



ПРОГНОЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА НА ОСТОЙЧИВОСТЬ СУДОВ

С. Н. Виноградов, курсант 4-го курса

E-mail: sergey.vinogradov.04@mail.ru

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

Б. С. Гуральник, канд. техн. наук, профессор

E-mail: boris.guralnik@mail.ru

ФГБОУ ВО «Калининградский государственный
технический университет»

Параметрический резонанс в судовождении – это опасное явление, при котором бортовая качка судна резко нарастает из-за изменения его момента инерции, например из-за перемещения груза или волн. Это происходит, когда частота изменения параметра (как правило, вдвое) совпадает с собственной частотой колебаний судна, приводя к сильному раскачиванию и в экстремальных случаях к опрокидыванию. Данное явление возникает в виде неожиданного возрастания углов крена судна без видимых изменений параметров волнения.

Ключевые слова: параметрический резонанс, контейнеровоз, остойчивость, качка, волнение, плечи статической остойчивости.

ВВЕДЕНИЕ

Чтобы оценить значимость проблемы влияния параметрического резонанса на остойчивость судов, достаточно лишь обратиться к статистике недавних морских происшествий, которые имели место в результате воздействия на судно данного опасного явления.

Так, в 2020–2021 гг. произошло несколько резонансных аварий, во время которых были повреждены или упали за борт от нескольких сотен до почти 2 000 контейнеров:

- Контейнеровоз One Arus в ночь с 30 ноября на 1 декабря 2020 г. у северо-западного побережья Гавайских островов встретил зыбь высотой примерно 5–6 м с кормы и кормовых курсовых углов левого борта, в результате чего дважды получил крен 20 и 25°. Итог – потеря 1 819 контейнеров;

- 16 января 2021 г. датский контейнеровоз Maersk Essen потерял 689 контейнеров в 450 милях севернее Гавайских островов. В заключении морской администрации отмечено, что вероятной причиной случившегося является параметрический резонанс от волн зыби с кормовых курсовых углов с левого борта в комбинации со снижением остойчивости на вершине волны;

- 21 октября 2021 г. контейнеровоз ZIM Kingston дрейфовал в ожидании причала у La Perouse Bank в 27 милях южнее Ucluelet, British Columbia. Нос судна был ориентирован на запад – юго-запад по отношению к волнам, и судно дрейфовало со скоростью 2,2 узла, качка судна не превышала 10°. Ветер был юго-восточный со скоростью 21 м/с, а с юго-запада шли волны зыби высотой 5–6 м. В 22:29 судно примерно четыре раза накренилось на оба борта с максимальным креном 36°, в результате 109 контейнеров упали за борт, а часть была повреждена. Впоследствии в одном из поврежденных контейнеров, содержащем опасный груз, начался пожар, который распространился на соседние контейнеры.

Наглядно оценить характер повреждений судна и контейнеров помогают фотографии, позаимствованные из [1] (рисунок 1).



Рисунок 1 – Повреждение груза на контейнеровозе One Arus в результате параметрического резонанса [1]

Также статистические данные помогли определить те районы Мирового океана, для которых существует высокая вероятность попадания судна в условия резонансной бортовой качки (рисунок 2).

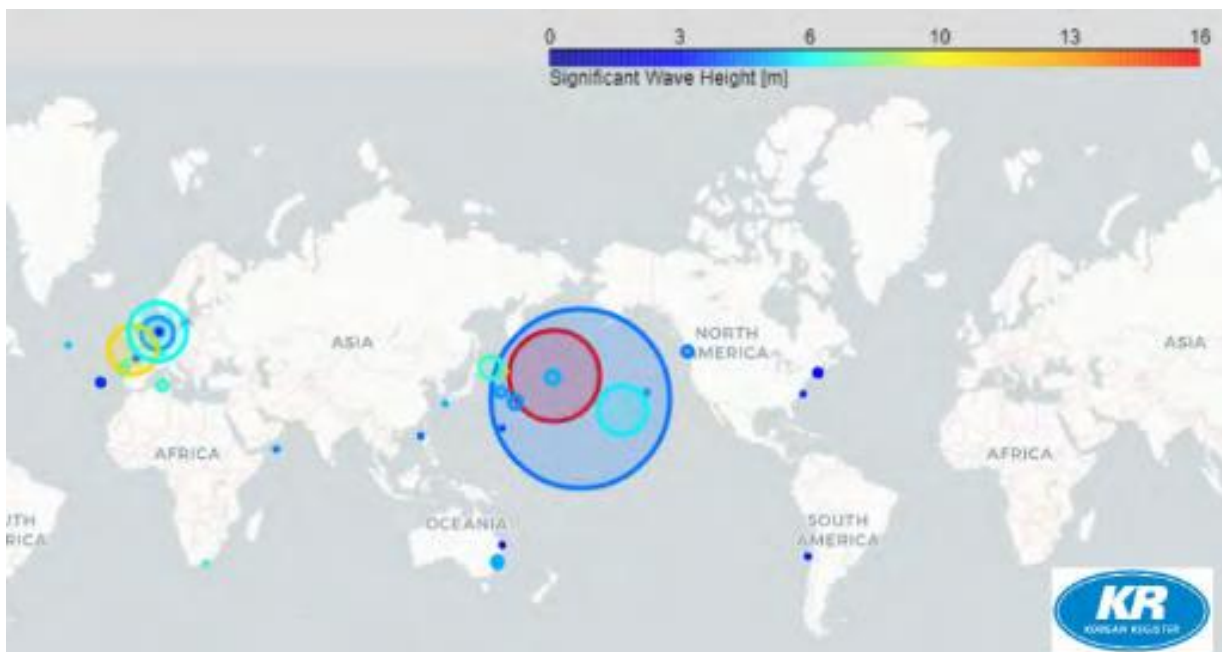


Рисунок 2 – Наиболее опасные в отношении параметрической качки зоны Мирового океана [1]

Расследования показали, что одной из возможных причин данных аварий может быть попадание судна в зону параметрического резонанса по бортовой качке. Данное обстоятельство приводит к возникновению усиленных бортовых колебаний, зачерпыванию воды на верхнюю палубу при значительных углах крена, к потере остойчивости и, как следствие, к возможному опрокидыванию судна. Это свидетельствует о том, что проблема параметрического резонанса актуальна и имеет практический интерес как для крупных, так и для малых контейнеровозов.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объектом данного исследования является параметрический резонанс и его влияние на остойчивость судна.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Цель работы – проверить предположение о том, что возможный выход из ситуации – заблаговременное составление прогноза изменения плеч статической остойчивости на волнении для различных углов крена.

Для проверки этой гипотезы в ходе работы были поставлены следующие задачи:

- сбор информации об остойчивости нескольких контейнеровозов;
- расчет разности плеч статической остойчивости в тихую погоду и на волнении;
- приведение графика и его построение в безразмерной величине.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В процессе работы применялся теоретический метод исследования, количественный и качественный анализ (сбор данных, сравнение, описание, проверка гипотез).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для более детального погружения в проблему исследования стоит раскрыть суть явления параметрического резонанса.

Параметрический резонанс в судовождении – это опасное явление, которое проявляется в виде неожиданного возрастания углов крена судна без видимых изменений параметров волнения. Параметрическое возбуждение наблюдается только при определенных соотношениях между частотой внешнего воздействия и частотой собственных колебаний судна и поэтому сходно с резонансом.

При параметрическом резонансе бортовая качка судна резко нарастает из-за изменения его момента инерции, например из-за перемещения груза или волн. Это происходит, когда частота изменения параметра (как правило, вдвое) совпадает с собственной частотой колебаний судна, приводя к сильному раскачиванию и в экстремальных случаях к опрокидыванию. Рост углов крена вызван снижением поперечной остойчивости при попадании миделя судна на вершину волны. Это наблюдается при плавании как на попутном, так и на встречном и близких к ним волнениях [3, 4]. Данное явление еще в 60-е гг. прошлого века отметил Ю. И. Нечаев [2].

Экспериментально полученные Ю. И. Нечаевым диаграммы статической остойчивости в положении на тихой воде и на вершине волны приведены на рисунках 3 и 4.

На рисунке 5 показаны аналогичные диаграммы статической остойчивости контейнеровоза 6600 TEU, заимствованные из [3].

Как видно из приведенных данных, изменения диаграмм статической остойчивости разных судов на тихой воде и на вершине волны очень похожи.

Взяв отношение изменений плеч статической остойчивости на тихой воде и при волнении в зависимости от угла крена к ширине судна, авторы получили безразмерную величину, на основании которой можно сделать предположение о дальнейшей динамике изменения величины плеч статической остойчивости в зависимости от ширины конкретного судна.

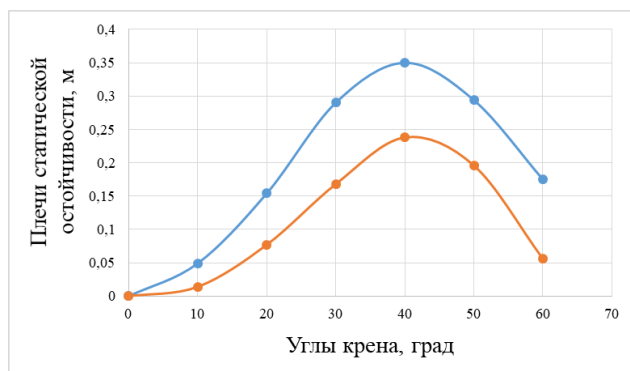


Рисунок 3 – Диаграммы статической остойчивости грузового судна
Ряд 1 – тихая вода, Ряд 2 – на вершине волны

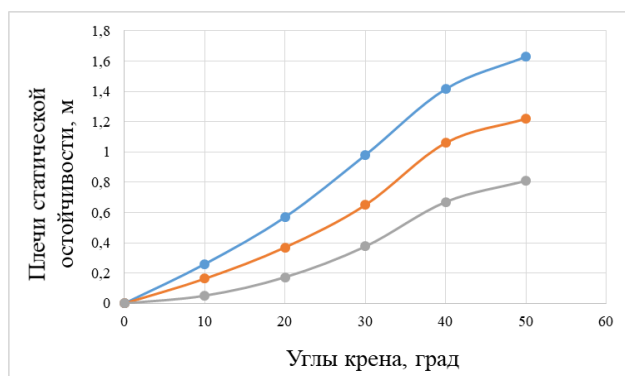


Рисунок 4 – Диаграммы статической остойчивости судна 60-й серии. Ряд 1 – на подошве волны, Ряд 2 – тихая вода, Ряд 3 – на вершине волны

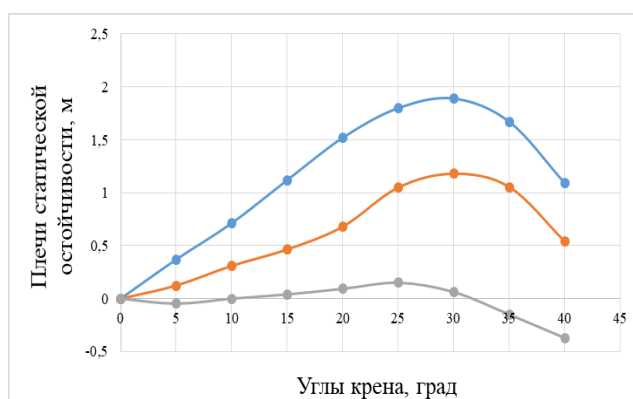


Рисунок 5 – Диаграммы статической остойчивости контейнеровоза 6600 TEU.
Ряд 1 – на подошве волны, Ряд 2 – тихая вода, Ряд 3 – на вершине волны

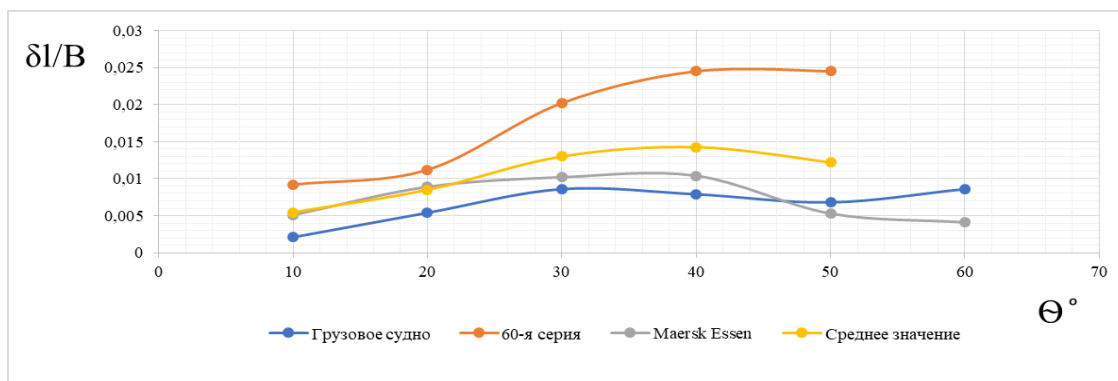


Рисунок 6 – График динамики изменения плеч статической остойчивости

Чтобы проверить данную гипотезу на практике, авторы решили применить ее к двум контейнеровозам, предварительно построив для них диаграммы статической остойчивости. Далее с помощью величин, снятых с графика динамики изменения плеч статической остойчивости для соответствующих углов крена (рисунок 6), были получены диаграммы статической остойчивости этих контейнеровозов на вершине волны (рисунки 7, 8).



Рисунок 7 – Диаграммы статической остойчивости контейнеровоза Maersk Essen на тихой воде и на вершине волны

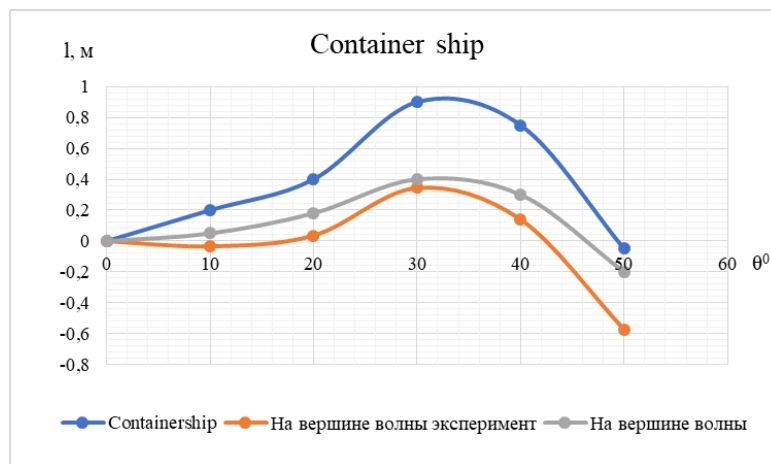


Рисунок 8 – Диаграммы статической остойчивости контейнеровоза Container ship на тихой воде и на вершине волны

Таким образом, графики, полученные в результате численного эксперимента, показывают, что исследуемый подход может служить инструментом прогнозирования снижения остойчивости судна на волнении и в условиях параметрического резонанса.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Графики, построенные в ходе работы, могут служить моделью динамического изменения плеч статической остойчивости в условиях попадания судна в параметрический резонанс. Однако, несмотря на перспективность модели, на данном этапе она нуждается в уточнении за счет дополнения данными по другим судам схожего типа. При этом сам параметрический резонанс все еще остается недостаточно изученным явлением, несущим угрозу безопасности экипажа и судна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Review of incidents resulting in loss of containers Report. – № 33039-1-SEA. – May 2022. – Version: 1.2 Final Report.
2. Нечаев, Ю. И. Остойчивость судов на попутном волнении. – Ленинград: Судостроение, 1978. – 272 с. – БГ.
3. Ершов, А. А. Практический способ определения параметрического резонанса по бортовой качке судна / А. А. Ершов, А. В. Теренчук // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С. О. Макарова. – 2015. – № 5 (33). – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/prakticheskiy-sposob-opredeleniya-parametricheskogo-rezonansa-po-bortovoyu-kachke-sudna> (дата обращения: 15.01.2026).
4. Осокин, М. В. Оценка риска потери остойчивости и возникновения параметрического резонанса качки на примере контейнеровоза-фидера // Научные проблемы водного транспорта. – 2019. – № 59. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-riska-poteri-ostoychivosti-i-vozniknoveniya-parametricheskogo-rezonansa-kachki-na-primere-konteynerovoza-fidera> (дата обращения: 15.01.2026).

PREDICTIVE ANALYSIS OF PARAMETRIC RESONANCE EFFECTS ON SHIP STABILITY

S. N. Vinogradov, 4th year student
E-mail: sergey.vinogradov.04@mail.ru
Kaliningrad State Technical University

B. S. Guralnik, PhD in Engineering, Professor
E-mail: boris.guralnik@mail.ru
Kaliningrad State Technical University

Parametric resonance in navigation is a dangerous phenomenon in which the ship's roll increases dramatically due to changes in its moment of inertia, such as when cargo or waves are moved. This occurs when the frequency of the parameter change (usually twice) coincides with the ship's natural frequency of oscillation, leading to severe rocking and, in extreme cases, capsizing. This phenomenon manifests itself as an unexpected increase in the ship's roll angles without any apparent changes in the wave conditions.

Keywords: *parametric resonance, container ship, stability, rolling, swell, static stability shoulders.*