(cc) BY

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Кирилычев Александр Александрович
соискатель
Ивановский Николай Владимирович
канд. техн. наук, доцент

ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет»
г. Керчь, Республика Крым

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕТЕКАНИЯ ГРУЗА НА ДВИЖЕНИЕ ТАНКЕРА

Аннотация: *когда судно, перевозящее грузы наливом, движется на волнении, происходит движение груза в танках. Движения судна порождает колебание груза, которое в свою очередь влияет на движения судна. Чтобы изучить эффект этой связи, были проведены 2-D эксперименты с прямоугольной секцией танкера на волнении. Настоящее исследование представляет собой первое подтверждение для связанных внутренних и внешних потоков.*

Ключевые слова*: движение модели судна, колебания груза, линейная теория порожнего судна, мультимодальный подход, нелинейная модель.*

Введение. Эксперименты проводились в волновом полигоне Департамента морской гидродинамики в NTNU (Норвежском Университет Науки и Технологий). Полигон имеет общую длину 13,5 м и ширину 0,6 м. Он оснащен электронным управлением и компьютерным обеспечением, прибор для генерации волн откалиброван для глубины 1,03 м. Боковые стенки и дно полигона выполнены из стекла.

На рис. 1 показаны параметры модели. Секция судна с общей длиной 596 мм имеет по 2 мм свободного пространства между её границами и стенками полигона. Ширина модели 400 мм и осадка 200 мм. Два одинаковых танки имеют ширину b = 376 мм, длину 150 мм и высоту 288 или 388 мм в зависимости от положения палубы. Палуба может быть опущена при вынужденном колебании воды,

чтобы оценить влияние груза не только на бортовые и днищевую переборки. Но никакого влияния взаимодействие с дополнительной переборкой танка в представленных примерах не наблюдалось. Модель была утяжелена так, что её общий вес каждый равнялся плавучести для фиксированной осадки и различных количеств груза в танке. Модель скользит вдоль двух направляющих, где используются подшипники с низким коэффициентом трения. От сноса её удерживают пружины с общей жесткостью 30,9 Н/м. Собственная частота пружин значительно ниже изучаемых волновых частот. Крутизна волн поддерживается ниже определенного порогового значения, чтобы предотвратить разрушение любого из элементов модели.

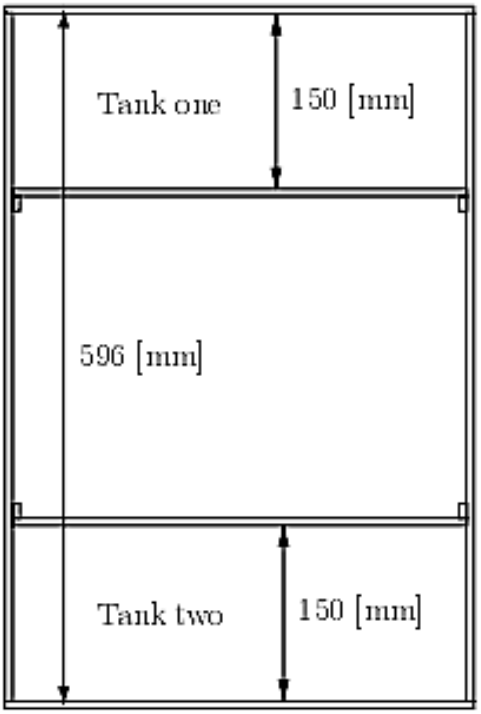

Рис. 1. Сечения судна сбоку и сверху

Для системы переходной этап предшествует её устойчивому состоянию. Период возбуждения ≈ 5s является началом первого переходного этапа. Это период колебания системы, состоящей из пружин и модели судна. Сдвиг модели в среднее положение происходит за счет силы дрейфа второго порядка. В стационарном состоянии движения не подчиняются закону высших гармоник. Измеренные и расчетные амплитуды волнения для порожних танков сравнили для проверки

точности измерений. В расчетах была использована стандартная линейная программа для учёта влияния моря. Экспериментальные результаты для плотной массы хорошо согласуются с расчетными значениями.

Рис. 2 иллюстрирует насколько значимо влияние движения жидкости внутри танка. Когда ω меньше или немного больше? чем самая низкая собственная частота линейного движения жидкости в танках σ_n, в танке, наполненном на половину, влияние жидкости заметнее меньше, чем влияние плотного груза. Действие движущегося груза в танках направлено против сил, породивших его. Когда движение раскачивания почти равно нулю. Для ω чуть большей σ_n раскачивания увеличивается из-за движения жидкости в танках. Такое поведение можно качественно объяснить с помощью линейной модели для выплескивания. Фаза силы выплескивания сдвигается на 180°, когда частота возбуждения увеличивается в пределах собственной частоты.

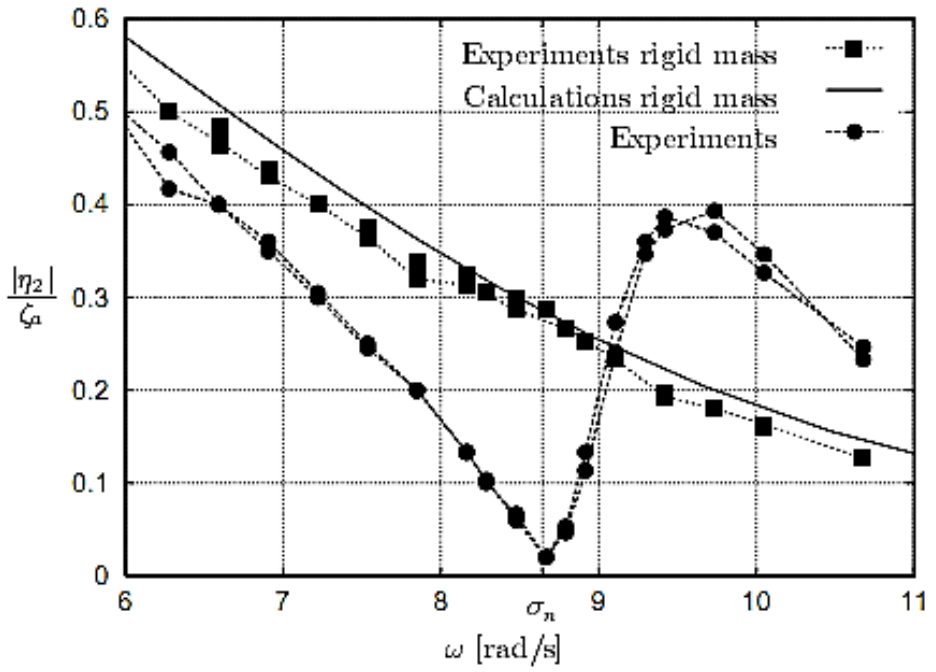

Рис. 2. Амплитуда качки для плотной массы в двух танках, заполненных h = 0,184 м

Интересное явление наблюдается для волновых частот, близких к резонансу для движения жидкости в танках. Когда фронт волны попадает в модель, инициируется значительное волновое движение модели. Это в свою очередь возбуждает

движение груза в танках, и таким образом сила движения груза начинает противодействовать возбуждающую силу волн. Линейная модель переливания не может предопределить частоту минимального движения раскачивания для трех случаев, когда только один танк заполнен, так как большая амплитуда переливаний в резонансе делает недействительным предположение о постоянной собственной частоте для внутреннего движения жидкости. В [2] показано, как первая собственная частота изменяется в зависимости от амплитуды переливания. Когда уровень заполнения h ниже критического значения h/b = 0.3374, σ_n увеличивается с увеличением амплитуды. Это объясняет расхождение при минимальной качке модели для h = 0,094 м. Для h = 0,29 м и 0,184 м уровень воды выше критической глубины и, следовательно, эксперименты показывают, что минимум может быть меньше σ_n. При h = 0,184 м и двух заполненных танках, амплитуда движений переливания при $\omega \approx \sigma_n$, довольно небольшая. Следовательно, линейная модель переливания дает приемлемый результат, который можно анализировать нейронными сетями [3–5].

В результате расчетов, где учитывается нелинейная модель уравнение движения (1) решается по времени в сочетании с нелинейной моделью переливания.

$$(M + A_{22})\ddot{\eta}_2 + B_{22}\dot{\eta}_2 + C_{22}\eta_2 - F_{exc}(\zeta_a) - F_{slosh}(\eta_2) = 0 \quad (1)$$

В (1) M является структурной массой без учета внутренней массы жидкости. A_{22} и B_{22} являются частотными зависимостями присоединенной массы и затухания, обусловленного внешним линейным потоком. C_{22} линейный коэффициент для пресной воды, F_{exc} является горизонтальной силой линейной волны возбуждения и F_{slosh} является горизонтальной силой, обусловленной переливанием. Моделирование продолжается до достижения системой устойчивого состояния движения раскачивания. Внешняя модель потока нуждается в обосновании. Подходящая внешняя линейная модель должна основываться на методологии, представленной Кумминсом, которая утверждает, что радиационная сила является функцией свертки интегралов. Что необходимо для того, чтобы рассчитать переходный этап для внешнего потока и переливание, индуцированное гармониче-

скими колебаниями высшего порядка. Учитывая нелинейную модель переливания, можно рассчитывать на более точное совпадение между расчётными и экспериментальными данными.

Выводы. Описание того, как затухание учтено в модели переливания, можно найти в [2]. Это затухание можно представить, как вязкие эффекты или местные перегибы и невозможно предсказать. Было изучено влияние внешних вихрей на острые углы и обнаружено, что они малы. Для амплитуды стабилизаторы увеличить с уменьшением демпфирования, а вокруг болтающихся резонанс движение становится меньше. Для $\omega > \approx \sigma_n$ амплитуда качки увеличилась, а затухание уменьшилось, в то время как резонанс движения перетекания уменьшился. Для того чтобы объяснить это явление, был изучен баланс между различными выражениями в уравнении движения. Был применен квазилинейная подход. Проводя аналогию с линейной системой, нуль этой суммы соответствует собственной частоте для движения раскачивания. Сумма близка к нулю при частоте близкой к ω = 9,5 рад/с для двух амплитуд установившегося движения состояние раскачивания.

Список литературы

1. Faltinsen O.M. Multidimensional modal analysis of nonlinear sloshing in a rectangular tank with low water depth / O.M. Faltinsen, O.F. Rognebakke, I.A. Lukovsky, A.N. Timokha. – 2000. – J. Fluid Mech. – P. 201–234.

2. Cummins W.E. The impulse-response function and ship motions. Schistechnik. – №9(47). – P. 101–109.

3. 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.

4. 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.

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.