

УДК 629.12

Нгуен Нгок Тан

НАКЛОНЕНИЯ ВОДОИЗМЕЩАЮЩЕГО СУДНА НА ПРОДОЛЬНОМ ВОЛНЕНИИ ПРИ ДЕЙСТВИИ КРЕНЯЩЕГО МОМЕНТА

Социалистическая Республика Вьетнам,
Нижегородский государственный технический университет им Р.Е. Алексеева

Цель: Исследование движения водоизмещающего судна на продольном волнении при действии кренящего момента.

Метод: При действии кренящего момента на судно, двигающееся на продольном волнении, возникают наклоны по крену и дифференту. Движения судна описано по методу «ДИНАМИКА» системой уравнений. Расчет был выполнен по численному методу Рунг-Кутта 4 порядка с помощью ПЭВМ.

Результаты: По результатам расчетов угол крена судна на продольном волнении зависит от скорости хода судна, курсового угла на волнении и значения приложенного кренящего момента. Максимальное значение угла крена не только зависит от динамического кренящего момента, но и от параметрического резонанса.

Выводы: Полученные результаты в этой работе дают возможность оценки поперечной остойчивости судна на продольном волнении. При действии динамических нагрузок на небольшое по длине судно, расчет остойчивости нельзя выполнить по мгновенной диаграмме остойчивости. По результатам расчета, экипаж сможет выбрать скорость хода, коровой угол волнения с целью уменьшения опасности опрокидывания и заливаемости.

Ключевые слова: кренящий момент, остойчивость, крен, дифферент, динамическая нагрузка.

Сложная ответная реакция судна на внешнее воздействие характеризуется возникновением побочных движений. В теории остойчивости известно изменение характеристик поперечной остойчивости на вершине и на подошве волны при продольной качке. При плавании судна на волнении и за счет качки непрерывно меняется величина и форма погруженного объема, а, следовательно, и величина восстанавливающего момента. Проведенные многими авторами [1, 5, 6] исследования показали, что возможно существенное снижение характеристик поперечной остойчивости судна. Полагается, что особую опасность представляет движение судна на попутном волнении со скоростью, близкой к скорости бега волн.

По нашему мнению, представляет интерес исследовать случай, когда кажущаяся частота волн совпадает с частотой собственных колебаний по крену из-за возможного возникновения параметрического резонанса.

С целью тестирования программы расчета [4] и выявления особенностей в характеристиках движения корпуса при сложных видах воздействия внешних сил были рассмотрены расчетные случаи плавания судна на продольном волнении. Расчет выполнен на объекты, которые описаны в работах [2, 3].

На продольном волнении ($KUB=0^0$; $v = 0$ м/с; $h_B = 2.0$ м; $\sigma_K = \omega_\theta = 0.883$ с⁻¹; $h_B/\lambda_B = 1/40$; $\lambda_B = 80$ м, где - KUB - курсовой угол волнения, v - скорость хода судна;

h_B - максимальная высота волны; σ_K - частота волны; ω_θ - частота собственных колебаний судна; λ_B - длина волны) на 60 с к судну внезапно был приложен кренящий момент 450 кН·м. На рис. 1 приведены зависимости параметров движения. До приложения кренящего момента наклоны судна по крену при этом отсутствовали. После приложения кренящего момента стали развиваться интенсивные колебания по крену с нарастающей амплитудой. Очевидно, это обусловлено изменением характеристик поперечной остойчивости и проявлением параметрического резонанса.

При динамическом приложении кренящего момента к судну, совершающего качку на продольном волнении, по крену имеют место три составляющих наклоны: I - динамиче-

ская составляющая, затухающая со временем; 2 - статическая составляющая; 3 - параметрическая составляющая, развивающаяся и незатухающая со временем. В начальный момент времени после приложения кренящего момента в течение 3-5 колебаний может наблюдаться наибольшее наклонение.

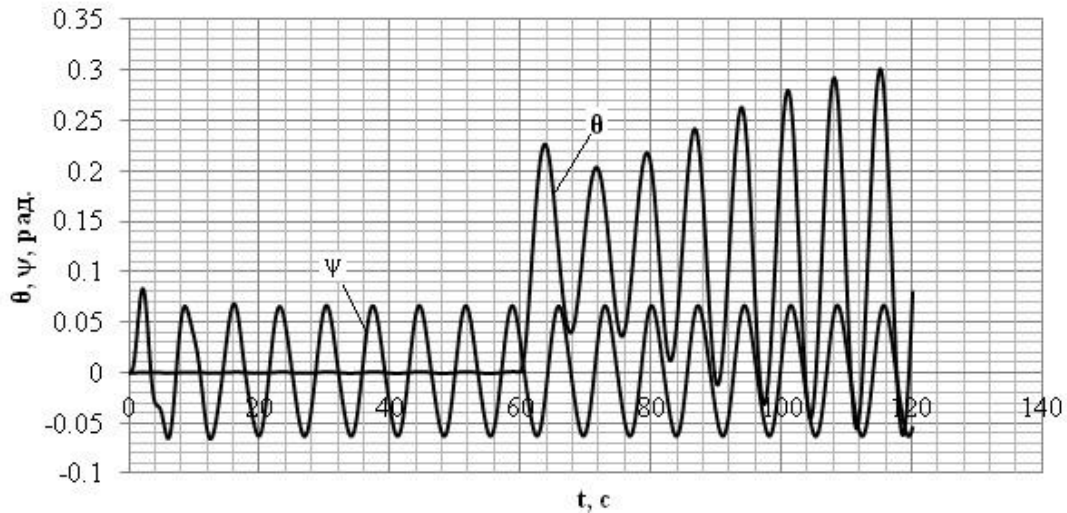


Рис. 1. Наклонения судна на продольном волнении:

$$v = 0 \text{ м/с}; h_B = 2.0 \text{ м}; \sigma_K = \omega_\theta = 0.883 \text{ с}^{-1}; \lambda_B = 80 \text{ м}, h_B/\lambda_B = 1/40$$

Следует указать, что амплитуда угла крена при параметрическом резонансе превысила динамический угол крена в начальный период действия динамически приложенного кренящего момента.

Также аналогичная ситуация смоделирована смещением груза 150 кН на правый борт на 62 с, который создал кренящий момент 450 кН·м. На рис. 2 приведены зависимости параметров движения корпуса. До приложения кренящего момента наклонения судна по крену отсутствовали. После смещения груза также стали развиваться интенсивные колебания по крену с нарастающей амплитудой.

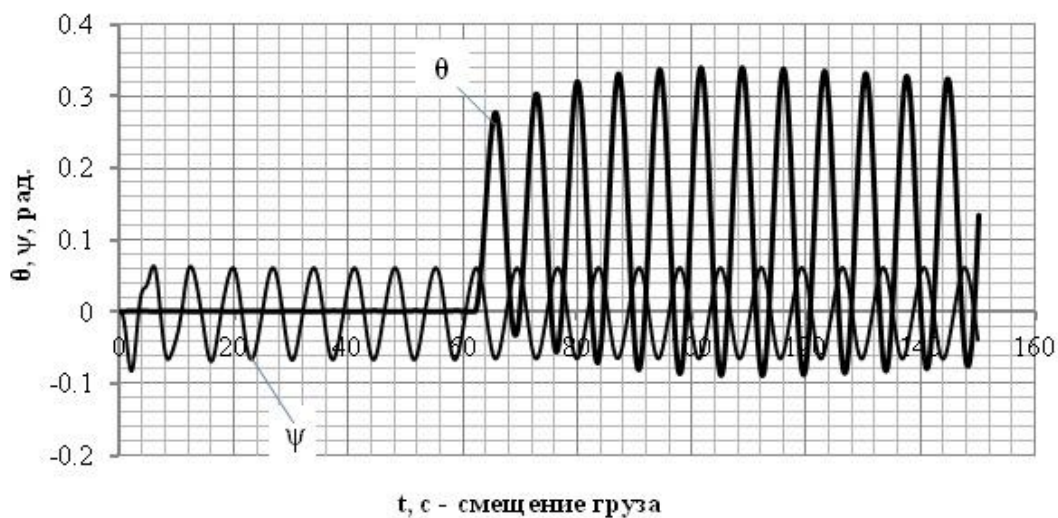


Рис. 2. Наклонения судна на продольном волнении при смещении груза при $v = 0 \text{ м/с}$

Таким образом, на продольном волнении при совпадении кажущейся частоты волн с

частотой собственных бортовых колебаний $\sigma_k = \omega_\theta$ имеют место интенсивные периодические наклонения по крену, обусловленные параметрическим резонансом и возникающие с началом действия постоянного кренящего момента.

Смоделирована ситуация прекращения действия кренящего момента. На волнении (КУВ=0) до 60 с к судну приложен кренящий момент 450 кН·м. Затем кренящий момент был убран. На рис. 3 приведены зависимости параметров движения. После прекращения действия кренящего момента колебания по крену продолжались, но уже с убывающей во времени амплитудой.

В итоге можно отметить, что инициирующим параметрический резонанс по крену на продольном волнении фактором является приложение кренящего момента независимо от его физической сущности. Развитие и угасание параметрического резонанса носит медленно изменяющийся во времени процесс.

Исследуем влияние курсового угла и скорости хода. Встречное волнение характеризуется значением КУВ=180°. Попутное волнение характеризуется значением КУВ=0°. Параметры волн соответствовали резонансу колебаний судна по крену:

$$h_B = 2.0 \text{ м}; \lambda_B = 80 \text{ м}. \sigma_k = \omega_\theta = 0.883 \text{ с}^{-1}.$$

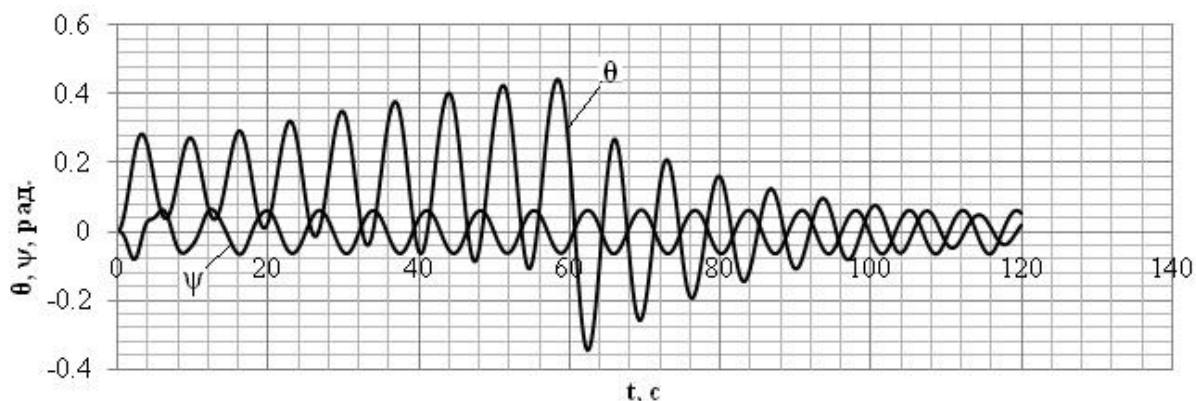


Рис. 3. Наклонения судна на продольном волнении после прекращения действия кренящего момента $v = 0 \text{ м/с}$

Результаты расчета наклонений судна по крену и дифференту при действии динамически приложенного кренящего момента величиной 450 кН·м показаны на графиках рис. 4 – рис. 7.

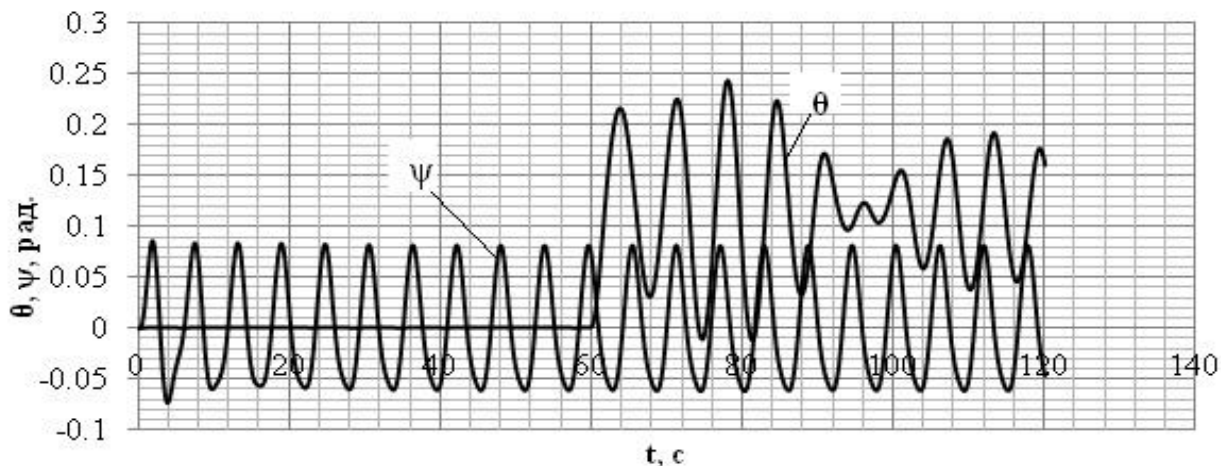


Рис. 4. Наклонения судна на продольном встречном волнении при скорости хода $v = 2.5 \text{ м/с}$

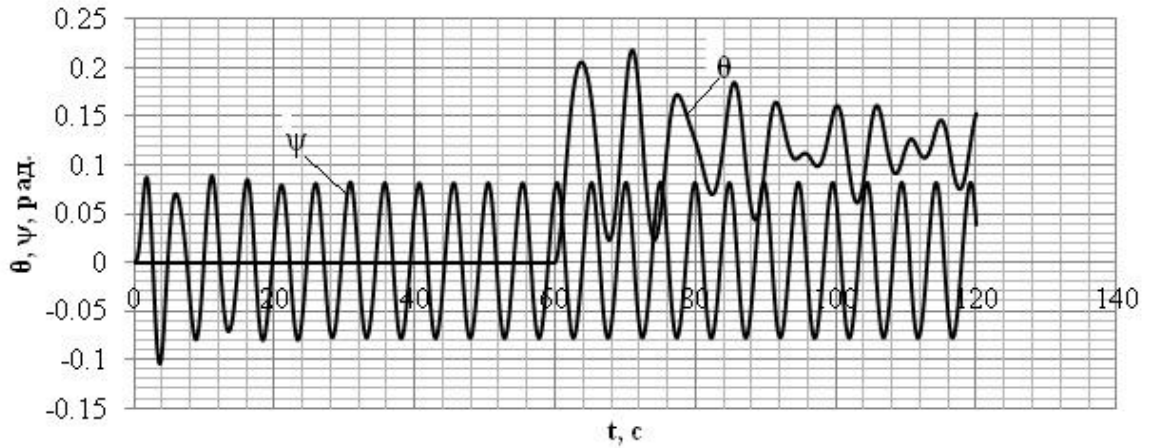


Рис. 5. Наклонения судна на продольном встречном волнении при скорости хода $v = 5.0$ м/с

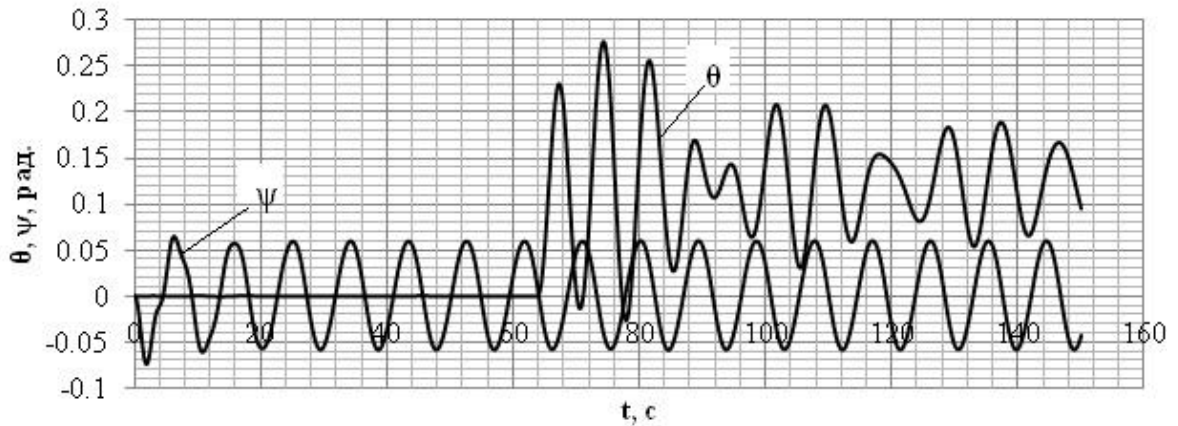


Рис. 6. Наклонения судна на продольном попутном волнении при скорости хода $v = 2.5$ м/с

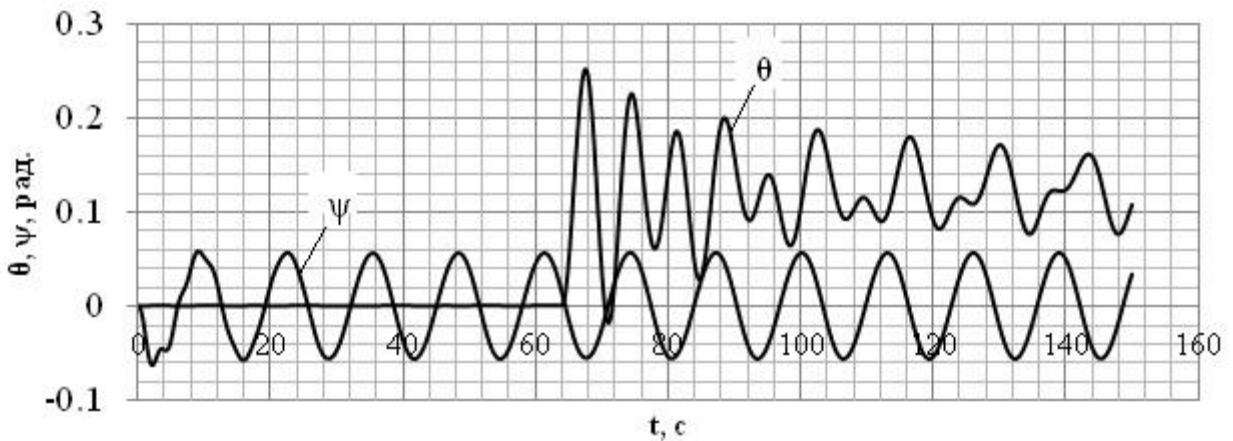


Рис. 7. Наклонения судна на продольном волнении при скорости хода $v = 5.0$ м/с

Анализ этих графиков показывает, что имеют место амплитудные наклонения по крену в двух моментах: 1 - при динамическом приложении кренящего момента $\delta\theta_{1d}^{\max}$; 2 - в процессе развития параметрического резонанса $\delta\theta_{2d}^{\max}$.

На графиках рис. 8 приведены зависимости $\delta\theta_{1d}^{\max}$ и $\delta\theta_{2d}^{\max}$ от значения кажущейся частоты волн:

$$\sigma_k = \sigma - v \cdot k \cdot \cos \varepsilon.$$

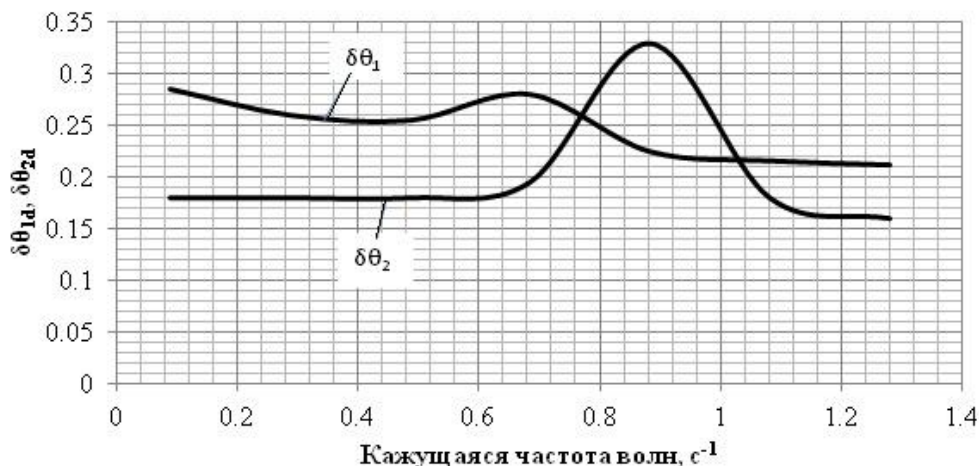


Рис. 8. Зависимость максимальных углов крена:

1 – от динамического кренящего момента; 2 – от параметрического резонанса

Видим, что в наибольшей степени параметрический резонанс развивается в области частот $\sigma_k = \omega_\theta$ и представляет большую опасность опрокидывания, нежели динамический способ приложения кренящего момента.

Время от момента приложения кренящего момента до достижения максимума угла крена $\delta\theta_{1d}^{max}$ составляет 3.8 с, а скорость перемещения профиля данной волны составляет 11 м/с. За это время профиль волны пройдет путь порядка длины корпуса этого судна и судно совершает при этом килевую и вертикальную качку. Это означает, что работа восстанавливающего момента за время наклонения не может быть оценена по мгновенной диаграмме статической остойчивости (при неизменном положении профиля волны относительно корпуса и фиксированной посадке судна).

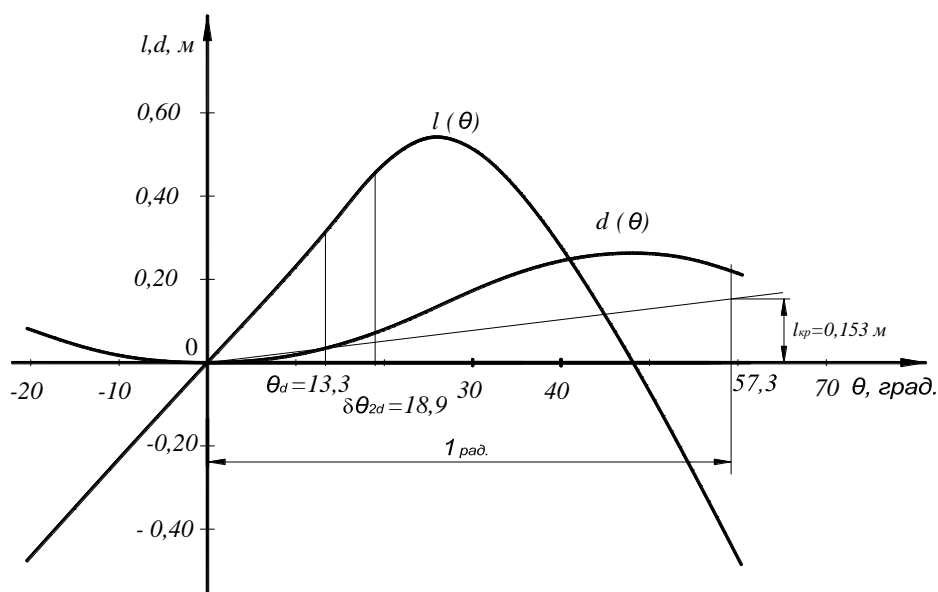


Рис. 9. Анализ крена судна по методу статики при динамическом приложении кренящего момента

Принимая некоторую условность сравнения, на диаграмме рис. 9 выполнен анализ динамического крена судна на основе диаграмм статической и динамической остойчивости этого судна, рассчитанных в условиях тихой воды.

Приведенное плечо кренящей пары равно 0,153 м. Динамический угол крена, определенный по диаграммам, составляет 13,5 градуса.

По расчету угол $\delta\theta_{1d}^{\max} = 14.3$ градуса, а угол $\delta\theta_{2d}^{\max} = 18.9$ градуса (рис. 8). Из этого следует вывод, что наклоны судна по крену на продольном волнении с резонансной частотой волны могут оказаться более опасными в отношении опрокидывания и заливания корпуса, нежели в условиях тихой воды или при боковой качке.

Далее исследован случай смены знака кренящего момента со значения $M_{кр} = -450$ кН·м на значение $M_{кр} = +450$ кН·м (например, перекатывающийся груз). В данной расчетной ситуации (рис. 9) наблюдается весьма большое по значению динамическое наклонение по крену судна, значительно превышающее аналогичное значение при боковой качке на поперечном волнении.

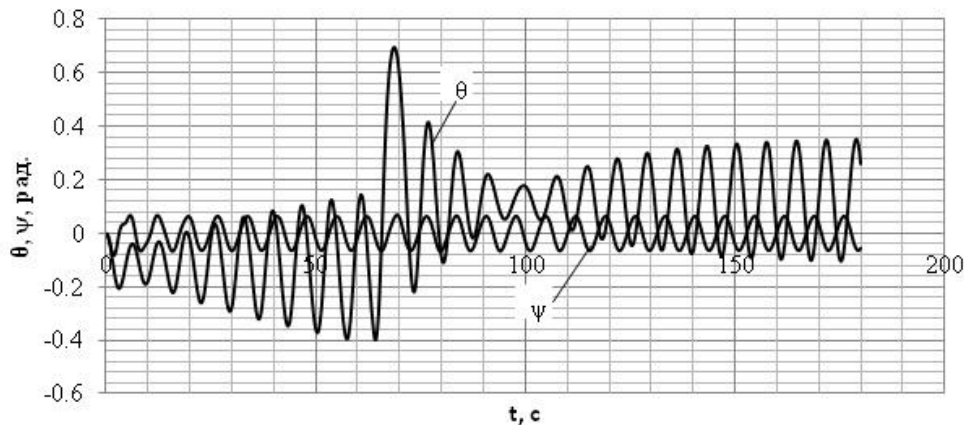


Рис. 10. Наклоны судна на продольном попутном волнении ($\sigma_k = \omega_\theta$; $v = 0$) при внезапной смене знака кренящего момента

Оценка влияния крутизны волны.

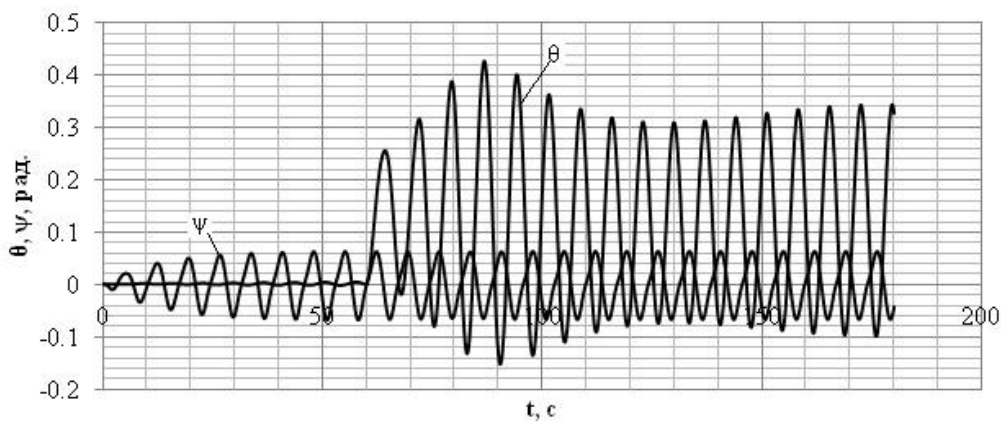


Рис. 11. Наклоны судна на продольном попутном волнении: $v = 0$ м/с; $h_B = 2.0$ м; $\sigma_k = \omega_\theta = 0.883$ с⁻¹; $\lambda_B = 48$ м

Особенностью небольшого по длине судна на продольном волнении еще раз можно отметить, что за время наклонения при динамическом приложении расчет устойчивости нельзя выполнить по мгновенной диаграмме устойчивости, рассчитанной для определенного положения корпуса на волне. Возникновение и развитие параметрического резонанса, вызванного действием кренящего момента, происходит в течение нескольких периодов волн и может оказаться опаснее импульсного приложения $M_{кр}$.

Оценка возможных поперечных наклонов судна при ходе на продольном волнении, по нашему мнению, является необходимой расчетной процедурой, которая вполне доступна проектировщику при использовании разработанной в этой работе методике и программе «ПОСАДКА».

Выводы

1. Проведенные нами исследования **подтвердили**, что на продольном волнении возможно существенное снижение характеристик поперечной остойчивости судна. Оценка возможных поперечных наклонов судна при ходе на продольном волнении, по нашему мнению, является необходимой расчетной процедурой, которая вполне доступна проектировщику на начальной стадии проектирования при использовании разработанной методики и программы «ПОСАДКА».

2. Особенностью небольшого по длине судна на продольном волнении является то, что за время наклона при динамическом приложении расчет остойчивости нельзя выполнить по мгновенной диаграмме остойчивости, рассчитанной для определенного положения корпуса на профиле волны. Возникновение и развитие параметрического резонанса, вызванного действием кренящего момента, происходит в течение нескольких периодов колебаний и это сложный по динамике процесс.

Библиографический список

1. **Благовещенский, С. Н.** Справочник по статике и динамике корабля: в 2 т./Т. 2. Динамика (качка) корабля / С. Н. Благовещенский, А. Н. Холодилин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение, 1976. – 366 с.
2. **Ваганов, А.Б.** Динамика неравнообъемных наклонов судна при внезапном изменении нагрузки / А.Б. Ваганов, Н.Т. Нгуен // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2014. – № 3.
3. **Ваганов, А.Б.** Динамика судна при сложном внезапном воздействии внешних сил / А.Б. Ваганов, Н.Т. Нгуен // Вестник АГТУ. – 2014. – №3.
4. **Ваганов, А.Б.** Свидетельство о государственной Регистрации программы для ЭВМ, №2014612390 «Расчет гидростатических характеристик и диаграмм остойчивости судовых корпусов сложной геометрической формы при произвольной посадке» / А.Б. Ваганов, И.Д. Краснокутский, 2014.
5. Справочник по статике и динамике корабля: в 2 т. /Т. 1. Статика корабля. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Судостроение», 1976.
6. Справочник по теории корабля: в 3 т./Т. 2. Статика судов. Качка судов / под ред. Я. И. Войткунского. – Л.: Судостроение, 1985. – 440 с.

*Дата поступления
в редакцию 01.07.2016*

Nguyen Ngoc Tan

THE INCLINATION OF THE WATER REPLACEMENT VESSEL UNDER A LIST IN LONGITUDINAL ROUGH SEA

Socialist Republic of Vietnam,
The Nizhny Novgorod state technical university n. a. R. E. Alexeyev

Purpose: Research of the movement of the water replacement vessel under a list in longitudinal rough sea.

Method: When the list is affecting the vessel moving longitudinally in rough sea. Changes in list & trim difference occur. The movement of the vessel is descended in the method “dynamics” of the system of equations. The calculation was made in numerical Runge-Kutta R-R 4 order with the help of IBM PC.

Results: The calculation show that the angle of the list of the vessel in longitudinal rough sea depends on the speed of the vessel, cause angle on the rough sea and the meaning of the applied list up moment. The maximum value of the angle of list depends not only on the dynamic heeling moment, but also on the parametric resonance.

Conclusions: The results, obtained in this study, allowed to evaluate the transverse ship stability on longitudinal waves. Under the influence of dynamic loads on the length of a small vessel the calculation of ship stability can not be made on the instant chart of stability. According to the results of calculation, the crew can select the speed, the target angle on the wave to reduce the risk of capsizing and swamping.

Key words: the heeling moment, stability, list, trim, dynamic load.