

DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-6-987-997

REQUIREMENTS FOR THE VESSELS OPERATION AT HEAVY-LIFT CARGOES CARRIAGE

I. S. Onishchenko^{1,2}, I. Z. Chereysky¹, I. A. Gulyaev³

¹ — CNIMF, JSC, St. Petersburg, Russian Federation

² — Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St Petersburg, Russian Federation

³ — Russian Classification Society, Moscow, Russian Federation

The approaches used by different classification societies to standardize calculated acceleration under ship motion during heavy lift cargoes transportation are analyzed in the paper. The methods of estimating the efficiency of securing devices of “non-standardized cargoes” carried on ships are investigated. The analysis of the parameters taken into account in determining the design accelerations at ship motion is carried out. Five representative vessels, which had previously carried heavy lift cargoes under different conditions, are selected. Computer modelling of these vessels motion at different course angles is performed in “SafeSea” programme, and calculated (conditional) amplitudes of motion regulated by the Rules of the Russian Classification Society are determined by “Stabedit” programme. The forced and own periods of onboard rolling are calculated in the specialised software complex “Anchored Structures” at variation of wave modes, loading states and values of metacentric height. The calculation results for representative vessels have shown a satisfactory matching of own and forced rolling periods. It is noted that in the range of $1.5 \text{ m} \leq h_{3\%} \leq 4.5 \text{ m}$ for the considered intervals of metacentric height, in most cases the forced rolling periods are slightly longer than the own ones. Based on the results of the research, the recommendations for determination of rolling amplitudes of inland and mixed navigation vessels of “P”, “O”, “M”, “O-PR”, “M-PR”, “M-SP” classes carrying heavy lift cargoes are given. The proposals on standardised design acceleration at motion of a ship carrying heavy lift cargo are also given for the mentioned classes of ships. The results of the research are included in the draft Guidelines for the assignment of design acceleration at rocking of mixed (river-sea) and inland navigation vessels and safety margins of heavy lift cargoes securing systems, developed for the Russian Classification Society.

Keywords: ship rolling, navigation safety, inland vessels, mixed navigation vessels, heavy lift cargoes, accelerations when rolling, inland waterways.

For citation:

Onishchenko, Irina S., Igor Z. Chereysky, and Ilya A. Gulyaev. “Requirements for the vessels operation at heavy-lift cargoes carriage.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.6 (2023): 987–997. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-6-987-997.

УДК 656.62; 629.017

ТРЕБОВАНИЯ К ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ТЯЖЕЛОВЕСНЫХ ГРУЗОВ

И. С. Онищенко^{1,2}, И. З. Черейский¹, И. А. Гуляев³

¹ — АО «ЦНИИМФ», Санкт-Петербург, Российская Федерация

² — ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

³ — ФАУ «Российское Классификационное Общество», Москва, Российская Федерация

В статье выполнен анализ используемых различными классификационными обществами подходов к нормированию расчетных ускорений при качке судов в процессе перевозки крупногабаритных тяжеловесных грузов. Исследованы методы оценки эффективности креплений «нестандартизированных грузов», перевозимых на судах. Выполнен анализ параметров, учитываемых при определении расчетных ускорений при качке судна. Выбраны пять судов-представителей, на которых ранее выполнялась перевозка крупногабаритных тяжеловесных грузов в различных условиях. Выполнено компьютерное моделирование качки указанных судов при различных курсовых углах в программе SafeSea, а расчетные (условные) амплитуды качки, регламентируемые Правилами Российского Классификационного Общества, определялись по программе

StabEdit. Выполнен расчет вынужденных и собственных периодов бортовой качки в специализированном программном комплексе Anchored Structures при вариации режимов волнения, состояний загрузки и значений метацентрической высоты. Результаты расчета для судов-представителей показали удовлетворительное согласование собственных и вынужденных периодов качки. Отмечается, что в диапазоне режимов волнения $1,5 \text{ м} \leq h_{3\%} \leq 4,5 \text{ м}$ для рассмотренных интервалов метацентрической высоты в большинстве случаев вынужденные периоды качки несколько больше собственных. По результатам исследования даны рекомендации по определению амплитуд качки судов внутреннего и смешанного плавания классов «Р», «О», «М», «О-ПР», «М-ПР», «М-СП», перевозящих крупногабаритные тяжеловесные грузы. Также для указанных классов судов даны рекомендации по нормируемым расчетным ускорениям при качке судна, перевозящего крупногабаритный тяжеловесный груз. Результаты исследования отражены в проекте «Руководства по назначению расчетных ускорений при качке судов смешанного (река – море) и внутреннего плавания и запасов прочности конструкций крепления крупногабаритных тяжеловесных грузов», разработанного для Российского Классификационного Общества.

Ключевые слова: качка судов, безопасность судоходства, суда внутреннего плавания, суда смешанного плавания, крупногабаритные тяжеловесные грузы, ускорения при качке, внутренние водные пути.

Для цитирования:

Онищенко И. С. Требования к эксплуатации судов при перевозке крупногабаритных тяжеловесных грузов / И. С. Онищенко, И. З. Черейский, И. А. Гуляев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 6. — С. 987–997. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-6-987-997.

Введение (Introduction)

Активное развитие Арктики, наблюдаемое в последнее десятилетие в России, повлекло за собой повсеместное наращивание отечественного потенциала технологических мощностей, при этом водный транспорт не является исключением. Строительство крупных заводов в северной части страны в большинстве случаев достигается с использованием судов различного назначения, что объясняется удаленностью месторасположения строящихся объектов от сети наземного транспорта. Особое положение в данной системе доставки грузов занимают суда внутреннего и смешанного плавания с ограниченной осадкой и нехарактерным для традиционных морских судов соотношением главных размерений, эксплуатация которых возможна на внутренних водных путях (ВВП). Как отмечается в статье [1], на основных магистральных реках Сибири гарантированные глубины в последние годы не превышали 3,2 м, в ряде случаев составляя 1,7–2,2 м.

В настоящее время возросла потребность в перевозке крупногабаритных тяжеловесных грузов (КТГ) на судах с классом Российского Классификационного Общества (РКО) по ВВП и в прибрежных морских районах [2]–[8]. При этом в правилах и нормативных документах РКО в настоящее время, в отличие от других классификационных обществ, отсутствуют какие-либо требования к назначению расчетных нагрузок на элементы крепления КТГ и корпусные конструкции. Например, в случаях перевозки КТГ на судах с классом РКО в морских районах разрядов «М-ПР» и «О-ПР», а также на ВВП разряда «М», зачастую используются требования Правил Российского морского регистра судоходства (РС), принимая во внимание, что суда с классом РС предназначены для эксплуатации в морских районах, как правило, при существенно большем ограничении по допустимой высоте волны и большем допустимом удалении от места убежища. Такой подход в этом случае связан с необоснованным завышением требований к конструкциям креплений КТГ.

На практике отсутствие адаптированных к ВВП и прибрежным морским районам требований приводит к тому, что при разработке выполняемых различными организациями проектов крепления КТГ на судах класса РКО используются различные подходы, что не обеспечивает единый уровень безопасности при решении подобных задач. В связи с этим представляет интерес исследование применяемых в различных КО подходов к назначению расчетных нагрузок, зависящих в первую очередь от ускорений при качке.

Целью данной работы является создание методики определения расчетных ускорений при качке судов внутреннего и смешанного плавания РКО при перевозке КТГ на ВВП и в прибрежных морских районах. Основной задачей при этом является оптимизация требований к креплениям КТГ путем

создания подхода, обеспечивающего равные уровни безопасности эксплуатации судов с классом РКО по сравнению с другими классификационными обществами.

Методы и материалы (Methods and Materials)

В Правилах РС в явном виде нормируются ускорения при качке судна. Расчет этих параметров является обязательным ввиду того, что оценка прочности судна выполняется с учетом ускорений при качке судна (в частности, при определении нагрузки на грузовые настилы при проверке местной прочности). В соответствии с существующей практикой эти же расчетные ускорения, как правило, используются для определения нагрузок при перевозке КТГ, в том числе для определения конструктивных элементов крепления КТГ. При этом для определения расчетных ускорений по основным направлениям качки используют коэффициенты судна φ_r или φ , учитывающие влияние эксплуатационных ограничений по району и условиям плавания судов исходя из допустимой высоты волны и удаления от места убежища на расчетные волновые нагрузки от местного и общего изгиба соответственно. Применение такого подхода для перевозок на ВВП представляется весьма условным, так как очевидно, что передаточные функции для волновых нагрузок и ускорений при качке существенно различаются.

В нормативной базе РС, регламентирующей требования к судам, перевозящим КТГ, кроме Правил существуют и другие документы, к которым в первую очередь относится Руководство РС¹. Данный нормативный документ, сформированный на основе ранее разработанных АО «ЦНИИМФ» документов², кроме общих и организационных требований содержит также технические требования к перевозке различных видов грузов (контейнеров, структурообразующих и нестандартизированных грузов). Применительно к перевозке КТГ на судах внутреннего и смешанного плавания с классом РКО может быть использован термин «нестандартизированный груз» из указанного ранее Руководства РС, под которым понимается груз, для укладки и крепления которого постоянно требуется индивидуальный подход. Для таких грузов предусматривается два метода оценки эффективности средств крепления: упрощенный и усовершенствованный.

Упрощенный метод предусматривает использование поперечного ускорения, равного $g(9,81 \text{ м/с}^2)$, и применяется для расчета сил, действующих на суда любых размерений независимо от места размещения груза, остойчивости и условий погрузки, сезона и района плавания. Однако этот метод не учитывает ни отрицательного воздействия угла наклона найтовых и неравномерного распределения сил между средствами крепления, ни благоприятного влияния сил трения. Особенности условий эксплуатации судов ограниченного района плавания также не учитываются.

При использовании *усовершенствованного метода* внешние силы, действующие на груз в продольном, поперечном и вертикальном направлениях, определяются с учетом инерционных нагрузок от перевозимого груза, а также продольных и поперечных сил, возникающих под действием ветрового давления и удара волн. Расчетные ускорения определяются в зависимости от положения груза по длине и высоте судна, длины и скорости судна, отношения ширины судна к метацентрической высоте. Регламентируемые при использовании усовершенствованного метода расчетные ускорения при качке ориентированы на суда неограниченного района плавания. При этом в рассматриваемом «Руководстве по разработке Наставлений по креплению грузов»¹ оговаривается, что при эксплуатации судна в ограниченном районе плавания допускается снижение величин ускорений с учетом времени года и продолжительности рейса. Однако алгоритм такого снижения в данном документе не прописан.

Наряду с Правилами РС требования к морской перевозке грузов регламентируются также «Правилами морской перевозки крупногабаритных и тяжеловесных грузов»² (далее — Правила) Министерства транспорта РФ, содержащими как организационные, так и технические требования при перевозке грузов, в частности КТГ. Для назначения нагрузок от КТГ, перевозимых на судах

¹ Руководство по разработке Наставлений по креплению грузов. НД № 2-030101-008. СПб.: Российский морской регистр судоходства, 2022. 39 с.

² Правила морской перевозки крупногабаритных и тяжеловесных грузов (КТГ). РД 31.11.21.24–96. СПб.: ЦНИИМФ, 1996. 45 с.

и понтонах, данными Правилами регламентируются безразмерные проекции суммарной силы от веса и инерции по различным направлениям, зависящие от длины судна, наличия скуловых килей и некоторой расчетной высоты волны $h_{3\%}$. Для судов неограниченного района плавания принято значение $h_{3\%} = 11$ м. Если перевозка выполняется в ограниченном районе плавания, то предусматривается корректировка расчетной высоты волны. В этом случае расчетные значения высот волн 3 %-й обеспеченности $h_{3\%}$ определяются в соответствии с официальными справочными данными, содержащими сведения по долгосрочным распределениям режимов волнения из условия их наблюдения не более одного-двух дней в сезон (3 мес.), т. е. зависят только от долгосрочных характеристик волнения и не связаны с назначенным для судна ограничением по волнению. Также в Правилах оговаривается, что при желании получить более точные значения сил допускается уточнять их по результатам полного расчета качки.

Правилами Bureau Veritas (BV), Lloyd's Register (LR), DNV-GL, так же, как и Правилами РС, регламентируются все составляющие ускорений, используемые при назначении местных нагрузок. Однако во всех рассмотренных нормативных документах как для определения ускорений при различных видах качки судов, так и для определения суммарных ускорений по вертикальному, поперечному и горизонтальному направлениям, используются различные зависимости.

Расчетные амплитуды качки судна, регламентируемые нормативами классификационных обществ — членом МАКО и РС применительно к судам неограниченного района плавания, ориентированы на Международную конвенцию о грузовой марке (КГМ-66/88). Учет особенностей эксплуатации судов ограниченного района плавания, в свою очередь, выполняется в соответствии с национальными требованиями в зависимости от устанавливаемых эксплуатационных ограничений. При этом требования классификационных обществ основаны на различных подходах к обеспечению безопасности плавания таких судов при уменьшенных по сравнению с судами неограниченного района плавания эксплуатационных ограничениях и, как следствие, требованиях к мореходным характеристикам (прочность, остойчивость, надводный борт).

Целесообразно подробнее рассмотреть требования ведущих классификационных обществ, под наблюдением которых находятся суда, аналогичные российским судам смешанного и внутреннего плавания:

РС. Правилами РС устанавливается допустимое удаление от места убежища в зависимости от типа моря (закрытое или открытое), а для судов смешанного *река – море* плавания *R3-RSN* регламентированы границы разрешенных географических районов и сезоны эксплуатации. Также для судов ограниченного и смешанного (*река – море*) плавания предусмотрено ограничение по разрешенному режиму волнения.

BV. В Правилах BV для судов ограниченных районов плавания устанавливается допустимое удаление судов от мест убежища в зависимости от зон (зимняя, летняя, тропическая), определенных в КГМ-66/88.

LR. В качестве эксплуатационных ограничений в Правилах LR регламентированы такие факторы, как разгон ветра, закрытая вода (акватория, где разгон составляет 6 морских миль или менее), приемлемая погода (сила ветра шесть баллов или менее по шкале Бофорта, в достаточной степени связанная с состояниями моря так, чтобы гарантировать, что забортная вода попадает на палубу судна только через редкие промежутки времени или вообще не поступает). Однако каких-либо конкретных смягчающих коэффициентов для таких ограничений не приводится. Лишь при определении общих волновых нагрузок оговаривается, что учитывающий условия плавания коэффициент может приниматься не менее 0,5 к соответствующим нагрузкам, регламентируемым для судов неограниченного района плавания.

DNV-GL. В документах DNV-GL, зачастую применяемых на практике при решении вопросов о креплении КТГ при совершении длительных или международных перевозок, отмечается, что полученные из Правил DNV-GL для классификации судов ускорения основаны на нагрузках, имеющих вероятность 10^{-8} . Эта обеспеченность представляется завышенной для морских операций, имеющих, как правило, единичный характер. В связи с этим оговаривается возможность уменьшения уско-

рений, используемых для назначения максимальных ожидаемых (расчетных) волновых нагрузок, с учетом фактических условий проведения операции. В этом случае допустимое уменьшение расчетных ускорений определяется длиной судна L и длительностью операции T_{pop} . Регламентируемые Правилами DNV-GL редукционные коэффициенты приведены в табл. 1.

Таблица 1

Редукционные коэффициенты, назначаемые к расчетным ускорениям

T_{pop} , сут.	$T_{pop} \leq 7$	$7 < T_{pop} \leq 30$	$30 < T_{pop} \leq 180$	$T_{pop} > 180$
Без ограничений	0,67	0,67	0,80	1,0
Суровые условия	0,67	0,80	0,90	1,0

При этом Правилами DNV-GL оговаривается, что для транспортных средств, которые должны укрываться в местах убежища в случае прогнозирования экстремальных погодных условий, может применяться коэффициент при продолжительности операции $T_{pop} \leq 7$ сут. Приведенные в табл. 1 значения редукционных коэффициентов применимы для судов длиной 100 м и более. Для судов длиной менее 50 м уменьшение расчетных ускорений не допускается, а для промежуточных длин судов определяется линейной интерполяцией.

Правилами DNV-GL также предусмотрена принципиальная возможность введения дополнительного ограничения по волнению на конкретную перевозку. При этом значительная высота волны h_s^1 в случае необходимости может быть уменьшена до $h_s = 6,0$ м ($h_{3\%} = 8,0$ м) или $h_s = 4,0$ м ($h_{3\%} = 5,3$ м).

Необходимо обратить внимание, что для условий перевозки на ВВП и в защищенных водах период амплитуды и вертикальные ускорения при качке нормативами DNV-GL не регламентируются, а расчетные нагрузки в каждом направлении принимаются как наибольшие, определяемые из следующих статических воздействий на судно, а именно:

- 0,1g статической нагрузки параллельно палубе;
- статического крена, вызванного расчетным ветром;
- наибольшего крена при повреждении одного отсека.

Следует отметить, что на основе результатов анализа, выполненного в статье [9] на основе работы [10], показана схожесть подходов к классификации внутренних водных бассейнов, используемых при разработке Правил РКО и европейских нормативных документов [11]. Таким образом, по результатам выполненного анализа отмечается, что подходы к назначению расчетных ускорений, используемых при определении нагрузок на средства крепления при перевозке КТГ в российских и иностранных нормативных документах для судов ограниченных районов плавания существенно отличаются, что связано в первую очередь с несопоставимыми регламентируемыми эксплуатационными ограничениями.

Результаты (Results)

В большинстве случаев расчетные ускорения при качке назначаются с учетом долгосрочных характеристик волнения в разрешенных районах плавания, а также в ряде случаев зависят от устанавливаемых ограничений по допустимому для эксплуатации режиму волнения. Однако в последнем случае, как правило, рассматриваемые в документах^{2,3} ограничения по волнению существенно превышают значения, актуальные для судов с классом РКО при их эксплуатации на ВВП и в ограниченных прибрежных морских районах. В связи с ранее изложенным опыт нормирования

¹ Значительная высота волны h_s представляет собой среднюю высоту волны из 1/3 наиболее высоких волн в рассматриваемом режиме волнения. Из соотношения закона Релея, справедливого на установившемся волнении на глубокой воде, $h_{3\%} = 1,33h_s$.

² Правила классификации и постройки морских судов. Ч. II: Корпус. НД № 2-020101-174. СПб.: Российский Морской Регистр Судоходства, 2023.

³ DNV-GL. Noble Denton Marine Services. DNVGL-ST-N001.

амплитуд качки и ускорений, непосредственно связанных с нагрузками на средства крепления КТГ, в рассмотренных ранее нормативных документах различных классификационных обществ, по всей видимости, неприменим к задаче назначения расчетных нагрузок, осуществляющих их перевозку на ВВП РФ при достаточно жестких погодных ограничениях.

Для решения рассматриваемой задачи выполнены прямые расчеты качки для пяти проектов судов-представителей, для которых АО «ЦНИИМФ» ранее выполнялись проекты перевозки КТГ в различных условиях. Необходимо отметить, что такой подход к назначению расчетных нагрузок на средства крепления при перевозке КТГ предусмотрен различными нормативными документами, в том числе Правилами морской перевозки КТГ².

Сведения по выбранным судам-представителям приведены в табл. 2. Для каждого проекта расчеты выполнялись для случаев загрузки на полную осадку по грузовую марку, а также для частичной загрузки. Также для каждого проекта был определен расчетный диапазон значений метацентрической высоты (МЦВ), при этом верхняя граница диапазона определялась как наибольшая МЦВ, при которой выполняются требования к остойчивости судна, регламентируемые Правилами РКО. Нижняя граница МЦВ расчетного диапазона соответствует эксплуатационному случаю загрузки судна, принятому на основе анализа имеющихся проектов перевозки КТГ на рассматриваемых судах-представителях.

Таблица 2

Основные сведения по судам-представителям

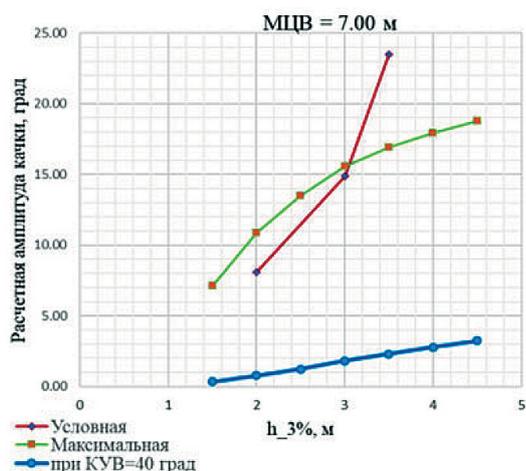
Характеристики	Проекты судов				
	326,1	P168	2–95A/R	16801	SP8916
Длина, м	82,0	84,0	114	85,7	89,25
Ширина, м	11,94	12,3	13	16,5	16,5
Высота борта, м	4,0	3,5	5,5	3,3	4,5
Осадка (в грузу), м	3,35	2,63	3,77	2,25	3,2
Водоизмещение (в грузу), т	2670	2310	4646	2840	4415
Осадка (частичная загрузка), м	1,76	1,83	2,6	1,75	2,2
Водоизмещение (частичная загрузка), т	1320	1560	3108	2160	2950

Расчеты амплитуд качки для режимов волнения $h_{3\%}$ в диапазоне 1,5–4,5 м и при различных курсовых углах (КУВ) по отношению к основным распределениям направления развития волнения (0–180° через 10°) выполнялись с использованием программного обеспечения SafeSea «Оценка и выбор безопасных режимов штормового плавания» (Свидетельство о гос. регистрации программы № 2009612756), разработанной в АО «ЦНИИМФ». Используемый для расчетов диапазон режимов волнения $h_{3\%}$ соответствует ограничениям по волнению, регламентируемым Правилами РРР для судов внутреннего и смешанного плавания различных классов.

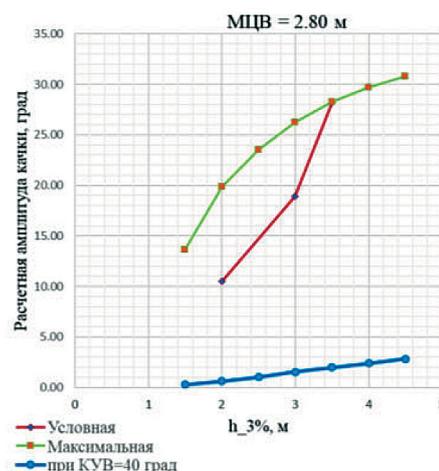
Расчетные (условные) амплитуды качки, регламентируемые Правилами РКО, для каждого из указанных судов-представителей при вариации МЦВ в указанных ранее границах и $h_{3\%}$ определялись по программе StabEdit «Разработка оптимального грузового плана судна с расчетами посадки, остойчивости и прочности» (Сертификат об одобрении компьютерного приложения № 26 от 28.04.2017 г.). В качестве примера на рисунке приведены результаты расчета амплитуд качки, полученные на основе результатов прямых расчетов и согласно Правилам РКО при полной загрузке для судна-площадки пр. 16801 (МЦВ = 7,0 м) и трюмного судна пр. P168 (МЦВ = 2,8 м).

Результаты выполненных расчетов показали, что для судов классов «О», «О-ПР», «М» и «М-ПР» для большинства рассматриваемого диапазона изменения МЦВ полученные амплитуды качки по программе SafeSea в ряде случаев оказываются выше регламентируемых для судов указанных классов РКО эксплуатационных ограничений.

а)



б)



Сравнение амплитуд качки:

а — для баржи-площадки пр. 16801; б — для трюмного судна пр. Р168

Для судов указанных классов при назначении амплитуды качки, предложенной для определения ускорений при расчете прочности креплений КТГ, рекомендуется применять условные расчетные амплитуды качки, регламентируемые Правилами РКО, на класс выше, т. е. для судов классов «Р» — в соответствии с требованиями для судов класса «О», для судов классов «О» и «О-ПР» — как для судов классов «М» («М-ПР»), для судов классов «М» («М-ПР») — как для судов класса «М-СП».

Учитывая практику, используемую DNV-Gl при назначении нагрузок от перевозимого груза на ВВП и в защищенных водах, для судов класса «Р» или более высокого класса, выполняющих перевозку КТГ в бассейнах разряда «Р» с ограничением по допустимому режиму волнения $h_{1\%} \leq 1,2$ м, значения нагрузок рекомендовано определять как нагрузку от статического крена, принимаемого наибольшим из следующих:

- от статического действия ветра при условном расчетном статическом давлении ветра, регламентированном Правилами РКО для судов класса «Р»;
- от крена, возникающего при затоплении каждого отсека в отдельности.

В качестве альтернативы предлагаемого увеличения расчетной амплитуды качки для судов классов «О» («О-ПР») и «М» («М-ПР»), используемой для определения ускорений при перевозке КТГ в бассейнах соответствующих разрядов, допускается возможность предусмотреть уменьшение допустимой высоты волны на 0,5 м по сравнению с предусмотренной классом судна. По результатам анализа для судов класса «М-СП» предложено не предъявлять дополнительные требования к амплитуде качки по отношению к регламентируемой Правилами РКО к условной расчетной амплитуде качки для судов этого класса. Также, по аналогии с рядом других нормативных документов, полагается возможным амплитуды качки, используемые для разработки требований к креплению КТГ, определять на основании специальных расчетов, выполненных по согласованным с РКО программам.

При разработке требований РКО к расчетным ускорениям, используемым при назначении нагрузок на средства крепления КТГ, необходимо определиться с расчетными значениями периодов качки. В практике РС при определении расчетных ускорений при качке в качестве периода T_b используется период качки, определяемый согласно следующей зависимости:

$$T_b = cB / h. \quad (1)$$

В общем виде в Правилах РС (ч. «Корпус») рекомендуется принимать $c = 0,8$, $h \approx 0,07V$. Эти приближенные значения c и h ориентированы, по всей видимости, на традиционные морские суда. При этом в ч. «Остойчивость» РС при проверке остойчивости по критерию погоды для определения

периода качки применяется аналогичная (1) зависимость для определения периода качки с использованием следующих зависимостей по назначению параметров h и c , а, именно:

h — исправленная метацентрическая высота с поправкой на свободные поверхности жидких грузов, м;

c — числовой коэффициент, определяемый по формуле

$$c = 0,373 + 0,023B/d - 0,043L_w/l/100, \quad (2)$$

где d — осадка судна, м;

L_w — длина судна по ватерлинии, м.

Расчетные периоды качки по формулам, аналогичным указанным в Правилах РС, определяются также и в международном кодексе¹, в котором отмечается, что периоды качки, определяемые по приведенным ранее зависимостям (1) и (2), соответствуют собственным периодам качки. Однако в отличие от рассматриваемых нормативных документов, в нормативной базе РКО не приводятся зависимости для определения периодов качки. С учетом ранее изложенного была выполнена оценка собственных и вынужденных периодов качки указанных судов-представителей (см. табл. 2) с обводами корпуса, характерными как для судов внутреннего плавания, так и схожими с традиционными морскими судами.

Анализ качки объектов под воздействием внешних нагрузок выполнялся с помощью специализированного программного комплекса Anchored Structures (рассматривалось положение судна лагом к волне). Для каждого из рассматриваемых судов-представителей для указанных ранее диапазонов изменения МЦВ и $h_{3\%}$ были выполнены расчеты собственного периода бортовой качки $T_{\text{собств}}$ и периода вынужденной качки, реализованной на волнении заданной интенсивности $T_{\text{вынужд}}$. Результаты расчетов показали удовлетворительное согласование собственных и вынужденных периодов качки. Так, для рассмотренного диапазона МЦВ применительно к рассматриваемым проектам судов при диапазоне режимов волнения $1,5 \text{ м} \leq h_{3\%} \leq 4,5 \text{ м}$ максимальное превышение собственных периодов качки от вынужденных не превышает 2,6 %. В большинстве случаев собственные периоды качки несколько меньше вынужденных. В этом случае максимальное различие составляет 9,4 %.

Результаты выполненных расчетов показали также удовлетворительное совпадение прямого расчета собственных периодов бортовой качки с соответствующими периодами, выполненного по зависимостям (1), (2), в соответствии с регламентированными нормативными документами^{6,7}, которые были приняты в качестве расчетных при разработке требований РКО.

Определение линейных ускорений при бортовой качке судов в вертикальном и горизонтально-поперечном направлениях предложено определять по следующим формулам, использованным для этой цели в Правилах РС:

– на вертикальное направление:

$$a_{bz} = (2\pi / T_b)^2 \theta y_0; \quad (3)$$

– на горизонтально-поперечное направление:

$$a_{by} = (2\pi / T_b)^2 \theta z_0, \quad (4)$$

где y_0, z_0 — отстояние рассматриваемой точки от диаметральной плоскости и от горизонтальной плоскости, проходящей через центр тяжести судна, соответственно, м;

θ — расчетный угол качки, рад.;

T_b — период бортовой качки, сек.

Примечание. Значения θ и T_b при использовании этих зависимостей определяются с учетом приведенных ранее рекомендаций.

Дополнительно рассмотрен вопрос о нормировании ускорений при продольной качке судов. Анализ имеющихся исследований показал, что в отличие от бортовой килевая качка для судов с характерными для судов внутреннего и смешанного плавания практически не исследовалась.

¹ Международный кодекс остойчивости судов в неповрежденном состоянии 2008 года (Кодекс ОНС 2008 года). 76 с.

Однако ускорения при этом виде качки создают дополнительные нагрузки на корпусные конструкции и средства крепления КТГ, в первую очередь, для судов высоких классов РКО («М», «М-ПР», «М-СП»). С учетом изложенного ранее, предложено при нормировании нагрузок от перевозимых КТГ при продольной качке судна ориентироваться на соблюдение требований Правил РС для сопоставимых классов, а именно:

– для судов классов «М» и «М-ПР» — для судов РС с символом ограничения района плавания $R3$;

– для судов классов «М-СП3,5» и «М-СП4,5» — для судов РС с символом ограничения района плавания $R3-RSN$ и $R2-RSN(4,5)$.

Для судов низких классов («Р», «О», «О-ПР») килевую качку предложено не учитывать по аналогии с требованиями DNV-GL для судов, эксплуатируемых на ВВП и в защищенных водах.

С учетом ранее изложенного предложены следующие расчетные зависимости к нормированию ускорений при продольной качке:

– ускорение в горизонтально-продольном направлении:

$$a_x = (2\pi/T_k)^2 \psi z_0; \quad (5)$$

– ускорение в вертикальном направлении при килевой качке:

$$a_z = (2\pi/T_k)^2 \psi x_0, \quad (6)$$

где z_0, x_0 — отстояние рассматриваемой точки от горизонтальной плоскости и от поперечной плоскости, проходящей через центр тяжести судна, соответственно, м;

ψ — расчетная амплитуда килевой качки, рад., определяемая в соответствии с указаниями Руководства РС;

T_k — период килевой качки, с.

Расчетную амплитуду килевой качки предлагается определять по следующей зависимости:

$$\psi = 0,23\alpha / (1 + L \cdot 10^{-2}), \quad (7)$$

где $\alpha = 0$ — для судов классов «Р», «О» и «О-ПР»;

$\alpha = 0,60 - 0,20L \cdot 10^{-2}$ — для судов классов «М», «М-ПР»;

$\alpha = 0,71 - 0,22L \cdot 10^{-2}$ — для судов класса «М-СП3,5»;

$\alpha = 0,92 - 0,22L \cdot 10^{-2}$ — для судов класса «М-СП4,5».

Коэффициент α формулы (7) получен из указанных ранее соотношений для судов с различными символами ограничений районов плавания РС.

Период килевой качки определяется по следующей формуле:

$$T_k = \frac{0,8\sqrt{L}}{1 + 0,4V_0(L \cdot 10^{-3} + 0,4) / \sqrt{L}}, \quad (8)$$

где V_0 — наибольшая скорость судна на тихой воде, уз., при осадке по ватерлинию, соответствующая посадке судна при перевозке КТГ и номинальной мощности энергетической установки.

В качестве запасов прочности элементов креплений КТГ предложено использовать рекомендации, приведенные в анализируемых в данной работе Руководстве и Правилах РС, разработанных АО «ЦНИИМФ».

Выводы (Summary)

На основе выполненного в работе исследования можно сделать следующие выводы:

1. Исследование применяемых в международных нормативных документах подходов к регламентированию расчетных ускорений при качке судов при перевозке КТГ показало, что такие методики в российских и зарубежных источниках имеют существенные различия, что объясняется разницей в эксплуатационных ограничениях судов. При этом действующие в нормативных документах методики не учитывают особенности эксплуатации судов внутреннего и смешанного плавания, а ориентированы на морские суда.

2. Выполненные расчеты амплитуд качки для судов — представителей внутреннего и смешанного плавания, на которых ранее выполнялась перевозка КТГ, позволили разработать предложения по нормированию расчетных ускорений при качке судна, перевозящего КТГ. Результаты выполненного исследования реализованы в проекте «Руководства по назначению расчетных ускорений при качке судов внутреннего и смешанного (*река — море*) плавания и запасов прочности конструкций крепления крупногабаритных тяжеловесных грузов», которое прошло обсуждение на корпусной секции Научно-технического совета при ФАУ РКО и рекомендовано к внедрению в нормативную базу РКО.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Синицын М. Г. Оценка транспортных возможностей внутренних водных путей / М. Г. Синицын, Г. Я. Синицын // Научные проблемы водного транспорта. — 2022. — № 72. — С. 189–197. DOI: 10.37890/jwt.vi72.284.

2. Остапарченко Е. А. Определение транспортных рисков при перевозке крупногабаритных и тяжеловесных грузов / Е. А. Остапарченко // Сборник научных статей национальной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»: в 2 т. — СПб.: ГУМРФ им. адм. С. О. Макарова, 2018. — Т. 2. — С. 76–83.

3. Шабров В. Н. Обоснование эффективности комбинированных перевозок автомобилей с участием речного транспорта: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.19 / В. Н. Шабров. — Н. Новгород, 2017. — 181 с.

4. Роменкова В. А. Современные архитектурно-конструктивные типы судов для перевозки крупногабаритных и тяжеловесных грузов / В. А. Роменкова, А. Д. Бурменский // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: материалы III Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: 06–10 апреля 2020 года. — Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре гос. ун-т, 2020. — В 3 ч. — Ч. 1. — С. 446–448.

5. Буров В. И. Основные проблемы и пути их решения, возникающие при мультимодальной перевозке крупногабаритных и тяжеловесных грузов из стран ближнего и дальнего зарубежья в регионы Российской Федерации / В. И. Буров // Транспортное дело России. — 2017. — № 4. — С. 106–108.

6. Егоров Г. В. Анализ состояния и путей развития внутреннего водного транспорта России / Г. В. Егоров, Ю. И. Матвеев, Г. Н. Чуплыгин, В. Н. Шабров // Речной транспорт (XXI век). — 2021. — № 3 (99). — С. 39–44.

7. Костров В. Н. Анализ современного состояния и перспектив развития перевозок крупногабаритных и тяжеловесных грузов на водном транспорте / В. Н. Костров, Р. С. Крайнов // Транспорт. Горизонты развития: труды 1-го Междунар. науч.-промышл. форума. — Н. Новгород: Волжский гос. ун-т водного транспорта, 2021. — С. 8.

8. Онищенко И. С. Назначение эксплуатационных ограничений для судов портового плавания на внутренних водных путях / И. С. Онищенко, В. В. Каретников // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2023. — Т. 15. — № 3. — С. 455–463. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-3-455-463.

9. Онищенко И. С. Сопоставление подходов Российского Речного Регистра и Европейской экономической комиссии к определению разрядности внутренних водных бассейнов: сб. науч. тр. АО «ЦНИИМФ» / И. С. Онищенко, А. Н. Паранюк. — СПб.: АО «ЦНИИМФ», 2021. — С. 130–135.

10. Сравнительный анализ требований Правил Российского Речного Регистра и Европейских предписаний к судам внутреннего плавания: отчет по теме. — М.: ФГУ «Российский Речной Регистр», Центр разработки правил, 2009. — 409 с.

11. Рекомендации, касающиеся согласованных на европейском уровне технических предложений, применимых к судам внутреннего плавания / Резолюция № 61. — Организация Объединенных Наций, 2006. — 242 с.

REFERENCES

1. Sinitsyn, M. G., and G. Y. Sinitsyn. “Assessment of the transport capabilities of inland waterways.” *Russian Journal of Water Transport* 72 (2022): 189–197. DOI: 10.37890/jwt.vi72.284.

2. Ostaparchenko, E.A. “Opredelenie transportnykh riskov pri perevozke krupnogabaritnykh i tyazhelovesnykh грузов.” *Sbornik nauchnykh statei natsional'noi nauchno-prakticheskoi konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo*

sostava FGBOU VO «GUMRF imeni admirala S. O. Makarova». Vol. 2. SPb.: Gosudarstvennyi universitet morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova, 2018. 76–83.

3. Shabrov, V. N. Obosnovanie effektivnosti kombinirovannykh perevozok avtomobilei s uchastiem rechnogo transporta. PhD diss. N. Novgorod, 2017.

4. Romenkova, V. A., and A. D. Burmenskiy. “Modern architectural-constructive types of vessels for transportation of large and heavy cargo.” *Molodezh' i nauka: aktual'nye problemy fundamental'nykh i prikladnykh issledovaniy: Materialy III Vserossiiskoi natsional'noi nauchnoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh*. Vol. Chast' 1. Komsomol'sk-na-Amure: Komsomol'skii-na-Amure gosudarstvennyi universitet, 2020. 446–448.

5. Burov, V. “The main problems and solutions to them arising from the multimodal transportation of bulky and heavy cargo from the near and far abroad to the regions of the Russian Federation.” *Transport business of Russia* 4 (2017): 106–108.

6. Egorov, G., Y. Matveev, G. Chuplygin, and V. Shabrov. “The analysis of condition and ways of development of inland water transport in Russia.” *River transport (XXIst century)* 3(99) (2021): 39–44.

7. Kostrov, V. N., and R. S. Krainov. “Analysis of the current state and prospects for the development of large and heavy cargo transportation by water transport.” *Transport. Gorizonty razvitiya: Trudy I-go Mezhdunarodnogo nauchno-promyshlennogo foruma*. Nizhnii Novgorod: Volzhskii gosudarstvennyi universitet vodnogo transporta, 2021.

8. Onishchenko, Irina S., and Vladimir V. Karetnikov. “Designation of operational restrictions for harbour ships on inland waterways.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 15.3 (2023): 455–463. DOI: 10.21821/2309-5180-2023-15-3-455-463.

9. Onishchenko, I.S., and A. N. Paranyuk. “Sopostavlenie podkhodov Rossiiskogo Rechnogo Registra i Evropeiskoi ekonomicheskoi komissii k opredeleniyu razryadnosti vnutrennikh vodnykh basseinov.” *Sbornik nauchnykh trudov AO “TsNIIMF”*. SPb.: AO “TsNIIMF”, 2021. 130–135.

10. Sravnitel'nyi analiz trebovaniy Pravil Rossiiskogo Rechnogo Registra i Evropeiskikh predpisaniy k sudam vnutrennego plavaniya. Report. M.: FGU «Rossiiskii Rechnoi Registr», Tsentr razrabotki pravil, 2009.

11. *Recommendations on Harmonized Europe-wide Technical Requirements for Inland Navigation Vessels. Resolution No. 61, Revision 2*. Geneva: United Nations, 2019.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Онищенко Ирина Станиславовна —
заведующий сектором, аспирант
Научный руководитель:
Каретников Владимир Владимирович
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала
С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
ул. Двинская, 5/7
АО «ЦНИИМФ»
191015, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
ул. Кавалергардская, д. 6, лит. А
e-mail: OnishchenkoIS@cniimf.ru
Черейский Игорь Зиновьевич —
заместитель генерального директора
АО «ЦНИИМФ»
191015, Российская Федерация, г. Санкт-Петербург,
ул. Кавалергардская, д. 6, лит. А
e-mail: Stabedit@cniimf.ru
Гуляев Илья Александрович —
кандидат технических наук,
начальник корпусного отдела
ФАУ «Российское Классификационное общество»
109240, Российская Федерация, г. Москва,
Яузская улица, д. 12
e-mail: guliaev@rfclass.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Onishchenko, Irina S. —
Head of Sector, postgraduate
Supervisor:
Karetnikov, Vladimir V.
Admiral Makarov State University of Maritime
and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg 198035,
Russian Federation
CNIIMF, JSC
6A Kavalergardskaya Str., St. Petersburg, 191015,
Russian Federation
e-mail: OnishchenkoIS@cniimf.ru
Chereysky, Igor Z. —
Deputy General Director
CNIIMF, JSC
6A Kavalergardskaya Str., St. Petersburg, 191015,
Russian Federation
e-mail: stabedit@cniimf.ru
Gulyaev, Ilya A. —
PhD,
Head of Hull Department
Russian Classification Society
12, Yauzskaya Str., Moscow, 109240,
Russian Federation
e-mail: guliaev@rfclass.ru

Статья поступила в редакцию 26 октября 2023 г.
Received: October 26, 2023.