

УДК 629.12.002.2

DOI: 10.37890/jwt.vi87.706

Аппроксимация спектров волнения различных судов при разных курсах по записям качки судна

В.П. Умрихин

ORCID: 0000-0003-1164-7857

В.И. Сичкарёв

ORCID: 0000-0002-6618-2404

М.Д. Тарасенко

ORCID: 0009-0009-5052-7170

Сибирский государственный университет водного транспорта», г. Новосибирск, Россия

Аннотация. В статье приводятся данные по аппроксимации итоговых спектров волнения в зависимости от равномерного интервала частот для различных судов, находящихся в разных гидрометеорологических условиях в различных частях мирового океана. Сами спектры волнения получены по записям качки судов, находящихся в эксплуатационном рейсе. То есть фактически суда использовались как волновой буй, по результатам качки которых определялась волновая картина в месте расположения судна. Временные интервалы выбирались таким образом, чтобы курсы судов были постоянными и волновая картина в месте расположения судна существенным образом не изменялась.

Решение указанной задачи необходимо для того, чтобы определить амплитудно-частотную характеристику судна при данной загрузке в условиях эксплуатационного рейса и оптимизировать курс и скорость судна исходя из условий безопасности плавания, сохранности судна и груза.

К сожалению, суда в эксплуатационном рейсе всегда находятся в ситуации, когда постоянно изменяется осадка за счёт расхода топлива, смазочных материалов, провизии, а иногда и количества груза (особенно для контейнеровозов). Кроме этого, постоянно изменяется и гидрометеорологическая обстановка в месте расположения судна. В связи с этим данные по остойчивости судна, которые даются на отход судна, изменяются и иногда существенно в процессе рейса, особенно, если этот рейс длительный.

Ключевые слова: аппроксимация спектров волнения судов при различных курсах и разных гидрометеорологических условиях; амплитудно-частотная характеристика качки судна.

Approximation of the wave spectra of various vessels at different courses based on the vessel's rocking records

Viktor P. Umrikhin

ORCID: 0000-0003-1164-7857

Viktor V.I. Sichkarev

ORCID: 0000-0002-6618-2404

Maxim D. Tarasenko

ORCID: 0009-0009-5052-7170

Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia

Abstract. The article provides data on the approximation of the final wave spectra, depending on the uniform frequency interval, for various vessels in different hydrometeorological conditions in different parts of the world's oceans. The wave spectra themselves were obtained from the records of the ships' rolling during their operational

voyages. In other words, the ships were used as wave buoys, and the wave patterns at the ship's location were determined based on the rolling data. The time intervals were chosen to ensure that the ships' courses remained consistent and the wave patterns at the ship's location did not significantly change.

The solution of this problem is necessary in order to determine the amplitude-frequency characteristic of the vessel under the given load in the conditions of an operational voyage, and to optimize the course and speed of the vessel based on the conditions of safe navigation, preservation of the vessel and cargo.

Unfortunately, ships on a voyage are always in a situation where the draft changes constantly due to the consumption of fuel, lubricants, provisions, and sometimes the amount of cargo (especially for container ships). In addition, the hydrometeorological conditions at the ship's location also change constantly. As a result, the stability data provided for the departure of the ship may change significantly during the voyage, especially if it is a long one.

Keywords: approximation of ship wave spectra at different courses and different hydrometeorological conditions; amplitude-frequency characteristic of ship rolling.

Введение

Для получения амплитудно-частотной характеристики судна в эксплуатационном рейсе в данных гидрометеорологических условиях и при данной загрузке можно использовать спектральные методы оценки качки. Запись и обработка самих параметров качки на судне уже не вызывает особых затруднений [1], [2], [3], [4]. По этим записям можно определить волновую картину в месте расположения судна и определить амплитудно-частотную характеристику по методу Хинчина-Винера [5]:

$$\Phi(\Omega) = \frac{\theta(\Omega)}{\sqrt{2 * S_{\zeta}(\Omega)}} \quad (1)$$

где $\Phi(\Omega)$ – АЧХ бортовой качки;
 $\theta(\Omega)$ – амплитуда качки на частоте Ω ;
 $S_{\zeta}(\Omega)$ – итоговый спектр волнения;
 Ω – кажущиеся частоты волнения.

Методы

Исходя из приведенной выше формулы (1), задача по определению АЧХ сводится к определению итогового спектра волнения. Спектры волнения для решения ряда задач использовались не только отечественными, но и зарубежными исследователями [5], [6], [7]. Особенностью данной работы является то, что амплитуда качки $\theta(\Omega)$ определяется прямыми измерениями во время эксплуатационного рейса судна. Под итоговым спектром волнения понимается спектр волнения, действующий на судно и состоящий из ветрового волнения и волн зыби, пришедших от удалённых источников генерации. Были проанализированы записи качки трёх различных судов в различных частях мирового океана в различных гидрометеорологических условиях:

1. Балкер «Грумант» (IMO: 9385879) с размерениями корпуса:
 - длина наибольшая 180,5 м.;
 - ширина 13,5 м.;
 - осадка 9,71 м.
2. Контейнеровоз «ZIM LUANDA» (IMO:9403229) с размерениями корпуса:
 - длина наибольшая 260 м.;
 - ширина 32 м.;
 - осадка 12 м.
3. Сухогруз проекта SELENGA (IMO: 8714657) с размерениями корпуса:
 - длина наибольшая 113 м.;
 - ширина 19 м.;

– осадка 5.9 м.

Итогом программной обработки параметров качки для всех судов, кроме определения собственного периода качки и ряда других параметров, являлось получение средних значений угла крена в равномерных интервалах кажущихся частот Ω при различных углах курса судна. Фрагмент такой таблицы приведён ниже для балкера «Груммант» при движении его курсом 22^0 . Аналогичные таблицы были получены и для других судов при движении их различными курсами.

Таблица

Фрагмент таблицы по равномерным интервалам кажущихся частот для балкера «Груммант» при движении его курсом 22^0

Интервалы кажущихся частот Ω	0,00-0,05	0,05-0,10	0,10-0,15	0,15-0,20	0,20-0,25	0,25-0,30	0,30-0,35	0,35-0,40
Средние значения угла крена по частотам, град.	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.728
Интервалы кажущихся частот Ω	0,40-0,45	0,45-0,50	0,50-0,55	0,55-0,60	0,60-0,65	0,65-0,70	0,70-0,75	0,75-0,80
Средние значения угла крена по частотам, град.	1.082	1.608	1.485	1.670	1.681	1.818	1.785	1.754
Интервалы кажущихся частот Ω	0,80-0,85	0,85-0,90	0,90-0,95	0,95-1,00	1,00-1,05	1,05-1,10	1,10-1,15	1,15-1,20
Средние значения угла крена по частотам, град.	1.984	1.975	1.907	1.810	1.808	1.738	1.498	1.579

Итогом обработки этих таблиц являлось получение двухпараметрического спектра волнения по данным [8], [9] в виде зависимости:

$$S_{\zeta}(\Omega) = \frac{D}{(\Omega - a\Omega^2)^k \exp\left[\frac{E}{(\Omega - a\Omega^2)^n}\right]}, \quad (2)$$

где a, D, E, k, n – коэффициенты, определяемые из имеющейся волновой картины в месте нахождения судна.

Ниже на рис.1 – рис. 3 приводятся графики зависимости (2) для различных судов и различных курсов с аппроксимационной зависимостью для каждого судна в эксплуатационных рейсах в различных частях мирового океана.

Аппроксимационные зависимости были получены из условия минимизации среднеквадратичного отклонения всех экспериментальных точек от аппроксимационной кривой.

Различные коэффициенты свидетельствуют о том, что суда находились под воздействием различных волновых систем. Кроме этого, геометрические характеристики судов имеют существенные различия.

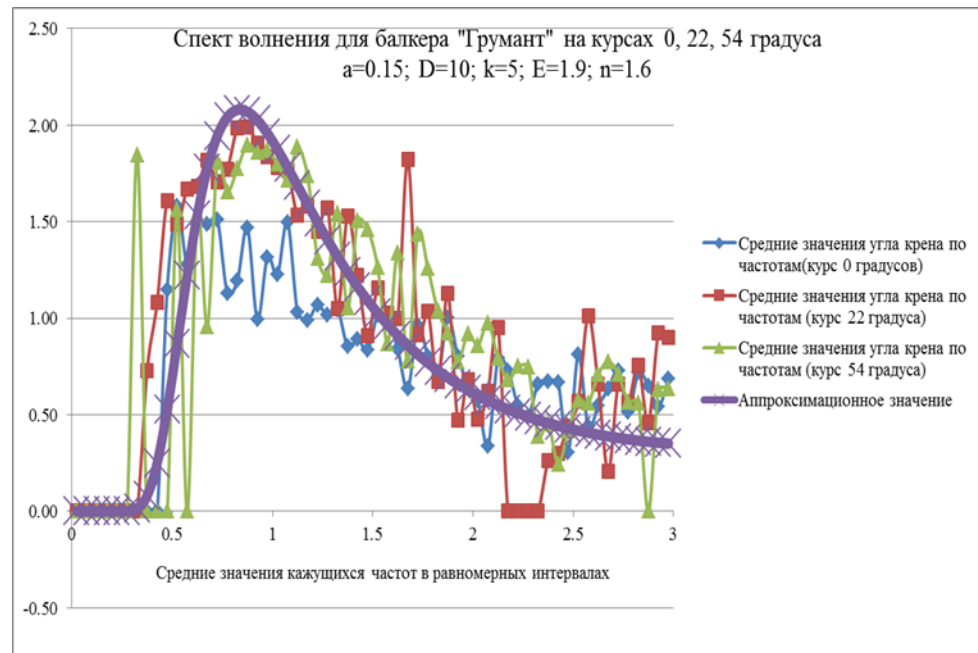


Рис. 1. Спектр волнения для балкера «Груммант» на курсах 0, 22, 54 градуса

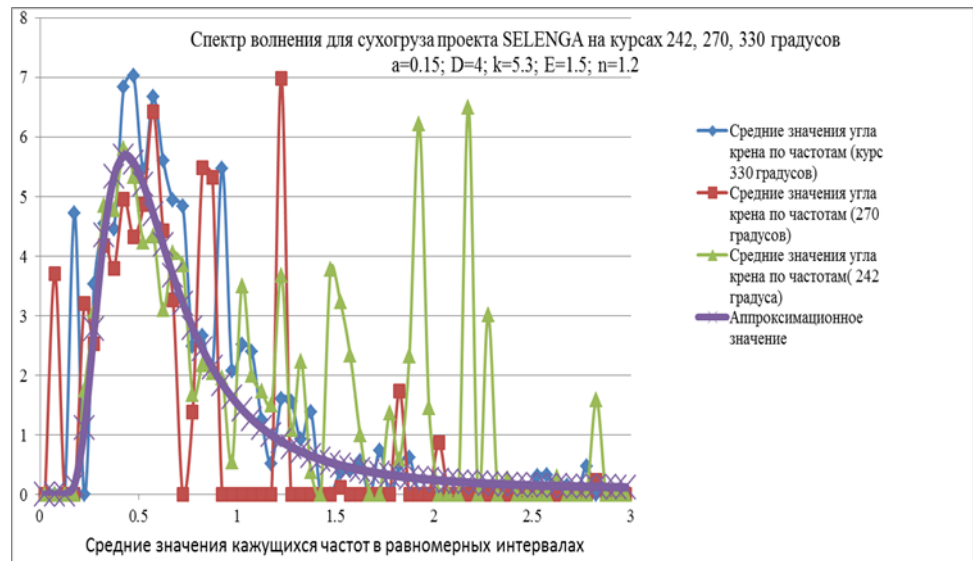


Рис. 2. Спектр волнения для сухогруза проекта SELENGA на курсах 330, 270, 242 градуса

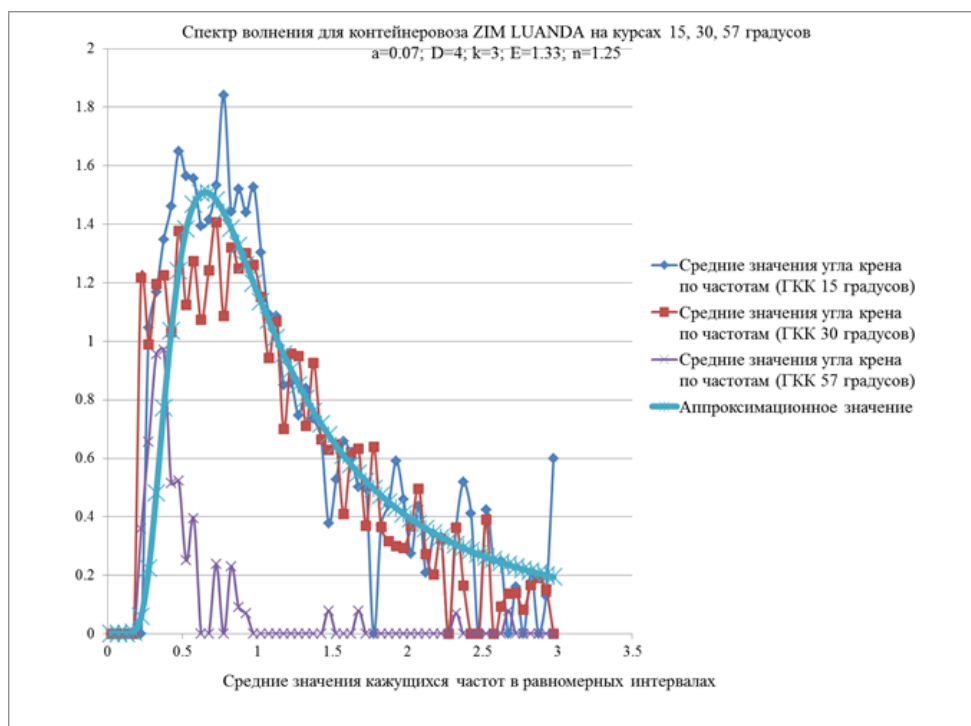


Рис. 3. Спектр волнения для контейнеровоза ZIM LUANDA на курсах 15, 30, 57 градусов

Результаты

Анализ данных по записям параметров качки для различных судов в различных гидрометеорологических условиях позволяет сделать следующие выводы:

1. При записи параметров качки в эксплуатационном рейсе судно может быть использовано в качестве волнового буя.
2. Обработка параметров качки позволяет получить спектр параметров волнения в точке нахождения судна при данной загрузке судна и имеющихся гидрометеорологических условиях.
3. По полученным выше данным можно определить амплитудно-частотную характеристику судна в данный момент и в данном месте, что позволит принять решение об оптимизации движения судна в данной гидрометеорологической обстановке.

Обсуждение

Получение достоверной амплитудно-частотной характеристики судна в эксплуатационном рейсе позволит не только более точно оценить его остойчивость в данных гидрометеорологических условиях, но и оптимизировать курс судна и скорость для расхождения с зоной опасного волнения. Проблемной остаётся вопрос о получении данных по волнению от всех источников генерации в точке прогноза для выбора оптимального маршрута.

Список литературы

1. Луговский В. В. Динамика моря. – Л.: судостроение, 1978. – 200 с.
2. Сичкарёв В. И., Умрихин В. П., Поминов А. Г., Приваленко А. А. Теоретические основы штормового плавания. – Новосибирск: СГУВТ, 2021. – 210 с. ISBN 978-5-8119-0894-3.
3. Sichkarev V. I., Umrikhin V. P., Pominov A. G. Recording of the ship's motion in operation on irregular waves and its processing. Intelligent Information Technology and Mathematical Modelling. IOP Publishing Journal of Physics: Conferebce Series, 2021, Vol. 2131, 052045. DOI:10.1088/1742-6596/2131/5/052045.
4. Умрихин В.П. Определение параметров качки судна в эксплуатационном рейсе. Научные проблемы водного транспорта / Научные проблемы водного транспорта. №71(2). – Нижний Новгород: ВГУВТ, 2022. – с. 188-198.
5. Weinan Huang, Sheng Dong, Statistical description of wave groups in three types of sea states, Ocean Engineering, Volume 225, 2021, 108745, ISSN 0029-8018, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.108745>.
6. Weinan Huang, Sheng Dong, Statistical description of wave groups in three types of sea states, Ocean Engineering, Volume 225, 2021, 108745, ISSN 0029-8018, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.108745>.
7. Wilson Guachamin-Acero, Jesús Portilla-Yandún, A study on vessel fatigue damage as a criterion for heading selection by application of 2D actual bimodal and JONSWAP wave spectra, Ocean Engineering, Volume 226, 2021, 108822, ISSN 0029-8018, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.108822>.
8. Бородай И.К. Мореходность судов / И.К. Бородай, Ю.А. Нецветаев. - Л.: Судостроение, 1982. - 288 с.
9. Бородай И.К. Качка судов на морском волнении / И.К. Бородай, Ю.А. Нецветаев. - Л.: Судостроение, 1969. - 432 с.

References

1. Lugovsky, V. V. Dynamics of the Sea. Leningrad: Sudostroenie, 1978. 200 p.
2. Sichkaryov V. I., Umrikhin V. P., Pominov A. G., Privalenko A. A. Theoretical Foundations of Stormy Navigation. – Novosibirsk: SSUVT, 2021. – 210 p. ISBN 978-5-8119-0894-3.
3. Sichkarev V. I., Umrikhin V. P., Pominov A. G. Recording of the ship's motion in operation on irregular waves and its processing. Intelligent Information Technology and Mathematical Modelling. IOP Publishing Journal of Physics: Conferebce Series, 2021, Vol. 2131, 052045. DOI:10.1088/1742-6596/2131/5/052045.
4. Umrikhin V.P. Determination of the Ship's Rolling Parameters in an Operational Voyage. Scientific Problems of Water Transport / Scientific Problems of Water Transport. No. 71(2). – Nizhny Novgorod: VSUVT, 2022. – pp. 188-198.
5. Weinan Huang, Sheng Dong, Statistical description of wave groups in three types of sea states, Ocean Engineering, Volume 225, 2021, 108745, ISSN 0029-8018, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.108745>.
6. Weinan Huang, Sheng Dong, Statistical description of wave groups in three types of sea states, Ocean Engineering, Volume 225, 2021, 108745, ISSN 0029-8018, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.108745>.
7. Wilson Guachamin-Acero, Jesús Portilla-Yandún, A study on vessel fatigue damage as a criterion for heading selection by application of 2D actual bimodal and JONSWAP wave spectra, Ocean Engineering, Volume 226, 2021, 108822, ISSN 0029-8018, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.108822>.
8. Borodai, I.K. Seaworthiness of Vessels / I.K. Borodai, Yu.A. Netsvetayev. - Leningrad: Sudostroenie, 1982. - 288 p.
9. Borodai, I.K. Ship Motion in Sea Waves / I.K. Borodai, Yu.A. Netsvetayev. - Leningrad: Sudostroenie, 1969. - 432 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Умрихин Виктор Павлович, д.т.н., доцент, профессор кафедры судовождения, Сибирский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: umrvic@mail.ru

Viktor P. Umrikhin, doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Navigation, Siberian State University of Water Transport, Siberian State University of Water Transport, 630099, Novosibirsk, Shchetinkina str., 33, e-mail: umrvic@mail.ru

Сичкарев Виктор Иванович, д.т.н., профессор, профессор кафедры судовождения, Сибирский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: svny89@mail.ru

Viktor I. Sichkarev, doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Navigation, Siberian State University of Water Transport Science, Siberian State University of Water Transport, 630099, Novosibirsk, Shchetinkina str., 33, e-mail: svny89@mail.ru

Тарасенко Максим Дмитриевич, аспирант кафедры судовождения, Сибирский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: pilot578@yandex.ru

Maxim D. Tarasenko, postgraduate Student of the Department of Navigation, Siberian State University of Water Transport (FSBEI HE SSUWT), 630099, Novosibirsk, Shchetinkina str., 33, e-mail: pilot578@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 07.02.2026; принята к публикации 20.04.2026; опубликована онлайн 20.06.2026. Received 07.02.2026; published online 20.06.2026.