

УДК 656.073.1.

## ПРОБЛЕМА ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ СУДОВОЙ ГРУЗОВОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ РАБОТ БЕСКОНТАКТНЫМ СПОСОБОМ НА ВОЛНЕНИИ

**Мизгирев Дмитрий Сергеевич**<sup>1</sup>, доцент, доктор технических наук, профессор

*e-mail: [mizgirevds@yandex.ru](mailto:mizgirevds@yandex.ru)*

**Власов Владимир Николаевич**<sup>1</sup>, старший преподаватель

*e-mail: [vn\\_vlasov@mail.ru](mailto:vn_vlasov@mail.ru)*

**Тутынин Тимофей Дмитриевич**<sup>1</sup>, магистрант

*e-mail: [timmatei@mail.ru](mailto:timmatei@mail.ru)*

<sup>1</sup> Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

**Аннотация.** Целью статьи является системное описание способов и технических средств, применяемых для осуществления перегрузки грузов между судами, находящимися на плаву. В работе рассматриваются контактные и бесконтактные способы перегрузки, используемые в современном судоходстве. Описаны способы расчета движения судна и моделирования бортовой качки судна на лаговом волнении.

**Ключевые слова:** движение судна, бортовая качка, бесконтактный способ перегрузки, судовые стрелы, траверзный способ перегрузки, перегрузка грузов, кильватерный способ перегрузки.

## THE PROBLEM OF DESIGNING ELEMENTS OF A SHIP CARGO SYSTEM WHEN PERFORMING HANDLING WORKS WITH A NON-CONTACT METHOD IN WAVES

**Mizgirev Dmitry Sergeevich**<sup>1</sup>, Associate Professor, Doctor of Technical Sciences, Professor

*e-mail: [mizgirevds@yandex.ru](mailto:mizgirevds@yandex.ru)*

**Vlasov Vladimir Nikolaevich**<sup>1</sup>, Senior Teacher

*e-mail: [vn\\_vlasov@mail.ru](mailto:vn_vlasov@mail.ru)*

**Tutynin Timofey Dmitrievich**<sup>1</sup>, Master's Degree Student

*e-mail: [timmatei@mail.ru](mailto:timmatei@mail.ru)*

<sup>1</sup> Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

**Abstract.** The purpose of the article is a systematic description of the methods and technical means used to carry out transshipment of cargo between ships afloat. The work examines contact and non-contact methods of transshipment used in modern shipping. Methods for calculating the motion of a vessel and modeling the roll of a vessel in log waves are described.

**Keywords:** ship movement, roll, non-contact method of reloading, ship booms, abeam method of reloading, cargo transshipment, wake method of reloading.

Существует два принципиальных способа передачи грузов между судами: с помощью судовых перегрузочных средств (грузовых стрел, стационарных и передвижных палубных кранов, шлангов и стендеров), а также с использованием специальных внесудовых перегрузочных средств: плавучих кранов, гидро- и пневмоперегрузателей, плавучих перекачивающих и зачистных станций, авиации [1].

Судовые перегрузочные средства позволяют реализовывать контактную и бесконтактную перевалку грузов. При контактном способе перегрузка осуществляется непосредственно с одного борта на другой. Самый существенный недостаток – необходимость швартовки судов друг с другом, что создает дополнительную опасность повреждений при ветре и качке.

Таким образом, более безопасным методом перегрузки является бесконтактный способ, при котором исключается физическое взаимодействие между судами. Этот способ можно использовать в сложных метеоусловиях, когда швартовка судов исключена.

Бесконтактные методы перегрузки включают в себя траверзный и кильватерный способы. Кильватерным методом передаются только жидкие грузы, например, жидкое топливо. При траверзном способе для перегрузки жидких и твердых грузов используются различные леерные устройства, лебедки и натяжители.

Коренной конец грузового леерного устройства закрепляется на принимающем судне (рис. 1), ходовой конец выводится на барабан лебедки, которая размещена на передающем судне. По лееру при помощи оттяжек движется канифас-блок с грузом. Его движение происходит с помощью лебедки.

Поскольку оба судна находятся на плаву, их положение друг относительно друга может меняться и привести к разрыву леера. Поэтому следует внимательно наблюдать за натяжением леера и травить его в случае необходимости. Отсюда вытекает главный недостаток траверзного способа передачи грузов – необходимость точного управления лебедками. Следует отметить сложность автоматизации этого процесса: на акватории происходит постоянное изменение взаимного расположения в пространстве точек крепления концов грузовой системы на обоих судах как по вертикали (припопадании корпусов попеременно на гребень и подошву волны), так и по горизонтали (вследствие бортовой и килевой качки).

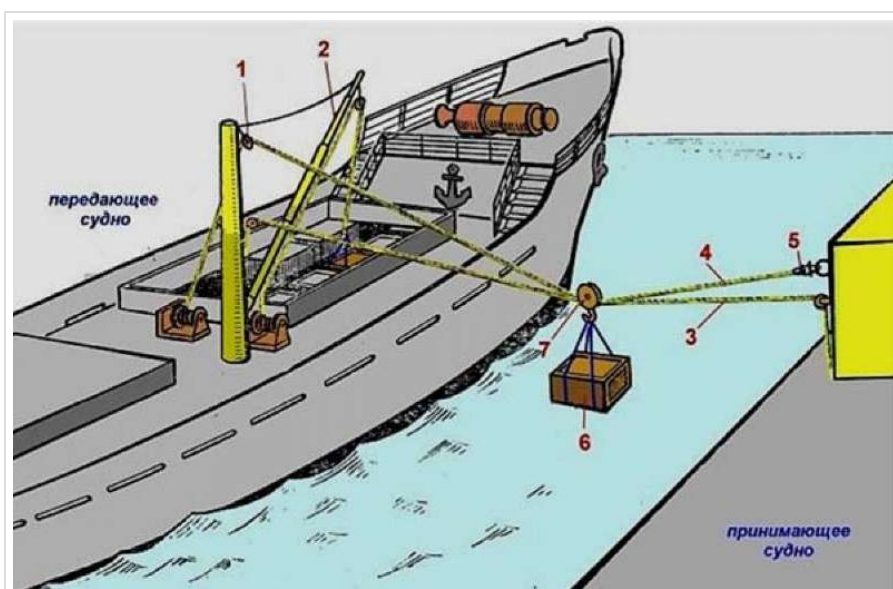


Рисунок 1 – Перегрузка груза траверзным способом

1 – блок; 2 – грузовая стрела; 3 – оттяжки; 4 – грузовой леер; 5 – глаголь-гак; 6 – контейнер с грузом; 7 – канифас-блок [2]

С помощью грузовой стрелы груз из трюма переносится в палубный контейнер, крепящийся к подвижному канифас-блоку. Грузовой леер, управляемый лебедчиком на переднем судне, натягивается, и контейнер поднимается над фальшбортом. Следуя указаниям передающего судна, лебедчик на принимающем судне выбирает оттяжку, передвигая контейнер по лееру [3]. Как только груз окажется над палубой принимающего судна, лебедчик передающего судна травит грузовой леер, опуская контейнер с грузом на палубу принимающего судна. Для предотвращения разрыва леера из-за изменения расстояния между бортами, необходимо постоянно следить за его натяжением, и травить его в случае необходимости.

Отсюда вытекает главный недостаток траверзного способа передачи грузов – необходимость точного управления лебедками. Следует отметить сложность автоматизации этого процесса: на акватории происходит постоянное изменение взаимного расположения в пространственной точке крепления концов грузовой системы на обоих судах как по вертикали (припопадании корпусов попеременно на гребень и подошву волны), так и по горизонтали (вследствие бортовой и килевой качки).

Перегрузка может осуществляться при стоянке на якоре, в дрейфе и на ходу.

Проблема при использовании способа состоит в том, что грузовой леер при передаче груза должен находиться в постоянном натяжении. При этом одновременно должны быть обеспечены два условия:

Во-первых, натяжение должно быть достаточно для того, чтобы груз не касался воды на всем пути между принимающим и передающим судами.

Во-вторых, натяжение во все моменты времени транспортировки не должно превышать предела текучести материала троса.

Усложняет задачу и то, что в процессе перегрузочных операций вследствие качки и дрейфа судов расстояние между ними постоянно варьируется, что требует оперативной компенсации длины грузового леера и затрудняет автоматизацию процессов грузовых операций.

В настоящее время для компенсации длины леера в относительно малых диапазонах изменения (вызванных бортовой и килевой качкой) используют автоматические пружинные и гидравлические амортизаторы с полиспадами, однако значительные изменения, вызванные взаимными перемещениями судов, как правило, требуют непосредственного участия человека.

Таким образом, проблема поведения элементов судовой системы судов на волнении при выполнении перегрузочных работ бесконтактным способом представляет собой актуальную научную задачу.

С целью создания научных предпосылок к решению данной проблемы, следует рассмотреть поведение одиночного судна при различных типах волнения.

Движение судна описывается системой из трех дифференциальных уравнений. Первое уравнение определяет равенство сил по горизонтальной оси, второе – равенство сил по вертикальной оси, третье уравнение описывает равенство моментов вокруг вертикальной оси.

$$\begin{cases} (m + \lambda_x) \frac{dv_x}{dt} + (m + \lambda_y) \cdot v_y \cdot \omega = -R_x - P_{px} + P_e - A_x \\ (m + \lambda_y) \frac{dv_y}{dt} + (m + \lambda_x) \cdot v_x \cdot \omega = -R_y - P_{py} + A_y \\ I \cdot (1 + \lambda_z) = M_R + M_P + M_A \end{cases} \quad (1)$$

где  $m$  — масса судна;

$\lambda_x$  — присоединенная масса при движении по оси X;

$\lambda_y$  — присоединенная масса при движении по оси Y;

$v_x$  — проекция скорости судна на ось X;  
 $v_y$  — проекция скорости судна на ось Y;  
 $\Omega$  — угловая скорость судна;  
 $I$  — момент инерции судна относительно оси Z;  
 $\lambda_z$  — момент инерции присоединенных масс относительно оси Z;  
 $R_x$  — продольная гидродинамическая сила на корпусе;  
 $R_y$  — поперечная гидродинамическая сила на корпусе;  
 $P_e$  — полезная сила упора гребного винта;  
 $P_{px}$  — продольная сила давления воды на руль;  
 $P_{py}$  — поперечная сила давления воды на руль;  
 $A_x$  — продольная аэродинамическая сила;  
 $A_y$  — поперечная аэродинамическая сила;  
 $M_R$  — момент гидродинамической силы на корпусе;  
 $M_P$  — момент поперечной силы руля;  
 $M_A$  — момент аэродинамической силы [4].

Нижеприведенное общее уравнение может применяться для моделирования бортовой качки судна на лаговом волнении (как зависит угол крена от времени)

$$\begin{cases} \ddot{\varphi} + d(\dot{\varphi}) + \omega_0^2 \cdot r(\varphi) = \omega_0^2 \cdot \pi \cdot s \cdot \xi(\omega/\omega_0) \cdot \cos(\omega \cdot t); \\ d(\dot{\varphi}) = 2\mu \cdot \dot{\varphi} + \beta \cdot \dot{\varphi}|\dot{\varphi}| + \delta \cdot \dot{\varphi}^3; \\ r(\varphi) = \varphi + \gamma_3 \cdot \varphi^3 + \gamma_5 \cdot \varphi^5; \\ \xi\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right) = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot \frac{\omega}{\omega_0 + \alpha_2} \cdot \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2. \end{cases} \quad (2)$$

где:

- коэффициенты демпфирования:
- $\mu$  - линейное демпфирование (1/с),
- $\beta$  - квадратичное демпфирование (1/рад),
- $\delta$  - кубическое демпфирование (с/рад<sup>2</sup>);
- нелинейные коэффициенты восстанавливающего момента:
- $\gamma_3$  - кубический член (безразмерный),
- $\gamma_5$  - член пятой степени (безразмерный);
- коэффициенты эффективной крутизны волны:
- $\alpha_0$  - постоянный (безразмерный),
- $\alpha_1$  - (линейный член (безразмерный),
- $\alpha_2$  - квадратический член (безразмерный);
- $\omega_0$  - собственная частота (рад/с);
- $\pi$  - математическая постоянная (3.14159)
- $s$  - Крутизна волны;
- $\omega$  - частота вынужденных колебаний (рад/с);
- $t$  – время (с);
- $\varphi$  – угол крена (град) [5].

### Заключение

Установка граничных условий и решение систем, приведенных выше уравнений применительно к обоим судам, участвующим в грузовых операциях бесконтактным способом на различных типах волнения, позволит создать научные предпосылки к решению проблемы поведения элементов судовой системы. Это, в свою очередь, позволит комплексно автоматизировать процессы, повысить надежность судового оборудования, обеспечить безопасность передачи грузов и эвакуации людей.



### Список литературы:

1. Мизгирев, Д.С. Механизмы передачи грузов судами транспортного и промышленного флота без использования существующих причальных сооружений: сб. ст. / Д.С. Мизгирев, В.Н. Власов, Т.Д. Тутынин. – Керчь: КГМТУ, 2023. – С. 72 – 77.
2. Шарлай, Г. Н. Матрос морского судна [Текст]: учебное пособие / Г. Н. Шарлай. – Владивосток: Мор.гос. ун-т, 2013. – 287 с.
3. Устройство и основы теории морских судов — Горячев А.М., Подругин Е.М. [1983] – с. 224
4. Снопков В.И. Теоретические основы управления судном: Учебное пособие. – СПб.: НПО Профессионал 2010. – С. 35
5. Российский морской регистр судоходства. Сборник нормативно-методических материалов, книга восемнадцатая. Санкт-Петербург: 2008. – С. 34 – 55.

