

УДК 629.5

DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi68.201>

Сопоставительный анализ требований правил Российского Речного Регистра и Российского морского регистра судоходства к конструкции и прочности судов на подводных крыльях

С.Н. Гирин

Волжский государственный университет водного транспорта, г. Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Выполненный сравнительный анализ нормативной базы Правил Российского речного регистра (ПРР) и Российского морского регистра судоходства (ПМР) по конструкции и прочности судов на подводных крыльях (СПК) показал существенное отличие методологий этих правил. В связи с этим сравнительный анализ правил возможен только путем выполнения численных расчетов для конкретных судов. В настоящей работе приведены результаты расчетов для трех моделей СПК. Показано, что при некоторой экстраполяции зависимостей, приведенных в ПРР, удается получить достаточно близкие с ПМР значения расчетных величин изгибающих моментов для СПК, предназначенных для эксплуатации на волнении $h_{3\%} > 2,0$ м. Для более слабых волновых режимов ПРР дают меньшие значения расчетных моментов. Существующий в ПРР подход к проверке прочности крыльевых устройств СПК следует признать устаревшим. Необходимо либо модернизировать ПРР с учетом современных достижений в области гидродинамики, либо допускать применение современных программных комплексов для ЭВМ, основанных на численных методах решения задач гидродинамики.

Ключевые слова: правила Российского Речного Регистра, правила Российского морского регистра судоходства, суда на подводных крыльях, общая прочность корпуса, прочность крыльевых устройств.

Comparative analyses of the requirements of the rules of the Russian river register and Russian Maritime Register of Shipping to the structure and strength of hydrofoils

Stanislav N. Girin

Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. A comparative analysis of the regulatory framework of the rules of the Russian River Register (RRR) and the Russian Maritime Register of Shipping (RSR) in terms of the structure and strength of hydrofoils has shown a significant difference in the methodologies of these rules. In this regard, a comparative analysis of the rules is possible only by performing numerical calculations for specific ships. This article presents the results of calculations for three hydrofoils. It is shown that with some extrapolation of the dependencies given in the RRR, it is possible to obtain the values of the calculated values of the bending moments for the hydrofoils, intended for operation at waves $h_{3\%} > 2.0$ m, which are quite close to the RSR. For weaker wave regimes, RRR give lower values of the calculated moments. The existing in the RRR approach to checking the strength of the hydrofoil's wing devices should be considered outdated. It is necessary either to modernize the RRR taking into account modern achievements in the field of hydrodynamics, or to allow the use of modern software systems for computers based on numerical methods for solving hydrodynamic problems.

Keywords: the rules of the Russian River Register, the rules of the Russian Maritime Register of Shipping, hydrofoils, the overall strength of the hull, the strength of the wing devices.

Введение

Требования к конструкции и прочности судов на подводных крыльях (СПК) содержатся в Правилах классификационных обществ [1] и [2]. Из этих документов следует, что методологически они существенно различаются, поэтому представляют интерес числовые значения нагрузок и допускаемых напряжений, нормируемых этими документами для конкретного судна. Очевидно, что следует стремиться к гармонизации требований двух национальных классификационных обществ к судам близких классов.

1. Общие требования

Требования Правил речного регистра (ПРР) распространяются на СПК классов «О-ПР», «О», «Р» и «Л» и допускают их плавание в водоизмещающем режиме на волнении, соответствующем их классу. При ходе на крыльях вводятся дополнительные ограничения на высоту волны и скорость хода, которые устанавливаются техническим заданием на проектирование и должны заноситься в инструкцию по эксплуатации. Вместе с тем в ПРР устанавливаются минимальные значения расчетной высоты волны для судов перечисленных классов. Устанавливается также минимальное значение расчетной скорости хода на волнении, которая не должна приниматься менее 0,85 скорости хода на крыльях в условиях тихой воды.

Правила морского регистра (ПМР) распространяются на СПК с двумя (носовым и кормовым) или тремя (носовым, средним и кормовым) подводными крыльями водоизмещением до 200 т, обладающими возможностью движения в водоизмещающем положении на волнении не выше 5 баллов ($h_{3\%} \leq 3,5$ м) и при ходе на крыльях на волнении $h_{3\%} \leq 3,0$ м при скорости хода, соответствующей числам Фруда $F_{r\Delta} \leq 4,5$.

Таким образом, ПМР распространяют свои требования на СПК, предназначенные для эксплуатации в условиях волнения более высокой интенсивности по сравнению с ПРР.

ПРР устанавливают следующие ограничения:

$$I/(D'L^3) > 3 \cdot 10^{-8}; \quad (1)$$

$$v/\sqrt[6]{D'} < 18, \quad (2)$$

где I – момент инерции наиболее ослабленного поперечного сечения эквивалентного бруса в средней части судна, м⁴;

D' – водоизмещение в грузу, т;

L – наибольшая длина корпуса судна, м;

v – расчетная скорость судна на крыльях на тихой воде, м/с.

ПМР распространяются на суда, параметры которых не выходят за следующие пределы:

$$L/B > 4; \quad (3)$$

$$5 \leq L/D \leq 20; \quad (4)$$

$$I_{\otimes}/(BL^3) > 3 \cdot 10^{-7}. \quad (5)$$

Здесь в формулах ПМР используются обозначения, принятые в ПМР.

В данном случае:

L – длина судна между перпендикулярами, м;

B – ширина судна, м;

D – высота борта, м;

I_{\otimes} – момент инерции поперечного сечения корпуса судна на миделе, м⁴;

$F_{r\Delta} = 0,514V/\sqrt{g\nabla^{1/3}}$ - число Фруда по водоизмещению;

∇ - объемное водоизмещение, м³;

V – скорость судна в рассматриваемом режиме движения при заданной интенсивности волнения $h_{3\%}$, уз.

На наш взгляд, присутствие в ПМР ограничений по соотношению главных размерений является рудиментом старых подходов к принципам проектирования корпуса, когда размеры связей задавались таблицами и простейшими формулами, основанными на опыте проектирования. В настоящее время, когда у конструктора есть возможность использования достаточно совершенного расчетного аппарата, включая конечно-элементные модели, необходимость этих ограничений отпадает, более того, их наличие сдерживает конструкторскую мысль и вносит организационные трудности при согласовании проектов со стороны Регистра. По-видимому, разработчики существующих ПРР для СПК понимали это и сознательно шли на снятие ограничений. Многолетний опыт проектирования и эксплуатации этих судов не выявил недостатков этого решения, поэтому мы полагаем нецелесообразным вводить упомянутые ограничения при корректировке ПРР.

2. Требования к конструкции корпуса и крыльевых устройств

В ПМР даются подробные указания не только по основным принципам проектирования конструкций корпуса и крыльевых устройств СПК, но и приводятся многочисленные рисунки по оформлению отдельных узлов.

В ПРР такие указания отсутствуют.

На наш взгляд, ПМР чрезмерно перегружены указаниями по оформлению узлов. Правила, с одной стороны, не являются учебником, а с другой стороны, не должны ограничивать конструкторскую мысль. Вместе с тем, отсутствие в ПРР указаний по основным принципам конструирования корпусов СПК из алюминиевых сплавов и крыльевых устройств из различных материалов является недостатком Правил.

3. Расчеты общей прочности и устойчивости

В ПРР отмечается, что выбор расчетной высоты волны при ходе судна на крыльях должен производиться на основании технического задания на проектирование, однако она не должна быть менее установленных для класса: «О-ПР» и «О» - 1,3 м; «Р» - 0,8 м; «Л» - 0,4 м.

Российским Речным Регистром предполагается корректировка ПРР с целью расширения классов СПК. Выполненные в Волжском государственном университете водного транспорта (ВГУВТ) исследования предлагают расширить указанный диапазон минимальных значений расчетной высоты волны, представленный в таблице 1.

Таблица 1

Минимальные значения расчетной высоты волны при ходе судна на крыльях

Класс судна	Расчетная высота волны, м
«М-СП»	2,5
«М», «М-ПР»	2,0
«О-ПР»	1,5
«О»	1,3
«Р»	0,8
«Л»	0,4

В этом случае расчетная высота волны для судов класса «М-СП» будет совпадать с близким по смыслу классом ПМР.

В ПМР определение изгибающих моментов и перерезывающих сил, действующих на корпус СПК, выполняется для режима плавания и для хода на крыльях.

Под режимом плавания понимается движение со скоростью менее или равной скорости выхода на носовое крыло. В этом режиме рассматривается два расчетных случая: движение в водоизмещающем режиме на расчетном волнении, соответствующем классу с заданной скоростью, соответствующей этому режиму; движение в глиссирующем режиме со скоростью, равной скорости выхода на носовое крыло. Расчетный изгибающий момент в этом случае получается суммированием момента при статической постановке на волну и некоторой динамической добавки, зависящей от водоизмещения, длины и скорости судна. Основной трудоемкостью в расчетах является определение моментов при статической постановке судна на волну. В настоящее время такой подход представляется устаревшим, не учитывающим реальную картину взаимодействия корпуса с нерегулярным трехмерным волнением.

Выполнение расчетов внутренних усилий при движении СПК на крыльях в ПМР также является довольно трудоемким процессом.

Следует подчеркнуть, что нормирование расчетных значений внутренних усилий СПК в ПРР основано на исследованиях [3], [4], выполненных в 60-70-е годы прошлого века, а в ПМР на исследованиях [5], [6], [7], [8], [11]-[15] и др., выполненных несколько позже.

В ПРР расчет внутренних усилий в корпусе судна выполняется только для режима движения на крыльях. При этом расчетные значения изгибающего момента и перерезывающей силы в сечениях по длине судна вычисляются путем умножения соответствующего значения на тихой воде на некоторый коэффициент, зависящий от дополнительной перегрузки (отношения дополнительного ускорения к ускорению свободного падения) в сечении над носовым крыльевым устройством.

Отсутствие в ПРР требований по вычислению внутренних усилий на волнении в режиме плавания связано, по-видимому, с тем, что при написании раздела ПРР по СПК в 60-е годы прошлого века требования Правил распространялись на суда классов «Л»; «Р» и «О», у которых условия движения на крыльях заведомо более жесткие по сравнению с режимом плавания. В дальнейшем в ПРР для СПК был добавлен класс «О-ПР» без дополнительных исследований. При распространении ПРР для СПК более высоких классов отсутствие нормативных требований по вычислению внутренних усилий в режиме плавания уже не является очевидным. В связи с этим во ВГУВТ были выполнены исследования по анализу учета режимов плавания. Для этого была использована имеющаяся нормативная база ПРР для водоизмещающих судов с некоторой корректировкой, связанной с учетом скорости движения судна.

Для сопоставления результатов расчетов по ПМР и по откорректированным зависимостям ПРР было рассмотрено судно со следующими характеристиками:

полное водоизмещение – 76,6 т;

длина подводной части корпуса по ТЧ (между перпендикулярами) - 31,41 м;

ширина подводной части корпуса по ТЧ – 5,42 м;

осадка на миделе – 1,16 м;

осадка на носовом перпендикуляре – 0,92 м;

скорость выхода СПК на НКУ – 37,0 км/ч;

скорость судна в режиме движения на крыльях на тихой воде – 64,8 км/ч;

скорость судна в режиме движения на крыльях в условиях расчетного волнения - 53,7 км/ч;

скорость судна в режиме плавания в условиях максимального волнения – 18,5 км/ч;

момент инерции поперечного сечения эквивалентного бруса на миделе – 0,227 м⁴.

Отмеченные характеристики близки к характеристикам СПК «Комета», поэтому в дальнейшем будем называть судно с этими характеристиками «Комета-У».

Результаты расчетов представлены на рис. 1

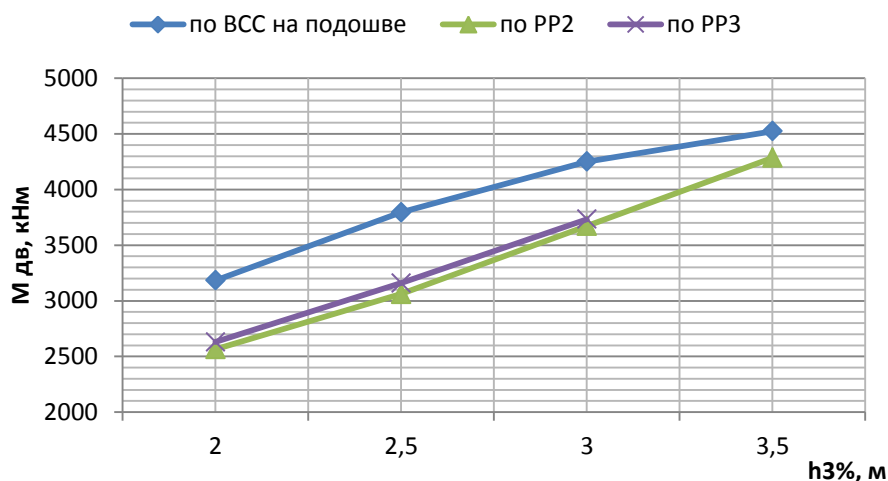


Рис.1 Максимальное значение дополнительного волнового момента при ходе СПК «Комета-У» в водоизмещающем режиме на расчетном волнении

Fig. 1 The maximum value of the additional wave moment during the hydrofoil "Comet-U" going in the displacement mode on the calculated wave

В ПРР для водоизмещающих судов расчетная величина изгибающего момента вычисляется путем суммирования момента на тихой воде и так называемого дополнительного волнового момента $M_{дв}$ [1], [9], [10]. Величина $M_{дв}$ в ПРР вычисляется по разным зависимостям для судов внутреннего и смешанного плавания.

Кривая PP3 на рис 1 представляет результаты расчетов по формуле (2.2.10-1) ПРР [1], в которой коэффициент k_v , учитывающий падение скорости на волнении по сравнению с тихой водой, принят равным единице, поскольку вместо скорости на тихой воде задана скорость хода судна в условиях заданного волнения.

Кривая PP2 представляет результаты расчетов по формуле (2.2.11-1) ПРР, в которой в качестве множителя введен коэффициент, учитывающий влияние скорости и равный коэффициенту k_3 в формуле (4.2.2-1) $M_{дв}$ для катамаранов, вычисляемого по формуле (4.2.2-14).

Кривая ВСС на рис.1 представляет результаты расчетов по формуле (5.3.2.2-1) ПМР [2] за вычетом значения момента на тихой воде из M_w . Значения на вершине волны оказались меньше, поэтому на рис.1 не представлены.

Как видно, кривые PP2 и PP3 практически совпадают в диапазоне 2,0 – 3,0 м и дают примерно на 20% меньшие значения $M_{дв}$ по сравнению с кривой ВСС. При $h_{3\%} = 3,5$ м расхождение значений $M_{дв}$ между ПРР и ПМР составляет около 5%.

Известно, что для судов длиной менее 60 м ПРР дают несколько завышенные значения $M_{дв}$, поэтому следует ожидать, что ПМР также дают завышенные значения расчетного момента при ходе СВП на расчетном волнении в водоизмещающем режиме.

На рис.2 показаны значения $M_{дв}$, вычисленные для переходного режима, т.е. для режима движения в водоизмещающем положении со скоростью, равной выходу на носовое крыло 37,0 км/час, для разных значений высот волн. Кривая PP4 построена с использованием зависимостей ПРР для судов внутреннего плавания, в которых коэффициент $k_v = 1$, а при вычислении волнового момента вводится дополнительный множитель по аналогии с вычислениями кривой PP2.

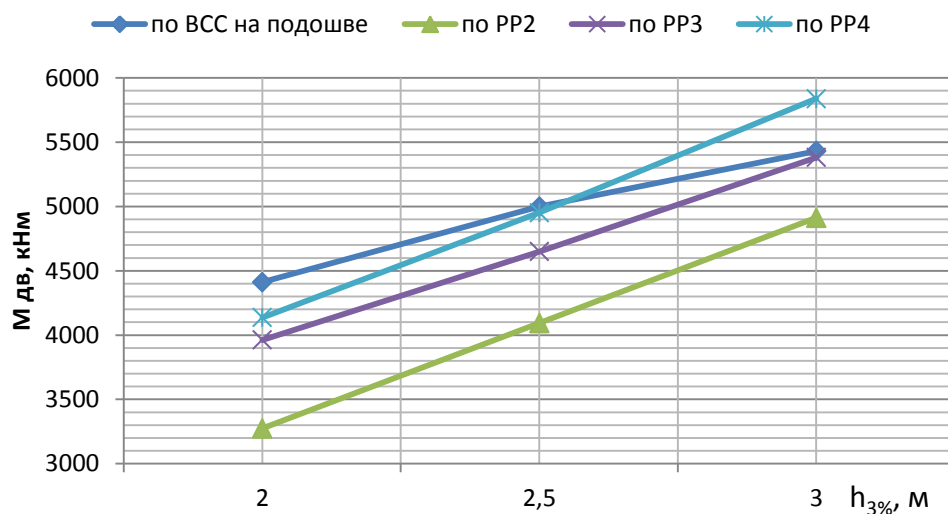


Рис.2 Максимальное значение дополнительного волнового момента при ходе СПК «Комета-У» в переходном режиме

Fig. 2 The maximum value of the additional wave moment during the hydrofoil "Comet-U" going in the transition mode

Как следует из рис.2, кривые PP3 и PP4 достаточно хорошо совпадают с кривой ВСС, а кривая PP2 дает существенно более низкие значения $M_{дв}$.

Как указано выше, требования действующих ПРР распространяются на СПК классов «О-ПР», «О», «Р» и «Л». При распространении требований на суда более высоких классов в исследованиях ВГУВТ было предложено сохранить формулы (5.2.3-1) и (5.2.3-2) [1] при некоторой корректировке формулы (5.2.3-5) для вычисления величины нормативного значения дополнительной перегрузки.

Результаты расчетов представлены на рис.3. Кривая ВСС случай 1 отражает результаты расчетов по ПМР для случая удара в носовую оконечность; ВСС случай 2 - удар в среднюю часть; ВСС случай 3 - удар в кормовую оконечность.

Из рисунка следует, что для $h_{3\%} = 1,5 - 2,0$ м ПРР дают существенно меньшие значения расчетного изгибающего момента по сравнению с ПМР. С учетом большого положительного опыта эксплуатации отечественных СПК, спроектированных на этот диапазон расчетных волн, следует полагать, что ПМР завышают нормативные значения расчетного изгибающего момента. В диапазоне $h_{3\%} = 2,5 - 3,0$ м ПМР и предлагаемые для корректировки ПРР зависимости дают близкие нормативные значения изгибающего момента при ходе на крыльях.

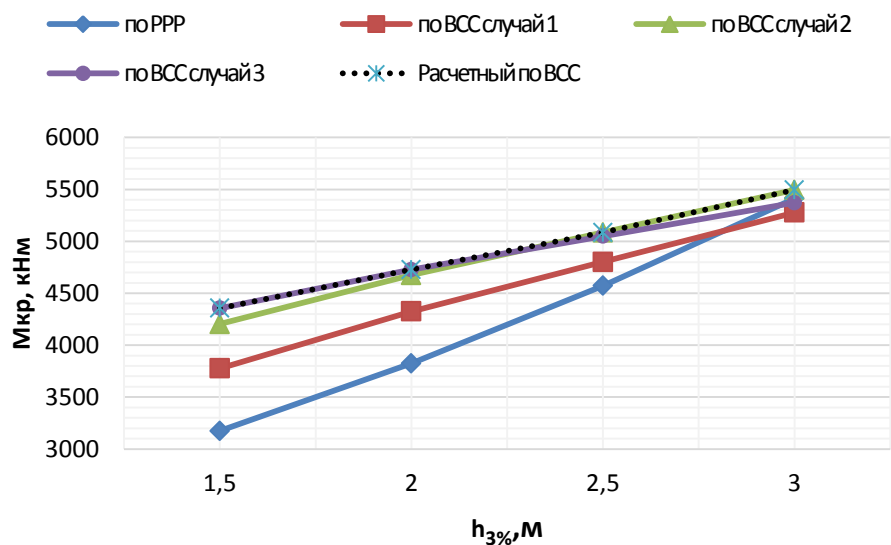


Рис.3 Максимальные значения изгибающих моментов, кН·м, при движении на крыльях СПК «Комета-У» в условиях разрешенного волнения

Fig. 3 Maximum values of bending moments, kN * m, when going on the wings of the hydrofoil "Comet-U" in conditions of permitted excitement

Выполненный для модели «Комета-У» анализ показывает, что нормативные значения расчетного изгибающего момента, вычисленные по ПРП для высот волн $h_{3\%} \leq 2,0$ м, существенно меньше аналогичных значений, вычисленных по ПМР, однако при $h_{3\%} \geq 2,5$ м значения сближаются.

Для решения вопроса о целесообразности включения в ПРП требований по вычислению расчетной величины изгибающего момента не только для режима движения на крыльях, но и для водоизмещающего режима были выполнены расчеты для трех моделей судов. Характеристики модели «Комета-У» приведены выше, а для двух других моделей представлены в табл.2.

Таблица 2

Характеристики рассмотренных моделей СВП

Характеристика	Наименование модели	
	Валдай-У	Циклон-У
длина по расчетную ватерлинию, м;	18,1	38,0
расчетная ширина, м;	3,6	8,3
полное водоизмещение, т;	21,4	200,0
средняя осадка, м;	0,58	1,68
осадка носом, м;	0,40	1,62
коэффициент полноты площади ватерлинии;	0,933	0,826
коэффициент общей полноты водоизмещения;	0,553	0,401
скорость выхода на носовое крыло, км/ч;	37,0	37,0
скорость движения в водоизмещающем режиме в условиях волнения, соответствующего классу судна, км/ч;	15,5	18,5
момент инерции поперечного сечения эквивалентного бруса на миделе, м ⁴ .	0,0138	1,052

Результаты расчетов для трех режимов движения представлены в табл. 3 – 5

Из этих таблиц следует, что для моделей «Валдай-У» и «Циклон-У» во всех классах ПРР расчетным является изгибающий момент при ходе на крыльях. Для «Комета-У» режим движения на крыльях не дает максимальную величину расчетного момента, однако для судов классов «М», «М-ПР» и «М-СП» отличие величины расчетного момента при ходе на крыльях от наиболее опасного режима находится в пределах 3-11%.

Полученные результаты позволяют рекомендовать Российскому Речному Регистру при корректировке правил оставить требование по вычислению расчетного изгибающего момента только для случая движения СПК на крыльях в условиях режима волнения, установленного для судна при проектировании.

Таблица 3

Сопоставительные значения изгибающих моментов, кН·м, для различных режимов движения судна «Валдай-У»

Режим движения	Класс судна				
	«О»	«М»	«О-ПР»	«М-ПР»	«М-СП»
Водоизм. M_B	618	889	754	1051	1215
Переход. $M_{П}$	640	754	677	754	892
На крыльях M_K	693	1047	788	1047	1341
M_K/M_{max}	1,08	1,18	1,04	1,00	1,10

Таблица 4

Сопоставительные значения изгибающих моментов, кН·м, для различных режимов движения судна «Комета-У»

Режим движения	Класс судна				
	«О»	«М»	«О-ПР»	«М-ПР»	«М-СП»
Водоизм. M_B	2869	4174	3006	4114	4725
Переход. $M_{П}$	3670	4292	3868	4292	4664
На крыльях M_K	2938	3823	3174	3823	4572
M_K/M_{max}	0,80	0,89	0,82	0,89	0,97

Таблица 5

Сопоставительные значения изгибающих моментов, кН·м, для различных режимов движения судна «Циклон-У»

Режим движения	Класс судна				
	«О»	«М»	«О-ПР»	«М-ПР»	«М-СП»
Водоизм. M_B	8158	10617	5376	7144	8121
Переход. $M_{П}$	10438	12177	10990	12177	13221
На крыльях M_K	11298	13247	11298	13247	15462
M_K/M_{max}	1,08	1,09	1,03	1,09	1,17

4. Расчеты прочности крыльевых устройств

Максимальные значения подъемных сил, действующих на крыльевые устройства при движении СПК на крыльях в условиях волнения, в ПРР и ПМР вычисляются путем умножения силы, действующей на устройство при движении на тихой воде, на некоторый коэффициент. В ПРР этот коэффициент задается в табличной форме в зависимости от величины расчетной волны, а в ПМР он вычисляется по формулам в зависимости от высоты волны и некоторых других параметров.

Для расширения классов СПК в ПРР предложена некоторая корректировка значений коэффициентов. На рис.4 показаны значения этих коэффициентов применительно к модели «Комета-У». Как видно, они практически совпадают.

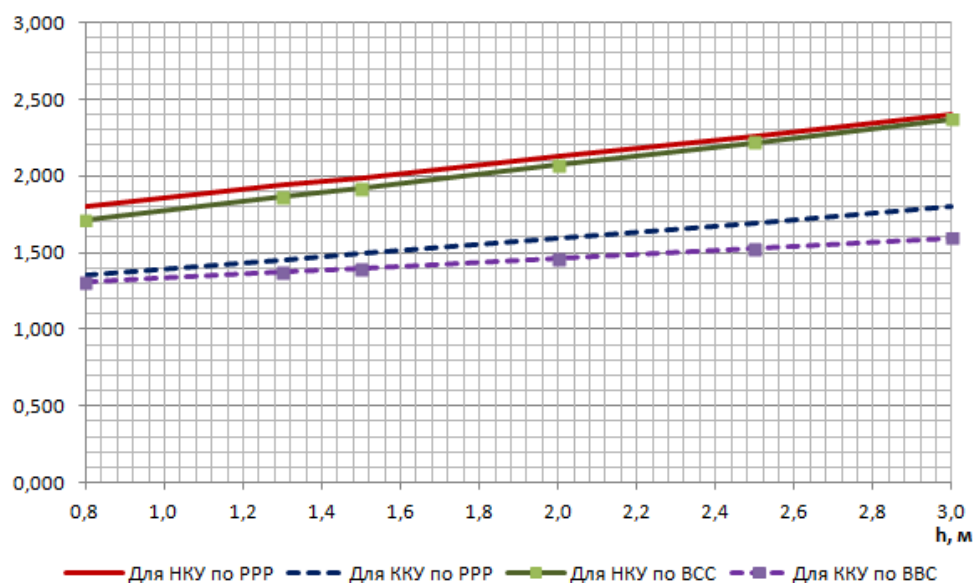


Рис.4 Значения коэффициентов увеличения подъемных сил на носовом и кормовом крыльях, вычисленные по РРР и по ПМР для СПК «Комета-У»

Fig. 4 The values of the coefficients of increasing the lifting forces on the bow and stern wings, calculated according to the RRR and RSR for the hydrofoil "Comet-U"

Методики расчета крыльевых устройств в РРР и ПМР существенно отличаются.

Согласно РРР сила, действующая на крыльевое устройство, равномерно распределяется по размаху крыла. При этом само крыльевое устройство рассматривается в виде рамы. Очевидно, что в настоящее время такой подход нельзя признать удовлетворительным, особенно для случая неплоских крыльев.

В ПМР учитывается неравномерность распределения нагрузки, как по размаху, так и по хорде крыла, учитывается наличие поворотного закрылка.

Очевидно, что при корректировке РРР необходимо выполнение дополнительных исследований для создания нормативной базы по выполнению расчетов прочности крыльевых устройств.

В конструкторской практике выполнение этих расчетов должно проводиться с использованием современных программных комплексов, решающих гидродинамические задачи обтекания крыльевых устройств жидкостью.

5. Нормирование прочности корпусных конструкций и крыльевых устройств

Как уже указывалось, в РРР нормативная база по конструкции и прочности СПК была создана в 60 –е годы прошлого века и с тех пор практически не менялась.

В действующих ПМР учтены результаты более поздних исследований, в частности, исследований по усталостной прочности конструкций СПК, изготовленных из разных материалов.

Выполненный сравнительный анализ показал существенное отличие в величине допускаемых напряжений, нормируемых в РРР и ПМР. По-видимому, при корректировке РРР следует ориентироваться на нормативную базу ПМР в части

допускаемых напряжений, учитывая стремление к гармонизации требований ПРР и ПМР к судам близких классов.

В выполненных во ВГУВТ исследованиях содержатся предложения по корректировке норм допускаемых напряжений СПК в ПРР. Предложено также нормировать общую прочность по предельным моментам, как это имеет место в ПРР для остальных типов судов. При этом нормы прочности совпадают с ПМР.

Заключение

Выполненный сравнительный анализ нормативной базы Правил Российского Речного Регистра (ПРР) [1] и Российского морского регистра судоходства (ПМР) [2] по конструкции и прочности судов на подводных крыльях (СПК) показал существенное отличие методологий этих правил.

Методология ПРР основана на теоретических и экспериментальных исследованиях, выполненных в 50-60 - е годы прошлого века [3], [4]. За прошедшие годы ПРР применительно к СПК практически не изменились.

Современные ПМР основаны на более поздних исследованиях [5], [6], [7], [8], [11] - [15] и др. и содержат более подробные указания в части конструирования элементов корпуса и крыльевых устройств СПК, а также более трудоемкие вычисления по определению внешних нагрузок.

В связи с этим сравнительный анализ правил возможен только путем выполнения численных расчетов для конкретных судов. В настоящей работе приведены результаты расчетов для трех моделей СПК, близких по характеристикам к реальным проектам «Комета», «Циклон», «Валдай».

Показано, что при некоторой экстраполяции зависимостей, приведенных в ПРР, удастся получить достаточно близкие с ПМР значения расчетных величин изгибающих моментов для СПК, предназначенных для эксплуатации на волнении $h_{3\%} > 2,0$ м. Для более слабых волновых режимов ПРР дают меньшие значения расчетных моментов.

Выполненный анализ показал, что существующее в ПРР требование вычисления расчетных значений изгибающих моментов и перерезывающих сил только для режима движения СПК на крыльях может быть сохранено и при расширении требований ПРР на СПК более высоких классов.

Существующий в ПРР подход к проверке прочности крыльевых устройств СПК следует признать устаревшим. Необходимо либо модернизировать ПРР с учетом современных достижений в области гидродинамики, либо допускать применение современных программных комплексов для ЭВМ, основанных на численных методах решения задач гидродинамики.

В части нормирования допускаемых напряжений, по нашему мнению, следует использовать нормативную базу ПМР.

Автор выражает признательность инженеру Зябко Наталье Германовне за большую работу по выполнению расчетов.

Список литературы

1. Российский Речной Регистр. Правила (в 5-и томах). Т.2. М.: изд-во ООО «УП ПРИНТ», 2019 – 432 с.
2. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки высокоскоростных судов. – С-Петербург, 2018 – 205 с.
3. Зайцев Н.А., Маскалик А.И. Отечественные суда на подводных крыльях. – Л.: Судостроение, 1967 – 363 с.
4. Матгес Н.В., Уткин А.В. Прочность судов на подводных крыльях. – Л.: Судостроение, 1966 – 191 с.
5. Зиганченко П.П., Кузовенков Б.П., Тарасов И.К. Суда на подводных крыльях: Конструирование и прочность. – Л.: Судостроение, 1981. – 312 с.

6. Колызаев Б.А., Косоруков А.И., Литвиненко В.А. Справочник по проектированию судов с динамическими принципами поддержания. - Л.: Судостроение, 1980.- 472 с.
7. Крыжевич Г.Б. Гидроупругость конструкций судна. – СПб.: ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2006.- 231 с.
8. Бородай И.К. и др. Прикладные задачи динамики судна на волнении. Л.: Судостроение, 1989.- 264 с.
9. Гирин С.Н., Фролов А.М. О дальнейшем совершенствовании требований Российского Речного Регистра к волновым нагрузкам при общем изгибе судна. Сб. науч. тр. ВГАВТ. Вып.282 – Н.Новгород: ВГАВТ, 1998. с.32-50.
10. Гирин С.Н., Фролов А.М. О влиянии некоторых волнообразующих факторов на изгибающие моменты судов смешанного плавания //Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. Вып. 22.- Н.Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО «ВГАВТ». 2007. с.113-121.
11. Kryzhevich G.B. On the nature of ship wave-induced vibration and the oscillation parametric gain phenomenon // Trans. of the Krylov Shipbuilding Research Institute «Strength and endurance of ship structures» (papers presented at Prof. P.F. Papkovitch Memorial Conference in 2000). Saint-Petersburg, 2001.
12. Kryzhevich G.B. Slamming-Induced Dynamic Deformations in Cross-Bridge Grillages on Multi-Hall Ships // Trans. of the Krylov Shipbuilding Research Institute «Strength, Reliability and Operating Life of Ship and Off-Shore Structures» papers presented at Prof. Ju. A. Shimanskiy Memorial Conference in 2001). Saint-Petersburg, 2003.
13. Kryzhevich G.B. Local Dynamic Strains in Fast Ship Structures under Slamming // Proc. Of FAST 2003 International Conference. Napoli, 2003.
14. Kryzhevich G.B. Specific Features of Global Vibration Analysis for Planing Boats and Ships Operating in Transient Conditions. // Proc. of International on Fast Sea Transportation FAST'2005. St. Petersburg, State Marine Technical University, 2005.
15. Kryzhevich G.B. Energy Dissipation in the Liquid under Fast Ship Global Vibrations and Problem of Hydroelastic Oscillation Stability. // Transactions of the Krylov Shipbuilding Research Institute «Strength and endurance of ship structures» (papers presented at Prof. I.G. Bubnov Memorial Conference in 2004). St-Petersburg, 2005.

References

1. Rossiyskiy Rechnoy Registr. Pravila (v 5-i tomakh). T.2. M.: izd-vo OOO «UP PRINT». 2019 – 432 s. (in Russ)
2. Rossiyskiy morskoy registr sudokhodstva. Pravila klassifikatsii i postroyki vysokoskorostnykh sudov. – S-Peterburg. 2018 – 205 s. (in Russ)
3. Zaytsev N.A., Maskalik A.I. Otechestvennyye suda na podvodnykh kryliakh. – L.: Su-dostroyeniye. 1967 – 363 s. (in Russ)
4. Mattes N.V., Utkin A.V. Prochnost sudov na podvodnykh kryliakh. – L.: Sudostroye-niye. 1966 – 191 s. (in Russ)
5. Ziganchenko P.P., Kuzovenkov B.P., Tarasov I.K. Suda na podvodnykh kryliakh: Kon-struirovaniye i prochnost. – L.: Sudostroyeniye.1981. – 312 s. (in Russ)
6. Kolyzayev B.A., Kosorukov A.I., Litvinenko V.A. Spravochnik po proyektirovaniyu sudov s dinamicheskimi printsipami podderzhaniya.- L.: Sudostroyeniye. 1980.- 472 s. (in Russ)
7. Kryzhevich G.B. Gidrouprugost konstruksiy sudna. – SPb.: TsNII im. akad. A.N. Krylova. 2006.- 231 s. (in Russ)
8. Boroday I.K. i dr.Prikladnyye zadachi dinamiki sudna na volnenii. L.:Sudo-stroyeniye.1989.- 264 s. (in Russ)
9. Girin S.N., Frolov A.M. O dalneysheem sovershenstvovanii trebovaniy Rossiyskogo Rechnogo Registra k volnovym nagruzkam pri obshchem izgibe sudna. Sb. nauch. tr. VGAVT. Vyp.282 – N.Novgorod: VGAVT. 1998. s.32-50. (in Russ)
10. Girin S.N., Frolov A.M. O vliyaniy nekotorykh volnoobrazuyushchikh faktorov na izgibayushchiye momenty sudov smeshannogo plavaniya. - Vestnik Volzhskoy gosudarstvennoy akademii vodnogo transporta. Vyp. 22.- N.Novgorod: Izd-vo FGOU VPO «VGAVT». 2007. s.113-121. (in Russ)
11. Kryzhevich G.B. On the nature of ship wave-induced vibration and the oscillation parametric gain phenomenon // Trans. of the Krylov Shipbuilding Research Institute «Strength and endurance of ship structures» (papers presented at Prof. P.F. Papkovitch Memorial Conference in 2000). Saint-Petersburg, 2001.

12. Kryzhevich G.B. Slamming-Induced Dynamic Deformations in Cross-Bridge Grillages on Multi-Hall Ships // Trans. of the Krylov Shipbuilding Research Institute «Strength, Reliability and Operating Life of Ship and Off-Shore Structures» papers presented at Prof. Ju. A. Shimanskij Memorial Conference in 2001). Saint-Petersburg, 2003.
13. Kryzhevich G.B. Local Dynamic Strains in Fast Ship Structures under Slamming // Proc. Of FAST 2003 International Conference. Napoli, 2003.
14. Kryzhevich G.B. Specific Features of Global Vibration Analysis for Planing Boats and Ships Operating in Transient Conditions. // Proc. of International on Fast Sea Transportation FAST'2005. St. Petersburg, State Marine Technical University, 2005.
15. Kryzhevich G.B. Energy Dissipation in the Liquid under Fast Ship Global Vibrations and Problem of Hydroelastic Oscillation Stability. // Transactions of the Krylov Shipbuilding Research Institute «Strength and endurance of ship structures» (papers presented at Prof. I.G. Bubnov Memorial Conference in 2004). St-Petersburg, 2005.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Гирин Станислав Николаевич, к.т.н., профессор, профессор кафедры теории конструирования инженерных сооружений, Волжский государственный университет водного транспорта, 603951, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, e-mail: girin.sn@vsuwt.ru

Stanislav N. Girin, Ph.D. in Engineering Science, Professor, Professor of the Department of Theory of Engineering Constructions, Volga State University of Water Transport, 5, Nesterov st, Nizhny Novgorod, 603951, e-mail: girin.sn@vsuwt.ru

Статья поступила в редакцию 08.06.2021; опубликована онлайн 15.09.2021
Received 08.06.2021; published online 15.09.2021