

DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-2-207-221

EVALUATION OF CONTAINER CENTER OF GRAVITY HEIGHT INFLUENCE ON DECK CONTAINER STACK LOADS

R. S. Tsarik

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

The loads acting on the deck container stack, which are one of the most important factors for ensuring the safe containers transportation, are considered. It is noted that at present, the assigned standard values of the container center of gravity height are used to calculate the deck container stacks lashing arrangement. It is expressed in the fact that the programs used for calculating the loads acting on container stacks take into account a single value of container center of gravity height, without taking into account the actual values for each individual container. The purpose of this study is a comparative evaluation of the effect of the standard and actual container center of gravity height on the loads acting on the deck container stack. For this purpose, the methods of calculating loads on container stacks according to the rules of classification societies are analyzed. The relationships between all the factors used to calculate the loads are revealed. Experimental calculations of loads on deck container stacks of different configurations and taking into account different initial data that may be encountered in practice are performed. As a result, it was confirmed that the container center of gravity height has a significant influence on the values of the forces that form the loads on deck container stack. It is concluded that the combined effect of the actual metacentric height and the actual container center of gravity height can lead to both an increase and a decrease in the loads acting on the deck container stack. The necessity to take into account the values of the actual container center of gravity height when calculating the stability and lashing arrangement of deck container stacks is justified. A recommendation to take into account the actual center of gravity height of each container in specialized programs for calculating container lashing arrangement on the ship is proposed.

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

For citation:

Tsarik, Ruslan Stanislavovich. "Evaluation of container center of gravity height influence on deck container stack loads." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova* 13.2 (2021): 207–221. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-2-207-221.

УДК 656.61.052

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АППЛИКАТЫ ЦЕНТРА ТЯЖЕСТИ КОНТЕЙНЕРА НА НАГРУЗКИ ПАЛУБНОГО КОНТЕЙНЕРНОГО ШТАБЕЛЯ

Р. С. Царик

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

Рассмотрены нагрузки, действующие на палубный контейнерный штабель, которые являются одним из важнейших факторов в обеспечении сохранной перевозки контейнеров. Отмечается, что в настоящее время для расчета схемы крепления палубных контейнерных штабелей используются принятые стандартные значения аппликаты центра тяжести контейнера. Это выражается в том, что программы расчета нагрузок, действующих на контейнерные штабели, используют единое значение аппликаты центра тяжести контейнера, не учитывая фактические значения для каждого отдельного контейнера. Целью данного исследования является сравнительная оценка влияния стандартной и фактической аппликаты центра тяжести контейнера на нагрузки, действующие на палубный контейнерный штабель. Для этого в работе были проанализированы методики расчета нагрузок на контейнерные штабели согласно правилам классификационных обществ, выявлены зависимости между всеми факторами, используемыми для расчета нагрузок, выполнены экспериментальные расчеты нагрузок на палубные контейнерные штабели различной конфигурации с учетом разных исходных данных, которые могут встретиться на практике. В результате было подтверждено, что аппликата центра тяжести контейнера оказывает существенное влияние на величину сил, формирующих нагрузки на палубный контейнерный штабель. Сделан

вывод о том, что совокупное влияние фактической метацентрической высоты и фактической аппликаты центра тяжести контейнеров может приводить как к увеличению, так и к уменьшению нагрузок, действующих на палубный контейнерный штабель. Обоснована необходимость учета значения фактической аппликаты центра тяжести контейнера при расчетах остойчивости и схем крепления палубных контейнерных штабелей. Предложена рекомендация по учету фактической аппликаты центра тяжести каждого контейнера в специализированных программах расчета схем крепления контейнеров на судне.

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

Для цитирования:

Царик Р. С. Оценка влияния аппликаты центра тяжести контейнера на нагрузки палубного контейнерного штабеля / Р. С. Царик // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2021. — Т. 13. — № 2. — С. 207–221. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-2-207-221.

Введение (Introduction)

Особую актуальность в отрасли морских контейнерных перевозок приобретает потеря контейнеров за борт или их повреждение в результате крушения палубных контейнерных штабелей. Так, с октября 2020 г. по февраль 2021 г. произошло не менее девяти аварий, в результате которых были потеряны за борт около 3300 контейнеров. Для сравнения за период 2008–2016 гг. количество потерянных контейнеров в среднем не превышало 700 единиц в год, не считая потерь в результате катастрофы и гибели судна, когда в результате крушения контейнеровоза MOL Comfort в 2013 г. было потеряно около 4300 контейнеров. Следует отметить, что причиной потери контейнеров за борт является неудовлетворительная система крепления, неспособная выдержать нагрузки, возникающие в палубных контейнерных штабелях, и совокупность факторов, приводящих к недостаточности систем крепления.

Нагрузка на палубный контейнерный штабель зависит от внешних и внутренних факторов. К *внешним факторам* относится воздействие волнения и ветра, заставляющее судно испытывать качку и оказывающее непосредственное давление на контейнерный штабель, к *внутренним* — метацентрическая высота (МЦВ) судна и аппликата центра тяжести (ЦТ) контейнеров. От величины поперечной МЦВ зависит период бортовой качки, который, в свою очередь, определяет ускорение ЦТ судна. Это ускорение лежит в основе всех нагрузок, действующих на судно в целом, и на палубный контейнерный штабель в частности. Для крупнотоннажных контейнеровозов часто характерной является избыточная МЦВ, усугубляющая нагрузки на палубный контейнерный штабель, что отмечено в работе [1].

Проблема учета нагрузок на контейнерные штабели, рассматриваемая в данной работе, достаточно популярна в научной среде, что во многом обусловлено аварийностью, требующей поиска эффективных решений. Выполняемые исследования в основном направлены на изучение природы нагрузок, возникающих в контейнерных штабелях при движении судна на волнении, моделирование различных возможных ситуаций и выполнение расчетных экспериментов, направленных на определение характеристик средств крепления с целью их последующего усовершенствования.

В работах [2]–[4] описан подход к моделированию контейнерного штабеля, учитывающий взаимодействие сил тяжести и сил инерции, возникающих в разных условиях. Были использованы два метода: испытание на вибростенде и моделирование методом конечных элементов. Авторами указанных ранее работ была проведена серия экспериментов для изучения нагрузок, возникающих в контейнерном штабеле. В результате была создана математическая модель, способная прогнозировать нагрузки, которые могут испытывать контейнерный штабели при перевозке на судне. Однако в своих исследованиях авторы не учитывали влияние фактических аппликат ЦТ контейнеров. В работе [5] рассмотрен новый подход к численному моделированию критических параметров движения судна, учитывающий их соответствующие нелинейности и представлен метод оценки динамических нагрузок на систему крепления контейнеров, учитывающий ускорения, возникающие при движении судна. Авторы данной работы предложили использовать разработанный ими

метод при проектировании систем крепления контейнеров для учета реальных ускорений и сил, возникающих при перевозке контейнеров на судне. Достоинством этой работы является то, что в ней уделяется достаточное внимание влиянию МЦВ судна на нагрузки в контейнерном штабеле. Однако при этом не были учтены фактические аппликаты ЦТ каждого контейнера, при наличии допущения о том, что общий ЦТ контейнерного штабеля находится примерно на 1/3 его высоты, что является не вполне корректным в контексте исследуемой в настоящей работе проблемы.

Требования к системам и средствам крепления контейнеров, указанные в соответствующих правилах классификационных обществ, являются результатами научно-исследовательских работ. Так, в работе [6] представлены результаты исследований по разработке автоматических твистлоков и надежных схем крепления контейнеров, которые затем были учтены в правилах Международного классификационного общества DNV. Характеристики средств крепления контейнеров и их влияние на эффективность системы крепления контейнерного штабеля проанализированы в работе [7], в которой выполнен сравнительный анализ внутренней и внешней систем крепления контейнеров с учетом массы штабеля и показаны их достоинства и недостатки в различных условиях эксплуатации. На основе полученных результатов сформулированы практические критерии для проектирования средств крепления.

Проблема расчета нагрузок на контейнерные штабели с точки зрения применения разных методик, используемых в правилах разных классификационных обществ, исследована авторами в работе [8]. Подчеркивается, что расчетные алгоритмы, используемые в специализированных программах, скрыты, и доступ к ним имеют только эксперты классификационного общества. При этом критически важно, чтобы все стороны, участвующие в планировании загрузки контейнерова, использовали единую методику расчета системы крепления контейнеров. Для решения этой проблемы предлагается модель извлечения параметров системы крепления из практических примеров для ее последующего машинного обучения с целью прогнозирования нагрузок на контейнерные штабели без их явного расчета. В подавляющем большинстве случаев исследования рассматриваемой проблемы основаны на принятых нормах в отношении аппликаты ЦТ контейнера. Представляется, что отношение к установленным нормам как к правилам, не подлежащим критической оценке, препятствует решению данной проблемы.

В работах [9], [10] исследовано влияние фактического положения ЦТ контейнеров на значение МЦВ судна. В настоящий момент в расчетах остойчивости и схем крепления контейнеров применяются стандартные значения аппликаты ЦТ контейнера. Это означает, что рассчитанные критерии остойчивости и нагрузки, действующие на контейнерные штабели, не соответствуют фактическим — они могут быть как меньше их, так и больше. Очевидно, что несоответствие установленным требованиям и превышение допустимых значений не отвечает требованиям безопасности и может привести к аварии.

Целью настоящего исследования является проверка предложенной гипотезы о существенном влиянии аппликаты ЦТ каждого контейнера, формирующего контейнерный штабель, на нагрузки, действующие на него. Гипотеза основана на том, что понижение или повышение аппликат ЦТ контейнеров приводит, соответственно, к увеличению или уменьшению МЦВ судна, что, в свою очередь, отражается на динамике бортовой качки и ускорениях, а в итоге и на нагрузках, действующих на контейнеры в штабеле. Для достижения поставленной цели в работе выполнена сравнительная оценка влияния фактической аппликаты ЦТ контейнера на нагрузки, действующие на палубный контейнерный штабель.

Методы и материалы (Methods and Materials)

В процессе выполнения данного исследования были проанализированы правила расчета крепления контейнеров разных классификационных обществ, в частности DNV, NK, LR и ABS. Каждое из этих классификационных обществ имеет большой опыт нормативного обеспечения безопасности морской перевозки контейнеров. При этом разработанные ими правила имеют и свои особенности. Например, методика расчета, предлагаемая LR, включает большое количество

коэффициентов, которые, с одной стороны, позволяют избегать дополнительных вычислений, но с другой, — не дают в полной мере понять, каким образом эти коэффициенты были получены, что не очень удобно с точки зрения выполняемого исследования. Международное классификационное общество DNV предлагает для свободного использования программу расчета крепления контейнеров StowLash, позволяющую выполнить расчет крепления для заданных условий. Однако эта программа не позволяет устанавливать индивидуальное значение аппликаты центра тяжести контейнеров, что с учетом цели настоящего исследования является основным недостатком существующих методик расчета.

Поскольку настоящая работа является продолжением исследований, выполненных в работе [10], в качестве экспериментального судна здесь также используется крупнотоннажный контейнеровоз С-класса японской компании Mitsui O.S.K. Line MOL Courage (ex. APL Poland) вместимостью 8110 ДФЭ, находящегося под надзором Международного классификационного общества НК, в данном исследовании предпочтение было отдано методике расчетов, разработанной классификационным обществом НК¹. Эта методика позволила учесть следующие аспекты, необходимые для данного исследования.

Нагрузки, действующие на контейнер при бортовой качке. При бортовой качке каждый контейнер в палубном штабеле испытывает нагрузки, действующие по следующим четырем сценариям:

1. Вертикальное ускорение (подъем) в восходящем направлении. Ускорение вращения (крен) в восходящем направлении.
2. Вертикальное ускорение (подъем) в восходящем направлении. Ускорение вращения (крен) в нисходящем направлении.
3. Вертикальное ускорение (подъем) в нисходящем направлении. Ускорение вращения (крен) в восходящем направлении.
4. Вертикальное ускорение (подъем) в нисходящем направлении. Ускорение вращения (крен) в нисходящем направлении.

Расчет схематически указанных на рис. 1 сил выполняется по формулам:

$$1. F_v = M(g \cos \theta + 0,1a_{heave} + |y_i| a_{roll}); \quad (1)$$

$$F_t = C_y M(g \sin \theta + (z_i - Z_{rc}) a_{roll}). \quad (2)$$

$$2. F_v = M(g \cos \theta + 0,1a_{heave} - |y_i| a_{roll}); \quad (3)$$

$$F_t = C_y M(g \sin \theta + (z_i - Z_{rc}) a_{roll}). \quad (4)$$

$$3. F_v = M(g \cos \theta - 0,1a_{heave} + |y_i| a_{roll}); \quad (5)$$

$$F_t = C_y M(g \sin \theta + (z_i - Z_{rc}) a_{roll}). \quad (6)$$

$$4. F_v = M(g \cos \theta - 0,1a_{heave} - |y_i| a_{roll}); \quad (7)$$

$$F_t = C_y M(g \sin \theta + (z_i - Z_{rc}) a_{roll}), \quad (8)$$

где F_v — нераспределенная (общая) сила, действующая на контейнер в вертикальном направлении;
 F_t — нераспределенная (общая) сила, действующая на контейнер горизонтально в поперечном направлении;

M — масса контейнера;

z_i — аппликата ЦТ контейнера от основной плоскости;

y_i — расстояние от диаметральной плоскости (ДП) судна до ЦТ контейнера;

Z_{rc} — аппликата центра вращения бортовой качки судна от основной плоскости;

C_y — коэффициент, учитывающий ускорение носовой оконечности судна при рыскании.

¹ Guidelines for Container Stowage and Securing Arrangements (Edition 2.1) [English], July 2020, ClassNK.

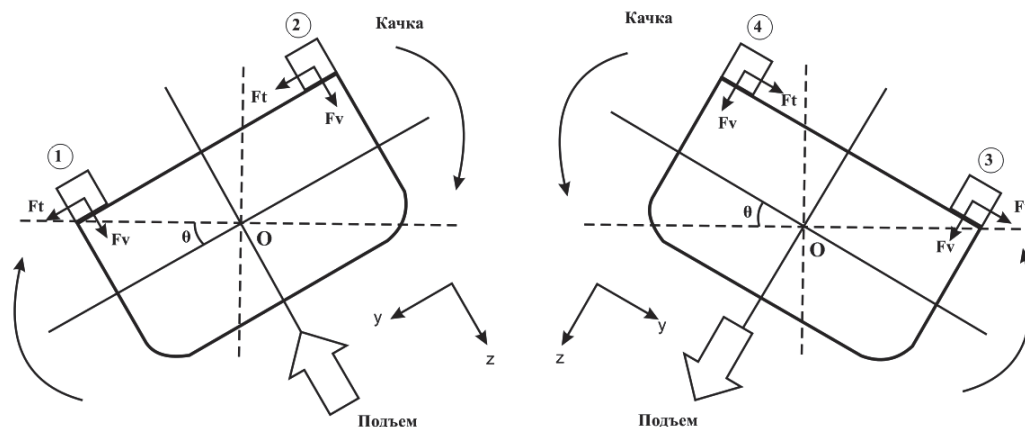


Рис. 1. Схема действия сил на палубный контейнерный штабель при бортовой качке

В данной работе в качестве расчетного был использован первый сценарий, предполагающий большие значения нагрузок, действующих на контейнерный штабель.

Нагрузки, действующие на элементы конструкции контейнера. С точки зрения воздействия нагрузок, разделяют два вида контейнерных штабелей: незакрепленный и закрепленный. Крепление штабеля предполагает использование специальных крепежных штанг. Незакрепленный штабель фиксируется только с помощью твистлоков. С точки зрения воздействия ветровой нагрузки различают внешний и внутренний штабель так, что внешний штабель подвержен ветровой нагрузке в отличие от внутреннего.

В данном исследовании рассмотрен вариант с незакрепленным штабелем. Такой выбор обусловлен тем, что исследуемые принципы и взаимодействия имеют место и в том и в другом варианте, но расчеты незакрепленного штабеля являются менее громоздкими при равной показательности. Далее рассмотрены нагрузки, действующие на незакрепленный контейнерный штабель.

1. Поперечная нагрузка, действующая на верхние угловые фитинги F_{ti} и нижние угловые фитинги F_{tbi} контейнера:

$$F_{ti} = r_{VCG} \frac{F_t}{2} + \frac{P_i}{2}; \quad (9)$$

$$F_{tbi} = (1 - r_{VCG}) \frac{F_t}{2} + \frac{P_i}{2}, \quad (10)$$

где r_{VCG} — отношение аппликаты ЦТ контейнера к его высоте (стандартное значение составляет 0,5 (50 % высоты контейнера)); P_i — сила давления ветра на боковую стенку контейнера.

2. Вертикальная нагрузка F_{vi} , действующая на каждый днищевой угловой фитинг контейнера в i -м ярусе, рассчитывается с использованием вертикальной нагрузки (F_v):

$$F_{vi} = \frac{F_v}{4}. \quad (11)$$

3. Сила поперечной деформации (Racking Load), действующая на верхний угловой фитинг с одной стороны торцевых стенок контейнера в i -м ярусе, за счет поперечных продольных нагрузок:

$$F_{rc} = \sum_{i=j}^n F_{ti} + \sum_{i=j+1}^n F_{tbi}. \quad (12)$$

4. Сдвигающая сила (Shear Load), действующая на каждый нижний угловой фитинг контейнера в i -м ярусе, за счет поперечных продольных нагрузок:

$$F_{sh} = 0,5 \sum_{i=j}^n (F_{ti} + F_{tbi}). \quad (13)$$

5. Сжимающая сила (Compressive Load), действующая на угловую стойку контейнера в i -м ярусе, за счет вертикальных нагрузок и опрокидывающих моментов, действующих на контейнеры:

$$F_{cp} = \sum_{i=j+1}^n F_{vi} + \sum_{i=j}^n \left(F_{ti} \frac{Z_i - Z_{j-1}}{W} \right) + \sum_{i=j}^{n-1} \left(F_{tb(i+1)} \frac{Z_i - Z_{j-1}}{W} \right). \quad (14)$$

6. Сжимающая сила (Compressive Load), действующая на нижний угловой фитинг контейнера в i -м ярусе, за счет вертикальных нагрузок и опрокидывающих моментов, действующих на контейнеры:

$$F_{ct} = \sum_{i=j}^n F_{vi} + \sum_{i=j}^n \left(F_{ti} \frac{Z_i - Z_{j-1}}{W} \right) + \sum_{i=j}^{n-1} \left(F_{tb(i+1)} \frac{Z_i - Z_{j-1}}{W} \right). \quad (15)$$

7. Подъемная сила (Lifting Load), действующая на угловую стойку контейнера в i -м ярусе, за счет вертикальных нагрузок и опрокидывающих моментов, действующих на контейнеры:

$$F_{lp} = - \sum_{i=j+1}^n F_{vi} + \sum_{i=j}^n \left(F_{ti} \frac{Z_i - Z_{j-1}}{W} \right) + \sum_{i=j}^{n-1} \left(F_{tb(i+1)} \frac{Z_i - Z_{j-1}}{W} \right). \quad (16)$$

8. Подъемная сила (Lifting Load), действующая на нижний угловой фитинг контейнера в i -м ярусе, за счет вертикальных нагрузок и опрокидывающих моментов, действующих на контейнеры:

$$F_{lt} = - \sum_{i=j}^n F_{vi} + \sum_{i=j}^n \left(F_{ti} \frac{Z_i - Z_{j-1}}{W} \right) + \sum_{i=j}^{n-1} \left(F_{tb(i+1)} \frac{Z_i - Z_{j-1}}{W} \right). \quad (17)$$

Схематически действующие силы представлены на рис. 2.

Планирование эксперимента. Для проведения эксперимента использовались следующие варианты формирования и размещения палубных контейнерных штабелей:

1. Параметры палубного контейнерного штабеля:

а) контейнерный штабель состоит из одного ряда и семи ярусов;

б) контейнеры в штабеле крепятся только с помощью твистлоков (дополнительные средства крепления не используются);

в) контейнерный штабель является внешним.

2. Размещение палубных контейнерных штабелей:

а) контейнерный штабель расположен в крайнем левом ряду в одном из носовых бэев;

б) контейнерный штабель расположен в ряду, близком к ДП судна, в одном из носовых бэев;

в) контейнерный штабель расположен в крайнем левом ряду в одном из бэев, близких к миделю;

г) контейнерный штабель расположен в ряду, близком к ДП судна, в одном из бэев, близких к миделю;

д) контейнерный штабель расположен в крайнем левом ряду в одном из кормовых бэев;

е) контейнерный штабель расположен в ряду, близком к ДП судна в одном из кормовых бэев.

3. Сочетание МЦВ и аппликаты ЦТ контейнера:

а) стандартная МЦВ, стандартная аппликата ЦТ контейнера;

б) стандартная МЦВ, пониженная аппликата ЦТ контейнера;

в) увеличенная МЦВ, стандартная аппликата ЦТ контейнера;

г) увеличенная МЦВ, пониженная аппликата ЦТ контейнера.

4. Сочетание массы и аппликаты ЦТ контейнера:

а) контейнеры с одинаковой массой и одинаковой аппликацией ЦТ;

б) контейнеры с одинаковой массой и разной аппликацией ЦТ;

в) контейнеры с разной массой и одинаковой аппликацией ЦТ;

г) контейнеры с разной массой и разной аппликацией ЦТ.

Таким образом, с учетом запланированных комбинаций, были составлены и просчитаны 96 вариантов экспериментальных расчетных контейнерных штабелей.

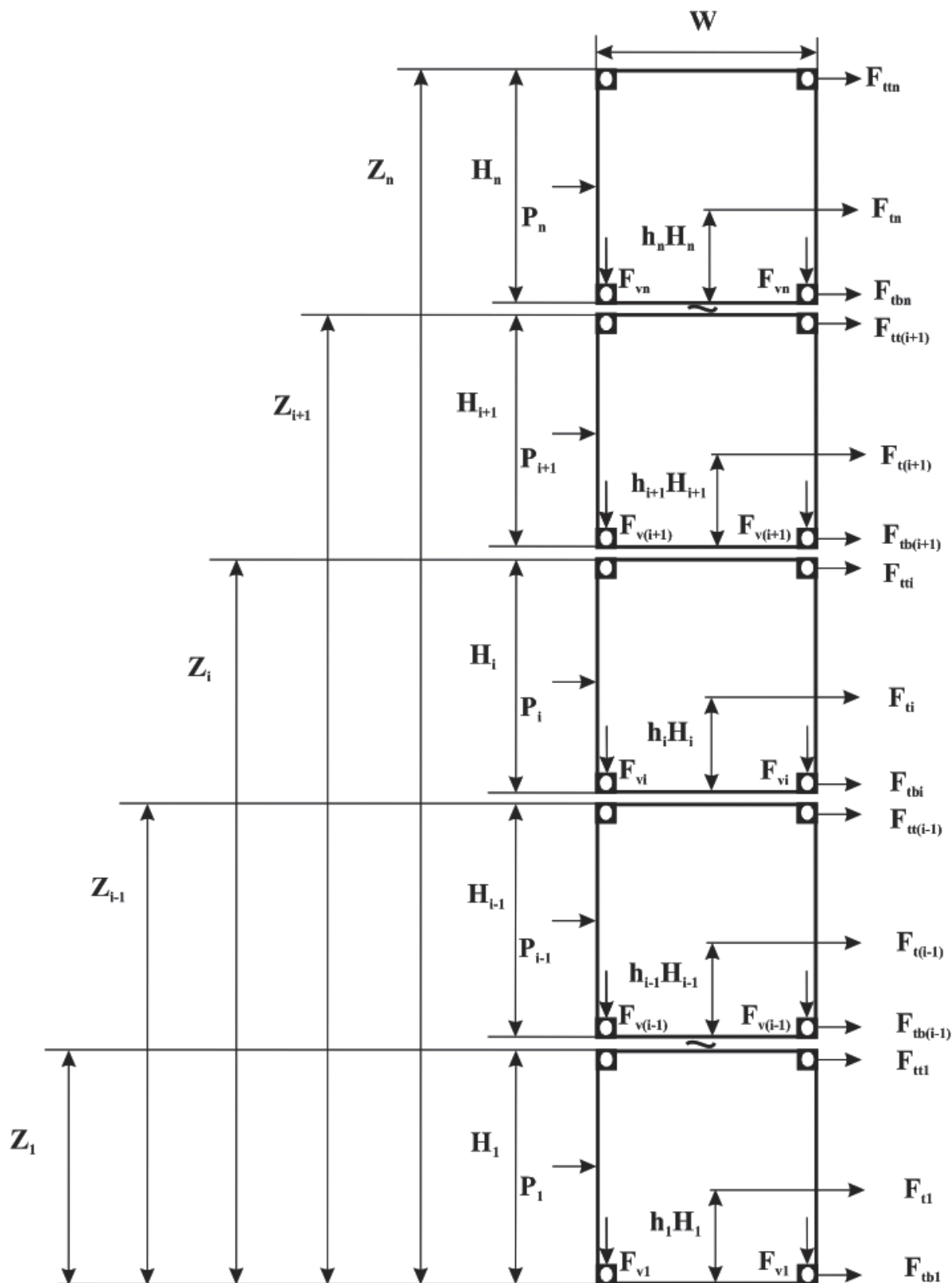


Рис. 2. Силы, действующие на внешний контейнерный штабель на палубе

Результаты (Results)

Из рассмотренных 96 вариантов экспериментальных расчетных контейнерных штабелей более подробно были изучены результаты двенадцати вариантов, включающих штабели с контейнерами разной массы и с разными аппликатами ЦТ, что более характерно для практической

ситуации перевозки контейнеров. Также дополнительно были рассмотрены еще несколько вариантов формирования контейнерных штабелей с более значительным изменением МЦВ и аппликаты ЦТ контейнеров, которые могут встретиться на практике. Основные результаты некоторых характерных вариантов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные результаты расчета нагрузок на контейнерные штабели

Параметр	Номер варианта формирования и размещения штабеля									
	1	1,1	2	2,1	3	3,1	3,2	4	4,1	4,2
Исходные параметры										
МЦВ	5,00	5,42	5,00	5,42	5,00	5,64	5,64	5,00	5,64	6,00
y_i	1,25	1,25	21,55	21,55	21,55	21,55	21,55	21,55	21,55	21,55
x_i	244,8	244,8	244,8	244,8	244,8	244,8	244,8	244,8	244,8	244,8
r_{VCG1}	0,50	0,45	0,50	0,45	0,50	0,10	0,40	0,50	0,40	0,40
r_{VCG2}	0,50	0,40	0,50	0,40	0,50	0,10	0,40	0,50	0,40	0,40
r_{VCG3}	0,50	0,35	0,50	0,35	0,50	0,20	0,41	0,50	0,41	0,41
r_{VCG4}	0,50	0,40	0,50	0,40	0,50	0,25	0,41	0,50	0,41	0,41
r_{VCG5}	0,50	0,25	0,50	0,25	0,50	0,30	0,42	0,50	0,42	0,42
r_{VCG6}	0,50	0,10	0,50	0,10	0,50	0,35	0,42	0,50	0,42	0,42
r_{VCG7}	0,50	0,44	0,50	0,44	0,50	0,44	0,42	0,50	0,42	0,42
M_1	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00	30,00
M_2	25,00	25,00	25,00	25,00	30,00	30,00	30,00	25,00	25,00	25,00
M_3	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	30,00	30,00	30,00
M_4	15,00	15,00	15,00	15,00	20,00	20,00	20,00	10,00	10,00	10,00
M_5	14,00	14,00	14,00	14,00	10,00	10,00	10,00	15,00	15,00	15,00
M_6	10,00	10,00	10,00	10,00	6,00	6,00	6,00	3,00	3,00	3,00
M_7	5,00	5,00	5,00	5,00	3,00	3,00	3,00	6,00	6,00	6,00
Нераспределенная вертикальная нагрузка										
F_{v1}	282,13	281,75	320,46	323,87	320,46	325,69	325,69	320,46	325,69	328,72
F_{v2}	235,11	234,79	267,05	269,89	320,46	325,69	325,69	267,05	271,41	273,94
F_{v3}	188,09	187,83	213,64	215,92	213,64	217,13	217,13	320,46	325,69	328,72
F_{v4}	141,07	140,88	160,23	161,94	213,64	217,13	217,13	106,82	108,56	109,57
F_{v5}	131,66	131,48	149,55	151,14	106,82	108,56	108,56	160,23	162,85	164,36
F_{v6}	94,04	93,92	106,82	107,96	64,09	65,14	65,14	32,05	32,57	32,87
F_{v7}	47,02	46,96	53,41	53,98	32,05	32,57	32,57	64,09	65,14	65,74
Нераспределенная поперечная нагрузка										
F_{r1}	169,85	174,71	169,85	174,71	169,85	175,06	177,08	169,85	177,08	181,53
F_{r2}	146,49	150,76	146,49	150,76	175,78	181,89	183,92	146,49	153,27	157,40
F_{r3}	121,15	124,74	121,15	124,74	121,15	126,27	127,22	181,72	90,82	196,31
F_{r4}	93,83	96,98	93,83	96,98	125,10	131,05	131,77	62,55	65,89	67,89

Таблица 1
(Продолжение)

F_{t5}	90,34	93,10	90,34	93,10	64,53	67,92	68,19	96,80	102,28	105,55
F_{t6}	66,51	68,36	66,51	68,36	39,91	42,19	42,28	19,95	21,14	21,85
F_{t7}	34,24	35,63	34,24	35,63	20,55	21,84	21,82	41,09	43,65	45,16
Нагрузка на верхние угловые фитинги контейнеров										
F_{it1}	48,20	45,04	48,20	45,04	48,20	14,47	41,14	48,20	41,14	42,02
F_{it2}	42,36	35,88	42,36	35,88	49,69	14,82	42,51	42,36	36,38	37,19
F_{it3}	36,03	27,56	36,03	27,56	36,03	18,35	31,80	51,17	44,84	45,95
F_{it4}	29,20	25,12	29,20	25,12	37,02	22,10	32,74	21,38	19,23	19,63
F_{it5}	28,33	17,37	28,33	17,37	21,87	15,91	20,04	29,94	27,20	27,88
F_{it6}	22,37	9,15	22,37	9,15	15,72	13,10	14,60	10,73	10,16	10,30
F_{it7}	14,30	13,57	14,30	13,57	10,88	10,53	10,30	16,01	14,89	15,19
Нагрузка на нижние угловые фитинги контейнеров										
F_{ib1}	48,20	53,77	48,20	53,77	48,20	84,50	58,85	48,20	58,85	60,17
F_{ib2}	42,36	50,96	42,36	50,96	49,69	87,57	60,90	42,36	51,70	52,93
F_{ib3}	36,03	46,27	36,03	46,27	36,03	56,23	43,25	51,17	62,01	63,62
F_{ib4}	29,20	34,82	29,20	34,82	37,02	54,87	44,60	21,38	25,16	25,74
F_{ib5}	28,33	40,64	28,33	40,64	21,87	29,49	25,50	29,94	35,38	36,32
F_{ib6}	22,37	36,49	22,37	36,49	15,72	19,43	17,98	10,73	11,85	12,05
F_{ib7}	14,30	15,71	14,30	15,71	10,88	11,84	12,05	16,01	18,38	18,81
Сила поперечной деформации										
F_{rc1}	393,38	398,56	393,38	398,56	390,61	368,71	397,40	391,40	398,32	407,62
F_{rc2}	302,81	302,57	302,81	302,57	292,72	266,67	295,36	300,83	305,48	312,68
F_{rc3}	224,42	220,42	224,42	220,42	207,00	195,62	209,61	207,30	207,09	211,86
F_{rc4}	159,20	158,04	159,20	158,04	133,96	122,40	133,21	134,75	137,09	140,17
F_{rc5}	101,67	92,27	101,67	92,27	75,07	70,81	74,98	83,43	82,48	84,22
F_{rc6}	50,97	38,42	50,97	38,42	37,47	35,47	36,96	42,76	43,43	44,30
F_{rc7}	14,30	13,57	14,30	13,57	10,88	10,53	10,30	16,01	14,89	15,19
Сдвигающая сила										
F_{sh1}	220,79	226,17	220,79	226,17	219,41	226,60	228,12	219,80	228,58	233,90
F_{sh2}	172,59	176,76	172,59	176,76	171,20	177,12	178,13	171,60	178,59	182,80
F_{sh3}	130,22	133,34	130,22	133,34	121,52	125,92	126,43	129,24	134,55	137,74
F_{sh4}	94,20	96,43	94,20	96,43	85,49	88,64	88,90	78,06	81,13	82,95
F_{sh5}	65,00	66,46	65,00	66,46	48,47	50,15	50,24	56,68	58,93	60,27
F_{sh6}	36,67	37,45	36,67	37,45	26,60	27,45	27,47	26,74	27,64	28,17
F_{sh7}	14,30	14,64	14,30	14,64	10,88	11,18	11,18	16,01	16,63	17,00
Сжимающая сила, действующая на угловую стойку										
F_{cp1}	630,45	635,66	658,87	666,90	655,82	636,15	666,94	656,75	668,04	680,24

Таблица 1
(Окончание)

F_{cp2}	475,50	475,03	495,94	497,50	471,75	446,36	477,17	493,82	501,60	510,93
F_{cp3}	344,33	339,90	358,39	355,34	326,34	315,82	330,84	313,31	314,57	320,54
F_{cp4}	239,06	237,72	248,32	247,90	194,53	182,95	194,55	208,73	212,29	216,20
F_{cp5}	144,40	134,26	149,19	139,53	104,61	100,43	104,91	113,58	112,96	115,05
F_{cp6}	66,47	52,98	68,07	54,73	48,23	46,21	47,81	61,92	62,90	63,99
F_{cp7}	15,35	14,56	15,35	14,56	11,68	11,30	11,06	17,19	15,98	16,31
Сжимающая сила, действующая на твистлок										
F_{ct1}	700,98	706,10	738,99	747,87	735,93	717,57	748,36	736,87	749,46	762,42
F_{ct2}	534,28	533,73	562,70	564,97	551,87	527,78	558,59	560,58	569,45	579,42
F_{ct3}	391,36	386,86	411,80	409,32	379,75	370,10	385,12	393,42	395,99	402,72
F_{ct4}	274,32	272,94	288,38	288,39	247,94	237,23	248,84	235,43	239,43	243,59
F_{ct5}	177,31	167,13	186,57	177,31	131,31	127,57	132,05	153,64	153,67	156,14
F_{ct6}	89,98	76,46	94,77	81,72	64,26	62,50	64,09	69,93	71,04	72,20
F_{ct7}	27,11	26,30	28,70	28,06	19,69	19,44	19,20	33,21	32,26	32,75
Подъемная сила, действующая на угловую стойку										
F_{lp1}	211,95	217,73	183,52	186,49	180,46	153,03	183,83	181,40	184,92	192,64
F_{lp2}	174,56	174,50	154,11	152,03	156,63	126,09	156,90	151,99	154,19	160,30
F_{lp3}	137,44	133,28	123,38	117,84	118,04	104,12	119,13	131,71	130,01	134,27
F_{lp4}	102,69	101,54	93,43	91,36	93,04	79,82	91,42	80,54	82,01	84,71
F_{lp5}	73,86	63,82	69,07	58,56	56,54	51,58	56,05	65,51	64,11	65,75
F_{lp6}	42,96	29,50	41,36	27,74	32,21	29,93	31,52	29,87	30,33	31,11
F_{lp7}	15,35	14,56	15,35	14,56	11,68	11,30	11,06	17,19	15,98	16,31
Подъемная сила, действующая на твистлок										
F_{lt1}	141,41	147,29	103,40	105,52	100,35	71,61	102,40	101,28	103,50	110,45
F_{lt2}	115,78	115,80	87,35	84,56	76,51	44,67	75,48	85,23	86,34	91,81
F_{lt3}	90,41	86,32	69,97	63,86	64,63	49,84	64,85	51,59	48,58	52,09
F_{lt4}	67,42	66,33	53,37	50,88	39,63	25,53	37,13	53,84	54,87	57,31
F_{lt5}	40,95	30,95	31,68	20,77	29,83	24,43	28,91	25,46	23,39	24,66
F_{lt6}	19,45	6,02	14,66	0,75	16,19	13,64	15,24	21,86	22,19	22,90
F_{lt7}	3,60	2,82	2,00	1,07	3,66	3,16	2,92	1,17	-0,30	0,13

x_i — продольное отстояние от кормового перпендикуляра до ЦТ контейнера.

Примечания:

1. Жирным шрифтом выделены значения сил, увеличившихся относительно соответствующих исходных значений.
2. Варианты 1–4 являются исходными, варианты с номерами 1.1, 2.1 и т. д. — модифицированными на основе исходных.
3. Вариант 1 соответствует варианту с условиями 1б – 2а – 3г. Вариант 1.1 соответствует варианту с условиями 1б – 2г – 3г. Вариант 2 соответствует вариантам 1а – 2а – 3 г. Вариант 1.1 соответствует вариантам 1а – 2г – 3 г. Вариант 3 является модифицированным вариантом 2 с изменением распределения контейнеров по массе. Варианты 3.1 и 3.2 являются модифицированными вариантами 3 с изменением МЦВ и распределения аппликат ЦТ контейнеров. Вариант 4 является модифицированным вариантом 2 с изменением распределения контейнеров по массе. Варианты 4.1 и 4.2 являются модифицированными вариантами 4 с изменением МЦВ и распределения аппликат ЦТ контейнеров.

Анализ рассмотренных вариантов показал следующие результаты:

1. При понижении аппликаты ЦТ контейнеров в штабеле и одновременном увеличении МЦВ наблюдалось увеличение значений некоторых сил, действующих на контейнерный штабель:

а) общая вертикальная нагрузка F_v увеличилась для всех случаев размещения штабелей в крайнем ряду;

б) общая поперечная нагрузка F_t увеличилась для всех случаев размещения штабелей как в крайнем ряду, так и вблизи ДП судна;

в) сила поперечной деформации F_{rc} увеличилась в некоторых случаях и с разными результатами, зависящими от конкретных характеристик штабеля (масса контейнеров, аппликата ЦТ и распределение по ярусам);

г) распределенная сдвигающая нагрузка F_{sh} увеличилась для всех случаев размещения штабелей как в крайнем ряду, так и вблизи ДП судна;

д) распределенные сжимающие нагрузки F_{cp} и F_{ct} , действующие на угловые стойки контейнеров и твистлоки, увеличились у контейнеров первого и второго ярусов;

е) распределенная подъемная сила, действующая на угловую стойку контейнера F_{lp} , увеличилась у контейнеров первого яруса;

ж) распределенная подъемная сила, действующая на твистлок контейнера F_{lt} , увеличилась у контейнеров первого яруса при размещении в крайнем ряду и у контейнеров первого и второго яруса при размещении в ряду, близком к ДП судна.

2. При размещении контейнерного штабеля в носовой части судна, все действующие на него нагрузки, за исключением вертикальной нагрузки, увеличиваются по сравнению с такими же контейнерными штабелями, расположенными на миделе и в корме.

3. При размещении контейнерного штабеля в крайнем ряду действующие на него вертикальная F_v и сжимающие F_{cp} и F_{ct} нагрузки увеличиваются, а подъемные силы F_{lp} и F_{lt} уменьшаются по сравнению с таким же штабелем, расположенном ближе к ДП. Другие нагрузки практически не изменяются.

4. Варианты 3.1, 4.1 и 4.2 являются наиболее неблагоприятными по нагрузкам на контейнерные штабели из числа рассмотренных вариантов и содержат наибольшее количество увеличенных нагрузок: 46, 51 и 57 увеличений соответственно.

5. Анализ максимальных увеличений сил приведен в табл. 2.

Таблица 2

Анализ максимальных увеличений нагрузок на контейнерные штабели

Сила (нагрузка)	Норма, кН	Максимальное увеличение, кН (% от нормы)	Вариант
F_{tti}	150	Нет	Нет
F_{tbi}	150	37,88 (25,25 %)	3.1
F_{rc}	150	16,22 (10,81 %)	4.2
F_{sh}	150	14,10 (9,4 %)	4.2
F_{cp}	942	23,49 (2,49 %)	4.2
F_{ct}	942	25,55 (2,71 %)	4.2
F_{lp}	250	11,24 (4,51 %)	4.2
F_{lt}	250	9,17 (3,67 %)	4.2

Обсуждение (Discussion)

В данном исследовании выполнена оценка МЦВ и аппликаты ЦТ контейнеров на нагрузки, возникающие в палубном контейнерном штабеле. Для этого на основе используемых в работе расчетных формул сформулирована схематическая зависимость, приведенная на рис. 3, где стрелками показаны воздействия одного фактора на другой. Каждому воздействию был присвоен свой

номер и знак «+» или «-», означающий прямую и обратную зависимости соответственно. Например, воздействие 1 подразумевает такое влияние аппликаты ЦТ контейнера (VCG_c) на МЦВ судна (GM), что увеличение VCG_c приводит к уменьшению GM , и наоборот; воздействие 16 подразумевает, что увеличение поперечной силы F_{ti} , оказывающей влияние на торцевые стенки контейнера в ярусе i , приведет к увеличению поперечной силы, действующей на верхние угловые фитинги F_{tti} этого же контейнера, а ее уменьшение, соответственно, к уменьшению.

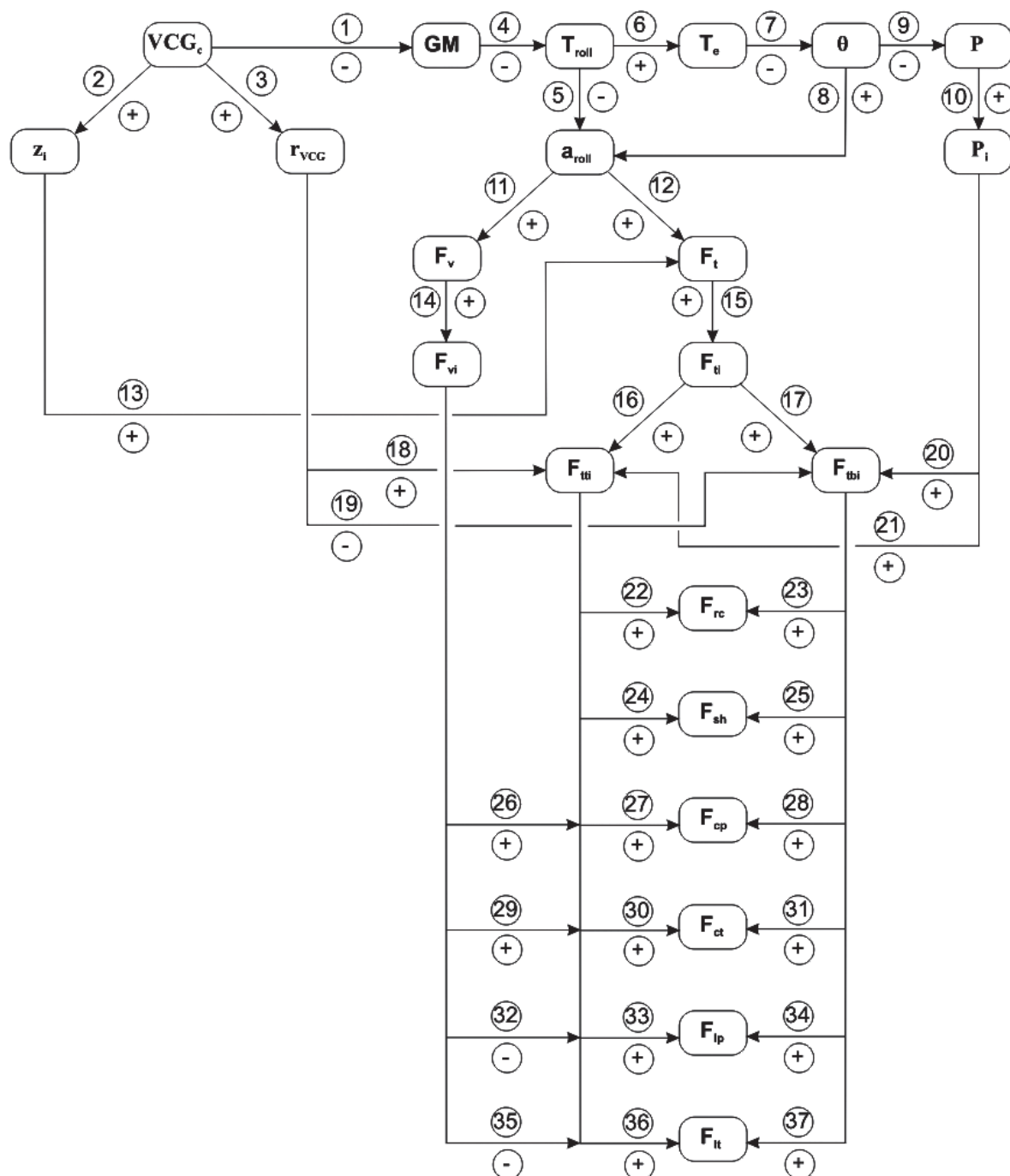


Рис. 3. Диаграмма зависимости нагрузок на палубный контейнерный штабель от МЦВ и аппликаты ЦТ контейнеров

Из приведенной на рис. 3 диаграммы можно сделать следующие выводы:

1. Увеличение GM во всех случаях приводит к увеличению ускорения бортовой качки (a_{roll}). При этом для более высоких ярусов контейнеров коэффициент ускорения будет больше.

2. Увеличение GM приводит к увеличению всех нагрузок, действующих на контейнерный штабель. При этом, однако, действуют два разнонаправленных фактора: факторы нагрузки, обусловленные увеличением a_{roll} , будут возрастать (воздействия $I1$ и $I2$), а факторы нагрузки, обусловленные давлением ветра p , будут снижаться, поскольку увеличение угла крена θ при бортовой качке уменьшает эффективную площадь парусности контейнера (воздействие 9).

3. Влияние ICG_c на силы, действующие на контейнерный штабель, оценить сложнее. Уменьшение ICG_c само по себе ведет к уменьшению значения результирующей F_t (воздействие $I3$). Но если рассматривать это воздействие в комплексе, т. е. учитывать, что уменьшение ICG_c способствует увеличению GM и соответствующему изменению зависимых факторов (θ и a_{roll}), то в итоге значение силы F_t может и уменьшиться, и увеличиться.

Уменьшение ICG_c в составе величины r_{ICG} приводит к уменьшению поперечных сил, действующих на верхние угловые фитинги контейнеров в штабеле (F_{uv}) (воздействие $I8$), но одновременно приводит к увеличению поперечных сил, действующих на нижние угловые фитинги (F_{lb}) (воздействие $I9$). Это разнонаправленное воздействие отражается на всех нагрузках, обусловленных действием этих сил. От того, какое воздействие окажется больше, будет зависеть итоговое влияние нагрузок на контейнерный штабель, обусловленных значением ICG_c .

4. Одновременное изменение GM и ICG_c контейнеров оказывает еще более сложно прогнозируемое влияние на нагрузки контейнерного штабеля. Если увеличение GM вызвано только снижением ICG_c относительно стандартного значения, то большинство нагрузок на контейнеры, у которых ICG_c ниже, будут меньше, чем на контейнеры, у которых ICG_c выше. Таким образом, вполне реальна ситуация, при которой увеличение GM приведет к превышению допустимых нагрузок для одних контейнеров, при том, что для других эти нагрузки уменьшатся.

5. Повреждение даже одного контейнера в штабеле, из-за превышения допустимых нагрузок, может привести к обрушению всего штабеля и даже соседних штабелей. Поэтому критически важно учитывать нагрузки на каждый конкретный контейнер в штабеле.

Заключение (Conclusion)

В основе проведенного исследования лежит подтвержденный в работах [9], [10] вывод о том, что аппликата ЦТ контейнера оказывает влияние на МЦВ судна, а также гипотеза о том, что и сама аппликата ЦТ контейнера, и МЦВ оказывают влияние на величину нагрузок, действующих на контейнерный штабель. Результаты, полученные в настоящей работе, подтверждают выдвинутую гипотезу. При этом экспериментальные расчеты показали, что влияние аппликаты ЦТ контейнера на нагрузки, действующие на контейнерный штабель, неоднозначно. Предполагалось, что увеличение ускорения бортовой качки, вызванное увеличением МЦВ из-за снижения аппликаты ЦТ контейнеров, приведет к увеличению всех нагрузок, действующих на контейнеры. Однако было установлено, что отдельно учитываемое снижение аппликаты ЦТ приводит к снижению некоторых нагрузок на контейнеры. При этом одновременное увеличение МЦВ влечет за собой увеличение этих нагрузок. Таким образом, снижение аппликаты ЦТ контейнера приводит к разнонаправленным изменениям нагрузок, а итоговое изменение будет зависеть от сочетания нескольких факторов, показанных на рис. 3.

Современные крупнотоннажные контейнеровозы могут перевозить на палубе более 500 штабелей контейнеров. Каждый штабель в большинстве случаев имеет свою конфигурацию по количеству контейнеров, их массе и аппликатам ЦТ. Одни и те же внешние и внутренние факторы могут привести к разным нагрузкам, действующим на каждый отдельный штабель. Это подтверждает необходимость учета аппликаты ЦТ для каждого контейнера на этапе составления «Грузового плана» контейнеровоза вместо использования стандартной аппликаты, как это принято в настоящее время. Как недостаточная, так и избыточная МЦВ, так же, как и пониженный или повышенный ЦТ контейнера, могут привести к неблагоприятным с точки зрения безопасности последствиям.

Методики расчета, разработанные классификационными обществами, предполагают учет индивидуальных значений аппликаций ЦТ контейнеров, но использование на практике специализированных

программ расчета систем крепления, в которых применяются стандартные значения аппликат ЦТ контейнеров, оставляет рассматриваемую проблему нерешенной. Для ее эффективного решения, в дополнение к рекомендациям, приведенным в работе [10], считается необходимым учитывать фактические значения аппликат ЦТ каждого отдельного контейнера в специализированных программах.

Данные о фактической аппликате ЦТ каждого контейнера так же, как и его проверенная масса брутто, могут включаться в грузовые документы и передаваться участникам процесса планирования загрузки в рамках системы оперативного контроля грузовых операций контейнеровоза, предложенной в работе [11].

Дальнейшие исследования планируется направить на выявление зависимостей для характерных сочетаний значений МЦВ и аппликат ЦТ контейнеров, при которых нагрузки на контейнерный штабель будут достигать минимальных и максимальных значений. Результаты исследований также планируется использовать для оценки влияния фактической МЦВ контейнеровоза на формирование условий, способствующих возникновению параметрической бортовой качки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Борисов Р. В. О нормировании ускорений при качке судов с избыточной остойчивостью / Р. В. Борисов, А. А. Лузянин // Морские интеллектуальные технологии. — 2018. — № 4–1 (42). — С. 42–48.
2. De Souza V. A. Study on the dynamic response of container stack using non-linear finite element analysis. Doctor of philosophy thesis / V. A. de Souza. — University of Tokyo, 2010. — 96 p.
3. Kirkayak L. On the vibrational characteristics of a two-tier scaled container stack / L. Kirkayak, V. A. de Souza, K. Suzuki, H. Ando, H. Sueoka // Journal of marine science and technology. — 2011. — Vol. 16. — Is. 3. — Pp. 354–365. DOI: 10.1007/s00773-011-0129-y.
4. De Souza V. A. Experimental and numerical analysis of container stack dynamics using a scaled model test / V. A. de Souza, L. Kirkayak, K. Suzuki, H. Ando, H. Sueoka // Ocean Engineering. — 2012. — Vol. 39. — Pp. 24–42. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2011.10.004.
5. Acanfora M. On the estimation of the design loads on container stacks due to excessive acceleration in adverse weather conditions / M. Acanfora, J. Montewka, T. Hinz, J. Matusiak // Marine Structures. — 2017. — Vol. 53. — Pp. 105–123. DOI: 10.1016/j.marstruc.2017.01.003.
6. Wolf V. Rule development for container stowage on deck / V. Wolf, I. Darie, H. Rathjed // Third International Conference on Marine Structures — MARSTRUCT. — London: Taylor & Francis Group, 2011. — Vol. 1. — Pp. 715–722.
7. Bandeira Guimaraes Neto A. C. Feasibility and benefit of different lashing arrangements for sea transport of containers on weather deck / A. C. Bandeira Guimaraes Neto. — West Pomeranian University of Technology, 2013. — 149 p.
8. Lee C. Lashing Force Prediction Model with Multimodal Deep Learning and AutoML for Stowage Planning Automation in Containerships / C. Lee, M. K. Lee, J. Y. Shin // Logistics. — 2021. — Vol. 5. — Is. 1. — Pp. 1. DOI: 10.3390/logistics5010001.
9. 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.
10. 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.
11. 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. Borisov, Rudolf V., and Alexander A. Luzjanin. "About normalization of accelerations during the motions of vessels with excessive stability." *Marine Intelligent Technologies* 4–1(42) (2018): 42–48.

2. De Souza, Vinicius Aguiar. Study of the dynamic response of container stack using non-linear finite element analysis. Doctor of philosophy thesis. University of Tokyo, 2010.
3. Kirkayak, Levent, Vinicius Aguiar de Souza, Katsuyuki Suzuki, Hideyuki Ando, and Hidetoshi Sueoka. "On the vibrational characteristics of a two-tier scaled container stack." *Journal of marine science and technology* 16.3 (2011): 354–365. DOI: 10.1007/s00773-011-0129-y.
4. De Souza, Vinicius Aguiar, Levent Kirkayak, Katsuyuki Suzuki, Hideyuki Ando, and Hidetoshi Sueoka. "Experimental and numerical analysis of container stack dynamics using a scaled model test." *Ocean Engineering* 39 (2012): 24–42. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2011.10.004.
5. Acanfora, Maria, Jakub Montewka, Tomasz Hinz, and Jerzy Matusiak. "On the estimation of the design loads on container stacks due to excessive acceleration in adverse weather conditions." *Marine Structures* 53 (2017): 105–123. DOI: 10.1016/j.marstruc.2017.01.003.
6. Wolf, V., I. Darie, and H. Rathjed. "Rule development for container stowage on deck." *Third International Conference on Marine Structures — MARSTRUCT*. Vol. 1. London: Taylor & Francis Group, 2011. 715–722.
7. Bandeira Guimaraes Neto, Antonio Carlos. Feasibility and benefit of different lashing arrangements for sea transport of containers on weather deck. West Pomeranian University of Technology, 2013.
8. Lee, Chaemin, Mun Keong Lee, and Jae Young Shin. "Lashing Force Prediction Model with Multimodal Deep Learning and AutoML for Stowage Planning Automation in Containerships." *Logistics* 5.1 (2021): 1. DOI: 10.3390/logistics5010001.
9. 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.
10. Tsarik, Ruslan Stanislavovich. "Evaluation of influence of standard and actual centers of gravity of the typically loaded container on the metacentric height of container ship." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Makarova* 13.1 (2021): 17–28. DOI: 10.21821/2309-5180-2021-13-1-17-28.
11. Tsarik, R.S., and D. 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 февраля 2021 г.
Received: February 25, 2021.