

туционными судом Российской Федерации // Огарёв-online. – 2016. - № 8 (73). – С. 7.

14. Сорокин, Ю. В. Правовая природа и сущность понятия «юридическая коллизия» // Пробелы в российском законодательстве. - 2013. - № 3. - С. 51-55.
15. Кондратьев, С.И. Маневрирование крупнотоннажных судов и моделирование их движения: учебное пособие / С.И. Кондратьев, А.И. Карапузов, А.В. Миронов. – Новороссийск: МГА им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 2007.
16. Кондратьев, С.И. Теоретические основы управления крупнотоннажными судами по критериям безопасности и энергосбережения: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук/ С.И. Кондратьев. – Новороссийск: Новороссийская государственная морская академия, 2004.

References

1. Mezhdunarodnyye pravila preduprezhdeniya stolknoveniy sudov v more 1972 (MPPSS-72) [Tekst] : [sbornik]. - M.: RKonsul't, 2004. - 80s.
2. Keyhill, R. A. Stolknoveniye sudov i ikh prichiny [Tekst] / Keyhill R.A.; Per. s angl. – M.: Transport, 1987. - 240 s.
3. Kokkroft, A. N. Tolkovaniye MPPSS-72 [Tekst] / A. N. Kokkroft, D. N. Lameyyer.: Per. s angl. - M. Transport, 1981.- 279 s.
4. Yudovich, A. B. Predotvrashcheniye navigatsionnykh avariyy morskikh sudov [Tekst] / A. B. Yudovich. - M.: Transport, 1988.- 224 s. ISBN 5-277-00172-7.
5. Yaskevich, A. P. Kommentarii k MPPSS-72 [Tekst] / A. P. Yaskevich, YU. G. Zurabov. - M.: Transport, 1990. - 479 s.
6. Guidelines for ships operating in Arctic ice covered waters • In 2002, Marine Safety Committee (MSC) and the Marine Environment Committee (MEPC) approved Guidelines for ships operating in Arctic ice-covered waters (MSC/Circ.1056 – MEPC/Circ.399).
7. Guidelines for Ships Operating in Polar Waters IMO Res. A1024(26): – Voluntary • applicable to

new ships with a keel-laying date on or after January 1, 2011.

8. Astrein, V.V. Verbal'naya forma ponyatiya «bezopasnost' sudovozhdeniya» [Tekst] / Vestnik gosudarstvennogo morskogo universiteta imeni admirala F.F. Ushakova. N 1 Novorossiysk, RIO GMU im. adm. F.F. Ushakova, 2016
9. Astrein, V.V. Primeneniye MPPSS-72 pri organizatsii plavaniya vo l'dakh [Tekst] / Vestnik gosudarstvennogo morskogo universiteta imeni admirala F.F. Ushakova. N 8(17)-Novorossiysk, RIO GMU im. adm. F.F. Ushakova, 2016
10. Astrein V.V. Vzaimosvyaz' zakonodatel'nykh aktov i MPPSS-72 pri organizatsii plavaniya vo l'dakh [Tekst] / Vestnik gosudarstvennogo morskogo universiteta imeni admirala F.F. Ushakova. N 8(17) Novorossiysk, RIO GMU im. adm. F.F. Ushakova, 2016
11. Lazarev, V. V. Probely v prave i puti ikh ustanovleniya. – M.: Yuridicheskaya literatura, 1974. – 184 s.
12. Polyakov, A. V. Obshchaya teoriya prava: uchebnyk. – SPb.: Izd-vo yurid. f-ta SPbGU, 2005. – 472 s.
13. Skvortsova, G.N. Zakonodatel'nyye probely i sposoby ikh preodoleniya i ustanovleniya Konstitutsionnym sudom Rossiyskoy Federatsii // Ogarov-online. – 2016. - № 8 (73). – S. 7.
14. Sorokin, YU. V. Pravovaya priroda i sushchnost' ponyatiya «yuridicheskaya kolliziya» // Probely v rossiyskom zakonodatel'stve. - 2013. - № 3. - S. 51-55.
15. Кондратьев, С.И. Маневрирование крупнотоннажных судов и моделирование их движения: учебное пособие / С.И. Кондратьев, А.И. Карапузов, А.В. Миронов. – Новороссийск: МГА им. адм. Ф. Ф. Ушакова, 2007.
16. Кондратьев, С.И. Теоретические основы управления крупнотоннажными судами по критериям безопасности и энергосбережения: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук/ С.И. Кондратьев. – Новороссийск: Новороссийская государственная морская академия, 2004

УДК 629.5.017.2

DOI: 10.34046/aumsuomt90-6

РАСЧЁТ ПЕРЕМЕННЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЯ РЕГУЛЯРНОГО ВОЛНЕНИЯ НА ТАНКЕР

*Ю. И. Юдин, доктор технических наук, профессор
В.В. Перевозов, капитан*

В статье представлены способы расчёта переменных составляющих силового воздействия регулярного волнения. Выполнен расчёт переменных составляющих силового воздействия регулярного волнения на танкер проекта «Nordic Arctic Tanker AT 19» с использованием предложенных способов расчёта и анализ полученных результатов расчёта, которые наглядно представлены в графической форме. Алгоритм расчёта может быть реализован программными методами для использования в

математической модели танкера с целью моделирования процессов управления танкером при выполнении швартовых операций в условиях открытого моря. Представленные способы расчёта переменных составляющих силового воздействия регулярного волнения и алгоритм расчёта являются универсальными и могут быть использованы для различных типов судов.

Ключевые слова: регулярное волнение, силовая нагрузка на танкер, боковая сила, продольная сила, момент рыскания

The article presents methods for calculating the variable components of the force action of regular waves. The calculation of the variable components of the force action of regular waves on the tanker of the project "Nordic Arctic Tanker AT 19" was performed using the proposed calculation methods and the analysis of the obtained calculation results, which are graphically presented. The calculation algorithm can be implemented by software methods for use in the mathematical model of a tanker in order to simulate the management processes of a tanker when performing mooring operations in the open sea. The presented methods for calculating the variable components of the force action of regular waves and the calculation algorithm are universal and can be used for various types of vessels.

Key words: regular waves, tank load, lateral force, longitudinal force, yaw moment.

1. Введение

Осуществляемое в настоящее время активное освоение природных ресурсов морского арктического шельфа Российской Федерации предусматривает решение целого ряда специфических задач с целью обеспечения безопасности и эффективности добычи, перегрузки и доставки нефти и газа потребителю. Данные работы являются потенциально опасными и требуют детального изучения поведения различных типов судов в ходе процессов бурения, добычи, погрузки и транспортировки нефти и газа, учитывая, что все указанные операции выполняются в сложных климатических условиях.

Неотъемлемой частью процесса добычи полезных ископаемых на морском шельфе является их доставка потребителю, что неизбежно ведёт к выполнению грузовых работ в районах добычи, а это в свою очередь делает необходимым выполнение швартовых операций различного типа. Условия, в которых выполняются швартовые операции далеко не способствуют обеспечению безопасности судов, участвующих в швартовой операции. Влияние отдельных факторов внешней среды на манёвренные характеристики судна изучены не в полной мере, достаточной для учёта в управлении судном при выполнении швартовых операций.

В качестве одного из наиболее значимых факторов внешней среды, существенно влияющих на безопасность выполнения швартовых операций, следует рассматривать морское волнение, вероятность возникновения которого весьма высока, особенно в северных широтах. Для того чтобы оценить безопасность выполнения швартовых операций в условиях волнения, необходимо провести соответствующие исследования, связанные с оценкой поведения судна, находящегося под воздействием морского волнения. В качестве одного из способов такого исследования следует рассматривать проведение натурных экспериментов. Однако такой способ исследова-

ний требует больших материальных и финансовых затрат, что неоправданно с экономической точки зрения. Менее затратным, но более эффективным способом исследования в данном случае следует признать способ математического моделирования с использованием математической модели швартуемого судна с учётом внешнего воздействия, включая воздействие волнения.

2. Расчёт боковой силы и момента рыскания

Очевидно, что реальное волнение, как правило, нерегулярное. Тем не менее, при моделировании воздействия нерегулярного волнения на танкер сначала рассматривается воздействие на него регулярного волнения, в частности, переменные составляющие волновых возмущений, амплитудные значения которых достаточно объективно характеризуют особенности влияния различных параметров волнения на силовые нагрузки на корпус танкера.

Анализ представленных в настоящей статье способов расчёта переменных составляющих воздействия регулярного волнения выполнен применительно к танкеру проекта «NordicArcticTankerAT 19».

Переменные составляющие волновых возмущений – боковой силы Y_w и момента рыскания M_w изменяются по гармоническому закону с частотой равной частоте встречи судна с волной ω_k [4]:

$$\begin{aligned} Y_w &= Y_{wa} \alpha_{wa} \cos \omega_k t \\ M_w &= M_{wa} \alpha_{wa} \sin \omega_k t \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь Y_{wa} – амплитуда возмущающей боковой силы;

M_{wa} – амплитуда момента рыскания;

$\alpha_{wa} = 2\pi \zeta_w / \lambda$ – амплитуда угла волнового склона;

ζ_w – ордината волны, равная половине высоты волны ($=0.5h$),

При этом кажущаяся частота волны ω_k на судне, движущимся со скоростью v определяет-

ся, как известно, в зависимости от курсового угла q_w к направлению бега волны, имеющей частоту ω_w .

$$\omega_k = \omega_w + \frac{v\omega_w^2}{g} \cos q_w \quad (2)$$

где курсовой угол волны q_w измеряется в полукруговой системе в пределах от 0° до $\pm 180^\circ$ при положительном отсчёте с носа судна по часовой стрелке и отрицательном отсчёте в противоположном направлении.

Для примера приведём результаты расчётов значений частоты встречи судна с волной ω_k в зависимости от истинной частотой волны $\omega_w = 1.0$ (с⁻¹) и ряда значений курсового угла волны q_w при двух значениях скорости судна v . Результаты расчётов представлены в табл.1. Значения ω_k , большие 1, соответствуют большей частоте встречи судна с волной, чем истинная частота волны; меньшие единицы – меньшую частоту встречи. Последнее происходит, когда волна догоняет судно, т.е. набегаёт с кормовых курсовых углов $q_w > \pm 90^\circ$.

Таблица 1 – Значения кажущихся частот волнения ω_k .

| Скорость судна v , м/с | Курсовой угол волны q_w , град | | | | |
|--------------------------|----------------------------------|-------|----|-------|-------|
| | 0 | 45 | 90 | 135 | 180 |
| 1.0 | 1.102 | 1.072 | 1 | 0.928 | 0.898 |
| 8.0 | 2.019 | 1.577 | 1 | 0.423 | 0.155 |

На завершающем этапе швартовки скорость движения швартуемого судна $v < 1.0$ м/с, поэтому можно принять условие $\omega_k \approx \omega_w$, что определённым образом упрощает расчёты параметров силового воздействия волнения на швартуемое судно.

Угол волнового склона в (1) выражается через частоту формы волны (волновое число) $k = 2\pi/\lambda$ и определяется по формуле

$$\alpha_{wa} = k\zeta_w = 2\pi\zeta_w / \lambda \quad (3)$$

В свою очередь, амплитудные значения силы Y_{wa} и момента M_{wa} рассчитываются с использованием выражений:

$$\begin{aligned} Y_{wa} &= \rho g V \chi_y \sin q_w \\ M_{wa} &= g I_z \chi_m k \sin q_w \end{aligned} \quad (4)$$

в которые входят коэффициенты χ_y и χ_m , учитывающие размерные характеристики судна и состояние его загрузки через значения коэффициента присоединённой массы k_{22} , коэффициента присоединённого момента k_{66} , от стояния центра величины от плоскости ватерлинии z_c , площади погруженной части диаметрального батокса F_{dp} , гидродинамического коэффициента позиционной

составляющей момента на корпусе $C_{m\beta}^\beta$. Для судна, движущегося со скоростью v , формулы, определяющие значения коэффициентов χ_y и χ_m будут следующими:

$$\begin{aligned} \chi_y &= \chi_{1kr} \cdot \left(1 + k_{22} \frac{\omega_k}{\omega_w}\right) \cdot \exp(-kz_c) \\ \chi_m &= \left[\chi_{2kr} \cdot \left(1 + k_{66} \frac{\omega_k}{\omega_w}\right) \cdot \cos q_w + 0.5C_{m\beta}^\beta \cdot \chi_{1kr} \frac{\rho F_{dp} L}{I_z} \cdot \frac{v}{k\omega_w} \right] \times \exp(-kz_c) \end{aligned} \quad (5)$$

Для условно неподвижного судна ($v \approx 0$), выражения для определения значений коэффициентов χ_y и χ_m существенно упрощаются и могут быть представлены формулами:

$$\begin{aligned} \chi_y &= \chi_{1kr} \cdot (1 + k_{22}) \cdot \exp(-kz_c) \\ \chi_m &= \left[\chi_{2kr} \cdot (1 + k_{66}) \cdot \cos q_w \right] \times \exp(-kz_c) \end{aligned} \quad (6)$$

В формулах (5), (6) редуцированные коэффициенты χ_{1kr} и χ_{2kr} определяются как функции параметра волнения

$$\mu = k |\cos q_w| = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) \times |\cos q_w| \quad (7)$$

[Афремов, А.Ш. Рыскание судов на волнении/А.Ш. Афремов. – Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 1966, вып. 232, с. 3-20.]. Формулы для их определения носят интегральный характер, они включают в себя функции Бесселя с использованием зависимости площади шпангоутных сечений $\omega(x)$ от продольной координаты x (строевая по шпангоутам) в координатной системе XYZ, связанной с танкером. Указанные формулы выглядят следующим образом:

$$\chi_{1kr} = \frac{2}{V} \int_{-0.5L}^{0.5L} \omega(x) \cos(\mu x) \frac{I_1 \left[\mu \sqrt{\frac{\omega(x)}{\pi}} \right]}{\mu \sqrt{\frac{\omega(x)}{\pi}}} dx \quad (8)$$

$$\chi_{2kr} = \frac{0.2}{VL^2} \int_{-0.5L}^{0.5L} x \omega(x) \frac{\sin(\mu x)}{\mu} \frac{I_1 \left[\mu \sqrt{\frac{\omega(x)}{\pi}} \right]}{\mu \sqrt{\frac{\omega(x)}{\pi}}} dx$$

Для прямого применения этих формул необходимо, используя данные теоретического чертежа танкера произвести расчёты строевой по шпангоутам $\omega(x)$.

В процессе определения параметров математической модели танкера площади шпангоутных сечений подсчитывались автоматически по разработанной программе с использованием координат точек периметров шпангоутных сечений корпуса танкера.

Полученная таким образом строевая по шпангоутам $\omega(x)$ аппроксимируется полиномиальной функцией 3-го порядка, при этом в качестве переменной использована относительная

координата шпангоутного сечения ($\bar{x} = x/L$), таким образом:

$$\omega(\bar{x}) = 234.8 + 10.975\bar{x} - 816.3\bar{x}^2 - 84.9\bar{x}^3 \quad (9)$$

Значения рассчитанных с использованием теоретического чертежа танкера площадей шпангоутных сечений ω и полученная аппроксимацией полиномиальная функция $\omega(\bar{x})$, представлены в графической форме на рис. 1.

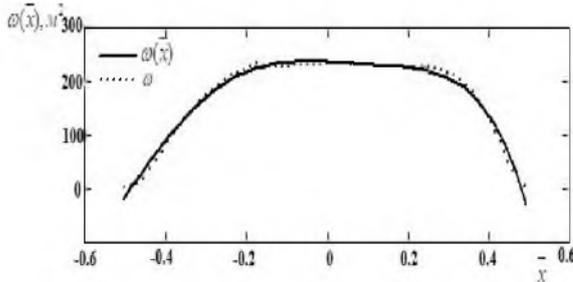


Рисунок 1 – Результаты аппроксимации строевой по шпангоутам танкера

Из рисунка видна высокая степень адекватности полиномиальной функции (9), включая диапазон значений площадей шпангоутных сечений кормовой и носовой оконечностей танкера.

С использованием полученной указанным способом полиномиальной функции, а также встроенных значений функций Бесселя в программной среде «Mathcad» реализованы интегральные формулы (8) для редуцированных коэффициентов χ_{1kr} и χ_{2kr} . Результаты выполненных расчётов представлены в графической форме в виде зависимостей $\chi_{1kr}(\mu)$ и $\chi_{2kr}(\mu)$ (см. Рис. 2).

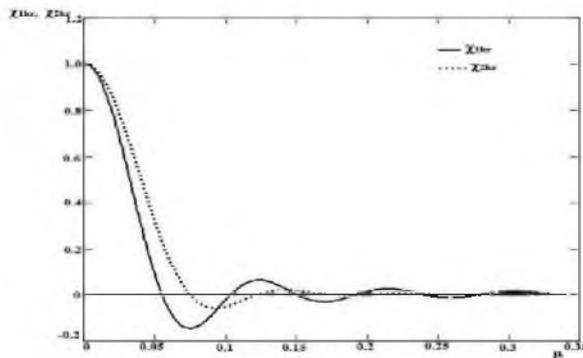


Рисунок 2 – Редуцированные коэффициенты как функции параметра μ

Данные рис. 2 свидетельствуют о том, что значения коэффициентов χ_{1kr} и χ_{2kr} очень быстро убывают при увеличении параметра μ , уже при $\mu \geq 0.25$, они весьма малы и, на первый взгляд, могут слабо влиять на амплитудные значения возмущающей боковой силы Y_{wa} и момента рыскания M_{wa} , т.е. при малых значениях длины волны λ и курсового угла волны q_w , существенно отличающегося от 90° , силовые нагрузки на корпусе судна, предположительно, будут незначи-

тельны. Однако следует учитывать, что амплитудные значения возмущающей боковой силы Y_{wa} и момента рыскания M_{wa} пропорциональны объёмному водоизмещению танкера V (для танкера в грузу $V = 24955 \text{ м}^3$) и моменту инерции его массы относительно вертикальной оси (Z) I_z (для танкера в грузу $I_z = 31524684 \text{ т} \cdot \text{м}^2$) соответственно. На основании сказанного, вывод о малости силовой нагрузки на корпус танкера со стороны волнения следует делать только по результатам расчёта значений силовой нагрузки. Например, если $\mu = 0.02$ коэффициенты $\chi_{1kr} = 0.767$ и $\chi_{2kr} = 0.825$, т.е. они не малы, что соответствует большому значению длины волны, при малых значениях курсового угла волны. В данном случае возможен и другой вариант сочетания длины волны λ и её курсового угла q_w , а именно, длина волны имеет малое значение, а курсовой угол волны близок к 90° .

Для определённых районов плавания в зависимости от времени года основные характеристики волнения имеют определённое значение, которые могут учитываться при выборе положения швартующегося танкера в последней стадии швартовки с целью минимизации силовой нагрузки волнового происхождения.

В дальнейших расчётах за основу в определении силовых воздействий на корпус танкера нами принята балльность волнения в районе проведения швартовочной операции. В связи с этим для выполнения расчётов произведена аппроксимация основных характеристик волнения по величине балльности p . Таким образом получены аналитические выражения для определения необходимых нам параметров волнения (λ -длина волны; τ_w – период волны; h -высота волны) в функции от его балльности p :

$$\begin{aligned} \lambda &= 2.07 - 2.787p + 1.024p^2 + 0.12p^3 \\ \tau_w &= -0.662 + 1.737p - 0.062p^2 \\ h &= 0.625 - 0.51p + 0.22p^2 - 0.00311p^3 \end{aligned} \quad (10)$$

Полученные зависимости представлены в графической форме на рисунке 3.

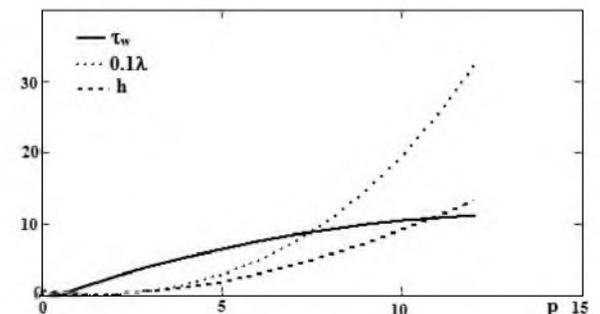


Рисунок 3 – Зависимости периода волны, длины волны и её высоты от балльности волнения p

Для волнения 6 баллов ($p = 6, h = 4$) длина волны равна примерно 48 м, что при курсовом угле волны $q_w = 30^\circ, \mu = 0.113$. В этом случае $\chi_{1кр} = 0.037$ и $\chi_{2кр} = -0.026$, т.е. оба коэффициента незначительны по величине. При тех же условиях, но при $q_w = 80^\circ, \mu = 0.023$ и $\chi_{1кр} = 0.722$ и $\chi_{2кр} = 0.794$. Это значит, что существенные волновые воздействия будут либо при очень длинных волнах порядка 300 м., что маловероятно, либо при траверзном направлении коротких волн, когда q_w , близки к значению 90° .

На рис. 4 в графической форме приведены рассчитанные амплитудные значения возмущающей боковой силы в зависимости от курсового угла волны q_w для шести значений длины волны ($\lambda = 10, 30, 50, 80, 100, 120$ м), а на рис. 5 зависимость амплитудных значений возмущающей боковой силы от длины волны λ для шести значений курсовых углов волн ($q_w = 10, 30, 50, 70, 80, 90^\circ$) и в первом, и во втором случае высота волны $h = 4$ м.

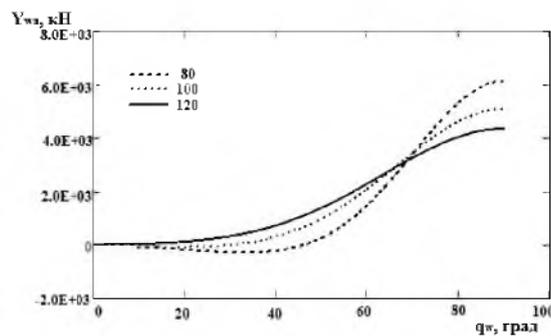
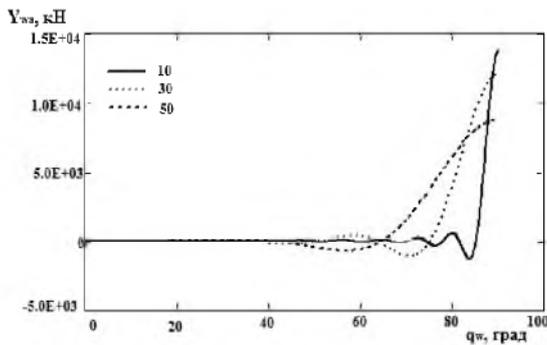


Рисунок 4 - Амплитудные значения возмущающей боковой силы в зависимости от курсового угла волны $Y_{wa}(q_w)$

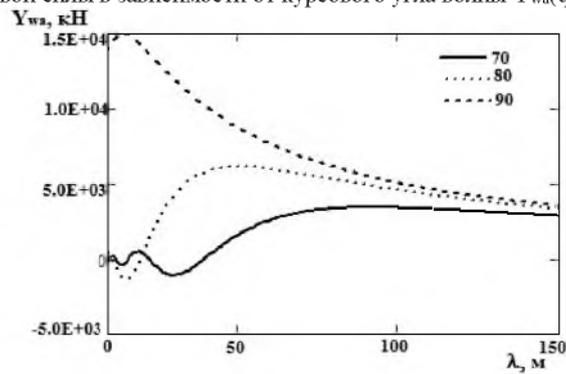
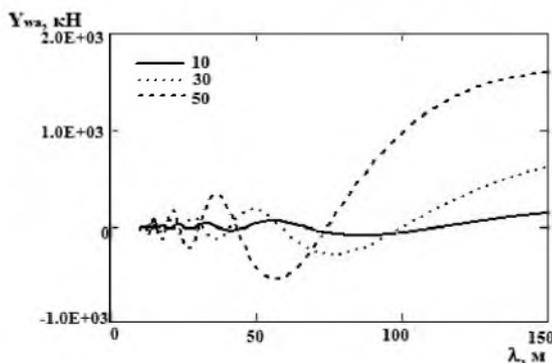


Рисунок 5 - Амплитудные значения возмущающей боковой силы в зависимости от длины волны $Y_{wa}(\lambda)$

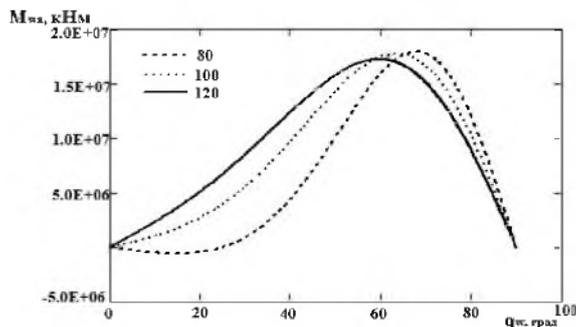
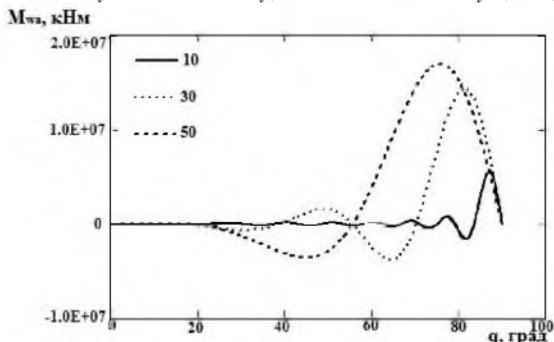


Рисунок 6 - Амплитудные значения момента рыскания в зависимости от курсового угла волны $M_{wa}(q_w)$

На рис. 6 в графической форме приведены амплитудные значения момента рыскания M_{wa} в зависимости от курсового угла волны q_w для шести длин волн ($\lambda = 10, 30, 50, 80, 100, 120$ м) и рис.7 приведены амплитудные значения момента рыскания M_{wa} в зависимости от длины волны для шести значений курсовых углов волн ($q_w = 10, 30, 50, 70, 80, 90^\circ$).

Зависимость амплитудных значений возмущающей боковой силы и момента рыскания от курсового угла волны q_w и её длины λ несколько неординарны. Анализируя зависимости, по которым производился расчёт амплитудных значений возмущающей боковой силы и момента рыскания приходим к выводу, что в них входят осциллирующие функции [2] - косинус курсового угла q_w и зависимости для определения значений коэффициентов $\chi_{1кр}$ и $\chi_{2кр}$, что при определённых условиях приводит к осцилляции возмущающей боковой силы и момента рыскания.

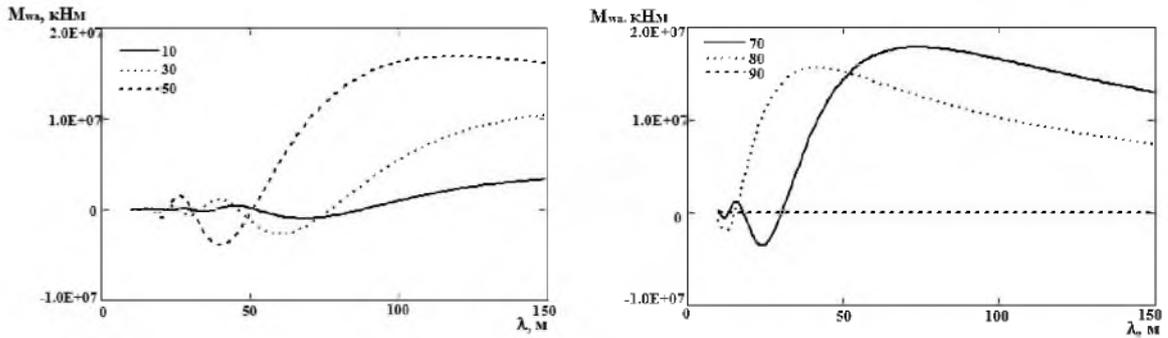


Рисунок 7 - Амплитудные значения момента рыскания в зависимости от курсового угла волны $M_{wa}(\lambda)$

Представленные выше графики позволяют нам оценить общий характер волнового воздействия на танкер в зависимости от определённого сочетания основных параметров волнения в районе выполнения швартовой операции. При этом следует иметь в виду, что при моделировании манёвров танкера, указанные особенности изменения амплитудных значений возмущающей боковой силы и момента рыскания $Y_{wa}(q_w)$, $Y_{wa}(\lambda)$, $M_{wa}(q_w)$, $M_{wa}(\lambda)$ при определённых сочетаниях курсового угла волны и её длины учитываются автоматически.

3. Продольное усилие

Для определения продольной составляющей силового воздействия волнения на танкер воспользуемся материалами, представленными в ряде работ отечественных и зарубежных исследователей [3], [7], [8], [4]. При этом за основу возьмём методику, разработанную Хаскиндом М.Д. [5], [6], который использовал параболическую аппроксимацию обводов корпуса судна,

симметричного относительно плоскости мидельшпангоута и редуционных коэффициентов продольной качки по Г.Е. Павленко. Предложенная М.Д. Хаскиндом расчётная формула имеет вид:

$$X_w = X_{wa} \sin \omega_k t$$

$$X_{wa} = \rho V \chi_d \chi_L 2\pi \left(\frac{\zeta_A}{L} \right) \cos q_w \quad (11)$$

где кроме известных величин фигурируют две функции влияния относительных параметров: χ_d – функция влияния относительной осадки (d/λ); χ_L – функция влияния относительной длины судна (λ/L) и ζ_A – амплитуда волны.

Функция χ_d находится в зависимости от вертикальной полноты судна χ_c помощью формулы [6]:

$$\chi_d = 1 - \frac{\pi}{2 - \chi} \left(\frac{d}{\lambda} \right) + \frac{2\pi^2}{3(3 - 2\chi)} \left(\frac{d}{\lambda} \right)^2 \quad (12)$$

На рис. 8-10 показаны графики изменения этой функции в зависимости от длины волны, осадки судна и его вертикальной полноты.

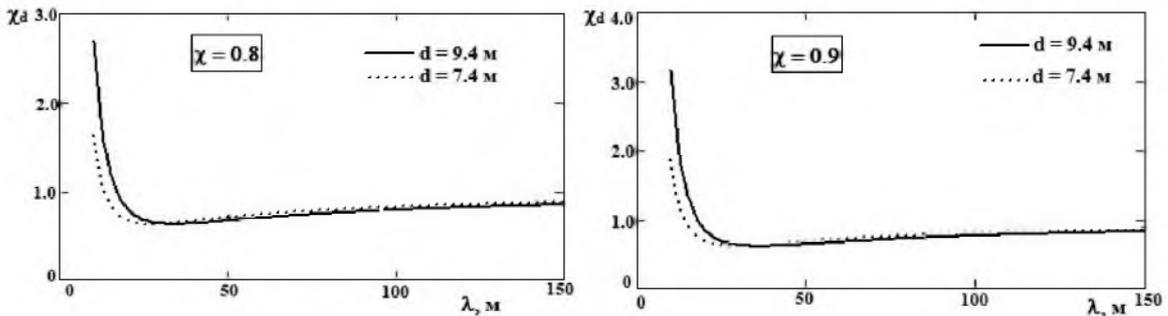


Рисунок 8 - Функция χ_d в зависимости от длины волны λ и осадки d

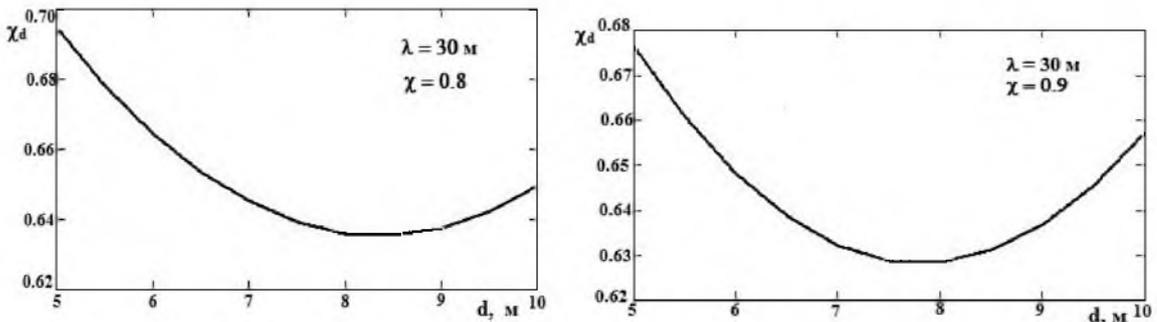


Рисунок 9 - Функция χ_d в зависимости от осадки d и длины волны λ

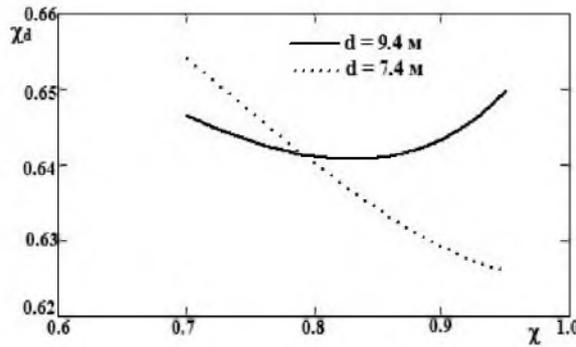


Рисунок 10 – Функция χ_d в зависимости от коэффициента вертикальной полноты судна χ

Второй функция χ_L находится в зависимости от аргумента $\nu = (L/\lambda)\cos q_w$ при помощи графиков с параметром C_w (коэффициент полноты ватерлинии) [Хаскинд, М.Д. Теория сопротивления при движении судна на волнении/- Изв. АН СССР, 1959, №2, с. 46 – 56.]. Для танкера в грузу $C_w = 0.9696$, для танкера в балласте $C_w = 0.9045$ что позволяет выделить из семейства кривых две конкретные кривые и аппроксимировать их.

Функция аппроксимируется в виде следующей зависимости:

$$\chi_L = [C_1 \exp(C_2 \nu)] \cos(C_3 \nu^2 + C_4) \quad (13)$$

В ней содержатся параметры C_1, C_2, C_3, C_4 , числовые значения которых определяются в программной среде Mathcad. Таким образом для танкера в грузу они будут иметь следующие значения: $C_1 = -1.297, C_2 = -0.928, C_3 =$

$0.931, C_4 = 3.83$, в балласте – $C_1 = -1.298, C_2 = -0.927, C_3 = 0.927, C_4 = 3.79$.

После определения необходимых функций, могут быть определены с использованием представленной выше формулы (11) амплитудные значения продольного усилия, вызванного волновым воздействием на танкер в зависимости от курсового угла волнения q_w и длины волны λ при различных их сочетаниях ($h = 4$ м).

На рис.11 приведены результаты расчётов амплитудных значений продольного усилия X_{wa} в зависимости от курсового угла волны q_w при шести значениях длины волны ($\lambda = 30, 50, 70, 80, 100, 120$ м). На рис. 12 приведены результаты расчётов амплитудных значений продольного усилия X_{wa} в зависимости от длины волны λ для шести значений курсового угла волны ($q_w = 10, 30, 50, 60, 70, 80^\circ$).

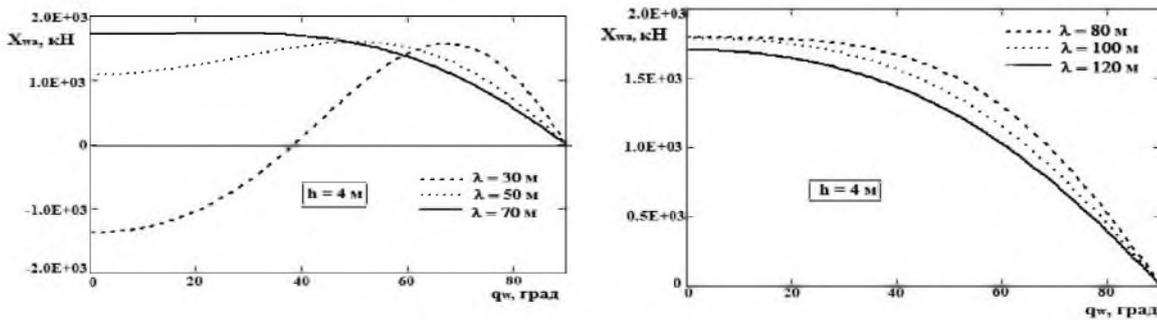


Рисунок 11 – Амплитудные значения продольного усилия X_{wa} в зависимости от курсового угла волны q_w .

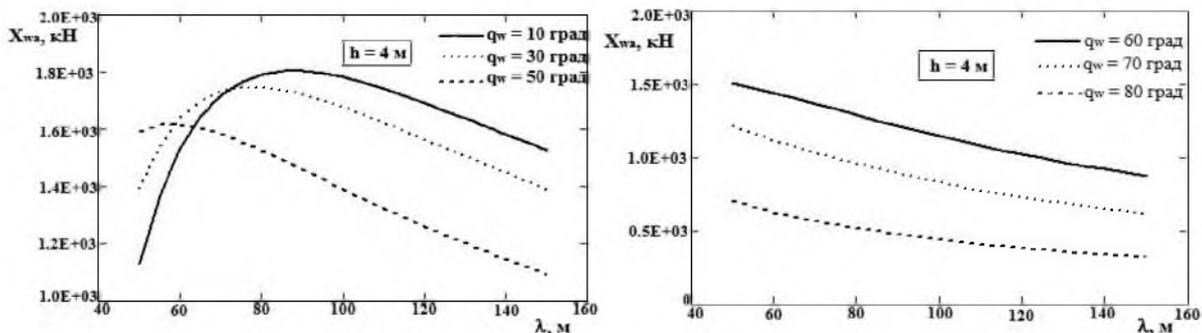


Рисунок 12 – Амплитудные значения продольного усилия X_{wa} в зависимости от длины волны λ .

Из выражения (13) с учётом значений, входящих в него коэффициентов следует, что характер изменения амплитудного значения продольного усилия на корпусе судна в результате действия волнения будет иметь такие же особенности, как и в отношении возмущающей боковой силы, т.к. функция χ_L имеет значения близкие к 1 при большой длине волны λ , а также в случае курсовых углов волны q_w близких к значению равному 90° . Этот фактор подтверждается результатами расчётов, представленных на рис. 11, 12. К траверзу амплитудные значения продольного усилия падают до нуля за счёт множителя $\cos(q_w)$, входящего в формулу (11).

4. Заключение

Представленные в статье материалы позволяют оценить степень воздействия регулярно волнения на корпус танкера в процессе выполнения им швартовой операции. Амплитудные значения продольного усилия, боковой силы и момента рыскания зависят от курсового угла волны и её длины. При определённых сочетаниях этих параметров швартовая операция может оказаться невозможной по причине потери управляемости танкера. Вероятность потери управляемости существенно возрастает при курсовых углах волнения близких к траверсным и соотношении длине волны и длины судна близком к единице. В этой связи представляются весьма интересными результаты оценки воздействия нерегулярного волнения на танкер, так как в этом случае диапазон возможных вариантов сочетания указанных параметров гораздо шире, что делает дальнейшие исследования целесообразными с точки зрения их практической значимости.

Литература

1. Афремов, А.Ш. Рыскание судов на волнении/А.Ш. Афремов// Труды ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова.– 1966.– вып. 232.–С. 3-20.
2. Севастьянов, А. М. Осциллирующая функция /А. М.Севастьянов//Молодой ученый.– 2016. – №21.– С.8-15.

3. Сизов, В.К. К теории волнового сопротивления судов на тихой воде/В.К. Сизов// Изв. АН СССР, ОТН «Механика и машиностроение».– 1961.– №1.– С. 73-85.
4. Справочник по теории корабля. В 3 т. Т. 1. Гидромеханика. Сопротивление движению судов. Судовые движители / под ред. Я.И. Войткунского. – Л.: Судостроение, 1985. – 768 с.
5. Хаскинд, М.Д. Возмущающие силы и заливаемость судов на волнении/М.Д. Хаскинд// Изв. АН СССР, ОТН.–1957.– №7.–С. 65-79.
6. Хаскинд, М.Д. Теория сопротивления при движении судна на волнении/М.Д. Хаскинд// Изв. АН СССР.– 1959.– №2.–С. 46-56.
7. Maruo H. Resistance in waves Research on seakeeping qualities of Ships in Japan, ch. 5.- SNAJ, 1963, vol. 8, p. 67 – 102.
8. Newman J.N. A slender-body theory for ship oscillations in waves. – Journal Fluid Mech., 1964, vol. 18. N 4, p. 67 – 94.

References

1. Afremov, A.Sh. Ryskanie sudov na volnenii/A.Sh. Afremov// Trudy CNIИ im. akad. A.N. Krylova, 1966, vyp. 232, s. 3 – 20.
2. Sevast'janov, A. M. Oscillirujushhaja funkcija /A. M.Sevast'janov//Molodoj uchenyj, 2016. -№21.- S.8 -15.
3. Sizov, V.K. K teorii volnovogo soprotivlenija sudov na tihoj vode/V.K. Sizov// Izv. ANSSSR, OTN «Mehaniikamashinostroeme», 1961, №1, s. 73 – 85.
4. Spravochnik po teorii korablja. V 3 t. T. 1. Gidromehaniika. Soprotivlenie dvizheniju sudov. Sudovye dvizhiteli / pod red. Ja.I. Vojtkunskogo. – L.: Sudostroenie, 1985. – 768 s.
5. Haskind, M.D. Vozmushhajushhie sily i zalivae-most' sudov na volnenii/M.D.Haskind// Izv. AN SSSR, OTN,1957, №7, s. 65 – 79.
6. Haskind, M.D. Teorija soprotivlenija pri dvizhenii sudna na volnenii/M.D. Haskind// Izv. AN SSSR, 1959, №2, s. 46 – 56.
7. Maruo H. Resistance in waves Research on seakeeping qualities of Ships in Japan, ch. 5.- SNAJ, 1963, vol. 8, p. 67 – 102.
8. Newman J.N. A slender-body theory for ship oscillations in waves. – Journal Fluid Mech., 1964, vol. 18. N 4, p. 67 – 94.

УДК 504+551. 465

DOI: 10.34046/aumsuomt90-7

ЗОНЫ ДАМПИНГА В КЕРЧЕНСКОМ ПРОЛИВЕ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА КАЧЕСТВО ВОД

П.Д. Ломакин, доктор географических наук, профессор.

На основе океанографических данных серии экспедиций, проведенных Морским гидрофизическим институтом и Южным научно-исследовательским институтом морского рыбного хозяйства и океано-