

DOI: 10.24937/2542-2324-2019-1-S-I-53-58
УДК 629.5.017

Ю.И. Ефименков, И.С. Онищенко
АО «ЦНИИМФ», Санкт-Петербург, Россия

ТРЕБОВАНИЯ К ДОПУСТИМЫМ УСЛОВИЯМ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВ КЛАССА «М-СП4,5» И ВОЗМОЖНОСТЬ ИХ УТОЧНЕНИЯ НА ПРИМЕРЕ ЧЕРНОГО И КАСПИЙСКОГО МОРЕЙ

Выполнен анализ требований к судам класса «М-СП4,5». Показано, что основными факторами, определяющими допустимые условия эксплуатации судов класса «М-СП4,5», являются общие и местные волновые нагрузки. Удаление от мест убежища на оптимальных маршрутах плавания в Черном и Каспийском морях превышает допустимые значения, регламентируемые для судов этого класса. Подтверждена возможность эксплуатации судов класса «М-СП4,5» на оптимальных маршрутах из российских черноморских портов до пролива Босфор. Удаление судов от мест убежища в Каспийском море зависит от направления развития волнения. Предложены уточнения Правил РРР в части назначения общих волновых нагрузок, при которых обеспечивается возможность плавания судов класса «М-СП4,5» произвольными маршрутами в Каспийском море.

Ключевые слова: суда класса «М-СП4,5», Черное и Каспийское моря, допустимые и оптимальные маршруты, места убежища, волновые нагрузки.

Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

DOI: 10.24937/2542-2324-2019-1-S-I-53-58
UDC 629.5.017

Yu.I. Efimenkov, I.S. Onishchenko
JSC CNIIMF, St. Petersburg, Russia

REQUIREMENTS TO ACCEPTABLE OPERATIONAL CONDITIONS OF M-SP4.5-CLASS SHIPS AND THEIR POSSIBLE REVISION. CASE STUDY: OPERATION OF M-SP4.5-CLASS SHIPS IN THE BLACK SEA AND IN THE CASPIAN

This paper analyses operational requirements to M-SP4.5-class ships and shows that their acceptable operational conditions are mostly determined by global and local wave loads. Following their optimal navigation routes in the Black Sea and in the Caspian, these ships go somewhat farther from their shelters than recommended. The study confirms that M-SP4.5-class ships can be used at optimal shipping lanes between Russian Black Sea ports and the Bosphorus and that their actual acceptable distance from shelters depends on wave directions. The paper suggests revision of Russian River Register rules in terms of global wave loads acceptable for M-SP4.5-class ships operation at arbitrary routes in the Caspian.

Keywords: M-SP4.5-class ships, Black Sea, Caspian, acceptable and optimal routes, shelters, wave loads.

Authors declare lack of the possible conflicts of interests.

Требования к новому классу судов «М-СП4,5» введены в Правила Российского Речного Регистра 2015 г. (далее – РРР) [1] по результатам работ, выполненных с участием АО «ЦНИИМФ».

Анализ действующих Правил РРР к новому классу судов показал, что специфические требования к таким судам, учитывающие устанавливаемые для них эксплуатационные ограничения (допусти-

Для цитирования: Ефименков Ю.И., Онищенко И.С. Требования к допустимым условиям эксплуатации судов класса «М-СП4,5» и возможность их уточнения на примере Черного и Каспийского морей. Труды Крыловского государственного научного центра. 2019; Специальный выпуск 1: 53–58.

For citations: Efimenkov Yu.I., Onishchenko I.S. Requirements to acceptable operational conditions of M-SP4.5-class ships and their possible revision. Case study: operation of M-SP4.5-class ships in the Black Sea and in the Caspian. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2019; Special Edition 1: 53–58 (in Russian).

мые районы плавания и устанавливаемые ограничения по допустимому волнению), определяются, в первую очередь, характеристиками общей и местной прочности корпусных конструкций. По прочим позициям, предъявляемым РРР для судов этого класса, требования либо ориентированы на международные конвенции и соглашения (остойчивость, надводный борт, радионавигация, спасательные средства), либо достаточно хорошо согласованы с требованиями, предъявляемыми Российским морским регистром судоходства (РМРС) для судов более высокого класса.

Требования к прочности корпусов судов класса «М-СП4,5» РРР [2], так же как и требования к судам аналогичного класса R2-RSN4,5 РМРС [3], разрабатывались применительно к заданным условиям эксплуатации, а именно:

- ограничение по допустимому режиму волнения $[h_{3\%}] \leq 4,5$ м;
- допустимое удаление от места убежища до 100 миль в закрытых морях и до 50 миль в открытых морях (расстояние между местами убежищ 200 и 100 миль, соответственно);
- сезон эксплуатации – без ограничений или, по крайней мере, в безледовый период (например, для Белого моря).

При назначении расчетных общих и местных волновых нагрузок использовался подход, примененный ранее АО «ЦНИИМФ» при решении ряда практических задач по классификации морских прибрежных районов в качестве разрешенных для плановой эксплуатации судов смешанного плавания судов класса «М-СП3,5» [4]–[6], а также при разработке требований к судам класса «М-СП4,5» РРР [2] и ограниченного района плавания R2-RSN4,5 [3] РМРС.

В соответствии с этим подходом допустимость плавания в новых условиях эксплуатации судов класса «М-СП4,5» определялась из решения следующих неравенств:

$$\alpha_M = \frac{\lg Q^*(M_{\text{дв}}^{M-СП4,5} | y_1, y_2, \dots, y_m)}{\lg Q^*(M_{\text{дв}}^{M-СП3,5} | x_1, x_2, \dots, x_n)} \geq 1, 0, \quad (1)$$

$$\alpha_r = \frac{\lg Q^*(r^{M-СП4,5} | y_1, y_2, \dots, y_m)}{\lg Q^*(r^{M-СП3,5} | x_1, x_2, \dots, x_n)} \geq 1, 0, \quad (2)$$

где $Q^*(M_{\text{дв}}^{M-СП4,5} | y_1, y_2, \dots, y_m)$ и $Q^*(M_{\text{дв}}^{M-СП3,5} | x_1, x_2, \dots, x_n)$ – долгосрочные обеспеченности регламентируемых Правилами РРР дополнительных

волновых изгибающих моментов в характерных условиях эксплуатации судов класса «М-СП4,5» и «М-СП3,5» соответственно; $Q^*(r^{M-СП4,5} | y_1, y_2, \dots, y_m)$ и $Q^*(r^{M-СП3,5} | x_1, x_2, \dots, x_n)$ – долгосрочные обеспеченности регламентируемых Правилами РРР местных волновых нагрузок (расчетных полувысот волн) в характерных условиях эксплуатации судов класса «М-СП4,5» и «М-СП3,5» соответственно.

Значения $Q^*(M_{\text{дв}}^{M-СП3,5} | x_1, x_2, \dots, x_n)$ и $Q^*(r^{M-СП3,5} | x_1, x_2, \dots, x_n)$, принимаемые в качестве эталонных, определялись для условий круглогодичной эксплуатации судов класса «М-СП3,5» в Балтийском море и учитывая длительный и, в целом, положительный опыт эксплуатации судов этого класса «М-СП3,5» в этих условиях. При этом в качестве расчетной была выбрана трасса п. Клайпеда – п. Балтийск, проходящая в южной части моря, удаление от места убежища на которой составляет 45 миль.

В общем случае долгосрочные обеспеченности Q^* , входящие в уравнения (1) и (2), определяются по зависимости:

$$Q^*(X) = \frac{1}{S_{\text{max}}} \int_0^{S_{\text{max}}} \int_0^{h_{3\%}^{\text{max}}(x)} Q(X | h_{3\%}) f_p(h_{3\%}) dh_{3\%} dx, \quad (3)$$

где X – нормируемая волновая нагрузка ($M_{\text{дв}}$ или r); $Q(X | h_{3\%})$ – условная обеспеченность нормируемой мореходной характеристики X на квазистационарном режиме волнения, характеризуемом $h_{3\%}$; x – текущая координата точки трассы; S_{max} – максимальное расстояние между местами убежища; $h_{3\%}^{\text{max}}$ – максимальное значение высоты волны $h_{3\%}$, с которой может встретиться судно во время рейса из-за опасной ошибки в прогнозе волнения при уходе с произвольной точки трассы с координатой x в ближайшее место убежища, отстоящее от рассматриваемой точки трассы на расстояние $l(x)$; $f_p(h_{3\%})$ – долгосрочная функция плотности распределения вероятностей высот волн $h_{3\%}$, на которые попадает судно при движении по заданной морской трассе с учетом ограничения по волнению $[h_{3\%}]$ и возможности укрытия в местах убежища от неблагоприятных погодных условий (редуцированное волнение).

При определении долгосрочных обеспеченностей общих и местных волновых нагрузок Q^* учитывались как типовые размерения судов (длина и соотношение главных размерений), так и внешние факторы (удаление судна от места убежища, устанавливаемое ограничение по волнению, долгосрочные характеристики волнения и ветра), а также статистические данные по опасным ошибкам в благоприятных прогнозах волнения.

При разработке предложений по корректировке требований к судам класса «М-СП4,5» была выявлена необходимость увеличения волновых изгибающих нагрузок в 1,114–1,367 раза для судов разных длин по сравнению с регламентируемым Правилами РРР $M_{дв}$ для судов класса «М-СП3,5». С учетом отмеченного значения $M_{дв}$ было предложено для судна класса «М-СП4,5» определять по следующей зависимости:

$$M_{дв}^{М-СП4,5} = k_3 M_{дв}^{М-СП3,5}, \quad (4)$$

где $M_{дв}^{М-СП3,5}$, $M_{дв}^{М-СП4,5}$ – дополнительные волновые изгибающие моменты, регламентируемые действующими Правилами РРР для судна класса «М-СП3,5» и «М-СП4,5», соответственно; k_3 – коэффициент, учитывающий влияние на общие волновые нагрузки различных условий эксплуатации судов класса «М-СП4,5» и «М-СП3,5» (см. табл.1).

Для судов класса «М-СП4,5» потребовалось увеличение местных волновых нагрузок в среднем в 1,34 раза по отношению к требуемым для традиционных судов класса «М-СП3,5» (с $r^{М-СП3,5} = 1,75$ м до $r^{М-СП4,5} = 2,35$ м).

Однако полученный результат был получен для наиболее неблагоприятных предполагаемых условий эксплуатации класса «М-СП4,5». При этом было показано, для условий эксплуатации судов класса «М-СП4,5» в закрытых морях возможно либо снижение расчетных волновых нагрузок, либо смягчение допускаемых условий плаваний и, в первую очередь, увеличения допускаемого удаления судна от места убежища.

По предложениям РРР АО «ЦНИИМФ» была рассмотрена возможность эксплуатации судов класса «М-СП4,5» в Черном море при прямых переходах от российских портов, расположенных на северном побережье Черного моря, до пролива Босфор, а также произвольными маршрутами в Каспийском море, в том числе, проходящим через центральную часть моря.

В обоих случаях было выявлено, что удаление от мест убежища превышает установленное Правилами РРР для судов класса «М-СП4,5» в 100 миль.

Так, с учетом данных [7] для рассматриваемых трасс эксплуатации в Черном море максимальное удаление судов от мест убежища при прямых переходах может достигать от 105 до 113 миль при любых направлениях развития волнения.

Несколько иная ситуация наблюдается для предполагаемых трасс эксплуатации в Каспийском

Таблица 1. Значения коэффициента k_3 , регламентируемые действующими Правилами РРР для судов класса «М-СП4,5»

Расчетная длина судна, L , м	25	60	100	140
k_3	1,114	1,114	1,277	1,367

Таблица 2. Максимальное удаление от места убежища l_{max} , мили, и повторяемости $P\{h_{3\%} > 4,5 \text{ м}\}$, %, при различных направлениях развития волнения (по данным [9])

Направление волнения	Средний Каспий		Южный Каспий	
	l_{max} , мили	$P\{h_{3\%} > 4,5 \text{ м}\}$, %	l_{max} , мили	$P\{h_{3\%} > 4,5 \text{ м}\}$, %
Север	121	17,4 / 6,9	140	39,3 / 9,9
Северо-восток	135	34,7 / 37,8	140	
Восток	135		≤ 100	
Юго-восток	123	29,1 / 38,3	≤ 100	56,6 / 87,8
Юг	116	8,0 / 9,3	≤ 100	
Юго-запад	116		≤ 100	
Запад	116		≤ 100	
Северо-запад	118	10,8 / 7,7	120	4,1 / 2,3

Примечание: В числителе приведены значения $P\{h_{3\%} > 4,5 \text{ м}\}$ для условий круглогодичной эксплуатации, в знаменателе – для наиболее тяжелого по волновым условиям месяца.

море. Большинство возможных мест убежищ в этом случае не обеспечивает возможность укрытия судну при развитии волнения со всех возможных направлений. Определенные с использованием данных [8] удаления от мест убежищ при различных направлениях развития волнения в Среднем и в Южном Каспии представлены в табл. 2. При этом в Северном Каспии такое удаление при плавании произвольными маршрутами не превышает 100 миль, что соответствует допускаемому удалению от места убежища, установленному Правилами РРР для судов класса «М-СП4,5».

Современные справочные данные по ветроволновым условиям в морях [9] позволяют определить вероятность развития опасного волнения определенного направления в общей совокупности опасного волнения $h_{3\%} > 4,5$ м, превышающего допускаемую высоту волны. Значения таких вероятностей $P\{h_{3\%} > 4,5 \text{ м}\}$ при различных направлениях

развития волнения в Среднем и Южном Каспии также представлены в табл. 2.

При выполнении расчетов по зависимостям (1)–(3) для Черного моря принималась расчетная трасса, характеризующая наибольшим удалением от места убежища $l_{max} = 113$ миль. Для Каспийского моря расчеты по зависимостям (1)–(3) выполнялись при удалении от места убежища, характерного для каждого направления развития волнения, с усреднением полученных результатов с использованием формулы полной вероятности.

В качестве исходных данных по ветро-волновым условиям использовались следующие сведения, полученные, в том числе, на основе использования справочных данных [9], [10], а именно:

- допустимый для эксплуатации режим волнения – $[h_{3\%}]$;
- параметры $h_{0,5}$, s долгосрочного распределения режимов волнения, аппроксимирующего данные [9], [10] логарифмическим нормального закона распределения вероятностей режимов волнения $h_{3\%}$, записываемого в виде:

$$Q(h_{3\%}) = \frac{s}{\sqrt{2\pi}} \int_{\hat{h}}^{\infty} \frac{1}{\hat{h}} \exp\left[-0,5 \ln^2(\hat{h})^s\right] d\hat{h}. \quad (5)$$

где $\hat{h} = h_{3\%} / h_{0,5}$ – нормированное значение случайной величины высоты волны $h_{3\%}$; $h_{0,5}$, м – медиана закона распределения, s – параметр формы закона распределения; h^* , м – режимная характеристика волнения, характеризующего бурность района плавания в рассматриваемый календарный сезон (высота волны вероятность превышения которого в рассматриваемый сезон составляет 5%); w^* , м/с – характерная средняя скорость ветра, вероятность которого в рассматриваемый календарный сезон составляет 5%; $[h_{3\%}]$, м – допускаемый для эксплуатации режим волнения.

Сведения по ветро-волновым условиям плавания в рассматриваемых районах Черного и Каспийского морей и на эталонной трассе в Балтийском море приведены в табл. 3.

Расчеты, выполненные с использованием зависимостей (1)–(3) с учетом исходных данных, приведенных в табл. 2 и табл. 3, показали, что для условий

Таблица 3. Сведения по ветро-волновым условиям плавания в рассматриваемых районах Черного и Каспийского морей и на эталонной трассе Балтийского моря (с использованием данных [8], [9])

Обозначение параметра	Размерность	Класс «М-СП4,5»			Класс «М-СП3,5»
		Черное море	Средний Каспий	Южный Каспий	Клайпеда – Балтийск
1	2	3	4	5	6
В целом за рассматриваемый сезон эксплуатации					
Рассматриваемый сезон	–	Весь год	Весь год	Весь год	Весь год
$[h_{3\%}]$	м	4,5	4,5	4,5	3,5
$h_{0,5}$	м	–	1,788	1,965	1,365
s	–	–	2,163	2,369	1,316
h^*	м	–	3,9	3,7	4,2
w^*	м/с	–	15,2	13,9	16,4
В наиболее тяжелый по волновым условиям месяц					
Рассматриваемый сезон	–	–	Ноябрь	Октябрь	Январь
$[h_{3\%}]$	м	4,5	4,5	4,5	3,5
$h_{0,5}$	м	–	2,017	1,777	1,787
s	–	–	2,113	2,471	1,413
h^*	м	–	4,5	4,0	5,2
w^*	м/с	–	16,6	13,5	18,9

эксплуатации в Черном море кратчайшими маршрутами из российских черноморских портов до пролива Босфор критериальные неравенства (1) и (2) выполняются. Полученный результат подтверждает возможность плавания судов класса «М-СП4,5» такими маршрутами, удаление от мест убежищ на которых превышает 100 миль, без какого-либо предъявления дополнительных требований к общим и местным расчетным волновым нагрузкам.

Результаты расчета коэффициентов α_m и α_r для условий эксплуатации судов класса «М-СП4,5» в Среднем и Южном Каспии приведены в таблицах 4 и 5.

Как следует из табл. 4, условие $\alpha_m \geq 1$ при плавании судов класса «М-СП4,5» произвольными маршрутами в Среднем и Южном Каспии не выполняется, за исключением судов длиной $L = 25$ м. Полученный результат свидетельствует, что для обеспечения возможности такой эксплуатации требуется увеличение расчетных дополнительных волновых изгибающих моментов, т.е. увеличение коэффициентов k_3 по сравнению с регламентируемыми действующими Правилами РРР для судов класса «М-СП4,5», допускаемых к эксплуатации при удалении от места убежища в закрытых морях до 100 миль.

Значения коэффициентов k_3 , обеспечивающих возможность такой эксплуатации в Каспийском море, определены из условия $\alpha_m = 1,0$ при исходных данных по удалению от места убежища и ветро-волновым условиям, приведенным в табл. 2 и табл. 3. Результаты таких расчетов представлены в табл. 6.

В то же время, как следует из табл.5, увеличения местных волновых нагрузок для обеспечения возможности эксплуатации судов класса «М-СП4,5» произвольными маршрутами в Среднем и Южном Каспии не требуется, так как в результате выполненных расчетов для судов всех длин как в целом для условий круглогодичной эксплуатации, так и для наиболее тяжелого по волновым условиям месяца, получено $\alpha_r > 1,0$.

Полученный результат применим для самоходных судов, предназначенных для перевозки грузов, а также для буксиров, осуществляющих самостоятельное плавание, так как именно к таким судам ранее были разработаны требования к судам класса «М-СП4,5».

Подобный подход может быть применен и для других районов плавания судов класса «М-СП4,5» РРР, а также судов ограниченного района плавания R2-RSN4,5 РМРС.

Таблица 4. Результаты расчета коэффициента α_m для условий эксплуатации судов класса «М-СП4,5» произвольными маршрутами в Среднем и Южном Каспии

Длина судна, L , м	α_m			
	В течение всего года		Наиболее тяжелый по волновым условиям месяц	
	Груз	Балласт	Груз	Балласт
1	2	3	4	5
Средний Каспий				
25	1,283	1,377	1,237	1,315
60	0,940	1,016	0,963	1,031
100	0,966	0,995	0,971	0,989
140	0,865	0,912	0,851	0,891
Южный Каспий				
25	1,437	1,543	1,795	1,908
60	0,949	1,026	1,150	1,233
100	0,999	1,024	1,227	1,250
140	0,909	0,954	1,139	1,179

Таблица 5. Результаты расчета коэффициента α_r для условий эксплуатации судов класса «М-СП4,5» произвольными маршрутами в Среднем и Южном Каспии

Длина судна, L , м	α_r			
	В течение всего года		Наиболее тяжелый по волновым условиям месяц	
	Груз	Балласт	Груз	Балласт
1	2	3	4	5
Средний Каспий				
25	1,176	1,143	1,176	1,143
60	1,189	1,153	1,189	1,153
100	1,211	1,180	1,211	1,180
140	1,224	1,195	1,224	1,195
Южный Каспий				
25	1,182	1,475	1,182	1,475
60	1,199	1,494	1,199	1,494
100	1,222	1,512	1,222	1,512
140	1,237	1,531	1,237	1,531

Таблица 6. Значения коэффициентов k_3 , обеспечивающих возможность эксплуатации судов класса «М-СП4,5» произвольными маршрутами в Среднем и Южном Каспии

Расчетная длина судна, L , м	25	60	100	140
Средний Каспий				
k_3	1,114	1,170	1,319	1,623
Южный Каспий				
k_3	1,114	1,158	1,279	1,500

Библиографический список

1. Российский Речной Регистр. Правила классификации и постройки судов в эксплуатации: в 0-VII ч. – М: Российский Речной Регистр, 2015. – Ч. 0 – VII. – 977 с.
2. Разработка требований к судам смешанного плавания класса «М-СП4,5». Расчетные волновые нагрузки: отчет о НИР (промежуточ. – этап 3): РЦ 48/06 / Центр разработки Правил РРР, исполн. разд.: Ефименков Ю.И. – СПб., 2006.
3. ЗАО «ЦНИИМФ». Подготовка проекта изменений и дополнений Правил Регистра в связи с введением в существующий список знаков ограничений района плавания знака (4,5). Заключительный отчет № 253-РС/37-01. Рук. работы Ефименков Ю.И. – СПб., 2011.
4. ЦРП РРР. Обоснование возможности эксплуатации судов класса «М-СП» на новых трассах плавания в Белом, Баренцевом и Карском морях. Промежуточный отчет по этапу 4 договора № ЦРП-05-09-04. Рук. работы Ефименков Ю.И. - СПб., 2005.
5. ЗАО «ЦНИИМФ». Классификация морских районов южной части Баренцева моря севернее параллели

- 66°45' с.ш. до п-ова Рыбачий, включая Кольский залив, для плавания судов с классом Российского Речного Регистра. № 253-Р66/07-01. Отчет по этапам 1–3 договора № Р66/07. Рук. работы Ефименков Ю.И. – СПб., 2007.
6. АО «ЦНИИМФ». Определение разрядности Анадырского залива при плавании судов с классом Российского Речного Регистра в 20-мильной прибрежной зоне на трассах п.Анадырь – п. Беринговский и п. Анадырь – п. Эгвекинот – п. Провидения – залив Лаврентия. Промежуточный отчет по этапу 2 договора № Р141/16. № 253-Р141/2016-02. Руководитель работы Ефименков Ю.И. – СПб., 2016.
 7. ГУНИО МО РФ. Лоция Черного моря № 1244. – СПб. 2008 г.
 8. ГУНИО МО РФ. Лоция Каспийского моря. № 1003. – СПб., 2016 г.
 9. Российский морской регистр судоходства. Справочные данные по режиму ветра и волнения Баренцева, Охотского и Каспийского морей. – СПб., 2003 г.
 10. Российский Морской Регистр Судоходства. Справочные данные по режиму ветра и волнения Балтийского, Северного, Черного, Азовского и Средиземного морей. – СПб., 2006 г.

Сведения об авторах

Ефименков Юрий Иванович, заведующий сектором судов внутреннего и смешанного плавания АО «ЦНИИМФ», 191015, г. Санкт-Петербург, Кавалергардская ул., д. 6, лит. А, раб. тел.: (812) 271-12-70; моб. тел. +7 (921) 659-48-98. E-mail: efim253@mail.ru.

Онищенко Ирина Станиславовна, студентка ФГБОУ ВО «ГУМРФ им. адмирала С.О. Макарова», АО «ЦНИИМФ», 191015, г. Санкт-Петербург, Кавалергардская ул., д. 6, лит. А, тел.: (812) 271-12-70; моб. тел. +7 (950) 007-14-08. E-mail: irris291@gmail.com.

Поступила / Received: 25.01.19
Принята в печать / Accepted: 08.04.19
© Коллектив авторов, 2019