на имитируемые единичные отказы компонентов системы управления по перечню, аналогичному приведенному в 2.5.2.4.2.

2.5.4 Требования к освидетельствованиям двухтактных МОД с ЭСУ.

2.5.4.1 При классификационном освидетельствовании двигателей с ЭСУ следует выполнять требования, изложенные в Руководстве по техническому наблюдению за судами в эксплуатации.

2.5.4.2 При первоначальном освидетельствовании во время проверки двигателя в действии должна быть проверена его реакция на отказы компонентов системы управления. Для нового судна эти проверки совмещаются со сдаточными ходовыми испытаниями (см. 2.5.3).

2.5.4.3 Для судов, принимаемых под техническое наблюдение Регистра, которые не являются новыми судами, перечень дополнительных проверок устанавливается инспектором на основе рассмотрения судовой документации с учетом требований, изложенных в 2.5.3.

2.5.4.4 При ежегодном освидетельствовании дополнительные требования к двигателям с ЭСУ ограничиваются проверкой судовой документации о случаях отказов и принятых мерах. При необходимости инспектор может потребовать полную проверку двигателя в действии.

2.5.4.5 При очередном освидетельствовании проверка двигателя в действии производится аналогично проверке при первоначальном освидетельствовании. Инспектор имеет право потребовать детального осмотра конкретных компонентов системы управления.

2.5.4.6 При всех видах освидетельствования осуществляется проверка соответствия наличия СЗЧ для системы управления двигателем с ЭСУ по перечню, разработанному производителем и согласованному с Регистром.

3 ЕДИНАЯ КОНЦЕПЦИЯ НОРМАТИВНЫХ ТРЕБОВАНИЙ РЕГИСТРА К КОНСТРУКЦИИ, ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИЯМ И ИСПЫТАНИЯМ ВСЕХ ТИПОВ СУДОВЫХ ДВС С ЭЛЕКТРОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

3.1 КОНЦЕПЦИЯ ТРЕБОВАНИЙ К КОНСТРУКЦИИ

Опыт проектирования, производства и эксплуатации судовых дизелей показывает, что отработка конструктивных решений их основных деталей, узлов, систем и двигателей в целом представляет собой длительный и сложный процесс. Найденные в результате этого процесса технические решения годами бережно сохраняются и совершенствуются заводами-изготовителями.

Так же внимательно относятся к разработке новых конструктивных решений для новых элементов судовых дизелей и классификационные общества. В связи с этим, в концепцию требований к конструкции МОД, СОД и ВОД с электронным управлением всеми основными процессами функционирования целесообразно заложить следующие принципы:

максимальное сохранение при переходе к новым моделям двигателей преемственности по отношению к ранее использовавшимся техническим решениям, хорошо зарекомендовавшим себя в условиях эксплуатации;

основное концептуальное требование обеспечения безопасности и надежности функционирования главного двигателя: никакой единичный отказ отдельного элемента не должен когда-либо приводить к отказу двигателя;

в конфигурации электронной системы управления двигателем должен использоваться такой известный принцип обеспечения надежности и безопасности системы как избыточность, – как за счет прямого дублирования элементов системы (например, постов управления, глав-

ных контроллеров и т. п.), так и за счет функционального дублирования. В первом случае все существенные функции управления продублированы отдельными физическими устройствами, каждое из которых способно к поддержанию полных функциональных возможностей управляемого оборудования; во втором случае идентичные устройства (микропроцессорные блоки, электронные контроллеры и оборудование) выполняют одну и ту же функцию применительно к разным объектам, но одно или более индивидуальных устройств не обязательны. Контроллеры определяют 1, 2,... n включение соответствующей функции управления.

В целом, электронная система управления двигателем должна гарантированно обеспечивать полную избыточность для всех функций управления, которые определяют двигатель как единый объект (например, функция управления частотой вращения). Функциональная избыточность применяется, например, когда управляющие электромагнитные клапаны каждого цилиндра управляются отдельным многоцелевым контроллером данного цилиндра. В результате использования этого принципа двигатель может работать даже с одним или более неисправными блоками управления цилиндром, если по команде главного контроллера функции неисправных цилиндровых блоков будут преданы исправным. Такая возможность представляется вполне реальной ввиду высокого быстродействия электронных блоков и одновременности протекания аналогичных процессов в разных цилиндрах двигателя.

В связи с этим использование общей системы высокого давления (Common Rail) для подачи топлива во все цилиндры двигателя представляется противоречащим изложенным принципам, так же, как и использование единой системы гидравлики ЭСУ. Об этом свидетельствуют и результаты стендовых испытаний двигателя RT-flex, при которых протечки в системе гидравлики ЭСУ привели к остановке двигателя.

Однако, накопленный опыт производства и эксплуатации ВОД и СОД с такими системами в наземных транспортных средствах и на судах позволяет надеяться, что после соответствующей доработки дизели с системами Common Rail получат широкое признание в качестве главных судовых двигателей.

Все корректировки в процессе эксплуатации двигателя, находящегося под техническим наблюдением РС, программного обеспечения и параметров бортового микроконтроллера¹ должны согласовываться с РС.

¹ В дальнейшем – БМК.

Вводимые изготовителем кодовые запреты на несанкционированные им коррективы математического обеспечения БМК, касающиеся ограничения подачи топлива, частоты вращения и других регулировочных параметров, влияющих на величину развиваемой двигателем мощности, величину эмиссии окислов азота и/или уровень его эксплуатационной надежности, должны отвечать требованиям действующих Правил РС.

Таким образом, вкратце концепция требований к конструированию судовых дизелей с ЭСУ сводится к осуществлению традиционного наблюдения за проектированием тех деталей, узлов и систем, которые включаются в конструкцию дизелей с ЭСУ, в том числе и электронных, а также к введению дополнительных требований системного характера применительно к ЭСУ и двигателю в целом. Особое внимание при этом должно быть уделено вопросам обеспечения защиты двигателя от ошибок ЭСУ программного характера.

3.2 КОНЦЕПЦИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ИСПЫТАНИЯМ

Исходя из системных представлений о судовых дизелях с ЭСУ, как о совокупности взаимосвязанных и взаимодействующих элементов, можно представить испытания таких двигателей также в виде системы испытаний разного уровня: от испытаний отдельных находящихся под наблюдением деталей узлов и систем до двигателя в целом.

Такая система уже существует практически у всех классификационных обществ, в том числе и у Регистра. Поэтому необходимо дополнить ее требованиями к испытаниям, выявляющим системные эффекты отказа отдельных элементов, блоков и программных решений, характерных для функционирования МОД под управлением электронной системы.

При использовании стендовых отладочных микроконтроллеров с их подключением к БМК для регулировки, отладки и сдачи двигателя после его изготовления или капитального ремонта, их программное обеспечение и заложенные в него значения параметров, находящихся под техническим наблюдением РС, подлежат согласованию с РС.

Чтобы получить статус типового одобрения для каждого индивидуального двигателя с ЭСУ, для самой ЭСУ должен быть разработан метод анализа последствий отказов FMEA (Failure Mode Effect Analysis). Такой метод должен быть разработан проектантом двигателя и Регистром.

На основе FMEA проектант двигателя должен определить процедуру испытания электронной системы управления и оценочные критерии, гарантирующие ее работу вместе с двигателем. Тестовые про-

цедуры должны быть представлены отдельным контрольным листом с принятыми критериями оценки, который подлежит одобрению Регистра.

Кроме того, изготовитель двигателя обязан в присутствии инспектора Регистра продемонстрировать во время пробных пусков на испытательном стенде или во время заводских приемочных испытаний, что реакции системы на управляющие и возмущающие воздействия соответствуют проектным. Аналогичные испытания должны быть проведены при ходовых или швартовных испытаниях, чтобы гарантировать надлежащее функционирование всего комплекса ЭСУ вместе с двигателем после установки на судне и окончания всех кабельных работ. Испытательные процедуры должны разрабатываться проектантом двигателя и одобряться Регистром.

3.3 КОНЦЕПЦИЯ ТРЕБОВАНИЙ К ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИЮ

Концептуально требования к освидетельствованию судовых дизелей с ЭСУ можно также разделить на традиционные, т. е. применяющиеся к прототипам двигателей с ЭСУ, и на специфические требования, определяемые особенностями функционирования двигателей под управлением электронных систем, а также самих ЭСУ.

Специфическими требованиями к освидетельствованию дизелей с ЭСУ, включающими в себя БМК, должны быть проверки достоверности регистрируемых ими данных:

- о первоначальных заводских настройках двигателя;
- об их изменениях в период между освидетельствованиями;
- о накопленной диагностической и рабочей информации по выявленным дефектам;
- о выполненных ЭСУ операциях по устранению выявленных дефектов или уменьшению их влияния на качество работы двигателя;
- обо всех нарушениях инструкций и предписаний изготовителей установок, допущенных в эксплуатации обслуживающим персоналом.

Таким образом, при проведении освидетельствований или расследовании аварийных случаев накопленная в процессе эксплуатации двигателя информация о действительных характеристиках и параметрах двигателя, режимах его работы, нарушениях, допущенных персоналом, имевших место отказах и процедурах, выполненных БМК, а также другая информация об изменении технического состояния двигателя и их причинах должна быть доступна для ознакомления и проверки инспекторами РС.

4 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемые в настоящем отчете концептуальные основы нормативных требований РС к конструкции, освидетельствованиям и испытаниям судовых дизелей с электронным управлением в определенной мере носят предварительный характер, поскольку сведений об опыте проектирования, изготовления и эксплуатации таких двигателей пока еще недостаточно для формирования законченного варианта такой концепции. Работу в этом направлении предстоит продолжить.

ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО КОРРЕКТИРОВКЕ УНИФИЦИРОВАННЫХ ТРЕБОВАНИЙ МЕЖДУНАРОДНОЙ АССОЦИАЦИИ КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ОБЩЕСТВ К ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИЮ И ИСПЫТАНИЯМ СУДОВЫХ ДВС

Представленный материал является результатом научно-исследовательской работы, выполненной по договору № РС-31/2006 между ЗАО «МАКРОС» (Санкт-Петербург) и Главным управлением Регистра. Работа выполнялась под руководством д.т.н., профессора Шишкина В.А.

Целью работы является уточнение позиций Регистра по совершенствованию унифицированных требований Международной ассоциации классификационных обществ¹ к судовым ДВС. В качестве методической основы использованы методы системного анализа.

В настоящей работе представлены результаты анализа и систематизации информации о современных требованиях МАКО и ведущих классификационных обществ к освидетельствованию и испытаниям судовых ДВС, а также проект предложений по корректировке унифицированных требований МАКО к освидетельствованию и испытаниям судовых ДВС.

1 ССЫЛКИ НА НОРМАТИВНЫЕ И ИНЫЕ ДОКУМЕНТЫ

В настоящей работе приводятся ссылки на следующие документы:

ГОСТ 7.32-2001. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

ГОСТ 8.417–81. Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы физических величин.

ГОСТ 9327–60. Бумага и изделия из бумаги. Потребительские форматы.

ГОСТ 2.111-68. ЕСКД. Нормоконтроль.

ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Библиографическое описание. Общие требования и правила составления.

¹ В дальнейшем – МАКО.

Разработка предложений по корректировке УТ МАКО к освидетельствованию и испытаниям судовых ДВС/Промежуточный отчет по НИР РС-31/2006 «Разработка предложений по корректировке УТ МАКО по освидетельствованию и испытаниям судовых ДВС. СПб.: ЗАО «МАКРОС». 2006. – 198 с.

Сбор и анализ информации о современных требованиях МАКО и ведущих классификационных обществ к освидетельствованию и испытаниям судовых ДВС/Промежуточный отчет по НИР РС-31/2006 «Разработка предложений по корректировке УТ МАКО по освидетельствованию и испытаниям судовых ДВС. СПб.: ЗАО «МАКРОС». 2006. – 196 с.

РС. Правила классификации и постройки морских судов. Том 2, часть IX «Механизмы». 2005.

РС. Правила классификационных освидетельствований судов. 2004.

РС. Руководство по техническому наблюдению за судами в эксплуатации. 2000.

РС. Приложения к руководству по техническому надзору за судами в эксплуатации. СПб. 2000. 165 с.

ABS. Rules for Building and Classing steel Vessels. Part 2 «Materials and Welding», Part 4 «Vessel Systems and Machinery», Part 7 «Rules for Survey after Construction», Appendix 7 «Guide for nondestructive Examination of Hull and Machinery steel forged».

CCS. Rules and Regulations for the Constructions and Classifications of sea-going steel Ships. Vol. 3, Part 3 «Machinery Installations».

DNV. Rules for Classification of Ships. Part 4 «Machinery and Systems», Part 7 «Rules in operation».

GL. Rules and Guidelines. Vol. 1 «Ship Technology», Part 1 «Sea-going Ships».

LR. Rules and Regulations for the Classification of Ships. Part 1 «Regulations», Part 5 «Main and auxiliary Machinery», Part 6 «Control, Electrical, Refrigeration and Fire».

NKK. Rules for the Survey and Construction of steel Ships. Part D «Machinery Installations».

NKK. Guidance for the Survey and Construction of steel Ships. Part D «Machinery Installations».

NKK. Rules for Approval of Manufactures and Service Suppliers. Part 2 «Requirements for Approval of Manufactures».

NKK. Rules for automatic and remote Control Systems.

IACS MAKO. Requirements concerning Machinery Installations.

IACS Unified Requirements. Requirements concerning Machinery Installations.

2 ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

2.1 Сокращения названий классификационных обществ и других организаций:

АБС (ABS) – Американское Бюро Судостроительства;

ИМО (IMO) – Международная морская организация (International Maritime Organization);

МАКО (IACS) – Международная ассоциация классификационных обществ;

РС, Регистр – Российский морской регистр судоходства;

CCS – Китайское классификационное общество;

DNV – Норвежское бюро Веритас;

GL – Германский Ллойд;

LR – Регистр судоходства Ллойда;

NKK – Японское классификационное общество.

2.2 Обозначения и сокращения в табл. 6.1.1 – 6.1.3:

А – аудит;

ВВ – испытания на внешние воздействия;

Г – гидравлические испытания;

Е – проверка контрольно-измерительных приборов;

И – освидетельствования, проводимые классификационным обществом при изготовлении (постройке);

КМП – контроль при массовом производстве;

КН – тест неразрушающего контроля;

КНИ – тест неразрушающего контроля после испытаний;

М – измерения;

МИ – измерения в ходе или после испытаний;

О – освидетельствования, проводимые классификационным обществом в эксплуатации;

Об – проверка затяга (обжатия);

ОД – осмотр детальный (ревизия);

ОИ – осмотр детальный (ревизия) в ходе или после испытаний;

Р – испытания в действии;

С – внешний осмотр;

СИ – внешний осмотр в ходе или после испытаний;

ССб – внешний осмотр при сборке.

2.3 Общие терминологические сокращения:

АЧ – ассоциированный член МАКО (Associate);

БД (DB) – база данных (Database);

КО (CS) – классификационное общество (Classification Society);

ПТ (PR) – процедурное требование (Procedural Requirement);
 УИ (UI) – унифицированная интерпретация (Unified Interpretation);
 УТ (UR) – унифицированное требование (Unified Requirement).

3 ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

3.1 Определения основных процедур, выполняемых классификационными обществами, в редакции МАКО, приведены в табл. 3.1.1.

Т а б л и ц а 3.1.1

№ п/п	Английский оригинал	Перевод
1	Classification survey A classification survey is a visual examination that normally consists of: an overall examination of the items for survey; detailed checks of selected parts; witnessing tests; measurements and trials where applicable.	Классификационное освидетельствование Классификационное освидетельствование является визуальным обследованием, которое обычно состоит из: общего обследования объектов освидетельствования; подробных проверок избранных частей; присутствия при тестировании; измерений и испытаний, где это применимо.
2	IACS resolutions	Резолюции МАКО
	General	Общее
	In addition to the common rules projects, IACS resolutions on technical or procedural matters may be developed, generally through specialist working groups overseen by the General Policy Group. The principal categories of resolution are listed below and may be found on the IACS website, and in the so-called «Blue Book» CD-ROM.	Дополнительно к проектам общих правил в технических или процедурных случаях резолюции МАКО могут быть разработаны обычно через специалиста рабочей группы под надзором Группы общей политики. Главные категории резолюций указаны ниже и могут быть найдены на веб-сайте МАКО, а также в так называемой «Синей Книге» на CD-ROM.

1	2	3
3	Unified Requirements (UR)	Унифицированные требования (УТ)
	UR are resolutions on matters directly connected to or covered by specific rule requirements and practices of classification societies and the general philosophy on which the rules and practices of classification societies are established. Subject to ratification by the governing body of each Member Society and Associate, URs are to be incorporated in the rules and practices of the Member Societies and the Associates, within one year of approval by the IACS Council. The existence of a UR does not oblige a Member Society or an Associate to issue respective rules if it chooses not to have rules for the type of ship or marine structure concerned. URs set forth minimum requirements. Each Member and Associate remains free to set more stringent requirements.	УТ являются резолюциями по требованиям, непосредственно связанным с правилами и методами классификационных обществ или являющимся более жесткими, общая философия которых установлена правилами и методами классификационного общества. УТ, подлежащие ратификации руководящим органом каждого члена МАКО и АЧ, должны быть включены в правила и методы члена МАКО и АЧ в течение одного года после одобрения Советом МАКО. Наличие УТ не обязывает члена МАКО и АЧ выпускать соответствующие правила, если он решает не устанавливать правила для имеющего к нему отношение типа судна или морского сооружения. УТ включают минимальные требования. Каждый член МАКО и АЧ может устанавливать более жесткие требования.
4	Unified Interpretations (UI)	Унифицированные интерпретации (УИ)
	UI are resolutions on matters arising from implementing the requirements of IMO Conventions or Recommendations. They provide uniform interpretations of Convention Regulations or IMO Resolutions on those matters which in the Convention are left to the satisfaction of the Administration or where more accurate wording has been found necessary. Interpretations are circulated to Administrations through submission to IMO for consideration, as appropriate.	УИ представляют собой резолюцию по вопросам, возникающим в процессе выполнения требований конвенций или рекомендаций ИМО. Они должны давать единую интерпретацию норм конвенций или резолюций ИМО в тех случаях, какие оставлены конкретной конвенцией на усмотрение администрации, или где возникает необходимость уточнения формулировки. Интерпретации распространяются администрациям через представление ИМО для рассмотрения их в качестве подходящих.

1	2	3
	Interpretations are to be applied by Member Societies and Associates, under the authority of the flag Administrations, to the ships registered by those flag Administrations which have not issued definite instructions on the interpretation of the Regulations concerned. A date for implementation by IACS Members is established for each UI, unless the Administration has issued instructions to the contrary.	Интерпретация должна распространяться обществами – членами МАКО или АЧ под руководством администрации государства флага, на суда, зарегистрированные той администрацией государства флага, которая не передавала определенные инструкции по интерпретации заинтересованных норм. Дата реализации интерпретаций участниками МАКО устанавливается для каждой УИ, если администрация не выпустила противоположные инструкции.
5	Recommendations	Рекомендации
	Recommendations are resolutions, not necessarily matters of class, on which IACS considers advice would be beneficial to the industry.	Рекомендации, не обязательно касающиеся классификации, – резолюции по рекомендуемым МАКО положениям по применению в промышленности.
6	Procedural Requirements (PR)	Процедурные требования (ПТ)
	PR are mandatory resolutions on matters of procedures to be followed by Members and Associates	ПТ являются решениями в отношении процедур, обязательными для выполнения членами МАКО и АЧ

4 ИСТОРИЯ ВОПРОСА

Классификационные общества являются организациями, которые устанавливают и применяют технические стандарты в отношении разработки и проектирования морского оборудования, включая судовые и береговые структуры, а также технического надзора за ними. В настоящее время более 50 организаций во всех странах определяют свою деятельность, как обеспечивающую классификацию морских судов.

Десять из этих организаций образуют МАКО. Установлено, что эти десять обществ, вместе с дополнительным обществом, которое имеет статус ассоциированного члена МАКО, совместно охватывают услугами по классификации около 94 % всего коммерческого тоннажа, связанного с международной торговлей по всему миру.

Для эффективного функционирования сложного механизма обеспечения безопасности мореплавания, включающего в себя деятельность классификационных обществ, государств флага, государств порта, сообществ судовладельцев, судостроителей, страхователей, финансистов и фрахтователей, необходима единая унифицированная база требований к судам, судовым техническим средствам и конструкциям, в том числе к судовым дизелям и их испытаниям в процессе производства и освидетельствований.

Процедуры испытаний и тестовых проверок судовых дизелей, их деталей, узлов и систем играют важнейшую роль в обеспечении их надежности. Необходимость единого подхода к методическим, измерительным и организационным аспектам этих процедур, казалось бы, достаточно очевидна, однако до сих пор каждое классификационное общество, как правило, решает эти задачи, ориентируясь на свой опыт и свои возможности.

Концепция дальнейшего развития требований МАКО строится на стратегии разделения целей верхнего уровня, определяемых МАКО, в определении уровней риска относительно безопасности и защиты окружающей среды, и определения требований правил классификационных обществ для достижения этих целей в пределах сферы своей деятельности.

Цель этой стратегии заключается в том, чтобы разработать новую, удобную в применении и действенную систему регулирования, предоставляя возможность существенных изменений в современной сложной системе установленных законом международных и национальных норм, правил и стандартов в промышленности.

Основным принципом при этом является установить ясные, очевидные и поддающиеся проверке цели с тем, чтобы правильно построенное, эксплуатируемое, обслуживаемое судно оставалось безопасным и экологически безопасным в течение всего жизненного цикла.

Эти основанные на целевом методе стандарты обеспечивают достижение цели по мере перехода управляющей системы от культуры соответствия техническим условиям, управляемого предписывающими правилами, к культуре эталонного тестирования, основанного на требованиях к функционированию с учетом рисков. Это позволит перейти от заданных предписывающих решений к целям, которые могут быть достигнуты альтернативными проектами, продвигающими новейшие технологии в пределах судостроительной промышленности при эквивалентном уровне безопасности.

Как только система, основанная на целевых стандартах, будет установлена ИМО, задачей МАКО, как сообщества технических экспертов,

будет заключаться в разработке правил для достижения и поддержки этих целей. Эти правила должны быть едиными для всех классификационных обществ.

Первоначально разработка такой стратегии была сфокусирована на структурах корпуса. Эта разработка стала наиболее далеко идущим и дорогим проектом и одним из наиболее важных конкретных шагов в развитии морских правил, в которых МАКО когда-либо принимал участие. Его результатом стали единые правила для структур корпуса нефтеналивных и навалочных судов, принятые в декабре 2005 года и рекомендуемые к реализации с 1 апреля 2006 года.

Следующими шагами в этом направлении будет разработка подобных правил для судовых энергетических установок и их элементов, в первую очередь главных и вспомогательных дизелей, занимающих доминирующее положение на морских судах.

Особое место в этом отношении должны занимать унифицированные требования к испытаниям дизелей при их производстве и освидетельствованиях в процессе эксплуатации.

В связи с этим в настоящем исследовании предпринята попытка определить позиции для подготовки предложений по корректировке действующих требований МАКО к испытаниям судовых дизелей при их производстве и освидетельствованиях.

Участники работы считают своим долгом выразить свою благодарность сотрудникам отдела механического оборудования и систем Главного управления Регистра А.А. Сергееву, М.Ю. Иванову и В.С. Голубеву за постоянное внимание и помощь в проведении данного исследования, без которой оно вряд ли могло быть выполнено.

5 МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

5.1 Методической основой для разработки предложений по корректировке действующих унифицированных требований МАКО к испытаниям судовых дизелей, их деталей и узлов выбраны методы системного анализа, которые позволили логично и последовательно выделить из всей системы правил и норм ведущих членов МАКО те правила и нормы, которые:

- 1** относятся к судовым дизелям;
- 2** относятся к условиям проведения испытаний судовых дизелей при их производстве;
- 3** относятся к условиям проведения испытаний судовых дизелей при их освидетельствованиях;

.4 определяют требования к проведению различных видов испытаний каждого классификационного общества, определенного техническим заданием.

Структурная схема эволюции данных при анализе требований классификационных обществ и МАКО к испытаниям судовых дизелей при их производстве и освидетельствованиях с целью формирования предложений для корректировки соответствующих требований МАКО представлена на рис. 5.

Как видно из этого рисунка, информация о требованиях правил классификационных обществ и МАКО рассматривается как текстуальные базы данных различных иерархических уровней, вложенных друг в друга.

Результаты анализа БД первого и второго уровней систематизации требований правил и норм ведущих классификационных обществ и МАКО в отношении выделения тех из них, которые относятся к судам и к судовым дизелям в целом, изложены в предыдущем материале по данной теме в Сборнике нормативно-методических материалов, книга пятнадцатая, 2005.

5.2 Для систематизации и сопоставительного анализа требований к проведению различных видов испытаний каждого классификационного общества и действующих унифицированных требований МАКО требовалось выполнить несколько условий:

.1 выявить все процедуры, отвечающие условиям проведения тестовых проверок или режимных испытаний, как при производстве судовых дизелей, так и при их освидетельствовании в эксплуатации;

.2 сформировать БД таких процедур, связав ее с БД требований к судовым дизелям и составляющим их элементам;

.3 обеспечить хорошую обозримость такой БД по всем деталям, узлам и системам судовых дизелей, с одной стороны, и по всем классификационным обществам и МАКО – с другой;

.4 предусмотреть возможность быстрого доступа к ячейкам БД, содержащим оригинальные тексты требований к процедурам испытаний и/или освидетельствований соответствующих классификационных обществ или МАКО.

При выполнении этих условий было решено положить в основу сравнения требования Регистра, изложенные в Правилах классификации и постройки морских судов, Правилах классификационных освидетельствований судов и в Руководстве по техническому наблюдению за судами в эксплуатации.

В результате были созданы таблицы, удовлетворяющие всем заданным условиям за счет использования гиперссылок на соответствующие

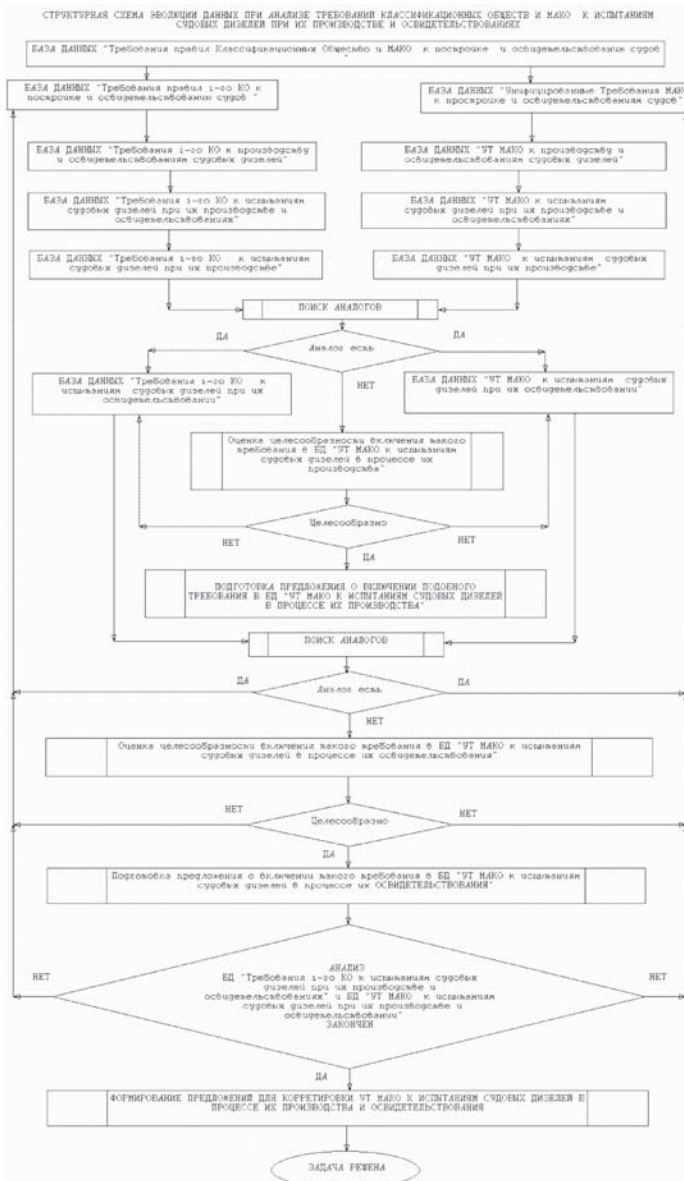


Рис. 5

фрагменты требований того или иного классификационного общества или МАКО, причем для удобства пользователей при использовании электронной версии отчета по НИР № РС-31/2006 предусмотрена возможность получения информации о содержании соответствующего раздела правил того или иного классификационного общества или УТ МАКО с помощью гиперссылок.

6 РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ТРЕБОВАНИЙ КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ОБЩЕСТВ И УНИФИЦИРОВАННЫХ ТРЕБОВАНИЙ МАКО

6.1 Из выполненного анализа требований классификационных обществ и МАКО следует, что:

.1 34 процедуры испытаний, предусмотренных правилами РС (см. табл. 6.1.1), совпадают с аналогичными процедурами УТ МАКО и не требуют корректировки;

Т а б л и ц а 6.1.1

Объект освидетельствования	РС		МАКО	
	И	О	И	О
Главный двигатель внутреннего сгорания	Р ¹	Р ⁵	Р ⁴⁵	
Остов				
Фундаментная рама	КН ²	О ⁵	КН ⁴⁶	
Анкерные связи	КН ²		КН ⁴⁶	
Болты и шпильки рамовых подшипников, цилиндрических крышек	КН ²	О ⁵	КН ⁴⁶	
Крышки цилиндров	КН ² Г-КН ³	О ⁵	КН ⁴⁶ Г ⁴⁸ ОИ ⁴⁷	
Выпускной трубопровод	Г ³		Г ⁴⁸	
Головки поршней	КН ² Г ³		КН ⁴⁶ Г ⁴⁸	
Штоки поршней	КН ²	О ⁵	КН ⁴⁶	
Шатуны (с крышками шатунных подшипников)	КН ²	О ⁵	КН ⁴⁶	
Болты крейцкопфных подшипников	КН ²	О ⁵ М ⁵	КН ⁴⁶	
Шатунные болты	КН ²	О ⁵ М ⁵	КН ⁴⁶	
Коленчатый вал	КН ²		КН ⁴⁶	
Гидравлика привода газораспределения и т.п.	Г ³		Г ⁴⁸	

Продолжение табл. 6.1.1

1	2	3	4	5
Турбоагнетатели	Г ³ Р ¹		Г ⁴⁸ Р ⁵⁰	
Охладители	Г ³		Г ⁴⁸	
Вспомогательные механизмы, приводимые от главного двигателя	Г ³	О ⁵	Г ⁴⁸	
Вспомогательный двигатель внутреннего сгорания	Р ¹	Р ⁵	Р ⁴⁵	
Фундаментная рама	КН ²	О ⁵	КН ⁴⁶	
Анкерные связи	КН ²	О ⁵	КН ⁴⁶	
Болты и шпильки рамовых подшипников, цилиндрических крышек	КН ²	О ⁵	КН ⁴⁶	
Крышки (головки) цилиндров	КН ² Г-КН ³		КН ⁴⁶ Г ⁴⁸ ОИ ⁴⁷	
Выпускной трубопровод	Г ³		Г ⁴⁸	
Головки поршней	КН ² Г ³		КН ⁴⁶ Г ⁴⁸	
Шатуны (с крышками шатунных подшипников)	КН ²	О ⁵	КН ⁴⁶	
Шатунные болты	КН ²		КН ⁴⁶	
Турбоагнетатели	Г ³ Р ¹		Г ⁴⁸ Р ⁵⁰	
Охладители	Г ³		Г ⁴⁸	
Маневровые и пусковые устройства, устройства дистанционного управления	Р ¹		Р ⁵¹ СИ ⁴⁷	
Вспомогательные механизмы, приводимые от вспомогательного двигателя	Г ³		Г ⁴⁸	
Системы защиты и сигнализации	Р ¹		ВВ ⁵² Р ⁵²	
Примечания: 1. В таблице приводятся ссылки на правила классификационных обществ и УТ МАКО. Перечень ссылок – см. приложение. 2. Последняя графа таблицы не заполнена, так как информация о периодических освидетельствованиях в предоставленных материалах отсутствует.				

.2 19 процедур испытаний судовых дизелей, предусмотренных правилами РС (см. табл. 6.1.2), полностью отсутствуют в УТ МАКО;

Таблица 6.1.2

Объект освидетельствования	РС		МАКО	
	И	О	И	О
Стойки картера	КН ²	О ⁵		
Крышки рамовых подшипников	КН ²			
Блоки цилиндров, цилиндры, рубашки	КН ² Г ³	О ⁵	Г ⁴⁸	
Крейцкопфы, пальцы головных соединений	КН ²	О ⁵		
Болты секций коленчатого вала	КН ²			
Противовесы	КН ²			
Клапаны выпускные	КН ²	О ⁵		
Клапаны впускные	КН ²	О ⁵		
Вал, ротор, лопадки	КН ²			
Вал встроенного упорного подшипника	КН ²			
Съемная муфта коленчатого вала	КН ²	О ⁵ М ⁵		
Вал, ротор	КН ²			
Крышки рамовых подшипников	КН ²			
Противовесы	КН ²			
Клапаны выпускные	КН ²	О ⁵		
Клапаны впускные	КН ²	О ⁵		
Вал, ротор, лопадки	КН ²			
Съемная муфта коленчатого вала	КН ²			
Вал, ротор	КН ²			
Примечания: 1. В таблице приводятся ссылки на правила классификационных обществ и УТ МАКО. Перечень ссылок – см. приложение. 2. Последняя графа таблицы не заполнена, так как информация о периодических освидетельствованиях в предоставленных материалах отсутствует.				

.3 19 процедур испытаний судовых дизелей предусмотрены правилами РС, но отсутствуют в УТ МАКО, хотя в этих случаях УТ МАКО предусматривают другие процедуры (см. табл. 6.1.3).

Таблица 6.1.3

Объект освидетельствования	РС		МАКО	
	И	О	И	О
Картер	КН ²	О ⁵	СИ ⁴⁷	
Корпуса выпускных клапанов	КН ² Г ³		Г ⁴⁸	
Цилиндровые втулки	КН ² Г ³	О ⁵ М ⁵	Г ⁴⁸ СИ ⁴⁷	
Предохранительные устройства картера	КН ²	О ⁵	Р ⁴⁹	
Головные, крейцкопфные и шатунные подшипники	КН ²	О ⁵ М ⁵	ОИ ⁴⁷	
Рамовые подшипники	КН ²	О ⁵ М ⁵	ОИ ⁴⁷	
Распределительный вал	КН ²		СИ ⁴⁷	
Топливная аппаратура и трубопроводы	КН ² Г ³		Г ⁴⁸	
Регулятор частоты вращения и предельный выключатель	КН ²	Р ⁵	Р ⁵¹	
Системы защиты и сигнализации	Р ¹		ВВ ⁵² Р ⁵²	
Картер	КН ²		СИ ⁴⁷	
Блоки цилиндров, цилиндры, рубашки	КН ² Г ³	О ⁵	Г ⁴⁸	
Цилиндровые втулки	КН 2 Г ³	О ⁵	Г ⁴⁸ СИ ⁴⁷	
Предохранительные устройства картера	КН ²		Р ⁴⁹	
Головные и шатунные подшипники	КН ²	О ⁵	ОИ ⁴⁷	
Рамовые подшипники	КН ²	О ⁵	ОИ ⁴⁷	
Распределительный вал	КН ²		СИ ⁴⁷	
Топливная аппаратура и трубопроводы	КН ² Г ³		Г ⁴⁸	

1	2	3	4	5
Топливная аппаратура и трубопроводы	КН ² Г ³		Г ⁴⁸	
Регулятор частоты вращения и предельный выключатель	КН ²	Р ⁵	Р ⁵¹	
Примечания: 1. В таблице приводятся ссылки на правила классификационных обществ и УТ МАКО. Перечень ссылок – см. приложение. 2. Последняя графа таблицы не заполнена, так как информация о периодических освидетельствованиях в предоставленных материалах отсутствует.				

6.2 Проанализировав требования классификационных обществ и унифицированные требования МАКО, приходим к следующим выводам:

.1 МАКО не практикует разработку УТ к испытаниям при освидетельствованиях, поэтому, строго говоря, в этом отношении корректировать нечего, можно только предлагать включение испытаний в процедуры освидетельствования. Целесообразность выдвижения предложений по разработке унифицированных требований к испытаниям при освидетельствованиях следует проверить при помощи дополнительных проработок;

.2 в унифицированных требованиях МАКО пока не отражены требования к испытаниям судовых дизелей с электронными системами управления их функционированием. Это направление представляется наиболее перспективным не только с точки зрения его востребованности в ближайшие годы, но и с учетом имеющегося в РС задела ранее выполненных исследований;

.3 значительная часть процедур испытаний судовых дизелей с электронными системами управления их функционированием, предусмотренных правилами РС, совпадает с аналогичными процедурами УТ МАКО;

.4 такое же число элементов и процедур испытаний судовых дизелей предусмотрено правилами РС, хотя УТ МАКО в этих случаях предусматривают другие процедуры. По существу только процедуры, подлежащие ратификации руководящим органом каждого члена МАКО и АЧ, должны быть включены в правила и методы члена МАКО и АЧ в течение одного года после одобрения Советом МАКО. Наличие УТ МАКО не обязывает члена МАКО и АЧ выпускать правила для имеющихся у него судов или морских сооружений соответствующего типа. УТ МАКО включают в себя минимальный объем требований. Каждый член МАКО и АЧ может устанавливать более жесткие требования. Поэтому Регистр, как член МАКО, обязан ратифицировать и, как минимум, следовать УТ МАКО.

Ужесточение же принятых МАКО УТ остается правом каждого классификационного общества. Таким образом, вряд ли следует относить к перспективным направлениям корректировку подобных унифицированных требований;

.5 для некоторой части элементов судовых дизелей Правилами РС предусмотрены процедуры испытаний, полностью отсутствующие в УТ МАКО (19 таких элементов и процедур – см. табл. 6.1.1). Как видно из таблицы, к ним относятся тесты неразрушающего контроля. Такие процедуры могут быть предложены в качестве предмета совершенствования УТ после тщательного обоснования целесообразности такой работы на основе опыта практического использования соответствующих процедур испытаний РС и выполненных научных исследований. Все они предусматривают использование тестов неразрушающего контроля.

7 ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО КОРРЕКТИРОВКЕ УТ МАКО К ОСВИДЕТЕЛЬСТВОВАНИЮ И ИСПЫТАНИЯМ СУДОВЫХ ДВС

7.1 Проанализировав сказанное, приходим к выводу, что в качестве наиболее перспективных направлений корректировки существующих в настоящее время унифицированных требований МАКО могут быть предложены:

.1 разработка унифицированных требований к испытаниям судовых дизелей с электронными системами управления их функционированием. В этом направлении в РС имеются научно-технические разработки в отношении малооборотных, средне- и высокооборотных дизелей;

.2 корректировка действующих унифицированных требований МАКО к испытаниям судовых дизелей в процессе их производства и освидетельствования на основе дополнения этих требований тестами неразрушающего контроля, апробированными в практике работы РС.

При оценке перспективности этих предложений необходимо учитывать необходимость наличия существенного задела по разработке и практике применения предлагаемых дополнений к действующим унифицированным требованиям МАКО в деятельности Регистра, а также позиции членов МАКО.

**ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК НА ПРАВИЛА
КЛАССИФИКАЦИОННЫХ ОБЩЕСТВ И УТ МАКО
В ТАБЛИЦАХ 6.1.1 – 6.1.3**

¹ РС. Правила классификации и постройки морских судов (ПКП), том (Т) 2, часть (Ч) IX «Механизмы», п.1.4.

² РС. ПКП, т. 2, ч. IX «Механизмы», п. 1.2.5, 1.2.6, 1.2.7, табл. 1.2.4, 1.2.5.

³ РС. ПКП, т. 2, ч. IX «Механизмы», п. 1.3.3, табл. 1.3.3.

⁴ РС. ПКП, т. 2, ч. VII «Механические установки», п. 2.5.

⁵ РС. Правила классификационных освидетельствований судов (ПКО), ч. 2. п. 2.1, табл. 2.1.1, п. 5.2.2.10.

⁶ ABS. Rules for Building and Classing Steel Vessels (RBC), Part (P) 4 «Vessel Systems and Machinery», Chapter (Ch) 1 «General», Section (S) 1, pos. 3.1; Ch. 2 «Prime Movers», S. 1, pos. 13.7, 13.9, 13.11; Ch. 9 «Remote Propulsion Control and Automation», S. 5, pos. 15.1, 15.3, 15.5, 15.7.

⁷ ABS. RBC, P. 2 «Materials and Welding», Appendix (Ap) 7 «Guide for Nondestructive Examination of Hull and Machinery Steel Forged», S. 3, pos. 3.1; S. 2, pos. 23.7; RBC, P. 4, Ch. 2, S. 1, pos.13.1, 13.6.3(c), table 1, 2.

⁸ ABS. RBC, P. 4, Ch. 2, S. 1, pos. 13.7, 13.7.4(c), 13.11.3(c).

⁹ ABS. RBC, P. 4, Ch. 2, S. 1, pos. 13.3, table 2; S. 2, pos. 11.1, 11.3.

¹⁰ ABS. RBC, P. 4, Ch. 2, S. 1, pos. 13.5.

¹¹ ABS. RBC, P. 2, Ap. 7, S. 2, pos. 3.1.

¹² ABS. RBC, P. 4, Ch. 2, S. 1, pos. 13.9.5.

¹³ ABS. RBC, P. 4, Ch. 2, S. 2, pos. 11.1, 11.3, 11.5.

¹⁴ ABS. RBC, P. 4, Ch. 9, S. 5, pos. 5.11, 5.3.1, 15.1, 15.3, 15.5, 15.7.

¹⁵ ABS. RBC, P. 7 «Rules for Survey after Construction», Ch. 6 «Machinery Surveys», S. 2, pos. 3.1.2(a).

¹⁶ CCS. Rules and Regulations for the Constructions and Classifications of Sea-Going Steel Ships (RRCC), Volume (V) 3, P. 3 «Machinery Installations», Ch. 9 «Diesel Engines», S. 1, pos. 9.1.12.

¹⁷ CCS. RRCC, V. 3, P. 3, Ch. 9, S. 1, pos. 9.1.11.

¹⁸ CCS. RRCC, V. 3, P. 3, Ch. 9, S. 8, pos. 9.8.1, table 9.8.1.

¹⁹ DNV. Rules for Classification of Ships (RCS), P. 4 «Machinery and Systems», Ch. 3 «Rotating Machinery, Drivers», S. 1, B, D, I.

²⁰ DNV. RCS, P. 4, Ch. 3, S. 1, C. 300, table C1.

²¹ DNV. RCS, P. 4, Ch. 3, S. 1, B 1704, D 500, I 801.

- ²² DNV. RCS, P. 4, Ch. 3, S. 1, C. 305.
- ²³ DNV. RCS, P. 4, Ch. 3, S. 1, C. 400.
- ²⁴ DNV. RCS, P. 4, Ch. 3, S. 1, B. 1200, 1300, C. 312.
- ²⁵ DNV, RCS, P. 7 «Rules in Operation», Ch. 8 «Machinery Survey Arrangements», S. 1, table A1.
- ²⁶ GL. Rules and Guidelines (RG), V. 1 «Ship Technology», P. 1 «Sea-Going Ships», Ch. 2 «Machinery Installations», S. 2, E.
- ²⁷ GL. RG, V. 1, P. 1, Ch. 2, S. 2, D.
- ²⁸ GL. RG, V. 1, P. 1, Ch. 2, S. 2, E, pos. 3.4, 4.5.
- ²⁹ GL. RG, V. 1, P. 1, Ch. 2, S. 2, E, pos. 2, table 2.6.
- ³⁰ GL. RG, V. 1, P. 1, Ch. 2, S. 3b, H, pos. 1.2 – 1.5, I, pos. 1.2.
- ³¹ LR. Rules and Regulations for the Classification of Ships (RRCS), P. 5 «Main and Auxiliary Machinery», Ch. 2 «Oil Engines», S. 9, pos. 9.3.
- ³² LR. RRCS, P. 5, Ch. 2, S. 2, table 2.2.1.
- ³³ LR. RRCS, P. 5, Ch. 2, S. 9, pos. 9.1.1, table 2.9.1.
- ³⁴ LR. RRCS, P. 5, Ch. 2, S. 10.
- ³⁵ LR. RRCS, P. 6 «Control, Electrical, Refrigeration and Fire», Ch. 1 «Control Engineering Systems», S. 1, pos. 1.2.1 – 1.2.3, S. 7, pos. 7.1 – 7.3.
- ³⁶ LR. RRCS, P. 1 «Regulations», Ch. 3 «Periodical Survey Regulations», S. 11, pos. 11.2.4, 11.2.8, S. 13, pos. 13.1.
- ³⁷ NKK. Rules for the Survey and Construction of Steel Ships «RSCSS», P. D «Machinery Installations», Ch. 1 «General», pos. 1.4; Ch. 2 «Diesel Engines», pos. 2.6.1; Guidance for the Survey and Construction of Steel Ships (GSCSS), P. D «Machinery Installations», pos. D 2.6.1; Rules for Approval of Manufactures and Service Suppliers (RAMSS), P. 2 «Requirements for Approval of Manufactures», Ch. 4 «Additional Requirements for Manufactures of Mass Produced Products», pos. 4.2.2.2, 4.2.3.1.
- ³⁸ NKK. RSCSS, P. D, Ch. 2, pos. 2.2.1, 2.2.2, table D2.1.
- ³⁹ NKK. RSCSS, P. D, Ch. 2, pos. 2.6.1, table D2.5.
- ⁴⁰ NKK. GSCSS, P. D, pos. D 2.6.1.
- ⁴¹ NKK. RAMSS, P. 2, Ch. 4, pos. 4.2.2.2, 4.6.3.
- ⁴² NKK. RAMSS, P. 2, Ch. 4, pos. 4.2.2.2, RSCSS, P. D, Ch. 18 «Automatic and Remote Control», pos. 18.7.1, GSCSS, P. D, pos. D 18.7.1, table D18.7.1-1.
- ⁴³ NKK. Rules for Automatic and Remote Control Systems (RARCS), Ch. 2 «Surveys of Automatic and Remote Control Systems», pos. 2.2.6, 2.3.1, 2.3.2; RSCSS, P. B «Class Surveys», Ch. 3 «Annual Surveys», pos. 3.3, table B3.7; Ch. 4 «Intermediate Surveys», pos. 4.3; Ch. 5 «Special Surveys», pos. 5.3, table 5.25, 5.26; Ch. 9 «Planned Machinery Surveys», pos. 9.1, table B 9.1.

- ⁴⁴ NKK. RAMSS, P. 2, Ch. 4, pos. 4.1.1, 4.1.3, 4.2.1.
- ⁴⁵ MAKO. Requirements Concerning Machinery Installations (RCMI), M 5.1, 5.2.3; M 14.1; M 21; M 32.1; M 50.1, 50.2, 50.3, 50.5; M 51.
- ⁴⁶ MAKO. RCMI, M 19; M 23.3.6.
- ⁴⁷ MAKO. RCMI, M 50.4, M 21.6.
- ⁴⁸ MAKO. RCMI, M 6; M 23.3.5; M 58, pos. 3.
- ⁴⁹ MAKO. RCMI, M 9.8, 9.9; M 66.
- ⁵⁰ MAKO. RCMI, M 23.1, 23.2.3, 23.2.4, 23.3.1, 23.3.2, 23.3.7, Note.
- ⁵¹ MAKO. RCMI, M 21.3; M 50, pos. 3.3.
- ⁵² MAKO. RCMI, M 21.3; M 50, pos. 3.3; M 51, pos. 51.1.1, 51.2.1.3; M 67.
- ⁵³ DNV. RCS, P. 4, Ch. 3, S. 1, C 204.
- ⁵⁴ GL. RG, V. I «Additional Rules and Guidelines», P. 7 «Guidelines for the Performance of Type Approvals», Ch. 2 «Test Requirements for Electrical/Electronic Equipment and Systems», S. 3 «Test Requirements».

Российский морской регистр судоходства

СБОРНИК НОРМАТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

**Проекты новой редакции требований
частей VII «Механические установки» и IX «Механизмы»
Правил классификации и постройки морских судов**

Книга семнадцатая

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 22.10.07. Формат 60 × 84/16. Гарнитура Таймс.

Усл. печ. л.: 3,1. Уч.-изд. л.: 2,9. Тираж 200. Заказ 2309.

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