

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Кирилычев Александр Александрович

аспирант

ФГБОУ ВО «Керченский государственный
морской технологический университет»

г. Керчь, Республика Крым

ВЛИЯНИЕ ГРУЗА В ТАНКАХ НА ПРОЦЕСС ДВИЖЕНИЯ СУДНА

Аннотация: в данной работе рассматривается вопрос влияния груза в танках на процесс движения судна. Автором отмечается, что движение судна на постоянном волнении описывается нелинейными уравнениями движения, записанными в неинерциальной системе отсчета. Как правило, силы, возникающие при морском волнении, и силы инерции позволяют определить уравнения движения судна.

Ключевые слова: скорость, судно, груз.

Введение. Движение судна на постоянном волнении описывается нелинейными уравнениями движения, записанными в неинерциальной системе отсчета. Как правило, силы, возникающие при морском волнении, и силы инерции позволяют определить уравнения движения судна. Однако, в случае жидких грузов, частично заполняющих танки, перетекание вызывает дополнительные силы, действующие на судно, которые не были приняты во внимание в этих уравнениях.

Перетекание в сочетании с движением судна были проанализированы следующим рядом учёных: Ким [2], Ямакуши и Синкай. Ким [2] применил подход, где линейные уравнения движения судна и проблема перетекания были определены с использованием схемы Сола [3]. Движение судна на волнении и явление перетекания, описанные выше, описываются вместе.

Задача о движении судов на нерегулярном волнении. Моделирование движения судна на волнении основано на численном решении нелинейных уравнений

движения. Гидродинамические силы и моменты, определяющие уравнения, вычисляются для каждого временного интервала. Точность моделирования зависит от точности расчета гидродинамических волновых сил и моментов. Использование общих уравнений движения жидкости для определения гидродинамических сил в процессе моделирования является нецелесообразным, поскольку они являются сложными и должны быть определены для каждого временного интервала. Таким образом, моделирование основано на упрощенных моделях, которые дают достаточную точность в практическом применении. Предполагается, что гидродинамические силы, действующие на судно, движущееся на нерегулярном волнении, можно разделить на дифракционные и радиационные силы Фруда-Крылова, вызванные водой на палубе, силы перетекания, силы на руле и нелинейное демпфирование. Радиационные силы определяются присоединенными массами воды корпусу судна при движении и так называемыми функциями памяти, которые принимают во внимание возбуждение воды, вызванное предшествующим движением судна, влияющим на движущееся судно в то момент, в который производится моделирование. Уравнения движения судна на нерегулярном волнении записываются в неинерциальной системе отсчета. Система Q фиксируется на судне в центре его массы, и уравнения движения судна принимают следующий вид [1]:

$$\begin{aligned} m[\dot{v}_Q(t) + \Omega_Q(t) \times v_Q(t)] &= F_W(t) + F_D(t) + F_R(t) + F_S(t) - F_S(t=0) + F_A(t) + mD^{-1}G, \\ L'(t) + \Omega(t) \times L(t) &= M_{QW}(t) + M_{QD}(t) + M_{QR}(t) + M_{QS}(t) - M_{QS}(t=0) + M_{QA}(t), \\ v_Q(t) &= R'_{UQ}(t) + \Omega_Q(t) \times R_{UQ}(t), \quad (1) \end{aligned}$$

где m – масса судна без жидких грузов, $v_Q = (v_{Q1}, v_{Q2}, v_{Q3})$ – скорость центра масс, $\Omega_Q = (\omega_{Q1}, \omega_{Q2}, \omega_{Q3})$ – угловая скорость, $L = (L_1, L_2, L_3)$ – момент количества движения, $R_{UQ} = (x_{UQ1}, x_{UQ2}, x_{UQ3})$ – радиус-вектор центра масс судна по отношению к инерциальной системе U , двигаясь с равномерной скоростью, равной средней скорости судна, (φ, θ, ψ) – углы Эйлера, F_W, F_D и F_R являются дифракционными и радиационными силами Фруда – Крылова соответственно, M_{QW}, M_{QD}, M_{QR} – их моменты по отношению к центру масс $G = (0, 0, -g)_U$, D – угловая матрица, и D_Q –

матрица, которая превращает компоненты скорости вращения Эйлера в Ω_Q . Дополнительные силы и моменты, такие как демпфирующие силы или силы, генерируемые пером руля, обозначаются F_A и M_{QA} . Сила перетекания и момент обозначаются F_S и M_{QS} .

Путь решения 3D задач гидродинамики и определения дифракционных и радиационных сил Фруда-Крылов, входящих в уравнения движения, представлены в [1]. Силы перетекания, порожденные движущимся судном, кинематика и динамика жидкости (возвышение свободной поверхности, скорость и поля давления) определяются путем решения задачи [2]. Нелинейные уравнения движения решаются численно (учитывая слеминг) в соответствии с методом, предложенным в [2]. Программа разработана на основе уравнений и численных методов, позволяющих выполнять моделирование движения судна на волнении.

В исследование было включено движение судна на морском волнении, судно имеет призматические трюма. Таким образом, параметры потока жидкости такие же, во всех параллельных сечениях трюма и могут быть представлены одним поперечным 2D сечением. Гравитационные и инерционные силы, действующие на жидкость в танке, являются силами более высокого порядка, в отличие от сил, возникающих при вязком грузе, таким образом, вязкость не учитывается в описании движения жидкости в танке.

Анализ движения судна, при плескании груза. Судно, перевозящее на борту груз расплавленной серы было выбрано для анализа. Движения судна подвержено волнению моря. Основные параметры судна: длина $L = 138\text{m}$, ширина $B = 23\text{ м}$, осадка $T = 8.01\text{ m}$. Период естественной качки для этого условия нагрузки составлял 8.5 с. Трюм был заполнен на 80% и естественный период для перетекания груза в сечении составлял 4.22 с. Четыре трюма судна были заполнены до того же уровня. Плотность расплавленной серы равна 1800 кг/м^3 . Для сравнения, расчеты были также проведены для твердых грузов той же массы, что и расплавленной серы. Анализ был проведен на основе моделирования движения

судов на регулярном волнении (описываемом высотой H и периодом T_r) и нерегулярном волнении (определяемом значением высоты H_s и составила в среднем период T_z).

Выводы. Численный анализ был проведен для изучения связи между движением судна на волнении и перетеканием груза в танке. Результаты расчетов показывают, что для судна в расчёт берутся взаимодействия между движением судна и перетеканием груза. Моделирование и оценка состояний системы можно осуществлять и аппаратом нейронных сетей, о чем представлено в работах [4–6]. Нерегулярные морские волны, будучи суммой бесконечного числа регулярных волн различных амплитуд и случайных фазовых сдвигов между ними, создают нерегулярные колебания судна, следовательно, потоки жидких грузов в трюме также являются нерегулярными.

Список литературы

1. Jankowski J. Ship facing the waves, Polski Rejestr Statków, 2006 (in Polish).
2. Kim Y. A numerical study on sloshing flows coupled with ship motion – The anti-rolling tank problem, Journal of Ship Research, Vol. 46, March 2002.
3. Nichols B.D. SOLA – a numerical solution algorithm for transient fluid flows, Los Alamos Scientific Laboratory. – California, 1975.
4. Черный С.Г. Интеллектуальная поддержка принятия решений при оптимальном управлении для судовых электроэнергетических систем / С.Г. Черный, А.А. Жиленков // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. – 2014. – №3 (25). – С. 68–75.
5. Черный С.Г. Информационная модель оптимизации нечетких процессов принятия решений (на примере диагностики оборудования добычи полезных ископаемых со дна моря) / С.Г. Черный, В.А. Доровской // Научно-техническая информация. Серия 2: Информационные процессы и системы. – 2014. – №11. – С. 31–36.
6. Черный С.Г. Идентификация внешних параметров сигналов для экспертных подсистем в составе устройств судовых электроэнергетических систем /

С.Г. Черный, А.А. Жиленков // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление. – 2014. – №3 (198). – С. 28–36.