

DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-1-17-28

EVALUATING THE INFLUENCE OF THE STANDARD AND ACTUAL CENTERS OF GRAVITY OF THE TYPICALLY LOADED CONTAINER ON THE METACENTRIC HEIGHT OF A CONTAINER SHIP

R. S. Tsarik

Maritime State University named after admiral G. A. Nevelskoy,
Vladivostok, Russian Federation

Ensuring the proper stability of the vessel is the core of its safe operation. Metacentric height is one of the most important and most indicative criteria of stability. Accepted standard values of the container center of gravity are currently used for calculation of the metacentric height of a container ship. This is due to the fact that manual calculation algorithms and stability calculation programs are based on the use of the final value of the center of gravity of the container stack in each bay, but do not take into account the actual height of center of gravity of each individual container. The aim of the study is to compare the influence of the standard and actual center of gravity of the container on the metacentric height of the container ship. For this purpose, the recommended schemes for general cargo stowage in containers, given in the "Rules for the transport of goods in containers by sea", are analyzed in the paper. The heights of the actual centers of gravity of containers for each case of cargo stowage are calculated. Experimental loading of a large-capacity container ship is carried out using standard and actual values of the containers centers of gravity heights. As a result, it is found that in the vast majority of cases, the containers center of gravity is below the accepted standard position. It is concluded that the actual center of gravity of the container has a significant influence on the metacentric height of the container ship, so that its actual value becomes greater than the standard calculated value. The expediency of specifying the heights of the actual center of gravity of the container in cargo documents for further consideration when drawing up a cargo plan and calculating stability is justified. Recommendations for updating some regulatory documents governing and concerning position of the container center of gravity are proposed.

Keywords: container ship, container, center of gravity, stability, metacentric height.

For citation:

Tsarik, Ruslan Stanislavovich. "Evaluating the influence of the standard and actual centers of gravity of the typically loaded container on the metacentric height of a container ship." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 13.1 (2021): 17–28. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-1-17-28.

УДК 656.61.052

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СТАНДАРТНОГО И ФАКТИЧЕСКОГО ЦЕНТРОВ ТЯЖЕСТИ КОНТЕЙНЕРА С ТИПОВЫМ РАЗМЕЩЕНИЕМ ГРУЗА НА МЕТАЦЕНТРИЧЕСКУЮ ВЫСОТУ КОНТЕЙНЕРОВОЗА

Р. С. Царик

ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г. И. Невельского», Владивосток, Российская Федерация

Рассмотрен вопрос обеспечения надлежащей остойчивости судна, который находится в основе его эксплуатации. Отмечается, что поскольку метацентрическая высота является одним из важнейших и наиболее показательных критериев остойчивости, в настоящее время для расчета метацентрической высоты контейнеровоза используются принятые стандартные значения аппликаты центра тяжести контейнера. Это выражается в том, что алгоритмы ручных вычислений и программы расчета остойчивости учитывают итоговое значение аппликаты центра тяжести штабеля контейнеров в каждом бэе, не беря в расчет фактические аппликаты центра тяжести каждого отдельного контейнера. Целью данного исследования является сравнительная оценка влияния стандартного и фактического центров тяжести контейнера на метацентрическую высоту контейнеровоза. Для этого в работе были проанализированы рекомендуемые

схемы размещения генеральных грузов в контейнерах, приведенные в «Правилах перевозки грузов в контейнерах морским транспортом». Рассчитаны аппликаты фактических центров тяжести контейнеров для каждого варианта размещения груза. Выполнены экспериментальные загрузки крупнотоннажного контейнеровоза с использованием стандартных и фактических значений аппликат центров тяжести контейнеров. В результате было подтверждено, что в подавляющем большинстве случаев центр тяжести контейнеров находится ниже принятого стандартного положения. Сделан вывод о значительном влиянии фактического центра тяжести контейнера на метацентрическую высоту контейнеровоза таким образом, что фактическое ее значение оказывается больше стандартного расчетного значения. Обоснована целесообразность указания данных о высоте фактического центра тяжести контейнера в грузовых документах для дальнейшего учета при составлении «Грузового плана» и расчете остойчивости. Предложены рекомендации по актуализации некоторых нормативных документов, регламентирующих и учитывающих положение центра тяжести контейнера.

Ключевые слова: контейнеровоз, контейнер, центр тяжести, остойчивость, метацентрическая высота.

Для цитирования:

Царик Р. С. Оценка влияния стандартного и фактического центров тяжести контейнера с типовым размещением груза на метацентрическую высоту контейнеровоза / Р. С. Царик // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 1. — С. 17–28. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-1-17-28.

Введение (Introduction)

Известно, что только вертикальное положение (аппликата) центра тяжести (ЦТ) оказывает влияние на метацентрическую высоту. В настоящее время для расчета остойчивости контейнеровоза принимается стандартное положение ЦТ контейнера согласно правилам соответствующего классификационного общества. При этом учитывается общий ЦТ контейнерного штабеля для каждого бэя, однако каждый контейнер как грузовая единица имеет свой ЦТ. Так, ЦТ контейнерного штабеля, определенный с учетом аппликаты ЦТ каждого входящего в него контейнера, будет отличаться от стандартного ЦТ, определенного по существующим правилам. Поскольку суда-контейнеровозы перевозят значительную часть груза на палубе, это приводит к уменьшению метацентрической высоты. Вместе с тем современные крупнотоннажные контейнеровозы шириной 45–60 м и более часто получают избыточную метацентрическую высоту. Недостаточная метацентрическая высота не обеспечивает требуемой остойчивости судна, а, соответственно, и его безопасности. Избыточная метацентрическая высота способствует возникновению более интенсивной бортовой качки, что отрицательно сказывается на самочувствии экипажа и работоспособности механизмов, а также значительно увеличивает динамические нагрузки на палубные контейнерные штабели, способствуя их крушению и потере контейнеров за борт.

На ранних этапах развития морских контейнерных перевозок, когда контейнеровозы были сравнительно небольшого тоннажа, вопрос недостаточной остойчивости представлял значительно большую актуальность, чем в настоящее время. С ростом контейнеровместимости судов все большую важность приобретает проблема потери контейнеров за борт из-за чрезмерных динамических нагрузок, вызванных в том числе избыточной метацентрической высотой. Таким образом, определение фактического ЦТ контейнера для последующего расчета фактической метацентрической высоты на этапе составления «Грузового плана» контейнеровоза является критически важным для обеспечения его безопасной эксплуатации.

Фактическая метацентрическая высота контейнеровоза часто может существенно отличаться от расчетной. Причиной этого в том числе являются недостоверное декларирование массы брутто контейнеров и учет стандартной аппликаты ЦТ контейнера вместо фактической. Проблема недостоверного декларирования массы брутто контейнеров, рассмотренная в работе [1], несмотря на то, что получила нормативное решение в Международной конвенции СОЛАС-74, на практике осталась решенной не полностью.

Одним из способов определения и контроля фактической метацентрической высоты является применение «капитанской формулы»:

$$h = \left(\frac{CB^2}{T_0} \right), \quad (1)$$

где T_0 — собственный период качки; B — ширина судна; h — начальная поперечная метацентрическая высота; C — коэффициент, определяемый в ходе выполнения опыта кренования и указываемый в «Информации об остойчивости».

Исследования, выполненные в работе [2], показали, что точность такого способа часто оказывается недостаточной. Причем погрешность результатов может быть направлена в опасную сторону, когда рассчитанная таким образом метацентрическая высота оказывается значительно больше фактической. Предложенная в работе [3] концепция автоматизированной системы мониторинга фактического состояния остойчивости судна в режиме реального времени представляется перспективным решением, но не дает представления о фактических характеристиках перевозимого груза в части его влияния на метацентрическую высоту судна и поэтому не может применяться на этапе составления «Грузового плана» судна.

Проблемы неучтенных весовых нагрузок и их влияния на остойчивость судна рассмотрены в работах [4] и [5]. По своей сути эти проблемы схожи с исследуемой в настоящей работе, поскольку речь идет о расчете остойчивости с учетом некоторых принятых значений статей нагрузок, которые отличаются или могут отличаться от фактических. Однако в работе [4] не учитывается фактический ЦТ контейнеров при выполнении экспериментальной загрузки, а в работе [5] исследование направлено на оценку влияния «мертвого запаса» (константы), а не перевозимого груза.

В исследовании [6] предложен новый метод определения координат центра тяжести судна с использованием системы датчиков движения. Таким образом, по мнению авторов этой работы, существует возможность более точного определения критериев остойчивости судна, исключая погрешности, которые могут быть допущены человеком при ручной обработке большого объема данных о грузе. Подобные системы, очевидно, получают в дальнейшем свое развитие и применение на практике. Однако с точки зрения проблемы, рассматриваемой в настоящей статье, они в большей мере являются системами контроля остойчивости в рейсе, чем инструментом получения и учета фактических данных о грузе на этапе планирования загрузки судна.

В работе [7] показано существенное влияние изменения аппликаты ЦТ контейнера на метацентрическую высоту контейнеровоза, в частности рассмотрен возможный диапазон изменения аппликаты ЦТ контейнера в зависимости от перевозимых грузов: с условно минимальным и с условно максимальным коэффициентом использования грузоместимости контейнера, а также дано описание возможных вариантов практического использования уточненного значения метацентрической высоты, в том числе для снижения эксплуатационных расходов судна.

Важность учета фактической метацентрической высоты судна с точки зрения оценки риска потери остойчивости и возникновения параметрического резонанса бортовой качки отмечается в работах [8] и [9]. Данная проблема приобретает все большую актуальность для контейнеровозов, так как является одной из причин потери контейнеров за борт. Следует отметить, что проблеме учета фактического ЦТ контейнера при определении метацентрической высоты до настоящего времени не уделялось внимания со стороны научного и профессионального сообщества. Вместе с тем она представляется весьма значимой в обеспечении безопасной эксплуатации контейнеровозов.

Целью настоящего исследования является подтверждение важности учета фактического ЦТ контейнера при составлении «Грузового плана» и определении метацентрической высоты контейнеровоза. Выполненное в работе исследование является продолжением изучения вопроса, рассмотренного в публикации [7], но в развитие предложенной концепции предполагает рассмотрение утвержденных типовых вариантов размещения груза в контейнерах вместо принятых условно.

Методы и материалы (Methods and Materials)

Нормы, предъявляемые к аппликате ЦТ контейнера российскими и международными классификационными обществами. Классификационные общества в своих правилах устанавливают стандартное значение аппликаты ЦТ контейнера. Экспериментальные загрузки осуществлялись с использованием «Информации об остойчивости» и программы загрузки Load Com контейнера С-класса японской компании Mitsui O. S.K Line MOL Courage вместимостью 8110 ДФЭ, находящегося под надзором классификационного общества NK. Правила NK содержат нормы стандартной аппликаты ЦТ контейнера, соответствующей 50 % высоты контейнера. «Информация об остойчивости» и программа загрузки судна разработаны с учетом этой нормы. Поэтому в данной работе значение фактической аппликаты ЦТ контейнера сравнивается именно с этим стандартным значением.

В Российской Федерации классификационным обществом является Российский морской регистр судоходства (РМРС), осуществляющий, в частности, сертификацию и технический надзор за производством контейнеров международного стандарта, используемых в процессе выполнения морских перевозок.

Однозначной нормы к аппликате ЦТ контейнера РМРС не установлено. Вместе с тем в Правилах классификации и постройки морских судов (Правилах РМРС) установлено следующее:

В ч. IV «Остойчивость», п. 3 «Дополнительные требования к остойчивости», пп. 3.10 «Контейнеровозы» Правил РМРС определено следующее:

«3.10.1. При расчетах остойчивости контейнеровозов положение центра тяжести каждого контейнера по высоте принимается равным половине высоты контейнера данного типа».

Технические требования к размещению и креплению контейнеров международного стандарта на судах, приспособленных для их перевозки» (НД № 2–020101–015), предусматривают следующее:

«3.3 ... Центр тяжести контейнера принимается расположенным на расстоянии 0,4 его высоты от нижнего основания контейнера».

Рассматриваемые в настоящей статье «Правила перевозки грузов в контейнерах морским транспортом» (РД 31.11.21.18–96)¹ — далее Правила, применяемые в Российской Федерации, также не содержат однозначной нормы. Однако в разд. 2.4.4 Правил подчеркивается необходимость особого учета контейнеров, ЦТ которых превышает половину высоты контейнера.

В прил. 3.1.2 Правил приводятся выдержки из «Карт типовых и опытных технологических процессов погрузочно-разгрузочных работ на специализированных перегрузочных комплексах морских портов» (РД 31.41.02–80). Эти типовые карты содержат варианты размещения основной номенклатуры грузов, которые перевозились в контейнерах на момент разработки соответствующих технологических схем. Таким образом, однозначной нормы аппликаты ЦТ контейнера в отечественных нормативных документах не приводится. Подобная неоднозначность имеет место и в других классификационных обществах, являющихся членами Международной ассоциации классификационных обществ (МАКО), о чем свидетельствуют данные, приведенные в табл. 1.

Таблица 1

Нормы аппликат ЦТ контейнеров некоторых классификационных обществ МАКО

Классификационное общество	Норма аппликаты ЦТ контейнера
Det Norske Veritas — Germanischer Lloyd	45 %
Lloyd Register	33 %
Bureau Veritas	45 %
American Bureau of Shipping	45 (50)% ¹
Nippon Kaiji Kyokai	50 %
Registro Italiano Navale	50 %
China Classification Society	50 (45) % ¹
Korean Shipping Register	33 %

¹ В разных нормативных документах приводятся разные данные.

¹ Правила перевозки грузов в контейнерах морским транспортом. РД. 31.11.21.18-96 / Утв. приказом Росморфлота от 22 октября 1996 г. № 39. СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 1997. 176 с.

Определение аппликаты ЦТ порожних контейнеров разных типов. Для определения и учета фактической аппликаты ЦТ груженого контейнера необходимо знать аппликату ЦТ порожнего контейнера. Несмотря на то, что все контейнеры, используемые в международных интермодальных перевозках, производятся в соответствии со стандартом ISO 668 «Контейнеры грузовые серии 1, классификация, размеры и номинальные характеристики, масса порожнего контейнера одного стандарта могут отличаться в зависимости от используемых технологий производства.

Вопрос определения аппликаты ЦТ порожнего контейнера ранее не был рассмотрен ни в теоретической, ни в практической плоскости, учитывалась лишь масса порожнего контейнера (Tare Weight). Однако при попытке определить положение ЦТ порожнего контейнера становится очевидным, что его аппликата не будет соответствовать половине высоты контейнера, поскольку днище контейнера тяжелее его крыши. Аппликата ЦТ груженого контейнера может быть как выше, так и ниже аппликаты ЦТ порожнего контейнера. Это зависит от характеристик груза, выраженных через коэффициенты использования грузоподъемности и грузоместимости контейнера. Так, если аппликата ЦТ груза будет выше аппликаты ЦТ порожнего контейнера, итоговая аппликата ЦТ груженого контейнера будет несколько выше аппликаты ЦТ порожнего контейнера, что характерно как для случаев загрузки с высоким коэффициентом использования грузоместимости, так и для случаев перевозки специфических грузов, таких, например, как крупногабаритное оборудование.

Для определения аппликаты ЦТ порожних контейнеров были рассмотрены весовые характеристики основных элементов конструкции контейнера (крыша, днище, боковые стенки, торцевые стенки, двери), их доля в общей массе контейнера и примерные геометрические центры (ГЦ). Результаты определения аппликаций ЦТ порожних контейнеров основных типов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Фактические аппликаты ЦТ порожних контейнеров разных типов

Тип контейнера (стандарт)	Масса порожнего контейнера	Аппликата ЦТ
20-футовый для генеральных грузов — ICC	2000–2400	42 %
40-футовый для генеральных грузов — IAA	3600–4400	41 %
40-футовый для генеральных грузов — IAAA	3840–4150	46 %
20-футовый для рефрижераторных грузов — ICC	2500–3920	40 %
40-футовый для рефрижераторных грузов — IAAA	4260–4900	45 %
20-футовый для наливных грузов — ICC	3300–5950	45–48 % ¹

¹ ЦТ порожнего танк-контейнера варьируется и зависит от конструкции каркаса, цистерны и ее крепления в каркасе.

Определение фактического ЦТ контейнера для случаев загрузки, приведенных в РД 31.11.21.18–96. В этом документе рассмотрены восемьдесят семь случаев размещения различных генеральных грузов в контейнерах. В рамках настоящей статьи выполнены расчеты аппликаты ЦТ тяжести контейнера для каждого случая загрузки. Расчеты проводились следующим образом:

1. Учтена масса порожнего контейнера.
2. Учтена аппликата ЦТ порожнего контейнера.
3. Определен общий ЦТ груза по формуле

$$VCG_C = \frac{\sum m_c VCG_c}{\sum m_c}, \quad (2)$$

где VCG_C — общий ЦТ груза в контейнере;

m_c — масса однородного штабеля груза в контейнере;

VCG_c — ЦТ однородного штабеля груза.

4. Определен ЦТ груженого контейнера по формуле

$$VCG = \frac{m_{EC} VCG_{EC} + m_c VCG_c}{m_{EC} + m_c}, \quad (3)$$

где VCG_{EC} — ЦТ порожнего контейнера;

m_{EC} — масса порожнего контейнера;

m_C — масса груза в контейнере.

На рис. 1 приведены примеры типового размещения грузов из РД 31.11.21.18–96 для вариантов загрузки 81/1 и 82/4.

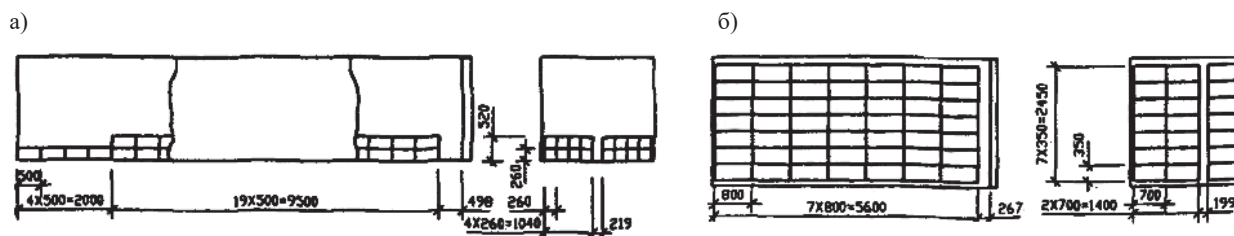


Рис. 1. Варианты типового размещения груза в контейнерах из РД 31.11.21.18–96:

а — вариант размещения груза 81/1; б — вариант размещения груза 82/4

Результаты (Results)

В результате расчетов было установлено, что фактическая аппликата ЦТ контейнера, загруженного по одному из вариантов, приведенных в Правилах, отличается от стандартной аппликаты (50 % высоты контейнера) на величину 13–88 см. Минимальные, максимальные и средние значения результатов расчетов аппликаты ЦТ контейнеров приведены в табл. 3. Повторяемость результатов сведена в табл. 4.

Таблица 3

Результаты определения фактической аппликаты ЦТ контейнеров для некоторых вариантов размещения грузов

Номер загрузки ¹	Тип груза	Высота контейнера	Фактическая аппликата ЦТ контейнера		Разница со стандартной аппликацией, м
			% высоты контейнера	м	
64/1	Продовольственные грузы в коробках и ящиках	2,438	44	1,07	–0,15
64/2		2,591	45	1,17	–0,13
66/3	Цемент	2,438	16	0,39	–0,88
67/4	Продовольственные грузы в коробках и ящиках	2,438	30	0,73	–0,49
68/4		2,591	44	1,14	–0,16
70/3		2,438	29	0,71	–0,51
72/1		2,744	44	1,21	–0,16
89/3	Металлы	2,438	16	0,39	–0,83

¹ Номер загрузки составлен в следующем виде: номер страницы / порядковый номер варианта загрузки на этой странице. Например, 72/1 означает первую загрузку на с. 72 Правил.

Таблица 4

Повторяемость результатов фактической аппликаты ЦТ контейнеров

Разница со стандартной аппликацией ЦТ, м	Повторяемость	Номера вариантов загрузки
–0,13	1	64/2
–0,15	1	64/1
–0,16	7	68/2, 68/4, 72/1, 74/2, 77/2, 82/4, 84/1
–0,17	3	69/3, 76/3, 82/1
–0,18	1	77/1
–0,19	4	72/2, 84/2, 85/2, 85/4
–0,20	3	74/3, 75/2, 83/2

Окончание табл. 4

-0,21	1	68/3
-0,22	7	69/2, 70/4, 73/1, 77/3, 79/2, 85/1, 85/3
-0,24	3	83/1, 84/3, 86/2
-0,27	6	67/3, 68/1, 69/1, 72/4, 74/1, 82/2
-0,29	9	64/3, 67/1, 67/2, 71/4, 75/1, 78/3, 82/3, 83/3, 88/3
-0,32	5	65/2, 76/1, 78/1, 86/3, 88/2
-0,34	2	73/4, 87/2
-0,37	2	80/3, 88/4
-0,39	3	70/1, 80/4, 87/1
-0,41	3	65/1, 69/4, 76/2
-0,46	1	78/1
-0,49	1	67/4
-0,51	5	70/3, 71/2 71/3, 72/3, 73/2
-0,54	2	66/2, 70/2
-0,56	6	76/4, 79/3, 80/2, 81/3, 86/1, 88/1
-0,66	1	81/2
-0,71	4	66/1, 73/3, 79/1, 89/1
-0,76	1	71/1
-0,80	1	79/3
-0,83	3	66/3, 89/1, 89/3
-0,88	1	81/1

В Правилах рассмотрены варианты загрузки контейнеров стандарта 1А и 1С высотой 2,438 м (8 футов) стандарта 1АА и 1 СС высотой 2,591 м (8,5 футов) и 2,744 м (9 футов), однако в настоящее время контейнеры стандарта 1А и 1С почти не используются в морских перевозках. Наиболее востребованными являются контейнеры стандарта 1АА / 1СС и стандарта 1ААА высотой 2,896 м (9,5 футов — хай-кьюбы). Информация об остойчивости и программы загрузки контейнеровозов содержится в сведениях об аппликатах ЦТ контейнерных штабелей из расчета данной высоты контейнеров. Поэтому при выполнении экспериментальных загрузок было принято решение учитывать высоту контейнера стандартов 1АА / 1 СС. С изменением высоты контейнера, при одном и том же варианте размещения груза, возникает разница в величине аппликаты ЦТ и коэффициента использования грузоместимости. В табл. 5 показаны примеры подобных различий. Таким образом, контейнеры стандарта 1С и 1СС, загруженные одним и тем же грузом, будут иметь аппликаты ЦТ 1,07 и 1,09 м соответственно.

Таблица 5

Аппликаты ГЦ и ЦТ контейнеров в зависимости от их высоты

Вариант загрузки	Размеры контейнера, мм	Объем, м³		K _{вм}	Аппликата	
		Контейнера	Груза		ГЦ	ЦТ
По данным Правил						
64/1	5,867 × 2,438 × 2,438	30,0	25,85	0,88	1,22	1,07
72/1	12,192 × 2,438 × 2,744	69,9	62,9	0,91	1,37	1,21
Принято при выполнении экспериментальных загрузок						
64/1	5,867 × 2,438 × 2,591	33,1	25,85	0,78	1,30	1,09
72/1	12,192 × 2,438 × 2,591	67,5	62,9	0,93	1,30	1,19

Примечание. $K_{\text{вм}}$ — коэффициент использования грузоместимости.

Определение ЦТ штабеля контейнеров. В приведенном далее примере показан расчет общего ЦТ палубного контейнерного штабеля для случая со стандартной аппликацией ЦТ контейнера (50 % его высоты) и фактической аппликацией ЦТ, рассчитанной для каждого варианта размещения груза в контейнерах, приведенного в РД 31.11.21.18–96. Рассмотренный контейнерный штабель состоит

из восемнадцати рядов и семи ярусов. Штабель сформирован таким образом, чтобы тяжелые контейнеры были в нижних ярусах, а легкие — в верхних. На рис. 2 показана конфигурация расчетного штабеля и его ЦТ.

	18	16	14	12	10	08	06	04	02	01	03	05	07	09	11	13	15	17
Вес	12,74	12,40	11,92	11,88	11,41	11,26	10,78	10,74	10,15	8,85	7,36	6,73	6,40	6,15	5,79	12,74	12,40	11,92
94 ЦТ	43,95	44,19	44,08	44,08	44,11	44,11	44,16	44,08	44,29	44,16	44,13	44,26	44,11	44,13	44,11	43,95	44,19	44,08
Вес	12,74	12,40	11,92	11,88	11,41	11,26	10,78	10,74	10,15	8,85	7,36	6,73	6,40	6,15	5,79	12,74	12,40	11,92
92 ЦТ	41,33	41,57	41,46	41,46	41,49	41,49	41,54	41,46	41,67	41,54	41,51	41,64	41,49	41,51	41,49	41,33	41,57	41,46
Вес	17,92	17,78	17,68	16,86	16,72	15,97	15,76	14,92	14,92	14,78	14,70	14,43	14,32	14,30	14,08	13,84	13,72	13,28
90 ЦТ	38,71	38,95	38,84	38,84	38,87	38,87	38,92	38,84	39,05	38,92	38,89	39,02	38,87	38,89	38,87	38,71	38,95	38,84
Вес	17,92	17,78	17,68	16,86	16,72	15,97	15,76	14,92	14,92	14,78	14,70	14,43	14,32	14,30	14,08	13,84	13,72	13,28
88 ЦТ	36,43	36,22	36,46	36,46	36,35	35,78	36,33	36,09	36,17	36,33	36,43	36,27	36,40	36,27	36,46	36,20	36,25	36,43
Вес	20,32	20,32	20,32	20,32	20,30	20,24	20,01	19,92	19,91	19,81	19,47	19,32	19,12	18,98	18,78	18,52	18,28	18,07
86 ЦТ	33,55	33,76	33,08	33,47	33,78	33,40	33,47	33,03	33,50	33,50	33,16	33,29	33,60	33,65	33,40	33,32	33,32	33,60
Вес	28,10	27,79	27,56	27,53	27,04	26,12	25,81	24,45	23,72	22,64	22,00	20,65	20,52	20,42	20,32	20,32	20,32	20,32
84 ЦТ	30,72	30,96	31,03	30,49	31,22	31,03	30,75	31,22	30,91	31,06	30,96	31,03	31,06	30,41	30,76	30,96	30,96	31,11
Вес	30,66	30,48	30,48	30,47	30,45	30,45	30,45	30,30	30,26	30,06	29,96	29,94	29,85	29,52	29,44	28,80	28,80	28,35
82 ЦТ	27,92	28,21	27,74	27,97	28,05	28,34	28,26	28,31	28,08	28,13	28,08	28,08	27,92	28,31	28,13	28,13	28,31	27,82

Рис. 2. Конфигурация палубного контейнерного штабеля и его цент тяжести

Условные обозначения:

сверху вниз: ГЦ штабеля; ЦТ штабеля при стандартной аппликате ЦТ контейнера (50 % его высоты); фактический ЦТ штабеля при фактической аппликате ЦТ контейнера

Возможны три варианта расположения ЦТ контейнерного штабеля:

1. ЦТ штабеля соответствует его ГЦ при расчетной загрузке гомогенизированных по весу контейнеров и стандартной аппликате их ЦТ, соответствующей 50 % высоты контейнера. Такая загрузка применяется при составлении предварительного «Грузового плана» еще на этапе букировки груза, когда в том числе определяются предварительные критерии остойчивости и прочности судна.

2. ЦТ штабеля соответствует расчетам, основанным на фактической массе брутто контейнеров и стандартной аппликате их ЦТ. Эта схема заложена в основу работы существующих программ загрузки и алгоритма ручного расчета остойчивости судна с использованием «Информации об остойчивости».

3. ЦТ штабеля соответствует расчетам, основанным на фактической массе брутто контейнеров и фактической аппликате их ЦТ. Именно эта схема предлагается в настоящей статье.

По результатам экспериментальной загрузки контейнерного бэя и в соответствии с приведенными ранее вариантами расположения ЦТ были получены следующие результаты:

1. ЦТ = ГЦ = 36,56 м.

2. ЦТ = 34,64 м.

3. ЦТ = 34,22 м.

В настоящей работе рассматривается разница в аппликатах ЦТ штабеля по второму и третьему вариантам. Таким образом, для приведенного примера разница между ЦТ штабеля, рассчитанного на основе стандартной аппликаты ЦТ контейнеров (34,64 м), и ЦТ штабеля, рассчитанного на основе фактической аппликаты ЦТ контейнеров (34,22 м), составила 0,42 м. Эта разница, очевидно, будет зависеть от фактической аппликаты ЦТ контейнеров, формирующих штабель.

Результаты экспериментальных загрузок. Варианты загрузки были спланированы следующим образом:

1. Выполнить загрузку для вариантов с минимальной / максимальной / средней разницей между ГЦ и ЦТ контейнера.

2. Выполнить смешанные варианты загрузки: 20- и 40-футовые контейнеры одновременно с минимальной, максимальной и средней разницей между ГЦ и ЦТ контейнера.

3. Выполнить сравнительные варианты загрузки: 20- и 40-футовые контейнеры с минимальной / максимальной / средней разницей между ГЦ и ЦТ контейнера только на палубу / только в трюмы.

Наиболее характерные результаты выполненных загрузок сведены в табл. 6.

Таблица 6

Результаты экспериментальных загрузок

Загрузка	Длина контейнера, фут	Масса брутто, т	Дедвейт судна, т	Груз		Изменение аппликаты ЦТ, м	Метацентрическая высота, м		
				Масса, т	Контейнеры (ДФЭ), шт.		Стандарт.	Факт.	Разница
67/4	20	20,24	87398,4	78168,6	3862	–0,54	1,30	1,66	+0,36
70/3	40	30,06	85033,3	77284,9	2573 (5146)	–0,57	1,45	1,83	+0,38
82/4	20	14,08	75814,1	66429,5	4718	–0,10	1,34	1,40	+0,06
84/1	40	27,04	81257,5	72385,9	2677 (5354)	–0,10	1,37	1,43	+0,06
81/1	40	30,48	86173,7	78425,3	2573 (5146)	–0,96	1,41	2,05	+0,64
89/1	20	20,42	87590,4	78494,8	3862	–0,91	1,34	1,94	+0,60
Смешанные варианты загрузки									
67/4	20	20,24	90645,3	83845,7	580	–0,54	1,80	2,22	+0,42
70/3	40	30,06			700 (1400)	–0,57			
72/1	40	16,86			612 (1224)	–0,10			
81/1	20	30,48			910 (1820)	–0,96			
82/4	40	14,08			598	–0,10			
89/1	20	20,42			222	–0,91			
					Всего: 3622 (5844)				
81/1	40	30,48	82003,9	74682,7	1862 (3724)	–0,96	2,25	2,88	+0,63
89/1	20	20,42			878	–0,91			
					Всего: 2722 (4566)				
Сравнительные загрузки ¹									
82/4 п	20	14,08	41342,8	27287,4	1938	–0,10	1,36	1,39	+0,03
82/4 т	20	14,08	41201,9	27146,5	1928	–0,10	8,77	8,80	+0,03
67/4 п	20	20,24	32432,2	24976,8	1234	–0,54	1,35	1,56	+0,21
67/4 т	20	20,24	32451,9	24996,5	1235	–0,54	8,30	8,51	+0,21
81/1 п	40	30,48	37353,7	22921,1	752 (1504)	–0,96	2,86	3,18	+0,32
81/1 т	40	30,48	37385,8	22951,4	753 (1506)	–0,96	9,54	9,86	+0,32

¹ т — погрузка только в трюм; п — погрузка только на палубу.

Обсуждение (Discussion)

Учет фактической аппликаты ЦТ контейнеров при расчете метацентрической высоты контейнеровоза имеет важнейшее значение. На основании результатов изучения более ста различных вариантов экспериментальных загрузок, выполненных в рамках настоящего исследования, было установлено, что фактическая метацентрическая высота рассматриваемого контейнеровоза превышала расчетную метацентрическую высоту в пределах 0,06–0,64 м.

Для изменения метацентрической высоты рассматриваемого контейнеровоза на 0,64 м потребуются манипуляции с контейнерами или балластом общим весом в несколько тысяч тонн. Это означает, например, что на судно могут быть погружены несколько сотен контейнеров и его фактическая метацентрическая высота будет соответствовать установленным требованиям, в то время как расчетная метацентрическая высота будет ниже допустимой. Также это свидетельствует о том, что балласт, принятый для увеличения метацентрической высоты, может оказаться ненужным, а перевозка дополнительной статьи нагрузки в виде балласта может привести к неэффективному расходу топлива.

Известны два основных способа определения фактической аппликаты ЦТ контейнера:

1. *Расчетный* — через суммирование параметров грузовых мест, размещаемых в контейнере, с использованием формул (1) и (2).

2. *Инструментальный* — с использованием, например, тензодатчиков, установленных в грузоподъемное оборудование контейнерных терминалов или с помощью предложенной в работах [10] и [11] системы трехмерного определения центра тяжести контейнера (D3DCG).

Оба эти способа соответствуют концепции определения фактической массы брутто контейнеров (VGM — Verified Gross Mass) в соответствии с требованиями Международной конвенции СОЛАС-74. Первый способ не требует дополнительных расходов на соответствующее оборудование и может быть реализован с использованием существующего программного обеспечения, применяемого для оптимального размещения груза в контейнерах. Второй способ предполагает финансовые расходы на приобретение нового или модернизацию существующего оборудования. Этот способ позволяет осуществлять оперативный контроль за фактической массой брутто контейнера и аппликацией его ЦТ — соответствующие данные могут передаваться в рамках системы оперативного контроля грузовых операций контейнеровоза, предложенной в работе [12], и использоваться при планировании загрузки контейнеровоза.

На основе результатов загрузок были сделаны следующие выводы:

1. Чем большее количество контейнеров погружено на судно, тем выше влияние их фактического ЦТ на метацентрическую высоту.
2. При погрузке одинакового количества груза в трюм или на палубу метацентрическая высота изменяется примерно на одно и то же значение.
3. Изменение метацентрической высоты судна составляет в среднем 64 % от разницы между стандартной и фактической аппликациями ЦТ контейнера, при условии загрузки судна одинаковыми контейнерами.
4. Изменение метацентрической высоты судна зависит не от массы брутто контейнеров, а от фактической аппликации их ЦТ.

Заключение (Conclusion)

В результате проведенного исследования были полностью подтверждены предположения о существенном влиянии изменений аппликации ЦТ контейнеров на метацентрическую высоту контейнеровоза.

В процессе решения проблемы, исследованной в настоящей статье, могут быть полезны следующие рекомендации:

1. Правила классификационных обществ должны содержать однозначные нормы в отношении аппликации стандартного ЦТ контейнера. Если предполагается, что для судов разных характеристик (тип судна, размерения, водоизмещение) или для различных условий эксплуатации следует применять разное значение аппликации ЦТ контейнера, то это также должно быть четко указано.
2. «Правила перевозки грузов в контейнерах морским транспортом» (РД 31.11.21.18–96) и «Карты типовых и опытных технологических процессов погрузочно-разгрузочных работ на специализированных перегрузочных комплексах морских портов» (РД 31.41.02–80) необходимо актуализировать применительно к современным условиям, включая:
 - устранение ошибок и опечаток, в частности в коэффициентах использования грузоподъемности и грузовместимости для некоторых загрузок и параметров схем размещения груза;
 - устранение несоответствий номинальной и фактической массы брутто контейнеров;
 - актуализацию номенклатуры грузов, для которых разрабатывается типовая схема размещения в контейнере;
 - рассмотрение вариантов размещения грузов в контейнерах современных стандартов, в частности 1ААА;
 - более наглядную и однозначно читаемую схему размещения груза в контейнерах, например, представленную в трех проекциях;
 - указание фактического положения ЦТ для каждого варианта загрузки контейнера.
3. Рассмотреть необходимость введения нормативного требования к указанию фактического положения ЦТ контейнера в грузовых документах. Это может быть реализовано по примеру введения в гл. VI, Правило 2 Международной конвенции СОЛАС-74, требований по обеспечению грузоотправителем капитана (его представителя) проверенными данными о массе брутто контейнера (VGM).

4. Формат файлов EDIFACT, используемых для обмена данными между участниками процесса транспортировки контейнеров, следует модифицировать так, чтобы в них была возможность указывать аппликату фактического ЦТ контейнера.

5. В методических пособиях, используемых в учебных заведениях для преподавания дисциплин, связанных с технологией перевозки грузов и транспортных процессов, целесообразно указывать, что учет фактических аппликаций ЦТ контейнеров может привести к значительному изменению положения ЦТ контейнерного штабеля и поэтому они должны учитываться при составлении грузового плана контейнеровоза¹.

В дальнейшем планируется провести исследование влияния метацентрической высоты контейнеровоза, определенной с учетом фактической аппликации ЦТ контейнеров, на динамические нагрузки, действующие на контейнерный штабель, поскольку проблема повреждения и потери контейнеров за борт становится все более актуальной. Результаты расследования таких аварий в числе возможных причин показывают превышение допустимых нагрузок на средства крепления контейнеров, вызванное чрезмерной метацентрической высотой, для поддержания оптимальной величины которой необходимо прежде всего знать ее фактическое значение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Царик Р. С. К вопросу недостоверного декларирования веса контейнеров в морских контейнерных перевозках / Р. С. Царик // Сборник докладов 62-й Международной молодежной научно-практической конференции «Молодежь. Наука. Инновации». — Владивосток: МГУ им. адм. Г. И. Невельского, 2015. — С. 54–58.

2. Антоненко С. В. Практическая оценка остойчивости в открытом море по капитанской формуле / С. В. Антоненко // Мореходство и морские науки-2009: избранные доклады Второй Сахалинской региональной морской научно-технической конференции. — Южно-Сахалинск: СахГУ, 2010. — С. 21–28.

3. Куркова О. П. Автоматизированная система мониторинга фактической остойчивости судна в условиях рейса / О. П. Куркова // E-Scio. — 2020. — № 8 (47). — С. 240–254.

4. Якута И. В. К вопросу определения погрешностей, возникающих при расчетах остойчивости судна в судовых компьютерных программах / И. В. Якута, Б. С. Гуральник // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: морская техника и технология. — 2019. — № 3. — С. 7–15. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-3-7-15.

5. Ермаков С. В. Методика оценки координат центра тяжести «мертвого запаса» (константы) / С. В. Ермаков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2020. — Т. 12. — № 3. — С. 492–503. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-492-503.

6. Chhoeung S. Approach to estimate the ship center of gravity based on accelerations and angular velocities without ship parameters / S. Chhoeung, A. Hahn // Journal of Physics: Conference Series. — IOP Publishing, 2019. — Vol. 1357. — Is. 1. — Pp. 012028. DOI:10.1088/1742-6596/1357/1/012028.

7. Царик Р. С. Оценка влияния положения центра тяжести контейнера на метацентрическую высоту контейнеровоза / Р. С. Царик, Д. А. Акмайкин // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2016. — № 6 (40). — С. 58–70. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-58-70.

8. Ершов А. А. Практический способ определения параметрического резонанса по бортовой качке судна / А. А. Ершов, А. В. Теренчук // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 5 (33). — С. 18–25. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-5-18-25.

9. Осокин М. В. Оценка риска потери остойчивости и возникновения параметрического резонанса качки / М. В. Осокин // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. — 2019. — № 59. — С. 168–176.

10. Kawashima S. Center of gravity detection for railway cars / S. Kawashima, Y. Watanabe // Open Journal of Mechanical Engineering. — 2016. — Vol. 1. — Is. 1. — Pp. 8–11.

¹ Винокур Л. Б. Проектирование мультимодальной транспортно-логистической системы: учеб. пособие для выполнения курсовой работы. Владивосток: МГУ им. адм. Г. И. Невельского, 2015. 45 с.

11. Watanabe Y. Three-dimensional Center of Gravity Detections for Preventing Rollover Accidents of Trailer Trucks Hauling Containers / Y. Watanabe // *Open Journal of Mechanical Engineering*. — 2017. — Vol. 2. — Is. 1. — Pp. 11–14.

12. Царик Р. С. Система оперативного контроля грузовых операций контейнеровоза (СОКГОК) / Р. С. Царик, Д. А. Акмайкин // *Эксплуатация морского транспорта*. — 2015. — № 2 (75). — С. 16–23.

REFERENCES

1. Tsarik, R. S. “K voprosu nedostovernogo deklarirovaniya vesa kontejnerov v morskikh kontejnernih perevozkah.” *Sbornik dokladov 62-j mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchno-prakticheskoy konferencii “Molo-dezh”. Nauka. Innovacii*. Vladivostok: Morskoj Gosudarstvennyj Universitet im. G. I. Nevel’skogo, 2015. 16–23.

2. Antonenko, S. V. “Prakticheskaya ocenka ostoichivosti v otkrytom more po kapitanskoj formule.” *Morek-hodstvo i morskije nauki-2009: izbrannye doklady Vtoroj Sahalinskoj regional’noj morskoy nauchno-tehnicheskoy konferencii*. Yuzhno-Sahalinsk: SahGU, 2010. 21–28.

3. Kurkova, O. P. “Avtomatizirovannaya sistema monitoringa fakticheskoy ostoichivosti sudna v usloviyah rejsa.” *E-Scio* 8(47) (2020): 240–254.

4. Yakuta, Irina Vladimirovna, and Boris Samuilovich Guralnik. “To the question of defining errors arising in the analysis of ship stability in ship computer software.” *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies* 3 (2019): 7–15. DOI: 10.24143/2073-1574-2019-3-7-15.

5. Ermakov, Sergey V. “Method for assessing the coordinates of the general center of gravity of masses composing the ship constant.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 12.3 (2020): 492–503. DOI: 10.21821/2309-5180-2020-12-3-492-503.

6. Chhoeung, S., and A. Hahn. “Approach to estimate the ship center of gravity based on accelerations and angular velocities without ship parameters.” *Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1357. No. 1. IOP Publishing, 2019. DOI:10.1088/1742-6596/1357/1/012028.

7. Tsarik, Ruslan Stanislavovich, and Denis Aleksandrovich Akmaykin. “Evaluation of influence of container’s center of gravity position on container ship’s metacentric height.” *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 6(40) (2016): 58–70. DOI: 10.21821/2309-5180-2016-8-6-58-70.

8. Ershov, Andrey Alexandrovich, and Alexander Vladimirovich Terenchuk. “Practical method for determining the parametric resonance of rolling of the vessel.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 5(33) (2015): 18–25. DOI: 10.21821/2309-5180-2015-7-5-18-25.

9. Osokin, Mikhail V. “Risk assessment of loss of stability and parametric rolling on example of feeder container ship.” *Bulletin of VSAWT* 59 (2019): 168–176.

10. Kawashima, Susumu, and Yutaka Watanabe. “Center of Gravity Detection for Railway Cars.” *Open Journal of Mechanical Engineering* 1.1 (2016): 8–11.

11. Watanabe, Yutaka. “Three-dimensional Center of Gravity Detections for Preventing Rollover Accidents of Trailer Trucks Hauling Containers.” *Open Journal of Mechanical Engineering* 2.1 (2017): 11–14.

12. Tsarik, R. S., and D. A. Akmaykin. “Operational control system of container ship’s cargo operations (OCSCCO).” *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 2(75) (2015): 16–23.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Царик Руслан Станиславович — капитан, инструктор-преподаватель ДВМТЦ ФГБОУ ВО «МГУ им. адм. Г. И. Невельского» 690003, Российская Федерация, Владивосток, ул. Верхнепортовая, д. 50а e-mail: rex-infinity@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Tsarik, Ruslan Stanislavovich — Master mariner, instructor-trainer Maritime State University named after admiral G. I. Nevelskoi 50a Verkhneportovaya Str., Vladivostok, 690003, Russian Federation e-mail: rex-infinity@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 25 декабря 2020 г.
Received: December 25, 2020.