

УДК 629.1

DOI: 10.22213/2413-1172-2025-2-50-59

К расчету закрепления массивного объекта на палубе корабля

И. А. Блинов, кандидат технических наук, АО «ИЭМЗ «Купол», Ижевск, Россия

Увеличение интенсивности мировой торговли и рост морских грузоперевозок в гражданской сфере, а также разработка новых морских боевых средств в военной сфере обуславливают все возрастающие требования к производительности и качеству проектных работ по обеспечению надежности крепления массивных объектов на палубе несущих кораблей. Несмотря на систематическое появление новых разработок, направленных на обеспечение надежности крепления грузов на кораблях, в данной области существуют пробелы, связанные с отсутствием удобных, быстрых и нетребовательных к вычислительным средствам методик учета распределения нагрузок по опорным связям, в особенности если опоры имеют нетипичную конфигурацию. В рамках работ по проектированию морского варианта боевого модуля зенитного ракетного комплекса семейства «Тор» для обеспечения надежности крепления модуля на палубе несущего корабля автором предложена модификация известной в авиации методики расчета системы гибких швартовочных связей. Представленная в работе модификация расчета позволяет учесть влияние опрокидывания относительно ребра треугольной опорной базы на распределение нагрузки по отдельным связям. Выведены формулы для определения составляющих сил натяжения от опрокидывающих моментов, возникающих при качке корабля, которые следует использовать вместо базовых формул. На основании модификации разработан вычислительный комплекс для расчета системы креплений объекта на треугольной базе. Результаты работы были применены в производстве боевого модуля ЗРК системы «Тор» и могут оказаться полезными для расчетов надежности закрепления на палубе аналогичных массивных объектов.

Ключевые слова: транспортировка на корабле, швартовочные связи, швартовка, треугольная база, зенитный ракетный комплекс.

Введение

Безопасность транспортировки массивных грузов, равно как и безопасность эксплуатации стыкуемого с мобильным носителем модуля, в значительной степени зависит от надежности крепления объекта на корпусных элементах носителя.

Для крепления транспортируемого объекта, в том числе на палубе корабля, широко применяются гибкие связи (найтобы), в качестве которых используются канаты, цепи, ремни. Они универсальны, просты в эксплуатации и могут обеспечить достаточную надежность крепления даже без дополнительных жестких связей. Закрепленные одним концом к узлу в грузовом отсеке транспортного средства или на палубе транспортного корабля, а другим концом – к швартовочному узлу на корпусе транспортируемого объекта, они препятствуют его смещению, скольжению и опрокидыванию под действием инерционных сил. В случае транспортировки морем такие силы возникают при морской качке, ветровой нагрузке, под ударами волн.

Надежность закрепления объекта относительно транспортного средства во многом определяется качеством выбранной методики проч-

ностных расчетов используемой системы гибких креплений.

Известная методика расчета таких систем, изложенная в руководстве по разработке «Наставлений по креплению грузов» (НД № 2-030101-008) и в учебном издании Снопкова В.И. «Технология перевозки грузов морем» (2001) и получившая некоторое идеиное развитие (например, в направлении автоматизации расчетов [1]), удобна и проста в применении. К сожалению, она основывается на допущении об одинаковой жесткости связей и не направлена на отражение реалистичной картины распределения нагрузок по ним. Погрешности расчета, связанные с принятым допущением, покрываются в этом случае лишь достаточно большим коэффициентом запаса прочности, закладываемым по отношению к каждой связи. При этом коэффициент берется весьма умозрительно. Подобный подход оправдывает себя в случае закрепления не ответственных, либо достаточно легких объектов, либо при выполнении разовой транспортной операции. Когда же речь идет о закреплении на палубе гибкими связями какого-либо постоянного объекта либо временного на длительный период, который обладает большой массой и габари-

тами, то детализацию расчетов целесообразно увеличивать.

Подходы к расчетам, изложенные в [2, 3], применяются в области железнодорожного транспортирования и выгодно отличаются направленностью на получение более детализированных результатов. Уровень детализации здесь повышается за счет применения более прогрессивных конечно-элементных методов к анализу совместного деформирования как гибких связей, так и самого груза. В новых методиках устраняются недостатки действующих регламентирующих документов [4]. Расчеты проводятся с учетом температурных деформаций и предварительной затяжки. Недостатком является необходимость проведения достаточно трудоемких многоитерационных вычислительных экспериментов с применением специального программного обеспечения. Выполнить комплекс вычислительных экспериментов для получения достоверного результата в условиях ограниченных временных рамок работы над реальным конструкторским проектом становится возможным только на высокопроизводительных рабочих станциях, которые не всегда доступны.

Известны работы, в которых учитываются конструктивные особенности транспортируемого объекта. Так, в работах [5–7] представлены модификации известных методик, учитывающие особенности транспортирования колесной техники по железной дороге. В работе [8] показано влияние деформируемости системы креплений груза на железнодорожной платформе для перемещения его центра тяжести, приводящее к перераспределению нагрузок в несущих элементах. Работа [9] посвящена оценке устойчивости колесного груза, закрепленного гибкими элементами. В работах [10, 11] представлены способы погрузки пакетированных грузов и расчетные модели для оценки надежности их транспортирования морским транспортом, пиломатериалов [12, 13] и труб большого диаметра [14].

Сочетание простоты расчетов с хорошей детализацией результатов без необходимости применения высокопроизводительных средств вычислений можно получить методами, приемлемыми в авиации. Такие методы закреплены рядом регламентирующих документов, например «ТУ, предъявляемые к грузам, транспортируемым вертолетом МИ-8Т» или «Временные технические требования к технике и грузам, предназначенным для воздушной транспортировки их в самолете Ил-76». Известны также работы в области повышения надежности

и безопасности креплений грузов при совершении экстремальных маневров [15], работы в области определения погонных нагрузок на пол грузовой кабины с применением расчетных моделей балок на упругом основании [16].

Технически швартовка транспортируемого груза в грузовом отсеке летательного аппарата во многом аналогична закреплению на палубе корабля. Учесть влияние специфичных внешних факторов, таких как воздействие ветра, удары морских волн и повторно-периодичный характер инерционных сил при качке [17–19], в том числе в экстремальных штормовых условиях [20] не составляет большого труда.

Упрощенный метод решения задачи определения сил натяжения многократно статически неопределенной системы гибких связей в авиации был впервые опубликован в научно-техническом журнале «Техника воздушного флота» (№ 1 за 1965 г.). В качестве основы метода был положен закон сохранения энергии при деформации упругих систем. Сложные канонические уравнения совместной деформации были заменены простыми уравнениями, в которых ключевую роль играют отношения погонных жесткостей отдельных связей к суммарным погонным жесткостям.

$$\left. \begin{aligned} S_{xi} &= P_x \frac{K_{xi}}{\cos x_i \sum K_{xi}}, \\ S_{yi} &= P_y \frac{K_{yi}}{\cos y_i \sum K_{yi}}, \\ S_{zi} &= P_z \frac{K_{zi}}{\cos z_i \sum K_{zi}}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где S_{xi} , S_{yi} , S_{zi} – составляющие по осям x , y , z силы натяжения в i швартовочной связи; P_x , P_y , P_z – силы, действующие на закрепленный объект, в случае закрепления на палубе должны включать в себя как инерционные силы при качке, так и ветровую нагрузку и нагрузку от ударов волн; $K_{xi} = \frac{\cos^2 x_i}{l_i}$, $K_{yi} = \frac{\cos^2 y_i}{l_i}$, $K_{zi} = \frac{\cos^2 z_i}{l_i}$ –

погонная жесткость i связи в направлении осей координат; x_i , y_i , z_i – проекции длины i связи на оси координат; l_i – длина i связи.

К силам, определенным по формуле (1), добавляются силы натяжения от инерционных моментов, возникающих при несовпадении центра погонной жесткости связей с центром тяжести объекта. Инерционные моменты стремятся повернуть объект относительно центра погонной жесткости либо опрокинуть его относи-

тельно некоторого ребра, что вызывает дополнительное натяжение в препятствующих такому движению связях. Ребром опрокидывания является сторона базовой фигуры, лежащей в основании объекта.

В основе известной методики расчета лежит прямоугольная форма базового объекта как наиболее часто встречающаяся в практике транспортирования грузов и машин. При попытке использовать данную методику для расчета крепления объекта с формой базы, отличной от прямоугольника, естественным образом возникают проблемы некорректного распределения нагрузок. Примерами таких объектов могут быть трехколесные тракторы либо тракторы со сближенными передними колесами (МТЗ-1, МТЗ-50Х, МТЗ-80Х), треножные фундаменты и в частности фундаменты ветряных турбин. Перечисленные объекты имеют треугольную либо близкую к треугольной форму базы.

Столкнулись с данной проблемой и при разработке системы креплений автономного боевого модуля ЗРК семейства «Тор» на палубе боевого корабля. Решению задачи расчета швартовки объектов с треугольной базой методами, принятыми в авиации, посвящена данная работа.

Цель исследования – модификация известной методики расчета швартовки грузов относительно транспортного средства, принятой в авиации, применительно к швартовке автономного боевого модуля на палубе корабля, позволяющая учесть особенности расположения его опорных элементов по вершинам базового треугольника.

Суть вносимых изменений в метод расчета швартовки на примере крепления боевого модуля на палубу корабля

Боевой модуль отличается высокой степенью универсальности опорных элементов, обеспечивающих возможность его установки на любой носитель, будь то автомобильное шасси, стационарная рама, железнодорожная платформа, палуба корабля и др. (рис. 1, а). Особенность закрепления заключается в отсутствии избыточных связей модуля с носителем, что реализовано за счет трех коротких опорных шарниров, в совокупности лишающих модуль шести степеней свободы относительно основания (Патент № 148972 РФ, Зенитный ракетный комплекс в модульном исполнении / Карташов В. И., Матросов В. И., Горбунов М. В) и системы регулировки расстояния между опорами (Патент № 2791018 РФ, Механизм регулировки опоры

массивных объектов / Пахомов Д. В., Марков Д. О.).

Опоры модуля образуют узкий равнобедренный опорный треугольник, направленный вершиной в сторону движения модуля. При качке корабля с выраженной боковой составляющей инерционной силы P_z модуль стремится к опрокидыванию вокруг ребра такого треугольника. Расположение ребра опрокидывания накладывает изменения в технологию определения препятствующих опрокидыванию сил натяжения гибких связей.

Инерционный момент, способствующий опрокидыванию модуля вокруг ребра ζ , будет определяться по формуле

$$M_\xi = P_z \cos\beta (y_{ц.т} - y_{ц.п.ж}), \quad (2)$$

где $\beta = \arctg \frac{B}{2L}$ – угол наклона ребра опорного треугольника; $y_{ц.т}$ и $y_{ц.п.ж}$ – координаты центра тяжести и центра погонной жесткости соответственно в системе координат $хуз$ (рис. 2); B – расстояние между задними опорами (основание опорного треугольника); L – расстояние между передней опорой и линией, проходящей через задние опоры (высота опорного треугольника).

Опрокидыванию модуля препятствует направленная вниз сила P_y и часть гибких связей, включающихся в работу на растяжение. Произвольная i гибкая связь с силой натяжений S_{zic} создает два момента относительно ребра опрокидывания: момент вертикальной составляющей $S_{zic} \frac{y_i}{l_i}$ с плечом $G'H'$ и момент горизонтальной составляющей $S_{zic} \frac{z_i}{l_i} \cos\beta$ с плечом,

равным высотной координате точки крепления гибкой связи к корпусу (высотной координате швартовочного узла) $y_{ш.у.}$.

Плечо момента силы P_y согласно виду А на рис. 2, б, есть длина отрезка ED , причем $ED = GF$, а $GF = GH - FH$. Длину отрезка GH определим из треугольника $A'GH$: $GH = A'H \sin\beta$, причем $A'H = L - vx_{ц.т}$. Длину отрезка FH определим из треугольника DFH : $FH = DH \cos\beta$, причем $DH = z_{ц.т}$.

Плечо $G'H'$ есть сумма длин отрезков $G'F$ и $F'H'$. Длину отрезка $G'F'$ определим из треугольника $G'F'E'$: $G'F' = G'E' \cos\beta$, причем $G'E'$ есть поперечная координата швартовочного узла $z_{ш.у.}$. Отрезок $F'H'$ равен отрезку $E'D'$, который можно определить из треугольника $A'D'E'$: $E'D' = A'E' \sin\beta$, причем $A'E'$ есть расстояние от

швартовочного узла до передней опоры $A'E' = L - x_{\text{ш.y}}$, где $x_{\text{ш.y}}$ – продольная координата точки крепления гибкой связи к корпусу модуля.

С учетом приведенных геометрических выкладок формула момента, препятствующего опрокидыванию, имеет вид

$$\begin{aligned} M_{\xi p} = & P_y ((L - x_{\text{ш.t}}) \sin \beta - z_{\text{ш.t}} \cos \beta) + \\ & + \sum_{i=1}^N S_{zic} \frac{y_i}{l_i} (z_{\text{ш.yi}} \cos \beta + (L - x_{\text{ш.yi}}) \sin \beta) - \quad (3) \\ & - \sum S_{zic} \frac{y_i}{l_i} \cos \beta, \end{aligned}$$

а дополнительные силы натяжения i гибкой связи при положительном неуравновешенном мо-

менте $M_{\xi H} = M_{\xi} - M_{\xi p}$ будут определяться по формуле

$$S_{zi(M\xi)} = M_{\xi H} \times \times \frac{K_{yi} l_i (z_{\text{ш.yi}} \cos \beta + (L - x_{\text{ш.yi}}) \sin \beta)}{y_i \sum_{j=1}^N K_{yj} (z_{\text{ш.yj}} \cos \beta + (L - x_{\text{ш.yj}}) \sin \beta)^2}. \quad (4)$$

Таким образом, отличия, вносимые в методику расчета надежности закрепления гибкими связями для применения в отношении объекта с треугольной базой, будут заключаться в определении сил $S_{zi(M\xi)}$ по формулам (2)–(4) с последующим применением их в расчете вместо аналогичной силы $S_{zi(Mx)}$.

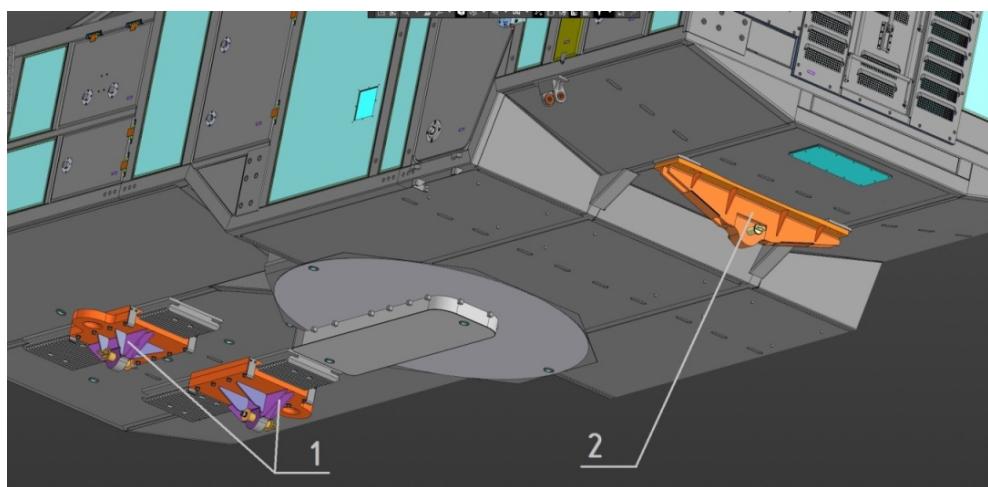
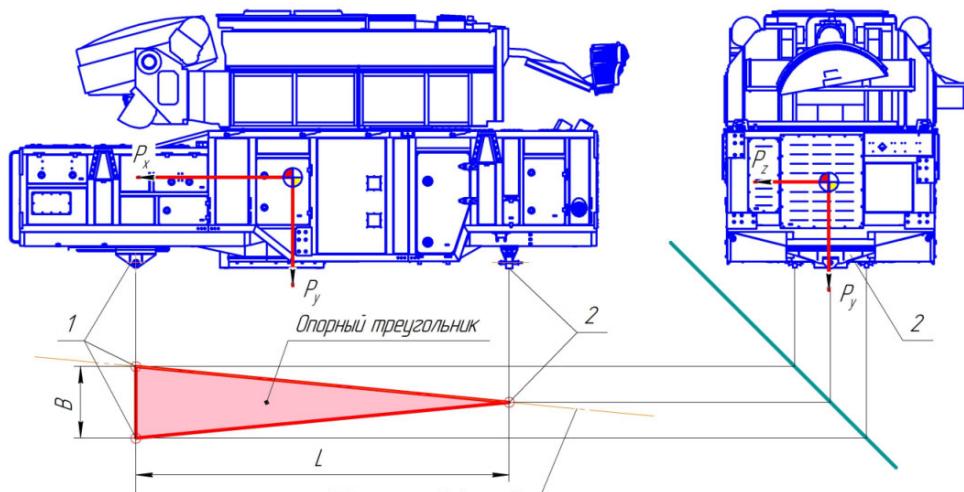
*a**b*

Рис. 1. Система опорных элементов боевого модуля: *a* – вид на опорные кронштейны; *b* – опорный треугольник; 1 – задние опорные кронштейны; 2 – передний опорный кронштейн

Fig. 1. The system of supporting elements of combat module: *a* - view of the support brackets; *b* - support triangle; 1 - rear support brackets; 2 - front support bracket

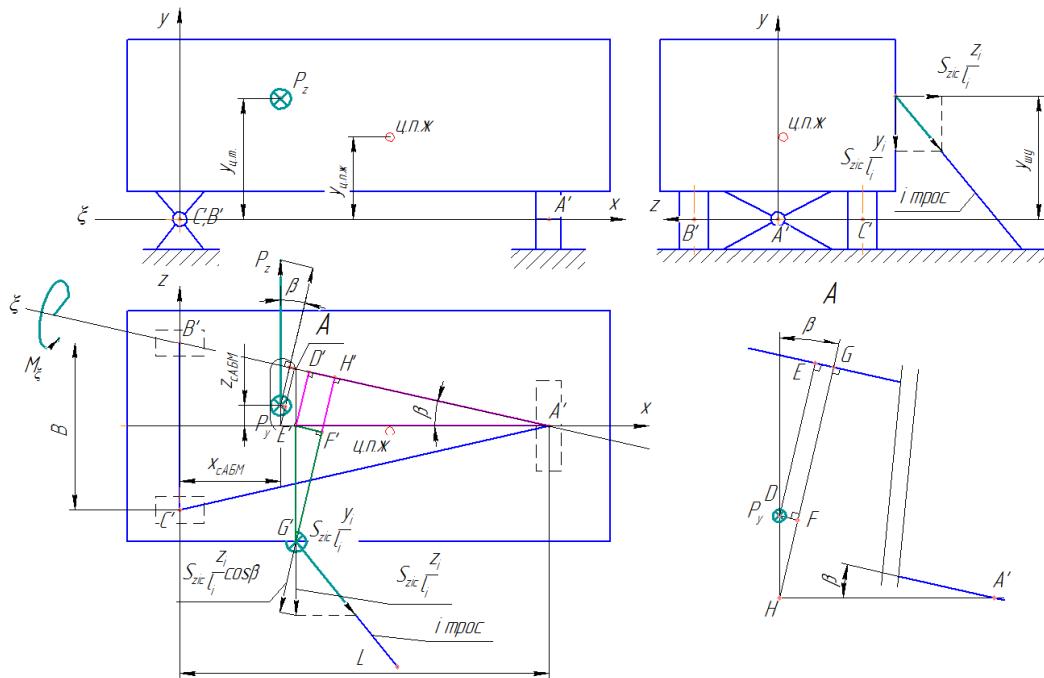


Рис. 2. К определению сил натяжения гибких связей, препятствующего опрокидыванию

Fig. 2. To determine the tension forces of flexible bonds that prevent tipping

Модифицированная методика легла в основу вычислительной системы, состоящей из таблицы Excel и листа с программой, написанной в среде MathCAD с возможностью взаимного обмена данными. Причем лист Excel выполняет функцию интерфейса с пользователем, где в удобной форме задаются исходные данные, включающие массу объекта, его геометрию, параметры качки (рис. 3, a), координаты швартовочных узлов, подключаются отдельные связи к расчету распределения нагрузок по разным

направлениям, а также отражаются результаты вычислений, полученные из листа MathCAD (рис. 3, b). Результаты здесь проходят проверку на предмет ошибок и недочетов схемы, и в случае наличия таковых выводятся комментарии и рекомендации по каждой связи. В частности, на рисунке 3, b, показаны комментарии о недостаточной прочности 2, 4 и 5 тросов и рекомендация о выключении троса 9 из расчета по причине получения отрицательного значения силы натяжения.

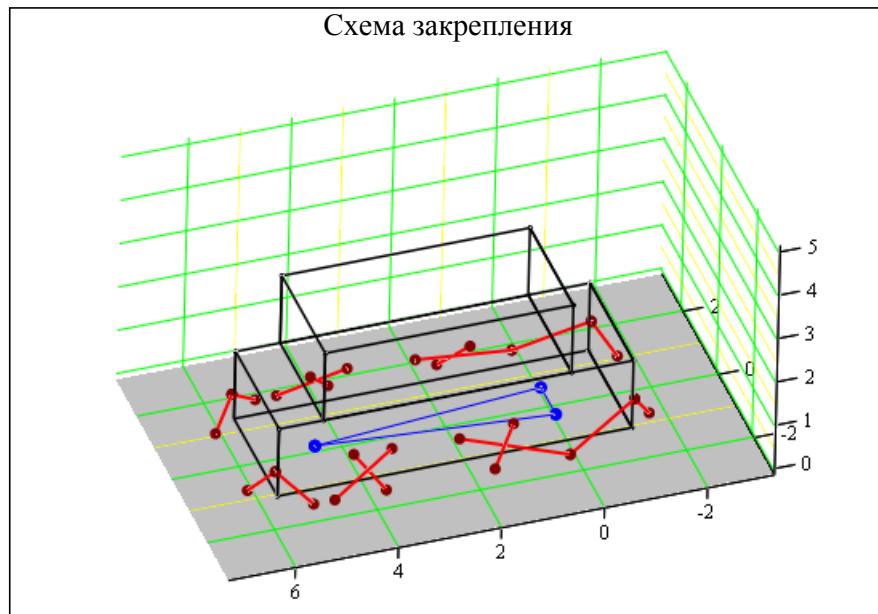
ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ		
Масса объекта	m(кг)	16300
Расстояние между опорами	L (м)	4,53
	B (м)	0,85
Габаритные размеры объекта	высота Ho (м)	3,1
	ширина Bo (м)	2,45
	длина Lo (м)	6,88
Параметры бортовой качки	угол $\theta(^{\circ})$	15
	период $T\theta(s)$	10
Параметры килевой качки	угол $\psi(^{\circ})$	3
	период $T\psi(s)$	5
Координаты центра тяжести объекта относительно центра тяжести корабля	продольная xc (м)	10
	вертикальная yc (м)	7
	поперечная zc (м)	0,1
Высота волн h (м)		4
Скорость ветра v (м/с)		20
Плотность воздуха $\rho_{в}$ (кг/м ³)		0,125
Давление волны на объект $p_{вол}$ (Н/м ²)		7400
Прочность связей (Н)		100000

a

Рис. 3. Элементы интерфейса вычислительной системы: а – таблица ввода исходных данных на листе Excel

Fig. 3. Computer system interface elements: a - table of input data on an Excel sheet

Имя связи	Координаты связей на корпусе объекта			Координаты связей на палубе			Воспринимает нагрузку по оси			Нагрузки в гибких связях				Запас прочности связи
	xA (м)	yA (м)	zA (м)	xB (м)	yB (м)	zB (м)	x	y	z	Sx (Н)	Sy (Н)	Sz (Н)	S (Н)	
Трос 1	5,733	0,576	-1,225	6,15	0	-0,5	Да	Нет	Нет	8064	-11138	6285	15119	6,61
Трос 2	5,733	0,576	-1,225	5,122	0	-1,65	Нет	Нет	Да	-289069	-272510	-201071	445256	0,22
Трос 3	3,482	0,624	-1,265	4,71	0	-1,65	Да	Нет	Да	103205	-52443	-32357	120202	0,83
Трос 4	4,21	0,624	-1,225	3,71	0	-1,65	Нет	Нет	Да	-229040	-285843	-194684	414810	0,24
Трос 5	1,11	0,624	-1,225	1,6	0	-1,65	Да	Нет	Да	122270	-155707	-106050	224591	0,45
Трос 6	2,164	0,533	-1,225	0,14	0	-1,65	Нет	Нет	Да	-61267	-16134	-12108	64503	1,55
Трос 7	-1,24	0,659	-1,225	0,14	0	-1,65	Да	Нет	Да	26864	-12828	-8273	30898	3,24
Трос 8	-1,24	0,659	-1,225	-1,65	0	-0,9	Нет	Нет	Нет	0	0	0	0	OK
Трос 9	-1,24	0,659	1,225	-1,65	0	0,9	Нет	Нет	Да	222711	357967	176539	-457063	нет нагрузки
Трос 10	-1,24	0,659	1,225	0,14	0	1,65	Да	Нет	Нет	12443	-5942	3832	14312	6,99
Трос 11	2,164	0,533	1,225	0,14	0	1,65	Нет	Нет	Нет	0	0	0	0	OK
Трос 12	1,1	0,624	1,225	1,6	0	1,65	Да	Нет	Нет	8768	-10942	7453	15880	6,3
Трос 13	4,21	0,624	1,225	3,71	0	1,65	Нет	Нет	Нет	0	0	0	0	OK
Трос 14	4,21	0,624	1,265	4,71	0	1,65	Да	Нет	Нет	8763	-10936	6747	15553	6,43
Трос 15	5,733	0,576	1,225	5,122	0	1,65	Нет	Нет	Нет	0	0	0	0	OK
Трос 16	5,733	0,576	1,225	6,15	0	0,9	Да	Нет	Нет	9900	-13675	-7716	18562	5,39

b*c*

Rис. 3 (окончание): b – таблица параметров связей на листе Excel с результатами расчетов; c – визуализация схемы закрепления на листе MathCAD

Fig. 3 (continued): b - table of connection parameters on an Excel sheet with calculation results; c - visualization of the fastening scheme on a MathCAD sheet

На листе MathCAD выполняются расчеты сил натяжения гибких связей по программе, а также строится удобная для визуального восприятия схема закрепления модуля гибкими связями (рис. 3, *b*). Отображение точек соединения связей с корпусом модуля и палубой корабля осуществляется в соответствии с ранее заданными координатами швартовочных узлов.

Для оценки степени влияния формы базы объекта на нагрузки в гибких связях были составлены графики (рис. 4).

Положение объекта на корабле показано на рисунке 4, *a*, где θ – угол бортовой качки, ψ – угол килевой качки. Для простоты были приняты лишь наиболее опасные бортовые колебания ($\psi = 0$). На рисунке 4, *b*, изображен вид сверху на рассматриваемый объект, на котором указаны координаты швартовочных узлов, а также размеры и положение треугольной и прямо-

угольной баз для двух случаев расчета. На рисунке 4, *c*, отражено соотношение результатов расчета двумя способами, где $S_{\max\Delta}$ – сила натяжения наиболее нагруженной гибкой связи объекта на треугольном основании, рассчитанная с использованием модифицированной методики, $S_{\max\square}$ – сила натяжения наиболее нагруженной гибкой связи аналогичного объекта на прямоугольном основании, h – высота волн. Сила ветра и сила ударов морских волн не учитывались.

Полученные графики показывают: при малых высотах центра тяжести объекта над палубой (менее 3 длин оснований базового треугольника) модификации расчета не оказывают выраженного влияния на результат. В этой области (при $y_c/B < 3$) момент опрокидывания выше реактивного момента основания, поэтому дополнительных сил в гибких связях $S_{zi(Mx)}$ и $S_{zi(M\zeta)}$ для удержания объекта не возникает.

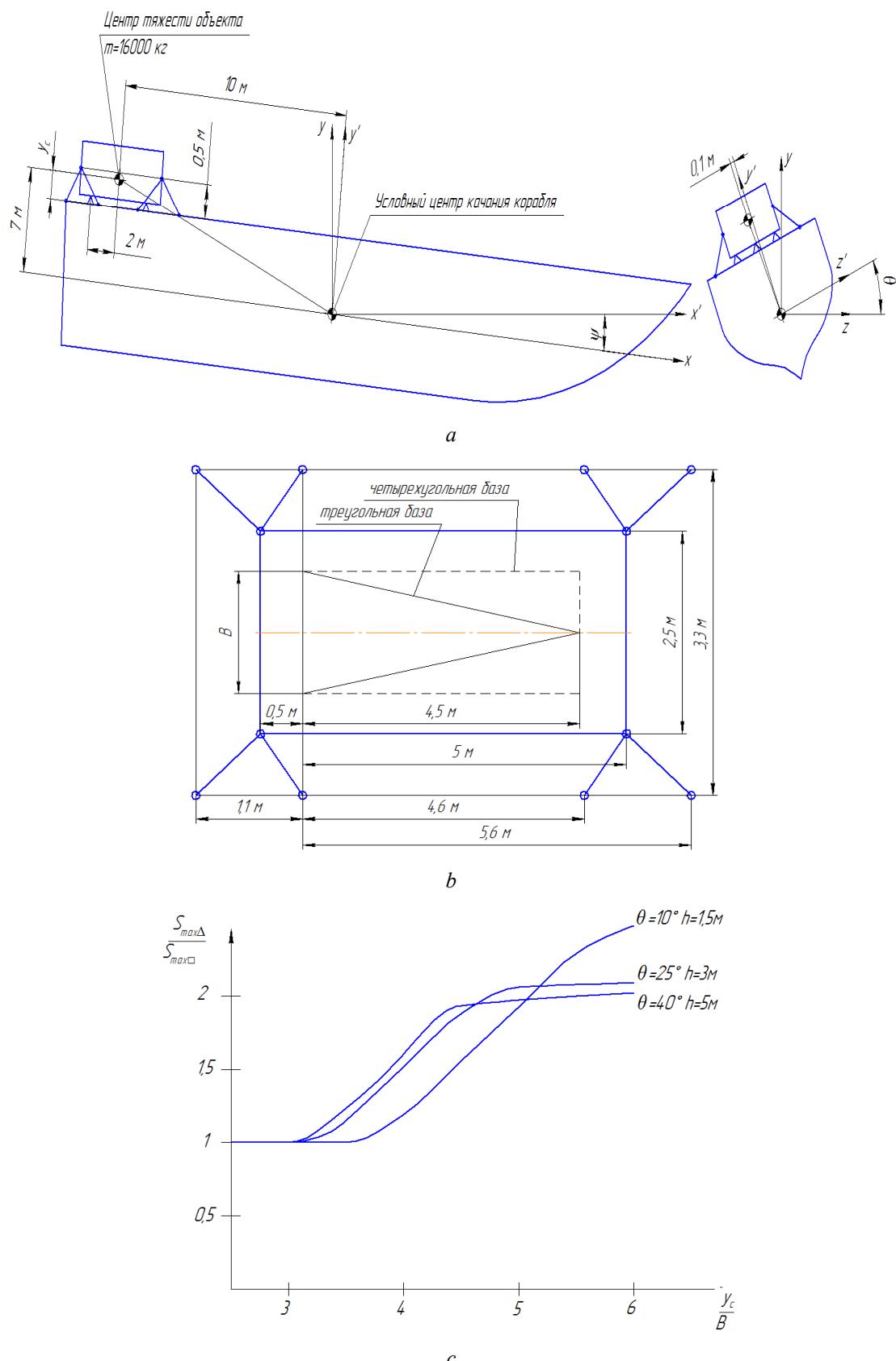


Рис. 4. Влияние метода расчета на результат: а - положение объекта на корабле; б - координаты гибких креплений объекта; в - график зависимости $S_{\max\Delta}/S_{\max\square}$ от относительной высоты центра тяжести y_c/B при разных волнениях

Fig. 4. The effect of calculation method on the result: a - The position of the object on the ship; b - coordinates of flexible fastenings of the object; c - Graph of the dependence of $S_{\max\Delta}/S_{\max\square}$ on the relative height of the center of gravity y_c/B for different waves

В интервале $3 < y_c/B < 4,5 \dots 5,5$ резкий взлет графика связан с появлением неуравновешенного момента $M_{\xi H}$, соответственно, дополнительных сил в гибких связях для удержания объекта от опрокидывания вокруг ребра опорного треугольника. Ситуация усугубляется тем, что расчет для прямоугольного основания показывает ложное отсутствие опрокидывания. Без применения модифицированного расчета ошибка в определении максимальной нагрузки на связи может оказаться двукратной.

Выводы

Таким образом, для расчета системы гибких креплений массивных объектов на палубе корабля с расположением палубных жестких опор по вершинам треугольника (в частности, для крепления боевого модуля зенитного ракетного комплекса семейства «Тор» с аналогичной треугольной базой) рекомендуется применять известную в авиации простую и нетребовательную к высокопроизводительным средствам методику расчета швартовки, модифицированную следующим образом. Силы натяжения в гибких связях, препятствующие опрокидыванию объекта при качке, определяются из условий равновесия объекта под действием сил инерции, силы тяжести, реакций опор и сил натяжения гибких связей, причем, в отличие от базовой методики, ребро опрокидывания проходит через две жесткие палубные опоры и наклонено относительно направления бортовой и кильевой качки. Вышеописанные изменения отражены в формулах расчета сил натяжения гибких связей (3) и (4), которые следует применять взамен аналогичных базовых формул.

Использование модифицированной методики позволит избежать ошибок при определении сил натяжения гибких связей в прочностных расчетах, которые при высоких центрах тяжести закрепляемого объекта (свыше $3B$) могут быть двукратными.

Модифицированная методика и разработанный на ее основе вычислительный комплекс, состоящий из программы MathCAD и листа Excel, были успешно применены в опытно-конструкторских работах по разработке морских вариантов боевых машин зенитно-ракетного комплекса семейства «Тор».

Библиографические ссылки

- Пархотько А. В. Автоматизация расчета крепления нестандартных грузов на морских судах // Вісник Приазовського державного технічного університету. 2015. Т. 2, вып. 30. С. 72–80.
- Туранов Х. Т., Рузметов Я. О., Якушев А. В. О деформируемом состоянии механической системы «груз – вагон – крепление» // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2019. Т. 16, вып. 3. С. 455–468. DOI: 10.20295/1815-588X-2019-3-455-468.
- Рузметов Я. О. О новой методике расчета крепления груза на вагоне // Транспорт шелкового пути. 2019. № 1-2. С. 56–58.
- Туранов Х. Т., Рузметов Я. О. Основные недостатки методики расчета крепления грузов на вагоне по ТУ // Транспорт шелкового пути. 2019. № 1-2. С. 59–64.
- Совершенствование методики расчета крепления колесной техники на открытом железнодорожном подвижном составе / В. А. Болотин, К. Е. Ковалев, А. В. Новичихин, Н. Г. Янковская, А. Д. Иванова // Бюллетень результатов научных исследований. 2023. Вып. 1. С. 183–196. DOI: 10.20295/2223-9987-2023-1-183-196
- Болотин В. А., Янковская Н. Г. Совершенствование обеспечения сохранности и безопасности перевозки грузов на открытом подвижном составе на основе информационных технологий // Бюллетень результатов научных исследований // Научные труды SWOrld. 2018. Т. 1, вып. 53. С. 68–77 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sworld.com.ua> (дата обращения: 17.04.2025).
- Туранов Х. Т., Псеровская Е. Д., Гордиенко А. А. Пример расчета по новой методике гибких элементов крепления колесной техники при воздействии продольных сил // Транспорт: наука, техника, управление: научный информационный сборник. 2014. № 4. С. 50–57.
- Гегедаш М. Г., Петраков С. А., Потылкин Е. Н. Влияние деформируемости элементов крепления грузов на их динамическое поведение в процессе транспортировки // Проблемы перспективного развития железнодорожных станций и узлов. 2023. № 1 (5). С. 77–84.
- Ситников С. А. Определение устойчивости колесной техники, перевозимой на платформе при наличии гибких элементов крепления // Бюллетень науки и практики. 2021. Т. 7. № 8. С. 253–263.
- Anosov N.M., Malikova T.E., Strelkov A.Yu. (2018) Method of unitized goods' stack formation and securing on deck. Asia-Pacific Journal of Marine Science & Education, vol. 8, no. 2, pp. 25-32.
- Маликова Т. Е., Аносов Н. М., Стрелков А. Ю. Совершенствование способа погрузки пакетированных грузов на палубу судна // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2017. Т. 9, № 3. С. 499–505. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-499-505
- Пелехов Г. А. Расчетные модели крепления пакетированных пиломатериалов при перевозке на открытой палубе судов // Морской вестник. 2021. № 4 (80). С. 110–112.
- Пелехов Г. А. Анализ российских и международных требований к расчетам крепления палубного

груза пакетированных пиломатериалов // Морской вестник. 2020. № 1 (73). С. 116–117.

14. Маликова Т. Е., Москаленко М. А. Повышение эффективности морской перевозки труб большого диаметра на палубе судна // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2014. № 2 (24). С. 100–105.

15. Скрябин Р. Ю., Груздев А. С. Проектирование и прочностной анализ конструкции крепления габаритно-массового груза для транспортировки в грузовой кабине самолета Ил-76МД // Постулат. 2018. № 4 [Электронный ресурс]. URL: <https://e-postulat.ru/index.php/postulat/article/view/1402> (дата обращения: 17.04.2025).

16. Константинов А. С. Методика выбора схем транспортирования моногрузов по допускаемым нагрузкам на грузовой пол самолета // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т. 15, № 4 (4). С. 840–845.

17. Ремез Ю. В. Качка корабля. Л.: Судостроение, 1983. 328 с.

18. Благовещенский С. Н., Холодилин А. Н. Справочник по статике и динамике корабля. В 2 т. Изд. 2-е, перераб. и доп. Л.: Судостроение, 1976. Т. 2. Динамика (качка) корабля. 176 с.

19. Чепок А. О. Аналитическое определение сил инерции, действующих на груз при качке судна // Вестник АГТУ. Серия: Морская техника и технология. 2014. № 1. С. 43–47.

20. Овчинникова Е. А., Скороходов Д. А. Особенности маневрирования судна в штормовых условиях // Автоматика на транспорте. 2016. № 2. С. 180–197.

References

1. Parhotko A.V. (2015) [Automation of calculation of fastening of non-standard cargoes on sea vessels]. *Vestnik Priazov'skogo derzhavnogo tehnichnogo universitetu*, vol. 2, iss. 30, pp. 72-80 (in Russ.).

2. Turanov H.T., Ruzmetov Ya.O., Yakushev A.V. (2019) [On the deformable state of the mechanical system cargo-wagon-attachment]. *Izvestija Peterburgskogo universiteta putej soobshhenija*, vol. 16, iss. 3, pp. 455–468 (in Russ.).

3. Ruzmethov Ya.O. (2019) [About the new method of calculating the load attachment on the wagon]. *Transport shelkovogo puti*, no. 1-2, pp. 56-58 (in Russ.).

4. Turanov H.T., Ruzmetov Y.O. (2019) [The main disadvantages of the calculation method of securing cargo on the car according to TC]. *Transport shelkovogo puti*, no. 1-2, pp. 59-64 (in Russ.).

5. Bolotin V.A., Kovalov K.E., Novichihin A.V., Yankovskaya N.G., Ivanova A.D. (2023) [Methodology improvement to calculate wheeled vehicles bracing on open railway rolling stock]. *Bulleten' rezul'tatov nauchnyh issledovanij*, iss. 1, pp. 183-196. DOI: 10.20295/2223-9987-2023-1-183-196 (in Russ.).

6. Bolotin V.A., Yankovskaya N.G. (2023) [Improving the safety and security of cargo transportation on

open rolling stock based on information technology]. *Nauchnye trudy SWWorld*, vol. 1, no. 53, pp. 68-77 (in Russ.).

7. Turanov H.T., Pserovskaya E.D., Gordiyenko A.A. (2014) [An example of calculating using a new method of flexible fastening elements for wheeled vehicles under the influence of longitudinal forces]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie: nauchnyj informacionnyj sbornik*, no. 4, pp. 50-57 (in Russ.).

8. Gegedesh M.G., Petrachkov S.A., Potylkin E.N. (2023) [The effect of deformability of cargo fastening elements on their dynamic state during transportation]. *Problemy perspektivnogo razvitiya zheleznodorozhnyh stancij i uzlov*, no. 1 (5), pp. 77-84 (in Russ.).

9. Sitnikov S. (2021) [Determination of the stability of wheeled vehicles transported on the platform in the presence of flexible mounting elements]. *Bulleten' nauki i praktiki*, vol. 7, no. 8, pp. 253-263 (in Russ.).

10. Anosov N.M., Malikova T.E., Strelkov A.Yu. (2018) Method of unitized goods' stack formation and securing on deck. *Asia-Pacific Journal of Marine Science & Education*, vol. 8, no. 2, pp. 25-32.

11. Malikova T.E., Anosov N.M., Strelkov A.Yu. (2017) [Advances in method of loading packaged goods on vessel's deck]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*, vol. 8, no. 3, pp. 499-505. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-3-499-505 (in Russ.).

12. Pelekhov G.A. (2021) [Calculation models for securing packaged lumber during transportation on the open deck of ships]. *Morskoy Vestnik*, no. 4 (80), pp. 110-112 (in Russ.).

13. Pelekhov G.A. (2020) [Analysys of Russian and international requirements for calculation of securing deck cargo of packaged lumber]. *Morskoy Vestnik*, no. 1 (73), pp. 116-117 (in Russ.).

14. Malikova T. E., Moskalenko M. A. (2014) [Increasing the efficiency of deck large diameter tubes carriageby sea transport]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova*, no. 2(24), pp. 100-105 (in Russ.).

15. Scryabin R.Yu., Gruzdev A.S. (2018) [Design and strength analysis of the design of securing bulk cargo for transportation in the cargo cabin of the IL-76MD aircraft]. *Postulat*, no. 4 [Electronic resource]. Available at: <https://e-postulat.ru/index.php/postulat/article/view/1402> (accessed: 17.04.2025) (in Russ.).

16. Konstantinov A.S. (2013) [The methodology of selecting single-cargo transportation schemes according to the pre-loaded loads on the cargo floor of the aircraft]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossijskoy akademii nauk*, vol. 15, no. 4 (4), pp. 840-845 (in Russ.).

17. Remez Yu.V. (1983) *Kachka Korablya* [Rolling of the ship] Leningrad: Sudostroyeniye Publishing, 328 p. (in Russ.).

18. Blagoveschenskiy S.N., Kholodilin A.N. (1976) *Spravochnik po statike i dinamike korablja* [Handbook of ship statics and dynamics]. Leningrad: Sudostroyeniye Publishing, 176 p. (in Russ.).

19. Chepok A.O. (2014) [Analytical determination of inertia forces acting on cargo en route]. *Vestnik AGTU. Series: Marine engineering and technology*, no. 1, pp. 43-47 (in Russ.).
20. Ovchinnikova E.A., Skorohodov D.A. (2016) [Features of vessel turn under the storm conditions]. *Automation on transport*, no. 2, pp. 180-197 (in Russ.).

On the Calculation of Massive Object Securing on a Ship Deck

I.A. Blinov, PhD in Engineering, JSC “IEMZ “Kupol”, Izhevsk, Russia

The increasing of global trade intensity and the growth of marine cargo transportation in the civilian sector, as well as the development of new naval combat assets in the military sector stipulate the increasing demands on productivity and quality of design work to ensure the reliability of deck mounts. Despite new developments aimed at ensuring the reliability of cargo securing on ships that appear systematically, there are problems with the lack of convenient, fast and computation tolerant methods to take load distribution over support links into account, especially if the supports have an atypical configuration. Within the design of the marine version of the anti-aircraft missile system “Tor” combat module in order to ensure the reliability of the module’s mounting to the deck, the author proposed a modification of the well-known analysis method for the flexible mooring system. The modification of the analysis presented in this paper allows taking into account the effect of tipping relative to the edge of the triangular support base on the load distribution over individual links. The paper provides formulae for the tensile force component calculation of the tipping moments occurring at ship pitching. Based on the modification, a computing complex has been developed to calculate the triangular based object’s mounting system. The results of the work were applied in the production of the combat module of anti-aircraft missile system “Tor” and may be useful for calculating the reliability of similar massive objects securing to the deck.

Keywords: transportation by ship, mooring connections, mooring, triangular base, anti-aircraft missile system.

Получено 02.04.2025

Образец цитирования

Блинов И. А. К расчету закрепления массивного объекта на палубе корабля // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2025. Т. 28, № 2. С. 50–59. DOI: 10.22213/2413-1172-2025-2-50-59

For Citation

Blinov I.A. (2025) [On the Calculation of Massive Object Securing on a Ship Deck]. *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikova*, vol. 28, no. 2, pp. 50-59. DOI: 10.22213/2413-1172-2025-2-50-59 (in Russ.)