

УДК 656.614.3.073.003

CALCULATION OF CONTAINER CARRIER'S ROLL PERIOD

РАСЧЁТ ПЕРИОДА КАЧКИ КОНТЕЙНЕРОВОЗОВ

Milietin O.V., captain, PhD student

Милетин А.В., капитан, аспирант

Odessa National Maritime Academy, Ukraine

Одесская Национальная Морская Академия, Украина

ABSTRACT

The link between rolling period and initial metacentric height is considered. The method of calculation of rolling period is reviewed in the connection with above.

The main algorithm is proposed in order to insert the calculation of rolling period into the ship's stability program. Such calculation is important for specialized type of vessels, as namely container carriers due to it could allow estimating the forces acting in the container lashing equipment in way that is more correct. That calculation could enhance safety of carriage at sea and to improve effectiveness of specialized vessels utilization.

Keywords: roll period, metacentric height, radius of gyration.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами

Наверное, любой судоводитель хотя бы однажды задавался целью измерить период бортовой качки судна на волнении и определить значение метацентрической высоты исходя из полученных результатов. При этом, как правило используется формула, приведенная в [4,6]:

$$T = \frac{2 \cdot C \cdot B}{\sqrt{h}}, \quad (1)$$

где T- период качки в секундах; B-ширина судна в метрах; h-метацентрическая высота в метрах.

C-коэффициент рассчитываемый по формуле:

$$C = 0.373 + 0,023 \left(\frac{B}{d} \right) - 0.043 \left(\frac{L}{100} \right), \quad (2)$$

где d- это осадка судна в метрах; L- длина судна также в метрах;

К сожалению, приведенная выше формула является эмпирической и даёт очень приближённый результат. В частности, при использовании этой формулы на современных специализированных судах, как мега контейнеровозы вместимостью 8000- 12000 TEU ошибка может достигать 50%. То есть вместо расчётного периода качки 12-13 секунд при неполной загрузке контейнеровоза и высоком значении метацентрической высоты мы можем получить эмпирическое значение 16-18 секунд. Такое явление может ввести в замешательство судоводителя, и вызвать предположение, что где-то допущен

грубый просчёт при расчёте остойчивости и определении начальной метацентрической высоты.

Наибольшая проблема в том, что эта же формула заложена при расчёте максимально допустимых нагрузок системы крепления перевозимого груза, т.к. период качки определяет величину углового ускорения $(\partial^2\theta)/(\partial t^2)$ и как следствие величины инерционных нагрузок на единицу погруженного груза и элементы его крепления [4].

Фактически количество погруженного и перевозимого на судне груза (основной определяющий фактор экономической прибыльности его эксплуатации) ограничен такими факторами как максимально допустимый дедвейт, остойчивость, величина предельной местной нагрузки на элементы конструкции судна и абсолютно не в последнюю очередь максимально допустимой нагрузкой на элементы системы крепления груза. Абсолютно очевидна зависимость: чем меньше расчётный период бортовой качки при определённой загрузке судна – тем больше угловое ускорение (a_t), а следовательно большие расчётные нагрузки (ma_t) на элементы системы крепления груза. И поскольку эти нагрузки не должны превышать максимально допустимые, определяемые прочностью материала необходимо снизить m – вес груза. То есть, в конечном счете, это приводит к значительному снижению эффективности эксплуатации судна. Поэтому получение как можно более точных результатов расчёта периода бортовой качки судна, величины углового ускорения и фактических нагрузок в системе крепления груза является перспективным и актуальным для повышения эффективности и безопасности морских перевозок. При сегодняшнем уровне развития вычислительной техники при наличии правильного и надёжного алгоритма вычисления достаточно просто определить фактический период качки, величину углового ускорения и фактическую нагрузку в системах крепления груза при данном состоянии погрузки судна. Эта проблема приобретает свою острую актуальность в частности с развитием и увеличением тоннажа специализированных судов-контейнеровозов. Современные мега-контейнеровозы имеют как правило избыточную остойчивость, которая обусловлена прежде всего формой корпуса спроектированного для предотвращения возникновения такого феномена как параметрическая качка. Поэтому при невозможности снизить величину начальной метацентрической остойчивости необходимо рассчитать фактическую величину нагрузок в системе крепления контейнеров, обусловленную, прежде всего периодом качки и при необходимости принять возможные меры, прежде всего по увеличению периода и снижению нагрузок или необходимого дополнительного крепления груза при одном и том же значении начальной метацентрической высоты. Перспективность исследования в этом направлении – то что это повысит эффективность эксплуатации судов, в частности современных контейнеровозов, а также повысит безопасность морских перевозок.

Анализ последних достижений и публикаций, в которых начато решение данной проблемы и выделение нерешенных ранее частей общей проблемы

В работах Снопкова В.И. [1] значительное место уделено силам воздействующим на перевозимый морем груз во время качки, в работах Captain Martin A. Rhodes [3], D. R. Derret [2], Captain C. Clark [5] развита и обоснована теория качки судна. В работе Бычкова Д.В. [7] проведено дальнейшее исследование влияния сил действующих на крепление груза во время качки судна.

Формулировка целей статьи (постановка задачи)

Целью статьи является рассмотрение алгоритма программы расчёта фактического периода качки для специализированных типов судов – мега контейнеровозов большой вместимости – 8000 тэусов и более в зависимости от состояния погрузки судна.

Изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов

Хотя вязкость жидкости в которое погружено судно вызывает уменьшение амплитуды качки и угла максимального наклона судна, интервал между его последовательными наклонами остаётся постоянный называемый периодом качки и он практически равен периоду качки в среде без вязкостного сопротивления на спокойной воде [5]. При этом сама качка судна вызывается воздействием двух сил: внешней силы приведшей к наклону судна и действию внутреннего восстанавливающего момента. При качке все части судна и погруженного на него груза (так называемые элементарные частицы массы) совершают колебательное движение вокруг некой оси, с ускорением $a = \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} * r$; равное произведению углового ускорения на расстояние до оси. Следовательно, сила f воздействующая на элементарную частицу массы судна равна [5]:

$$f = \delta m \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} * r. \quad (3)$$

Индивидуальный восстанавливающий момент, действующий на единичную частичку массы, отстоящую на расстоянии r от оси качения, будет равен:

$$\delta(B. M) = f * r; \quad (4)$$

$$\text{или } \delta(B. M) = f * r, \quad (5)$$

где $\delta(B. M)$ - индивидуальный восстанавливающий момент, действующий на частицу. Следовательно, общий восстанавливающий момент равен сумме всех элементарных моментов. То есть:

$$\Sigma(B. M) = \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} \Sigma \delta m^1 r^{12} + \dots + \delta m_n r_n^2. \quad (6)$$

Сумма произведений элементарных масс на квадрат их расстояний до оси вращения известна как момент инерции судна.

Поскольку судно при колебании в среде без вязкостного сопротивления подчиняется законам простого гармонического движения. Т.е. другими словами угол крена судна в любой момент описывается уравнением:

$$\theta t = \theta(max) * \sin \omega. \quad (7)$$

Угловое ускорение описывается формулой:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = -\theta(max) * \omega^2 * \sin \omega t \quad (8)$$

или

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = -\omega^2 \theta. \quad (9)$$

Но поскольку качка судна в среде без сопротивления как уже сказано выше, подчиняется законам простого гармонического колебания, будет справедлива формула:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (10)$$

радиан или если выразить из этого выражения ω :

$$\omega = \frac{2\pi}{T}. \quad (11)$$

Подставив значение ω в формулу (5) мы получим:

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} = -\left(\frac{2\pi^2}{T^2}\right)\theta, \quad (12)$$

и после несложных преобразований:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{constant}}, \quad (13)$$

где constant – некоторая постоянная величина, от которой зависит период качки судна T.

Как известно на судно с положительной начальной метацентрической высотой выведенное из положения начального равновесия (в нашем случае накрённого) действует восстанавливающий момент:

$$(B. M.) = Mg * h * \sin \theta. \quad (14)$$

Как видно мы можем приравнять формулу (6) и (14) между собой:

$$Mg * h * \sin \theta = \frac{\partial^2 \theta}{\partial t^2} \sum \delta m^1 r^{12} + \dots + \delta m_n r_n^2; \quad (15)$$

Если мы суммируем произведение всех элементарных частей массы судна на их квадрат их расстояния до оси вокруг которой производится качка, а затем разделим это его на массу (водоизмещение) мы получим некое значение R^2 где

– R- радиус инерции судна относительно некой оси, вокруг которой происходит колебание. Т.е.:

$$MR^2 = \sum \delta m^1 r^{12} + \dots + \delta m_n r_n^2. \quad (16)$$

Путём несложных математических преобразований (подстановка MR^2 в формулу 15) мы получаем формулу для определения периода бортовой качки судна:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{R^2}{g \cdot h}}, \quad (17)$$

где g- ускорение свободного падения 9.81 м/с²; h- метацентрическая высота (м); R- радиус инерции судна (radius of gyration)

Как видно из приведенной выше формулы (17) период качки судна зависит от двух величин:

- значения метацентрической высоты;
- распределения элементов конструкции и элементов составляющих дедвейт судна относительно некоторой оси вокруг которой происходит качка судна, то есть другими словами от величины радиуса инерции судна.

Как правило, в случае если при определённой погрузке судно приобретает избыточную остойчивость и метацентрическая высота имеет значение 5-6 метров, что абсолютно закономерно для современных мега контейнеровозов пост-панамакс класса, перед судоводителем встаёт дилемма увеличения периода качки судна. Проанализируем возможность увеличения периода качки судна на основе реально существующего контейнеровоза с максимальной летней осадкой 15 метров, максимальным дедвейтом 116439 тонн и водоизмещением 154326 тонн, контейнерная вместимость- 10062 TEU. В случае если при определённой погрузке судно имеет осадку -14 метров и некий постоянный радиус инерции судна равный 13,9 метров (данные взяты из информации по остойчивости судна [6]). Построим график закономерности изменения периода качки судна при некоем идеальном варианте - постоянном радиусе инерции и изменяющейся метацентрической высоте (рис.1) используя формулу (17).

Как видно из приведенного выше графика зависимость изменения периода качки судна в зависимости от начальной метацентрической высоты имеет явно нелинейный характер. При небольших начальных значениях h (примерно до двух метров) небольшое уменьшение высоты приводит к резкому увеличению периода качки. Но при больших начальных значениях метацентрической высоты явно видно, что значительное её изменение приводит к не настолько значительному изменению периода качки.

Отсюда следует достаточно важный вывод: когда при определённой погрузке судна значение метацентрической высоты получается достаточно большое что может привести к стремительной бортовой качке и нет никакой возможности снизить величину метацентрической высоты можно просто увеличить период качки судна путем распределения тяжёлого груза ближе к

бортам судна и дальше от диаметральной плоскости судна. Так называемый метод “wing in gout the weight” [3,2,5].

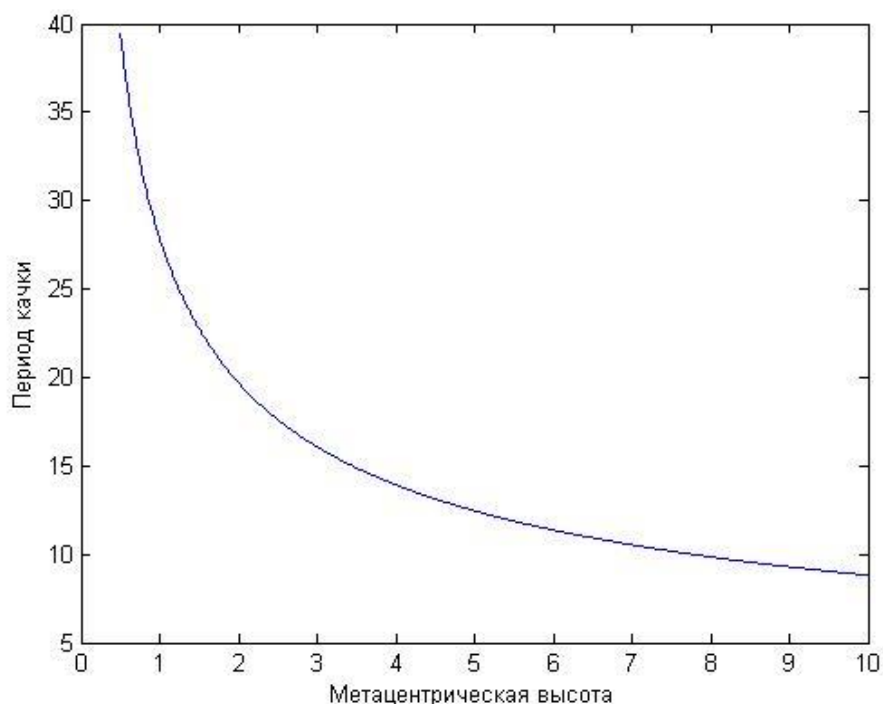


Рис.1. Зависимость периода качки современного мега контейнеровоза пост-панамакс класса от его метацентрической высоты

Для понимания принципа этого метода достаточно вспомнить аналогию с канатоходцем, идущем по натянутому канату под куполом цирка [3]. Для того чтобы увеличить его так называемый “радиус инерции” он использует длинный шест что позволяет ему увеличить период колебаний и вовремя среагировать в случае опасности. Метод распределения груза достаточно просто и эффективно может реализовываться на борту современных контейнеровозов для увеличения периода качки, а следовательно уменьшения нагрузки на систему крепления контейнеров.

При использовании современной вычислительной техники доступной на борту судна достаточно просто и эффективно вычислить радиус инерции судна при определённой погрузке относительно некой оси проходящей через диаметральную плоскость судна (например через центр тяжести) а затем вычислить радиус инерции судна относительно фактической оси, вокруг которой происходит колебание судна используя теорему о моменте относительно параллельных осей. Как известно при малых углах наклона судно совершает колебание при бортовой качке вокруг диаметральной оси площади ватерлинии.

Исходными данными для такого расчёта могут служить координаты контейнеров (их позиции) и их вес. Радиус инерции самого судна можно получить из результатов эксперимента кренования судна производившегося в доке.

Выводы и перспектива дальнейшей работы по данному направлению

Таким образом, предложен алгоритм разработки расчёта радиуса инерции судна и его фактического периода качки при определённой погрузке. В случае дальнейшей разработки и использования этого метода на современных мега контейнеровозах алгоритм расчета периода качки может быть интегрирован в грузовую программу, что позволит рассчитывать фактическую нагрузку на элементы системы крепления контейнеров и даже понижать её при необходимости путём распределения груза по горизонтали. Дальнейшая разработка и внедрение этого метода может повысить эффективность эксплуатации и безопасность перевозок в частности на борту современных контейнеровозов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Снопков В. И. Технология перевозки грузов морем / Снопков В. И.-Санкт Петербург АНО НПО: Мир и семья, 2001.-с. 472-502
2. D.R. Derret. Ship stability for Masters and mates ./D.R. Derret Fifth edition revised Dr. C.V. Barras.-Oxford:ButterworthHeinemann, 2001.- Pages 290-295.
3. Martin A. Rhodes.Ship stability for Mates/Masters/ Martin A. Rhodes.-Glasgo: Seamanship International Ltd, 2003.- 408 pages.
4. CSS code 2011 edition/ IMO London, 2011.-153 pages
5. Ian C. Clark. The management of merchant ship stability, trim & strength/ Ian C. Clark.-London:The Nautical institute, 2002.-293 pages
6. Final Trim & Stability booklet for container carrier “ZIM Djibouti” 10000 teus capacity/ Lloyd Register, 2009.- 420 pages
7. Бычков Дмитрий Владимирович. Усовершенствование и оптимизация системы крепления контейнеров для повышения сохранности груза при перевозке:диссертация на соискание кандидата техн.наук. Спец. 05.22.20 “Эксплуатация и ремонт средств транспорта”/ Бычков Дмитрий Владимирович.- Одесса: ОНМА, 2008г.- 216 с.