



## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ УСИЛЕННОЙ И РЕЗОНАНСНОЙ БОРТОВОЙ КАЧКИ СУДНА НА ТРАНСОКЕАНСКОМ УЧАСТКЕ МАРШРУТА ПЕРЕХОДА

*Спешилов В.М., Степкова В.В.*

*Херсонская государственная морская академия*

*В данной статье изложена методика определения вероятности возникновения усиленной и резонансной бортовой качки судна на трансокеанском участке маршрута перехода с помощью гидрометеорологических карт Атлантического, Индийского и Тихого океанов. Исходя из периода собственных колебаний судна и ожидаемого истинного периода морских волн на трансокеанском участке маршрута перехода, определен порядок вычисления курсовых углов бега волны, при которых возникает усиленная и резонансная бортовая качка. С помощью роз повторяемости периодов морских волн, нанесенных на гидрометеорологических картах Атлантического, Индийского и Тихого океанов для каждого месяца года определен порядок оценки вероятности возникновения усиленной и резонансной бортовой качки на альтернативных трансокеанских маршрутах перехода по ортодромии и локсодромии в целях дополнительной информации для мотивации принятия решения по планированию перехода судна.*

*Ключевые слова: роза повторяемости периодов морских волн, истинный период волны, видимый период волны, курсовой угол бега волны, период свободных колебаний судна, усиленная и резонансная бортовая качка.*

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важнейшими практическими задачами.** В процессе планирования рейса судна часто возникает дилемма альтернативного пути судна по ортодромии или по локсодромии на трансокеанском участке маршрута перехода. Выбор наиболее выгодного пути на этом участке основывается на квалифицированной оценке всех факторов, влияющих на безопасность плавания. Помимо обязательного учета гидрометеорологических условий в районе плавания необходимо учитывать мореходные и эксплуатационные качества судна, а также характер груза. В этой связи анализ условий вероятного возникновения усиленной и резонансной бортовой качки, который не предусмотрен в методических указаниях и рекомендациях [6–8], может дать дополнительную мотивацию выбора альтернативного пути судна особенно при перевозке навалочных грузов.

**Анализ последних публикаций, в которых начато решение данной проблемы, и выделение нерешенных ранее частей проблемы.** Во всех учебных пособиях по управлению судном [1–5] изложена методика определения условий возникновения усиленной и резонансной бортовой качки, с помощью универсальной штормовой диаграммы Ю.В. Ремеза, которая основана на измерении видимого периода морской волны во время плавания по маршруту перехода. Таким образом, если запланированные курс и скорость судна на переходе войдут в зону усиленной и резонансной бортовой качки, маневр курсом и (или) скоростью для выхода из этой зоны неизбежно приведет к увеличению ходового времени. Важнейшим фактором принятия решения на оптимальный переход является предусмотрительность вероятного развития событий, влияющих на безопасность плавания. Поэтому условия возникновения усиленной и резонансной бортовой качки предпочтительнее просчитать заранее на стадии планирования перехода.

**Цель статьи.** Целью статьи является определение методики вычисления вероятности возникновения усиленной и резонансной бортовой качки судна на трансокеанском участке маршрута перехода с помощью гидрометеорологических карт Атлантического, Индийского и Тихого океанов.

**Изложение основного материала.** Вероятность возникновения усиленной и резонансной бортовой качки судна можно определить с помощью розы повторяемости периодов морских волн, которая нанесена внутри ограниченного района океана на



гидрометеорологической карте и показывает вероятность повторения периода морских волн в зависимости от истинного пеленга бега волны.

Поскольку роза повторения периодов волн показывает истинные периоды волн в четырех диапазонах – 1с ÷ 7с; 8с ÷ 11с; 12с ÷ 15с; 16с и более, то необходимо вычислить курсовые углы бега волны, при которых возникает усиленная и резонансная бортовая качка судна для каждого из этих диапазонов периодов волн. Формулу для вычисления курсового угла бега волны, при котором возникает усиленная и резонансная бортовая качка, можно вывести с помощью известного соотношения истинного периода морских волн  $\tau_u$ , видимого (кажущегося) периода морских волн  $\tau_{вид}$ , скорости хода судна  $V_{cx}$  и курсового угла бега волны  $q_{\delta\theta}$ :

$$\tau_{вид} = \frac{\tau_u}{1 + 0.33 \frac{V_{cx}}{\tau_u} \cos q_{\delta\theta}} \rightarrow q_{\delta\theta} = \arccos \frac{\left( \frac{\tau_u}{\tau_{вид}} - 1 \right) \tau_u}{0.33 V_{cx}}, \quad (1)$$

где  $q_{\delta\theta}$  – курсовой угол бега морской волны в полукруговом счете, градусы;  $\tau_u$  – истинный период морских волн, секунды;  $\tau_{вид}$  – видимый (кажущийся) период морских волн, секунды;  $V_{cx}$  – скорость хода судна, узлы.

Поскольку усиленная и резонансная бортовая качка возникает в том случае, если при движении судна возникает видимый период морских волн в диапазоне  $0.77\tau_{ск} \div 1.43\tau_{ск}$ , где  $\tau_{ск}$  – период свободных (собственных) колебаний судна, то формула (1) для вычисления диапазона курсовых углов, при котором возникает усиленная и резонансная бортовая качка, приобретает следующий вид:

$$q_{\delta\theta} = \arccos \frac{\left( \frac{\tau_u}{0.77 \tau_{ск}} - 1 \right) \times \tau_u}{0.33 V_{cx}} \div \arccos \frac{\left( \frac{\tau_u}{1.43 \tau_{ск}} - 1 \right) \times \tau_u}{0.33 V_{cx}}. \quad (2)$$

Вычисление курсовых углов бега волны, при которых возникает усиленная и резонансная бортовая качка, вычисляются в следующей последовательности:

1. Для диапазона истинных периодов морских волн 1 с ÷ 7 с:

$$q_{\delta\theta} = \arccos \frac{\left( \frac{1}{0.77 \tau_{ск}} - 1 \right) \times 1}{0.33 V_{cx}} \div \arccos \frac{\left( \frac{1}{1.43 \tau_{ск}} - 1 \right) \times 1}{0.33 V_{cx}};$$

$$q_{\delta\theta} = \arccos \frac{\left( \frac{7}{0.77 \tau_{ск}} - 1 \right) \times 7}{0.33 V_{cx}} \div \arccos \frac{\left( \frac{7}{1.43 \tau_{ск}} - 1 \right) \times 7}{0.33 V_{cx}}.$$

2. Аналогично вычисляют курсовые углы бега волны для остальных трех диапазонов истинных периодов морских волн: 8с ÷ 11с, 12с ÷ 15с, 16с.

Например, судно осуществляет трансокеанский переход истинным курсом 263.°0 (ИК = 263.°0). Скорость хода судна 23.9 узлов ( $V_{cx} = 23.9$  уз), период свободных (собственных) колебаний судна 19.7 секунд ( $\tau_{ск} = 19.7$  с). Исходя из того, что усиленная и резонансная бортовая качка этого судна возникает в том случае, если при движении судна видимый период морских волн получается в диапазоне 15.2 ÷ 28.2 с ( $0.77 \times 19.7 \div 1.43 \times 19.7 = 15.2 \div 28.2$ ), то для истинного периода морских волн в одну секунду ( $\tau_u = 1$  с) усиленная и резонансная бортовая качка судна возникает при курсовом угле бега волны 97°:



$$q_{\text{бб}} = \arccos \frac{\left(\frac{1}{15.2} - 1\right) \times 1}{0.33 \times 23.9} = \arccos \frac{-0.93421058}{7.887} \div \arccos \frac{\left(\frac{1}{28.2} - 1\right) \times 1}{7.887} = 97.^\circ 0.$$

Для истинного периода волны в 7 секунд ( $\tau_u = 7$  с) усиленная и резонансная бортовая качка судна возникает при курсовых углах бега волны в диапазоне  $119^\circ \div 132^\circ$ :

$$q_{\text{бб}} = \arccos \frac{\left(\frac{7}{15.2} - 1\right) \times 7}{7.887} \div \arccos \frac{\left(\frac{7}{28.2} - 1\right) \times 7}{7.887} = 118.^\circ 6 \div 131.^\circ 9.$$

Таким образом, если в районе плавания истинный период морских волн в диапазоне 1  $\div$  7 с, то усиленная и резонансная качка для данного судна может возникнуть при курсовых углах бега волны в диапазоне  $97^\circ \div 132^\circ$ .

Вычисление резонансных курсовых углов бега волны для диапазона истинных периодов морских волн 8  $\div$  11 с производится в следующей последовательности:

$$q_{\text{бб}} = \arccos \frac{\left(\frac{8}{15.2} - 1\right) \times 8}{7.887} \div \arccos \frac{\left(\frac{8}{28.2} - 1\right) \times 8}{7.887} = 118.^\circ 7 \div 136.^\circ 6;$$

$$q_{\text{бб}} = \arccos \frac{\left(\frac{11}{15.2} - 1\right) \times 11}{7.887} \div \arccos \frac{\left(\frac{11}{28.2} - 1\right) \times 11}{7.887} = 112.^\circ 7 \div 148.^\circ 3,$$

Таким образом, если в районе плавания истинный период морских волн в диапазоне 8 с  $\div$  11, то усиленная и резонансная бортовая качка судна может возникнуть при курсовых углах бега волны в диапазоне  $113^\circ \div 148^\circ$ .

Вычисление резонансных курсовых углов бега волны для диапазона истинных периодов морских волн 12 с  $\div$  15 с:

$$q_{\text{бб}} = \arccos \frac{\left(\frac{12}{15.2} - 1\right) \times 12}{7.887} \div \arccos \frac{\left(\frac{12}{28.2} - 1\right) \times 12}{7.887} = 108.^\circ 9 \div 150.^\circ 9;$$

$$q_{\text{бб}} = \arccos \frac{\left(\frac{15}{15.2} - 1\right) \times 15}{7.887} \div \arccos \frac{\left(\frac{15}{28.2} - 1\right) \times 15}{7.887} = 91.^\circ 4 \div 152.^\circ 9.$$

Таким образом, если в районе плавания истинный период морских волн в диапазоне 12 с  $\div$  15 с, то усиленная и резонансная бортовая качка судна может возникнуть при курсовых углах бега волны в диапазоне  $91^\circ \div 153^\circ$ .

Вычисление резонансных курсовых углов бега волны для истинного периода морских волн 16 секунд:

$$q_{\text{бб}} = \arccos \frac{\left(\frac{16}{15.2} - 1\right) \times 16}{7.887} \div \arccos \frac{\left(\frac{16}{28.2} - 1\right) \times 16}{7.887} = 83.^\circ 9 \div 151.^\circ 1.$$

Таким образом, если в районе плавания истинный период морских волн равен 16 секунд, то усиленная и резонансная бортовая качка судна может возникнуть при курсовых углах бега волны в диапазоне  $84^\circ \div 151^\circ$ .

Для определения вероятности возникновения усиленной и резонансной бортовой качки судна в районе действия розы повторяемости периодов морских волн – в этом



районе проводят линию истинного курса судна  $263^\circ$  (рис. 1) и вычисляют курсовые углы бега волны для каждого из восьми лучей розы исходя из того, что диапазон пеленгов каждого луча  $\pm 22^\circ$  от среднего истинного пеленга  $0^\circ$  – для луча № 1,  $45^\circ$  – для луча № 4,  $180^\circ$  – для луча № 5,  $235^\circ$  – для луча № 6,  $270^\circ$  – для луча № 7 и  $315^\circ$  – для луча № 8.

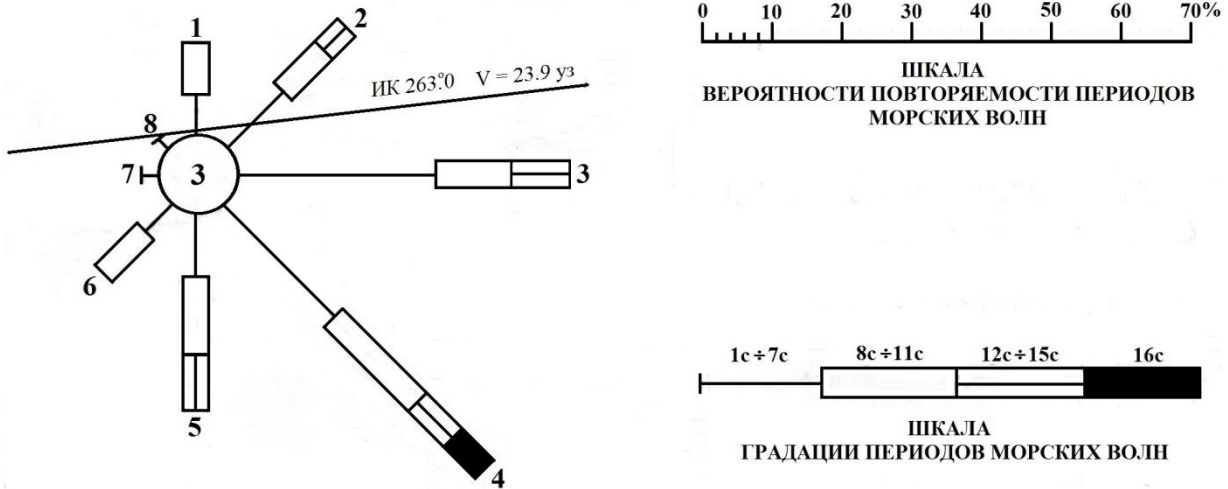


Рисунок 1 – Роза повторяемости периодов морских волн

Истинные пеленги каждого луча, курсовые углы бега волны в соответствии с пеленгом каждого луча и вычисленные резонансные курсовые углы сводят в табл. 1.

Таблица 1– Вероятность возникновения усиленной и резонансной бортовой качки

Номер луча розы	1	2	3	4	5	6	7	8
Истинный пеленг бега волны $ИП_{\text{бв}}$	$338^\circ \div 22^\circ$	$23^\circ \div 67^\circ$	$68^\circ \div 112^\circ$	$113^\circ \div 157^\circ$	$158^\circ \div 202^\circ$	$203^\circ \div 247^\circ$	$248^\circ \div 292^\circ$	$293^\circ \div 337^\circ$
Курсовой угол бега волны $q_{\text{бв}} = ИП_{\text{бв}} - ИК$	$75^\circ \div 119^\circ$	$120^\circ \div 164^\circ$	$165^\circ \div 180^\circ$ $151^\circ \div 180^\circ$	$106^\circ \div 150^\circ$	$61^\circ \div 105^\circ$	$16^\circ \div 60^\circ$	$0^\circ \div 15^\circ$ $0^\circ \div 29^\circ$	$30^\circ - 74^\circ$
Диапазон периодов волн	$\tau_u = 1 \text{ c} \div 7 \text{ c}$							
Вероятность повторения периодов волн	6%	11%	28%	22%	10%	6%	3%	2%
Резонансные курсовые углы бега волны	$97^\circ \div 132^\circ$	$97^\circ \div 132^\circ$	–	$97^\circ \div 132^\circ$	$97^\circ \div 132^\circ$	–	–	–
Диапазон периодов волн	$\tau_u = 8 \text{ c} \div 11 \text{ c}$							
Вероятность повторения периодов волн	8%	9%	11%	17%	12%	9%	–	–
Резонансные курсовые углы бега волны	$113^\circ \div 148^\circ$	$113^\circ \div 148^\circ$	–	$113^\circ \div 148^\circ$	–	–	–	–



Продолжение табл. 1

Диапазон периодов волн	$\tau_u = 12 \text{ с} \div 15 \text{ с}$							
Вероятность повторения периодов волн	–	4%	8%	7%	–	–	–	–
Резонансные курсовые углы бега волны	–	–	91°÷153°	91°÷153°	91°÷153°	–	–	–
Период волн	$\tau_u = 16 \text{ с}$							
Вероятность повторения периодов волн	–	–	–	7%	–	–	–	–
Резонансные курсовые углы бега волны	–	–	–	84°÷151°	–	–	–	–

Анализ табл. 1 показывает, что в районе действия розы повторяемости истинных периодов морских волн наибольшая вероятность возникновения резонансной бортовой качки судна равна 22 %.

Для вычисления курсового угла бега волны, с помощью формулы (2) в формате MS Excel используются показатели, отображенные на рис. 2.

Показатель (обозначения)	Значение показателя
$\tau_u$	
$\tau_{сх}$	
$V_{сх}$	

Рисунок 2 – Таблица для ввода исходных данных в MS Excel

Вычисление курсового угла бега волны, при котором возникает усиленная и резонансная бортовая качка, в формате MS Excel будет выглядеть следующим образом:

$$q_{\text{бс}} = \text{ГРАДУСЫ}(\text{ACOS}(((\text{F12}/(0,77*\text{F13})-1)*\text{F12})/(0,33*\text{F14})))$$

$$q_{\text{бс}} = \text{ГРАДУСЫ}(\text{ACOS}(((\text{F12}/(1,43*\text{F13})-1)*\text{F12})/(0,33*\text{F14})))$$

**Выводы.** Предложенный метод определения вероятности возникновения усиленной и резонансной бортовой качки судна по маршруту перехода позволяет расширить информацию по ожидаемым условиям плавания на маршруте перехода, которая необходима для мотивации принятия решения по планированию перехода на трансокеанском участке этого маршрута.

В дальнейшем целесообразно увеличить диапазон информации, необходимой для принятия решения на переход за счет оценки вероятности возникновения слеминга и брочинга на трансокеанском участке маршрута перехода.



## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Снопков В. И. Управление судном : Учебник для ВУЗов. / В. И. Снопков. – СПб. : АНО НПО «Профессионал», 2004. – 536 с.
2. Лихачев А. В. Управление судном : учебник для морских вузов / А. В. Лихачев. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2004 – 504 с.
3. [Демин С. И., Жуков Е. И., Кубачев Н. А. и др.] : под ред. В. И. Снопкова. – М. : Транспорт, 1991. – 359 с.
4. Дидык А. Д. Управление судном и его техническая эксплуатация : учебник для мореходных училищ / А. Д. Дидык, В. Д. Усов, Р. Ю. Титов. – М. : Транспорт, 1990 – 320 с.
5. Захаров А. М. Управление судном и его техническая эксплуатация : учебник для мореходных училищ / А. М. Захаров, А. Д. Дидык. – М. : Транспорт, 1982. – 328 с.
6. Методичні рекомендації до виконання випускної роботи освітньо-кваліфікаційного рівня «спеціаліст» / Відповідальний редактор В. Є. Леонов. – Херсон : ХДМА, 2013. – 108 с.
7. Методичні рекомендації до виконання випускної роботи освітньо-кваліфікаційного рівня «спеціаліст» / Відповідальний редактор В. Є. Леонов. – Херсон : ХДМІ, 2011. – 73с.
8. Алексишин В. Г. Методика выполнения курсовой работы по навигации «Навигационное планирование перехода» / В. Г. Алексишин, Л. А. Козырь. – Одесса : Латстар, 2001. – 72 с.

### **Спешилов В.М., Степкова В.В. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЙМОВІРНОСТІ ВИНИКНЕННЯ ПОСИЛЕНОЇ ТА РЕЗОНАНСНОЇ БОРТОВОЇ КАЧКИ СУДНА НА ТРАНСОКЕАНСЬКІЙ ДІЛЯНЦІ МАРШРУТУ ПЕРЕХОДУ**

*У даній статті викладена методика визначення ймовірності виникнення посиленої та резонансної бортової качки судна на трансокеанській ділянці маршруту переходу за допомогою гідрометеорологічних карт Атлантичного, Індійського і Тихого океанів. Виходячи з періоду власних коливань судна та очікуваного істинного періоду морських хвиль на трансокеанській ділянці маршруту переходу, визначено порядок обчислення курсових кутів бігу хвилі, при яких виникає посилена і резонансна бортова качка. За допомогою роз повторюваності періодів морських хвиль, нанесених на гідрометеорологічних картах Атлантичного, Індійського і Тихого океанів для кожного місяця року визначено порядок оцінки ймовірності виникнення посиленої і резонансної бортової качки на альтернативних трансокеанських маршрутах переходу по ортодромії і локсодромії з метою додаткової інформації для мотивації прийняття рішення по плануванню переходу судна.*

*Ключові слова: роза повторюваності періодів морських хвиль, істинний період хвилі, видимий період хвилі, курсовий кут бігу хвилі, період вільних коливань судна, посилена і резонансна бортова качка.*

### **Speshylov V.M., Stepkova V.V. THE METHOD OF DETERMINATION REINFORCED AND RESONANT SHIP'S ROLLING APPEARANCE PROBABILITY ON TRANSOCEANIC LEG OF THE ROUTE**

*In the following article we propose the method of determination reinforced and resonant ship's rolling appearance probability on transoceanic leg of the route using Atlantic, Pacific and Indian ocean's hydrometeorological charts. On the basis of ship's free period and estimated true sea waves period on transoceanic leg of the route we determined the calculation sequence of course angles of wave's run, which cause reinforced and resonant rolling. With assistance of sea wave's period roses marked on Atlantic, Indian and Pacific ocean's hydrometeorological charts for each month of the year the assessment order of appearance probability of reinforced and resonant rolling on alternative transoceanic routes by great circle and rhumb line was determined as purpose of additional information for passage planning's decision making motivation.*

*Key words: sea wave's period rose, true wave period, visible wave period, course angle of wave's run, ship's free period, reinforced and resonant rolling.*