

УДК 629.5.018.7

DOI: 10.37890/jwt.vi74.344

Изменение периодичности проведения опыта кренования для малых рыболовных судов в процессе их эксплуатации

Б.С. Гуральник¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8643-6571>

И.В. Якута¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9441-0443>

¹*Балтийская государственная академия рыбопромыслового флота, г. Калининград, Россия*

Аннотация. Потеря судном остойчивости относится к категории самых опасных катастроф; в мире ежегодно от опрокидывания погибает несколько судов, а в отдельные годы их число измеряется десятками. Поэтому на судах должно осуществляться ведение постоянного контроля за основными параметрами остойчивости. В процессе эксплуатации происходит увеличение водоизмещения и аппликаты центра тяжести порожних судов. Этот рост происходит вследствие ремонта, модернизации, приведения судна в соответствие с новыми требованиями Конвенций ИМО, улучшения условий труда и быта. Анализ протоколов опытов кренований судов МРТК типа «Балтика», показал, что их водоизмещение выросло на 0,5–14,8 тонн, увеличение аппликаты центра тяжести составило около 5,47 сантиметров, а максимальное приращение достигло 15 сантиметров. Такие изменения характеристик судна порожнем могут привести к нарушению остойчивости судов в эксплуатационных случаях нагрузки. В статье выполнены расчеты изменения водоизмещения и аппликаты центра тяжести порожних судов для МРТК типа «Балтика» и СРТМ (пр. 333) типа «Оболонь» при наихудшем с точки зрения остойчивости варианте нагрузки. Анализ построенных графиков изменения диаграммы статической остойчивости (ДСО) для МРТК типа «Балтика» показал, что за 10 лет эксплуатации максимальное плечо ДСО уменьшилось на 0,05 м, а изменение аппликаты центра тяжести судна порожнем составило 0,1 м. У СРТМ типа «Оболонь», имеющего большее водоизмещение, максимальное плечо ДСО уменьшилось на 0,038 м, а изменение аппликаты центра тяжести судна порожнем составило 0,05 м. Все это говорит о том, что выполнять опыт кренования для малых рыболовных судов надо чаще, чем раз в 10 лет.

Ключевые слова: потеря остойчивости, водоизмещение судна порожнем, аппликата центра тяжести, контроль остойчивости, рыболовное судно.

Changing the frequency of heeling test for small fishing vessels during their operation

Boris S. Guralnik¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8643-6571>

Irina V. Yakuta¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9441-0443>

¹*Baltic Fishing Fleet State Academy, Kaliningrad, Russia*

Abstract. Loss of stability of the vessel belongs to the category of one of the most dangerous disasters. In the world several ships are lost each year from capsizing, and in some years the number is measured in tens. Therefore, the ships should carry out continuous monitoring of the main parameters of stability. The displacement and the vertical center of gravity of empty vessel increase during operation. This increase is due to repairs, modernization, bringing the vessel into compliance with the new requirements of the IMO Conventions, and

improvements in working and living conditions. Heeling test analysis from Baltika type vessels showed their displacement increase by 0,5-14,8 tones and vertical center of gravity increase by 5,47 centimeters, the maximum increase was 15 centimeters. Such changes in the characteristics of an empty vessel may result in vessel stability loss in operational load cases. The article contains the calculations concerning the changes of the displacement and vertical center of gravity of the empty Baltika type vessel and Obolon type vessel (333 design) under the worst, in terms of stability, load conditions. Analysis of the graphs concerning the changes of static stability curve for Baltika type vessel showed, that during 10 years of operation, maximum static stability lever decreased by 0,05 m, and the change of the gravity vertical center of the empty vessel was 0,1 m. For Obolon type vessel having large displacement the maximum static stability lever decreased by 0,038 m and the change of the gravity vertical center of the empty vessel was 0,05 m. All this suggests the idea that heeling test for small fishing vessels should be carried out more frequently than every 10 years.

Keywords: loss of stability, displacement of the empty vessel, vertical center of gravity, stability control, fishing vessel.

Введение

Анализ аварийной статистики за многие годы показывает, что аварии от потери судном остойчивости происходят по разным причинам и протекают различным образом. Они могут происходить вследствие частичной или полной потери остойчивости. Причиной этого может быть неправильное составление грузового плана, т.е. ошибочное распределение грузов, которое приводит к чрезмерно высокому положению центра тяжести судна, результатом чего является слишком малая метацентрическая высота или низкая и короткая диаграмма статической остойчивости [1]. Кроме того, в процессе эксплуатации происходит увеличение водоизмещения и аппликаты центра тяжести порожних судов. Этот рост происходит вследствие ремонта, модернизации, приведения судна в соответствие с новыми требованиями Конвенций ИМО, улучшения условий труда и быта.

Статистика показывает, что 46% аварий от потери остойчивости произошли с малыми судами длиной от 40 до 60 м. Хотя в истории судоходства есть печальные случаи гибели от потери остойчивости и крупных судов. Одна из последних крупных аварий произошла с большим автономным морозильным траулером «Дальний Восток», который затонул в ночь на 2 апреля 2015 года в Охотском море. Траулер ушел под воду менее чем за 15 минут, не успев подать сигнал SOS. Крушение унесло жизни 69 человек. Основной причиной катастрофы называется нарушение правил вылова рыбы, которое привело к потере остойчивости судна. 27 января 2013 года по похожему сценарию в Японском море потерпело кораблекрушение краболовное судно «Шанс-101», а 26 мая 2012 года в Беринговом море пошёл на дно большой морозильный рыболовецкий траулер «Капитан Болсуновский».

Примерно 50% аварий от потери остойчивости происходит внезапно, 31% – в результате медленного накренения, 19% – от затопления с креном. Полностью спасти экипаж удается только в 29% случаев гибели судов от опрокидывания, в 23% случаев экипаж погибает полностью [1].

На протяжении многих лет ведутся теоретические и экспериментальные исследования проблем остойчивости судна. В этом направлении больших результатов добились отечественные ученые Луговский В.В., Власов В.В., Благовещенский С.Н., Бородай И.К., Севастьянов Н.Б., Нечаев Ю.И., Некрасов В.А. и многие другие. Проблема обеспечения остойчивости на судах по сей день остается актуальной.

Оценка остойчивости рыболовных судов чаще всего сводится к сравнению аппликаты центра тяжести судна с её критическим значением. На некоторых типах судов контроль остойчивости в эксплуатационных случаях нагрузки выполняется путём сравнения рассчитанного значения поперечной метацентрической высоты с её предельно-допустимым значением.

Ошибки при вычислении аппликаты центра тяжести могут явиться причиной аварии судна, поэтому их анализ имеет большое значение для обеспечения безопасности мореплавания. Необходима оценка как систематических ошибок, вызванных изменениями водоизмещения и аппликаты центра тяжести судов порожнем в процессе их эксплуатации, так и случайных ошибок, вызванных погрешностями при определении масс и аппликат центров тяжести переменных грузов.

Материалы и методы

При расчетах параметров устойчивости для вычисления аппликаты центра тяжести судна используют формулу:

$$Z_G = \frac{M_0 Z_{G0} + \sum_{i=1}^n m_i z_i}{M} \quad (1)$$

где M_0 и Z_{G0} – водоизмещение и аппликата центра тяжести судна порожнем;

m_i и z_i – масса и аппликата центра тяжести i -го переменного груза;

n – число переменных грузов;

M – водоизмещение судна в рассматриваемом случае.

Необходимо отметить, что одна часть величин, входящих в формулу (1) изменяется со временем, т.е. дает систематические погрешности, а другая часть – содержит случайные погрешности при их определении. К изменяющимся со временем величинам относятся характеристики порожнего судна. Также не учитываются погрешности определения водоизмещения M_0 и аппликаты центра тяжести Z_{G0} судна порожнем при проведении опыта кренования.

Для рыболовных судов впервые на данное обстоятельство обратили внимание инженер Деймар М.Ю. и профессор Воеводин Н.Ф., обобщившие опыт эксплуатации судов типа СРТ в Дальневосточном бассейне [2], а за рубежом – Moggal A., Mac Naughton A.R. [3]. Применительно к судам флота рыбной промышленности данное обстоятельство позднее исследовалось в работе [4].

Собранные в [4] статистические данные и их последующая обработка показали, что водоизмещения и аппликаты центров тяжести порожних рыболовных судов за время службы изменяются, как правило, в сторону увеличения (таб. 1). Из таблицы видно, что такая тенденция наблюдается почти на всех типах судов флота рыбной промышленности.

Таблица 1

Увеличение водоизмещения и аппликаты центра масс судов порожнем с течением времени

Тип судна, длина и количество рассмотренных судов	Время службы судна, годы	Переменный параметр	
		Водоизмещение, т	Аппликата центра тяжести, м
БМРТ, $L=75$ м (8 судов)	11-12	50	0,10
БМРТ, $L=91,2$ м (6 судов)	11-12	153	0,31
РМС, $L=65,7$ м	6-8	32,2	0,31
РТМ, $L=73$ м (25 судов)	-	60	0,11
СРТМК, $L=50,4$ м, (23 судна)	-	7,3	0,04
ПБ, $L=220$ м (типа «Сухона»)	20	690	0,66
ПБ, $L=174,31$ м (типа «Спасск»)	29	1066	0,49
ПБ, $L=164,5$ м, проект В-64 (3 судна)	-	226-686	0,08-0,28
ТР, $L=122,9$ м, типа «Таврия»	5-19	141	0,10

Водоизмещение и возвышение центра тяжести судна порожнем крупнотоннажных и средних добывающих рыболовных судов после 10–15 лет

эксплуатации увеличилось на 1,1–2,5%. За данный период максимальные значения изменения водоизмещения крупнотоннажных добывающих судов составили 150–200 т, а аппликаты центра тяжести – 21–37 см. На больших плавучих базах за 20 лет эксплуатации водоизмещение выросло на 226–1056 тонн, а возвышение центра тяжести от 8 до 66 см [4,5].

Увеличение водоизмещения и возвышения центра тяжести порожнем рыболовных судов также определяется многочисленными факторами «старения». Наблюдается физическое и моральное старение [4,6].

Причинами естественного физического старения являются:

- коррозия корпуса;
- истирание и повреждение элементов корпусных конструкций;
- намокание дерева и изоляции в составе корпуса;
- гниение дерева и изоляции;
- износы механизмов.

Причинами, связанными с восстановлением технического состояния являются увеличение количества слоев краски; замена дерева и изоляции; ремонт корпусных конструкций.

Моральное старение происходит по причине следующих мероприятий:

- установки дополнительного, нового или более производительного усовершенствованного оборудования;
- улучшения условий труда и быта;
- изменения задач и технических требований к судам.

Также рост характеристик порожнего судна происходит из-за накопления сверхнормативных запасов по механической, технологической части и т.д.

Учитывая изменения характеристик судов порожнем за время эксплуатации Российский морской регистр судоходства (РМРС) требует проведения на судах дополнительных опытов кренования [7].

Кренованию должны быть подвергнуты суда, на которых конструктивные изменения после ремонта, переоборудования или модернизации вызывают:

- изменение нагрузки более чем на 6 % водоизмещения судна порожнем;
- изменение водоизмещения судна порожнем более чем на 2% или 2 т в зависимости от того, что больше;
- изменение абсциссы центра тяжести судна порожнем более чем на 1,0% длины судна L .

Если в соответствии с результатами расчета кренование не требуется, должно быть проведено взвешивание. Если по результатам взвешивания будет обнаружено отклонение водоизмещения судна порожнем более чем на 2 % или отклонение абсциссы центра тяжести более чем на 1 % длины судна по сравнению с одобренной Информацией об остойчивости, то в этом случае судно должно быть подвергнуто кренованию [7,8].

В результате обработки экспериментальных материалов по кренованиям рыболовных судов различных типов в [4] были получены зависимости, описывающие в функции от времени t изменения водоизмещения и аппликаты центра масс судна в порожнем состоянии:

$$M(t) = \frac{M_{0t}}{M_0} = 1 + A_{1M} - A_{1M} \exp(A_{2M}t) \quad (2)$$

$$Z(t) = \frac{Z_{G0t}}{Z_{G0}} = 1 + A_{1Z} - A_{1Z} \exp(A_{2Z}t) \quad (3)$$

где M_{0t} и Z_{G0t} – водоизмещение и аппликата центра тяжести судна порожнем через t мес. эксплуатации;

$A_{1M}, A_{2M}, A_{1Z}, A_{2Z}, B_{1M}, B_{2M}, B_{1Z}, B_{2Z}$ – эмпирические коэффициенты.

Значения $A_{1M}, A_{2M}, A_{1Z}, A_{2Z}, B_{1M}, B_{2M}, B_{1Z}, B_{2Z}$ для некоторых типов судов флота рыбной промышленности приведены в [4].

В рыбопромышленных компаниях Западного бассейна сегодня используются крупнотоннажные суда РТМК-С типа «Моонзунд», БМРТ типа «Пулковский меридиан», несколько судов польской постройки, среднетоннажные суда СРТМ (пр. 333) типа «Оболонь» и малые рыболовные суда МРТК типа «Балтика».

Причины изменения характеристик порожнего судна, названные в [4] отмечаются и на данных судах. Например, на РТМК-С типа «Моонзунд» полностью переоборудована рыбная фабрика, установлены дополнительные морозильные аппараты «Фростеры», убрано консервное оборудование и переоборудован консервный трюм под хранение рыбопродукции, заменено устаревшее рыбопоисковое и навигационное оборудование и другие более мелкие работы.

На многих БМРТ типа «Пулковский меридиан» тоже установлены дополнительные морозильные аппараты «Фростеры» и дополнительные компрессоры для обеспечения их работы, и также заменено устаревшее рыбопоисковое и навигационное оборудование. Взвешивания судов этого типа в период 2013-2019 гг. показали, что их водоизмещение порожнем выросло на 55,1-76,8 т.

Взвешивание одного из СРТМ (пр. 333) показало, что его водоизмещение в порожнем состоянии за 29 лет эксплуатации практически не изменилось. Водоизмещение научного судна в корпусе пр. 333 за время службы увеличилось на 13,1 тонны.

Анализ протоколов опытов кренований 10 судов МРТК типа «Балтика», некоторые из которых за время эксплуатации креновались 2 и 3 раза, показал, что их водоизмещение выросло на 0,5 – 14,8 тонн, а увеличение аппликаты центра тяжести составило, в среднем по 15 кренованиям, около 5,47 сантиметров, а максимальное приращение оказалось до 15 сантиметров.

Представляется, что такие изменения характеристик судна порожнем могут привести к нарушению остойчивости судов в эксплуатационных случаях нагрузки.

Как отмечалось в [4], более чувствительны к изменениям характеристик судна порожнем среднетоннажные и малые рыболовные суда.

Оценим возможность использования полученных в [4] данных для прогнозирования изменения водоизмещения и аппликаты центра тяжести эксплуатируемых сегодня судов СРТМ (пр. 333) типа «Оболонь» и малых рыболовных судов МРТК типа «Балтика».

Результаты

Произведем оценку изменения водоизмещения и аппликаты центра тяжести судна порожнем в соответствии с вышеуказанными требованиями для малого рыболовного траулера с кормовой схемой траления типа «Балтика» [9,10].

Характеристики судна порожнем: $M_0=137,2$ т; $X_{G0}=-0,16$ м; $Z_{G0}=2,76$ м.

В табл. 2 приведены водоизмещения, координаты центра тяжести, метацентрические высоты, максимальные плечи статической остойчивости, критические аппликаты центра тяжести и критерии погоды МРТК «Балтика» при различных вариантах нагрузки.

Таблица 2

Характеристики МРТК «Балтика» при различных вариантах нагрузки

Случай нагрузки	M , т	X_G , м	Z_G , м	h , м	l_{max} , м	Z_{Gsp} , м	K
Судно порожнем	137,2	-0,16	2,76	0,55	-	-	-
Лов донным тралом							
1. Выход на промысел со 100% запасов, тарой и льдом в трюме	168,83	-0,75	2,65	0,63	0,338	2,78	3,21
2. Возвращение с промысла со 100% улова в трюме и на палубе, с 10% судовых запасов	157,71	-0,64	2,79	0,48	0,262	2,80	2,13
3. Возвращение с промысла со 20% улова в трюме, с 70% нормы льда и с 10% судовых запасов	153,31	-0,59	2,78	0,50	0,266	2,81	2,16
4. Судно на промысле, без улова в трюме, с открытым люком, с 2 т рыбы на палубе, с 25% запасов и полной нормой льда, с 1,8 т рыбы на портале	160,03	-0,79	2,84	0,44	0,230	2,79	1,97
5. Судно со 100% улова и 100% запасов по грузовую марку	174,0	-0,78	2,66	0,61	0,321	2,77	3,12
6. Возвращение с промысла со 100% улова в трюме и на палубе, с 10% судовых запасов в условиях обледенения	160,66	-0,64	2,82	0,45	0,240	2,78	1,87
Лов близнецовым тралом							
1. Судно со 100% судовых запасов, с порожним трюмом	157,35	-0,38	2,66	0,62	0,337	2,80	2,87
2. Судно со 50% судовых запасов, с порожним трюмом, с 2 т рыбы на палубе	150,95	-0,36	2,74	0,55	0,294	2,81	2,30
3. Судно с 10% судовых запасов, с полным уловом в трюме и 2 т рыбы на палубе	148,23	-0,38	2,81	0,49	0,260	2,82	1,92
4. Судно с 10% судовых запасов, с порожним трюмом и 2 т рыбы на палубе	144,23	-0,28	2,82	0,49	0,257	2,83	1,82
5. Судно на промысле, без улова в трюме, с открытым люком, с уловом 2 т и мокрым тралом на палубе, с 25% судовых запасов и грузом 1,8 т на портале	148,55	-0,39	2,86	0,43	0,227	2,82	1,75
6. Судно с 10% судовых запасов, с порожним трюмом и 2 т рыбы на палубе в условиях обледенения	147,18	-0,29	2,85	0,45	0,240	2,82	1,60

Анализ случаев нагрузки, приведенных в «Информации об остойчивости судна» [10] и табл. 2, показал, что наиболее неблагоприятным случаем нагрузки с точки зрения остойчивости является вариант загрузки «Судно на промысле без улова в трюме, с открытым люком, с уловом 2 т и мокрым тралом на палубе, с 25% судовых запасов и грузом 1,8 т на портале».

В рассмотренном варианте загрузки $M=148,55$ т; $X_G=-0,39$ м; $Z_G=2,86$ м; $h=0,43$ м; $l_{max}=0,227$ м, $K=1,75$.

Предположим, что водоизмещение судна порожнем изменилось за время эксплуатации на 2%, как указано в Правилах. Используя формулу (1), найдем новое значение аппликаты центра тяжести судна, $Z_G=2,863$ м. Аппликата центра тяжести судна изменилась на 0,003 м.

В [4] приведены графики изменения водоизмещения и аппликаты центра тяжести нескольких типов рыболовных судов, в том числе и для МРТГ «Балтика», в функции от срока службы. Приведённые графики позволяют определить приращения водоизмещения и аппликаты центра масс судна порожнем за период t (мес.) эксплуатации.

Воспользуемся этими графиками и произведем оценку изменения аппликаты центра тяжести судна порожнем для малого рыболовного траулера с кормовой схемой траления типа «Балтика» в указанном выше варианте нагрузки. Результаты расчетов представлены в табл.3.

Таблица 3

Изменение аппликаты центра тяжести судна порожнем МРТГ «Балтика» в зависимости от срока службы

Срок службы, мес.	20	40	60	80	100	120
Z_{G0} , м	2,810	2,835	2,846	2,854	2,857	2,86
δZ_{G0} , м	0,050	0,075	0,086	0,094	0,097	0,100

Согласно расчетам, изменение аппликаты центра тяжести судна порожнем в среднем составляет 0,01 м в год. Изменение плеч статической остойчивости в зависимости от срока эксплуатации судна показано на рис.1.

В рассматриваемом варианте нагрузки изначально максимальное плечо диаграммы статической остойчивости меньше, чем указано в нормах РМРС для данного типа судна. В «Информации» указано, что Регистр допускает судно к эксплуатации с таким значением максимального плеча диаграммы статической остойчивости. Анализ построенных графиков изменения диаграммы статической остойчивости показывает, что за 10 лет эксплуатации максимальное плечо диаграммы статической остойчивости уменьшилось на 5 см и это значение меньше нормируемого показателя на 7,3 см.

Что касается изменения аппликаты центра тяжести судна порожнем, то за 10 лет эксплуатации ее значение увеличится на 0,1 м, значит, аппликата центра тяжести превысит критическое значение на 0,14 м. Надо сказать, что уже за 30 месяцев эксплуатации аппликата центра тяжести достигла критического значения. Все это говорит о том, что выполнять опыт кренования для таких малых судов надо чаще, чем раз в 10 лет.

Нами приведен наихудший с точки зрения остойчивости вариант загрузки. Аналогичные расчеты были проведены еще для нескольких вариантов загрузки. В частности, в самом благоприятном варианте загрузки: выход на промысел со 100% запасов, тарой и льдом в трюме с $M=168,83$ т; $X_G=-0,75$ м; $Z_G=2,65$ м; $h=0,63$ м; $l_{max}=0,338$ м максимальное плечо диаграммы статической остойчивости уменьшилось на 7,7 см, но при этом оно осталось больше нормативного значения.

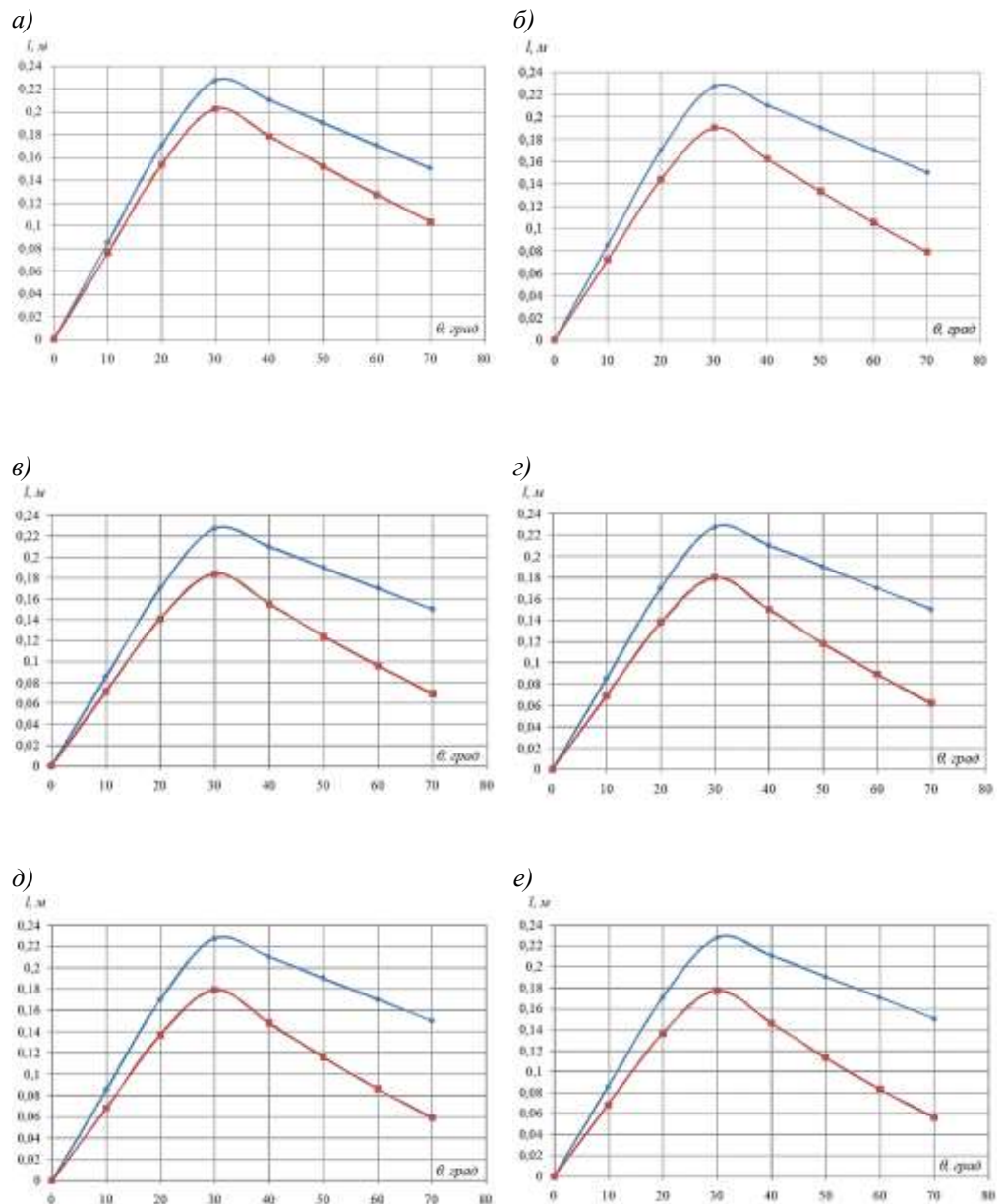


Рис. 1. Изменение диаграммы статической устойчивости МРТК «Балтика» в процессе эксплуатации

a – через 20 месяцев; b – через 40 месяцев; $в$ – через 60 месяцев;
 $г$ – через 80 месяцев; $д$ – через 100 месяцев; e – через 120 месяцев

◆ начальная ■ измененная

Исследования показывают, что использование предложенной в [4] методики расчета изменения аппликаты центра тяжести для МРТК «Балтика» в функции от срока службы в отличие от методики, изложенной в Правилах, дает разницу в вычислениях почти в 3 раза.

Согласно [7,8] при наихудшем в отношении устойчивости варианте нагрузки судно должно не опрокидываясь противостоять одновременному действию

динамически приложенного давления ветра и бортовой качки (критерий *погоды*). В табл.1 указан критерий погоды для всех вариантов нагрузки. Однако если в процессе эксплуатации происходит уменьшение плеч статической остойчивости, необходимо посмотреть, что будет с критерием погоды при изменении ДСО. С этой целью были проведены расчеты критерия погоды, для чего были рассчитаны амплитуда качки, плечо кренящего момента от давления ветра. Выполненные построения на ДСО показали, что при изменении диаграммы статической остойчивости в процессе эксплуатации критерий погоды уменьшился с 1,75 до 1,38.

Далее рассмотрим изменение аппликаты центра тяжести порожнего судна на примере СРТМ (пр. 333) типа «Оболонь» [11].

Анализ случаев нагрузки, приведенных в «Информации об остойчивости судна» [11] и табл.4, показал, что наиболее неблагоприятным случаем нагрузки с точки зрения остойчивости является вариант загрузки «10% запасов, 0% груза, обледенение». В данном варианте загрузки: $M=1935$ т; $X_G=24,80$ м; $Z_G=6,45$ м; $h=0,51$ м; $l_{max}=0,69$ м, $K=1,08$.

Таблица 4

Характеристики СРТМ (пр. 333) типа «Оболонь» при различных вариантах нагрузки

Случай нагрузки	M , т	X_G , м	Z_G , м	h , м	l_{max} , м	K
Судно порожнем	1736	25,5	6,65	0,72	-	-
1. 100% запасов, 0% груза	2219	25,50	6,65	0,65	0,80	1,58
2. 50% запасов, 100% груза	2333	25,34	6,27	0,60	0,80	1,64
3. 50% запасов, 0% груза	2382	24,60	6,31	0,56	0,78	1,78
4. 50% запасов, 50% груза	2235	24,32	6,32	0,57	0,77	1,47
5. 25% запасов, 94% груза	2273	25,77	6,37	0,58	0,75	1,56
6. 25% запасов, 50% груза	2143	25,29	6,34	0,57	0,78	1,38
7. 25% запасов, 20% груза	2087	24,97	6,34	0,6	0,79	1,32
8. 25% запасов, 0% груза	2045	24,35	6,44	0,50	0,69	2,18
9. 10% запасов, 100% груза	2185	26,21	6,41	0,50	0,74	1,35
10. 10% запасов, 94% груза	2248	25,68	6,35	0,54	0,72	1,46
11. 10% запасов, 75% груза	2191	25,57	6,37	0,54	0,71	1,37
12. 10% запасов, 50% груза, обледенение	2118	25,18	6,38	0,53	0,72	1,32
13. 10% запасов, 50% груза	2098	25,19	6,35	0,59	0,76	1,47
14. 10% запасов, 20% груза обледенение	2060	24,72	6,39	0,55	0,73	1,25
15. 10% запасов, 20% груза	2040	24,72	6,35	0,59	0,77	1,44
16. 10% запасов, 0% груза обледенение	1935	24,80	6,45	0,51	0,69	1,08

Предположим, что водоизмещение судна порожнем изменилось за время эксплуатации на 2%, как указано в Правилах. Используя формулу (1), найдем новое значение аппликаты центра тяжести судна, $Z_G=6,456$ м. Аппликата центра тяжести судна изменилась на 0,006 м, что является не существенным изменением.

Используя данные [4], произведем оценку изменения аппликаты центра тяжести судна порожнем в указанном выше варианте нагрузки для СРТМ (пр. 333) типа «Оболонь».

Результаты расчетов представлены в табл.5.

Таблица 5

Изменение аппликаты центра тяжести судна порожнем СРТМ типа «Оболонь» в зависимости от срока службы

Срок службы, мес.	20	40	60	80	100	120
Z_{G0} , м	6,660	6,676	6,682	6,689	6,695	6,700
δZ_{G0} , м	0,010	0,026	0,032	0,039	0,045	0,050

Согласно расчетам, изменение аппликаты центра тяжести судна порожнем в среднем составляет 0,005 м в год. Изменение плеч статической остойчивости в зависимости от срока эксплуатации судна показано на рис.2.

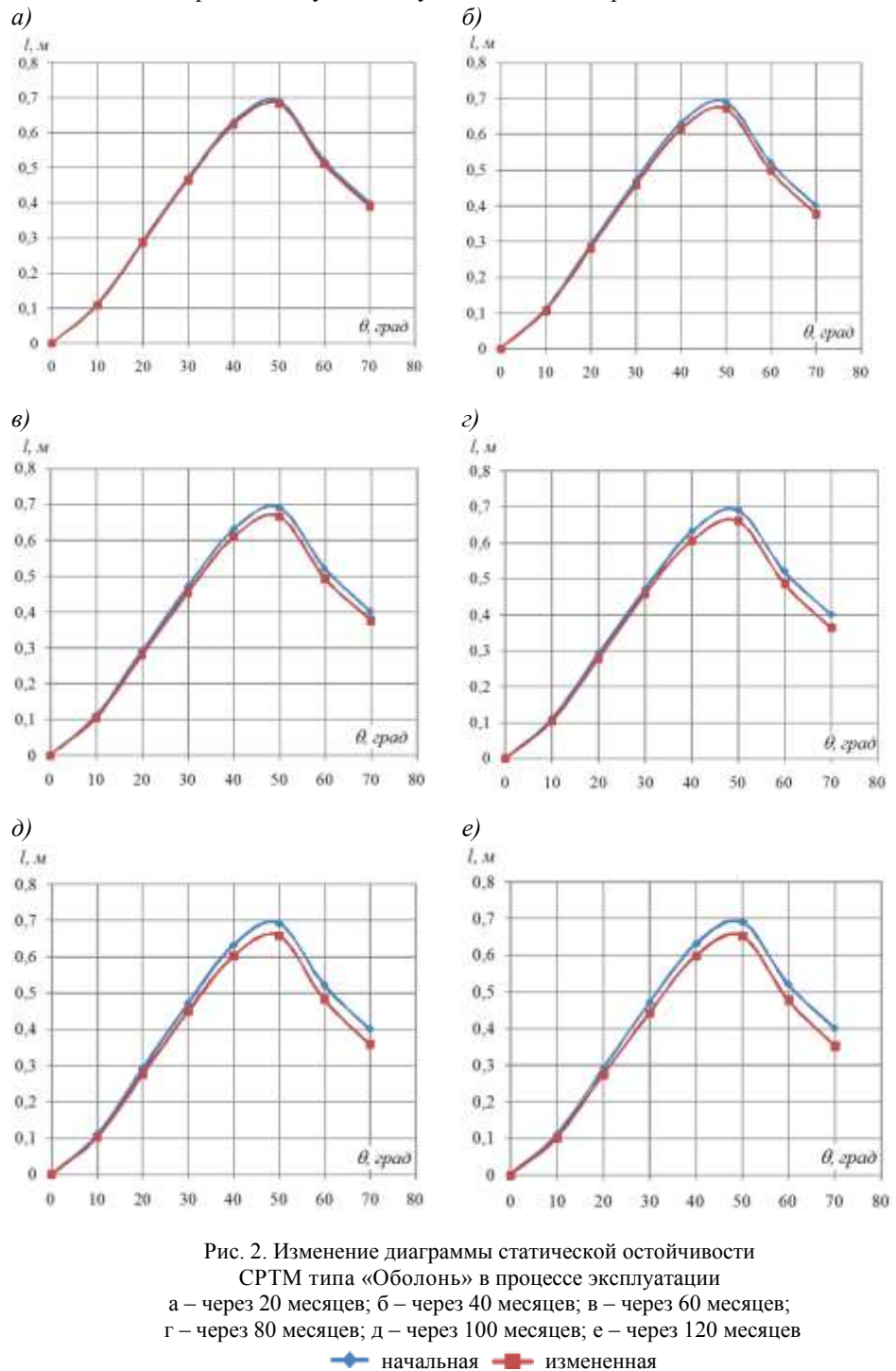


Рис. 2. Изменение диаграммы статической остойчивости СРТМ типа «Оболонь» в процессе эксплуатации
 а – через 20 месяцев; б – через 40 месяцев; в – через 60 месяцев;
 г – через 80 месяцев; д – через 100 месяцев; е – через 120 месяцев

Анализ построенных графиков изменения диаграммы статической остойчивости показывает, что за 10 лет эксплуатации максимальное плечо диаграммы статической остойчивости уменьшилось на 0,038 м.

Однако в этом варианте загрузки критерий погоды был самым минимальным. Выполненные расчеты элементов критерия погоды и построения на ДСО показали, что при изменении диаграммы статической остойчивости в процессе эксплуатации критерий погоды немного уменьшился до 0,98, что меньше единицы и не удовлетворяет нормам.

Таким образом, можно сделать вывод, что изменение аппликаты центра тяжести порожнего судна в процессе эксплуатации опасно для судов малого водоизмещения.

Данные изменения характеристик порожнего судна, как правило, выполняются по специально разработанным проектам и происходят по мере совершенствования норм, Правил и носят неслучайный систематический характер.

Обсуждение

Сегодня средний возраст рыболовного флота России приближается к 40 годам. Суда устаревают и не позволяют добывать эффективно и много. На фоне этого государство стимулировало рыбопромышленников вкладывать средства в постройку траулера на отечественных верфях в обмен на получение части квот на вылов. Благодаря таким мерам с 2023 года верфи готовы размещать новые заказы и построить 56 судов. До 2025 года должно быть построено порядка 100 новых отечественных судов. Большинство судов в этом портфеле заказов – малые. Таким образом, можно сказать, что данные исследования являются актуальными, поскольку выполнен анализ изменения водоизмещения и аппликаты центра тяжести малого рыболовного судна.

Расчёты, выполненные для рыболовных судов небольшого водоизмещения, показали, что изменение аппликаты центра тяжести порожних судов в эксплуатационных случаях нагрузки могут быть больше 0,10 м. Погрешности определения водоизмещения при этом составляют на среднетоннажных судах 10-12 т, а на крупнотоннажных могут достигать до 60 т.

Таким образом, в наихудшем случае изменение аппликаты центра тяжести оказывается равной 0,10-0,20 м, а изменение водоизмещения может достигать 30 т на среднетоннажных и 60 - 80 т на крупнотоннажных судах.

Очевидно, что такие изменения необходимо учитывать как при эксплуатации судов, так и в процессе их проектирования при разработке «Информации об остойчивости».

Предложенные для определения погрешностей водоизмещения и аппликаты центра масс формулы могут быть использованы для рыболовных судов различного тоннажа.

Приведённые формулы и графики позволяют оценивать надёжность удовлетворения требований, предъявляемых Регистром к остойчивости рыболовных судов.

Заключение

Проведенные исследования показывают, что аппликата центра тяжести судна порожнем МРТК «Балтика» уже к трем годам эксплуатации достигает критического значения, а за 10 лет эксплуатации увеличится на 0,1 м, что может быть опасным с точки зрения потери остойчивости. Использование предложенной методики расчета изменения аппликаты центра тяжести для МРТК «Балтика» в функции от срока службы в отличие от методики, изложенной в Правилах, дает разницу в вычислениях почти в 3 раза. Это позволяет сделать вывод, что необходимо пересмотреть периодичность проведения опыта кренования для малых судов, его необходимо выполнять чаще, чем раз в 10 лет.

Изменение аппликаты центра тяжести порожнего судна в процессе эксплуатации опасно для судов малого водоизмещения. Чтобы судно было устойчивым, необходимо принимать балласт, а после приема улова его надо удалить. Капитаны на это не идут, так как в условиях рейса судно не сможет сбросить замазученные воды, поэтому для малых рыболовных судов необходимо следить за изменением аппликаты центра тяжести судна в процессе эксплуатации. И при необходимости проводить опыт кренования чаще, чем предусмотрено Правилами РМРС.

Список литературы

1. Сидорченко В. Ф. Морские катастрофы. СПб.: Литагент «Юридический центр». 2006. 560 с.
2. Исследование устойчивости средних рыболовных траулеров, работающих в условиях Дальнего Востока. //Теоретические и практические вопросы устойчивости и непотопляемости морских судов. М.: Транспорт. 1965. С. 70-79.
3. *Morrall A, Mac Naughton A.R.* Fishing vessel stability and safety a cautionary note when considering possible changes in IMO standards. // International Conference on Design Considerations for small craft. London 13-15 February, 1984.
4. *Гуральник Б.С., Кулагин В.Д.* Точность определения устойчивости рыболовных судов расчётным путём. // Судостроение. 1992. № 6. С. 9-12.
5. *Гуральник Б.С., Якута И.В.* К вопросу определения погрешностей, возникающих при расчетах устойчивости судна в судовых компьютерных программах. // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технологии. №3. 2019. С.7-15.
6. The carriage of cargoes by sea. SE England seminar. // The International Journal of the Nautical Institute «Seaway» January 2009, p.34.
7. Правила классификации и постройки морских судов. Часть IV. Устойчивость. Российский Морской Регистр Судостроения, 2021. URL: <https://lk.rs-class.org/regbook/rules>. (дата обращения 30.10.2022 г.)
8. Международный кодекс устойчивости судов в неповрежденном состоянии 2008 года (Кодекс ОНС 2008 года) (резолюция MSC.267(85) с поправками). СПб.: АО «ЦНИИМФ». 2016. 242 с.
9. Коваленко Б.П. Основы устойчивости судна. Пособие для судоводителей. СПб.: Судостроение. 2005. 36 с.
10. МРТК типа «Балтика» проект 1328. Информация об устойчивости судна. Министерство рыбного хозяйства СССР. Гипрорыбфлот. Клайпедское отделение. 1978.
11. СРТМ типа «Оболонь». Информация об устойчивости судна. Фолькверф г. Штральзунд. 1985.

References

1. Sidorchenko V. F. Morskie katastrofy. SPb.: Litagent «Yuridicheskii tsentr». 2006. 560 p.
2. Issledovanie ostoichivosti srednikh rybolovnykh traulerov, rabotayushchikh v usloviyakh Dal'nego Vostoka [Study of the stability of medium-sized fishing trawlers operating in the conditions of the Far East] // Teoreticheskie i prakticheskie voprosy ostoichivosti i nepotoplyaemosti morskikh sudov. M.: Transport, 1965, pp. 70-79.
3. *Morrall A, Mac Naughton A.R.* Fishing vessel stability and safety a cautionary note when considering possible changes in IMO standards // International Conference on Design Considerations for small craft. London 13-15 February, 1984.
4. *Gural'nik B.S., Kulagin V.D.* Tochnost' opredeleniya ostoichivosti rybolovnykh sudov raschetnym putem [Accuracy of determining the stability of fishing vessels by calculation] //Sudostroenie. 1992. no 6. pp. 9-12. (In Russ).
5. *Gural'nik B.S., Yakuta I.V.* K voprosu opredeleniya pogreshnostei, vznikayushchikh pri raschetakh ostoichivosti sudna v sudovykh komp'yuternykh programmakh [To the question of the definition of errors arising when calculating the stability of the ships in ships computer programs] //Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologii. 2019. no 3. pp.7-15. (In Russ).

6. The carriage of cargoes by sea. SE England seminar. // The International Journal of the Nautical Institute "Seaway" January 2009, p.34.
7. Pravila klassifikatsii i postroiki morskikh sudov. Chast' IV. Ostoichivost'. [Rules for the classification and construction of sea vessels. Part IV. Stability. Rossiiskii Morskoi Registr Sudokhodstva. 2021. <https://lk.rs-class.org/regbook/rules>. Available at: 30.10.2022 г.
8. Mezhdunarodnyi kodeks ostoichivosti sudov v nepovrezhdennom sostoyanii 2008 goda [International Code of Intact Stability 2008]. (Kodeks ONS 2008 goda). Rerezolyutsiya MSC.267(85) s popravkami. SPb.: AO «TSNIIMF». 2016. 242 p.
9. Kovalenko B.P. Osnovy ostoichivosti sudna. Posobie dlya sudovoditelei [Fundamentals of ship stability]. SPb.: Sudostroenie. 2005. 36 p.
10. MRTK tipa «Baltika» projekt 1328. Informatsiya ob ostoichivosti sudna [MRTK type «Baltika» project 1328. Information about the stability of the vessel]. Ministerstvo rybnogo khozyaistva SSSR. Giproybflot. Klaipedscoe otdelenie. 1978.
11. SRTM tipa «Obolon». Informatsiya ob ostoichivosti sudna. [SRTM type «Obolon». Information about the ship's stability]. Fol'kverf' g. Shtral'zund. 1985.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Гуральник Борис Самуилович, к.т.н., доцент, профессор кафедры судовождения и безопасности мореплавания, Балтийская государственная академия рыбопромышленного флота, Калининградский государственный технический университет, 236029, г. Калининград, ул. Молодежная, 6, e-mail:boris.guralnik@mail.ru.

Boris S. Guralnik, Ph.D. (Eng), Associate Professor, Professor of the Department of navigation and safety of navigation, Baltic fishing fleet state academy, 6 Molodezhnaya, Kaliningrad, 236029, Russian Federation

Якута Ирина Владимировна, к.т.н., доцент кафедры судовождения и безопасности мореплавания, Балтийская государственная академия рыбопромышленного флота, Калининградский государственный технический университет, 236029, г. Калининград, ул. Молодежная, 6, e-mail: yakuta@bgarf.ru

Irina V. Yakuta, Ph.D. (Eng), Associate Professor of the Department of navigation and safety of navigation, Baltic fishing fleet state academy, 6 Molodezhnaya, Kaliningrad, 236029, Russian Federation

Статья поступила в редакцию 12.01.2023; опубликована онлайн 20.03.2023.
Received 12.01.2023; published online 20.03.2023.