

УДК 629.12.001.2

DOI: 10.37890/jwt.vi74.355

Анализ амплитудно-частотной характеристики бортовой качки, полученной в эксплуатационном рейсе

В.И. Сичкарев¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6618-2404>

В.П. Умрихин¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1164-7857>

А.А. Приваленко¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9128-9932>

¹*Сибирский государственный университет водного транспорта, г. Новосибирск, Россия*

Аннотация. Проблемы с обеспечением безопасности плавания судов на волнении и с оптимизацией параметров движения судна в настоящее время возникают, в частности, по причине невозможности использования в судовождении новых достижений смежных научных дисциплин, таких как теория качки корабля, океанография. Отчасти это объясняется отсутствием методов получения спектра фактического волнения в окрестности судна, находящегося в эксплуатационном рейсе и не имеющему возможности делать остановки для выполнения записи волнения, отсутствием в широкой практике мореплавания регистраторов качки судна и отсутствием программного обеспечения для комплексной обработки необходимой информации. В настоящее время в СГУВТ созданы программно-аппаратные комплексы, пригодные для использования силами штатного экипажа на судах в эксплуатации.

Современным программно-аппаратным комплексом обеспечивается возможность автоматизированной записи качки судна и её обработка. Запись качки может быть обработана до получения амплитудно-частотной характеристики качки при условии, что имеется спектр фактического волнения. При отсутствии фактического спектра волнения результат может быть получен с использованием внешней гидрометеорологической информации. В статье приведена процедура обработки этой информации о ветровом волнении и зыби до получения аналитической аппроксимации частотного спектра, с помощью которой представляется возможным получение амплитудно-частотной характеристики качки.

Полученная амплитудно-частотная характеристика обладает свойствами традиционных амплитудно-частотных характеристик и дополнительно выявляет частоты снижения остойчивости на попутном волнении, собственные частоты качки и частоты параметрического резонанса.

Ключевые слова: амплитудно-частотная характеристика качки, спектр смешанного волнения, преобразование кажущихся и истинных частот.

Analysis of the amplitude-frequency characteristics of on-board pitching obtained in the operational voyage

Viktor I. Sichkarev¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6618-2404>

V.P. Umrikhin¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1164-7857>

A.A. Privalenko¹

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9128-9932>

¹*Siberian State University of Water Transport, Novosibirsk, Russia*

Abstract. Problems with ensuring navigation safety in heavy waves and with optimizing vessel's movement parameters currently arise, in particular due to inability to use in navigation new achievements of related scientific disciplines, such as ship pitching theory, oceanography. This is partly due to the lack of methods for obtaining the actual waves spectrum in the vicinity of a ship which is on the operational voyage and does not have the ability to make stops for waves recordings, the absence of ship pitching recorders in the widespread navigation practice and the lack of software for complex processing of the necessary information.

At present, the Siberian State University (SSUWT) has created software and hardware complexes suitable for use by the full-time crew on ships in operation.

Modern software and hardware complex provides the possibility of the ship's pitching automated recording and its processing. The pitching record can be processed before obtaining the pitch amplitude-frequency characteristics, provided that there is an actual heavy wave spectrum. In the absence of an actual wave spectrum, the result can be obtained using external hydrometeorological information. The article describes the procedure for processing the information about wind waves and swells before obtaining an analytical approximation of the frequency spectrum, with the help of which it is possible to obtain the pitch amplitude-frequency characteristics.

The resulting amplitude-frequency characteristic has the properties of traditional amplitude-frequency characteristics and additionally reveals stability reduction frequencies in passing waves, natural pitching frequencies and parametric resonance frequencies.

Keywords: pitch amplitude-frequency characteristic, mixed heavy wave spectrum, apparent and true frequencies transformation.

Введение

Разработка приборного обеспечения для автоматической дискретной регистрации качки судна на основе современной элементной базы, [1 – 4], позволяет перейти к текущей обработке результатов записей и их использованию для целей оптимизации и обеспечения безопасности плавания судна в течение этого же рейса. Особенность разрабатываемого подхода состоит в том, что регистрируется качка судна в состоянии его фактической рейсовой загрузки и в условиях фактического волнения. Такой подход существенно изменяет ситуацию с контролем безопасности плавания на волнении и актуализирует развитие предлагаемого метода.

Среди первых шагов развития этого метода необходимо показать, что получаемые результаты не противоречат накопленному опыту в теории и практике кораблестроения, в оценке мореходности судов, в частности, в методах оценки качки судна. Традиционно в теории корабля реакция судна в виде качки на внешнее волновое воздействие оценивается с помощью амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) качки судна. Поэтому целью предлагаемой работы является сравнение получаемых результатов записи качки с априори известным из теории корабля поведением судна на волнении.

Методы

Программно-приборное обеспечение осуществляет регистрацию всех видов качки, но для анализа адекватности получаемых результатов достаточно оценить АЧХ наиболее сложного вида – бортовой качки.

В теории качки АЧХ рассматривается как модуль $|\Phi(\omega)|$ передаточной функции линейной динамической системы, что выражается в виде отношения амплитуды качки θ_0 к амплитуде волнового процесса (волновых ординат ζ_0 или углов волнового склона α_0):

$$|\Phi(\omega)| = \frac{\theta_0}{\zeta_0}; \quad |\Phi(\omega)| = \frac{\theta_0}{\alpha_0}, \quad (1)$$

или в спектральной постановке

$$S_{\theta}(\omega) = \Phi_2(\omega)S_{\zeta}(\omega). \tag{2}$$

Значения амплитуд θ_0 качки и соответствующих им полупериодов $\tau/2$ находятся из обработки записей качки. Полупериоды $\tau/2$ находятся как корни дискретно заданной функции $\theta(t)$, а амплитуды θ_0 выбираются как максимумы θ без учёта вторичных колебаний в пределах рассматриваемого полупериода. Затем полученное множество полупериодов переводится в частоты ω по формулам гармонических волн $\omega = \frac{2\pi}{\tau}$. Полученные значения частот являются истинными для качки судна, но кажущимися для вызывающего качку волнения.

Пример результатов обработки одной записи представлен на рис. 1.

Для реализации (1) необходимо знать амплитуды ζ_0 или спектр $S_{\zeta}(\omega)$ действующего волнения во время записи качки. Достаточно точно его можно получить путём регистрации волнового поля, но спектр также можно задать по наблюдаемым статистическим параметрам волнения. Наибольшую сложность при этом создаёт смешанное волнение, состоящее из двух или более различных систем зыби и ветровых волн, каждая со своими характеристиками и генеральным направлением распространения. Статистические характеристики фактического волнения поступают на судно в виде внешней гидрометеорологической информации, как, например, на рис. 2.

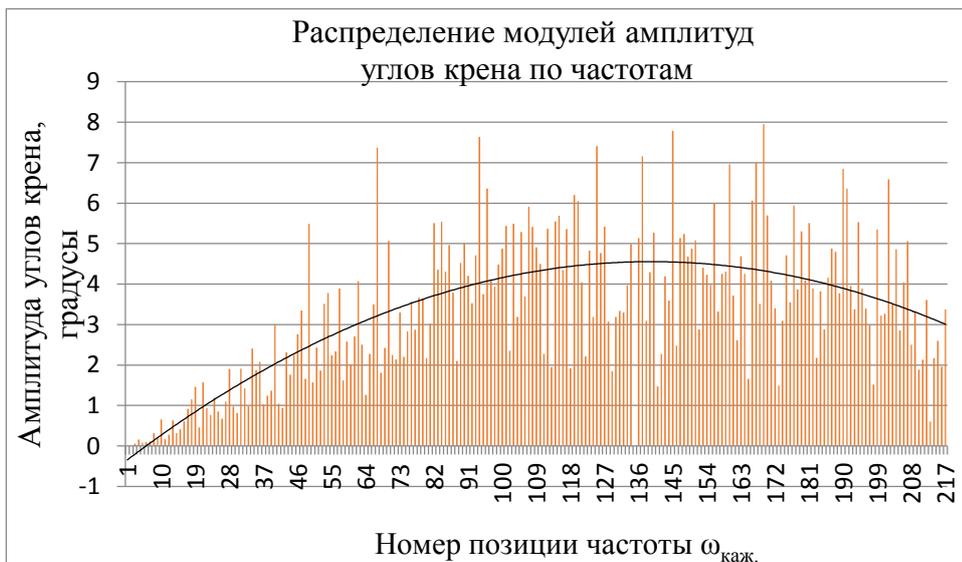


Рис. 1. Распределение модулей амплитуд бортовой качки по частотам за 15.03.19 контейнеровоза

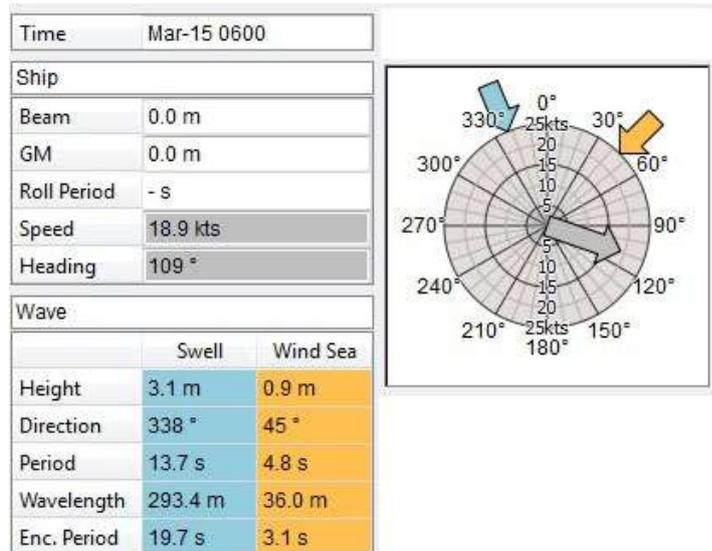


Рис. 2. Гидрометеорологическая информация о волнении

Сводные данные по параметрам волнения на время записи качки представлены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры волнения на время записи качки

Дата и время записи качки	Курс; скорость судна в узлах	Ветровое волнение					Зыбь				
		h, м	K _в	τ, с	λ, м	τ _к , с	h, м	K _з	τ, с	λ, м	τ _к , с
11.03.19 12.37	82°; 21,1	2,2	45°	6,4	63,7	3,4	2,0	338°	7,1	77,1	9,3
14.03.19 19.50	105°; 18,8	0,7	90°	4,8	36,0	2,1	3,4	338°	13,7	293,4	12,9
15.03.19 06.52	109°; 18,9	0,9	45°	4,8	36,0	3,1	3,1	338°	13,7	293,4	19,7

Результаты

Имеется множество аналитических выражений энергетического (частотного) спектра, в том числе приведённого к наблюдаемым параметрам волнения. При этом, безусловно, присутствующее неполное совпадение фактического спектра и аналитического описания можно в какой-то мере компенсировать подбором спектра с более широкой областью частот. Важно, чтобы полученным из обработки записей частотам качки в аналитическом спектре соответствовало ненулевое значение S во избежание деления на 0. В качестве такого аналитического спектра можно использовать спектр Фирсова [5]:

$$S(\omega) = \frac{2}{\pi} D_{\zeta} \alpha_0 \frac{\omega^2 + \alpha_0^2 + \beta_0^2}{\omega^4 + 2\omega^2(\alpha_0^2 - \beta_0^2) + (\alpha_0^2 + \beta_0^2)^2} = 0.11 m_0 \bar{\omega} \frac{\omega^2 + 0.7 \bar{\omega}^2}{\omega^4 - 1.28 \omega^2 \bar{\omega}^2 + 0.49 \bar{\omega}^4}, \quad (3)$$

где $m_0 = D_{\zeta} = \frac{\bar{h}^2}{2\pi}$ – момент нулевого порядка (дисперсия волновых ординат);

\bar{h} – средняя высота волнения;

$\bar{\omega} = \frac{2\pi}{\bar{T}}$ – средняя частота волнения;

$\bar{\tau}$ – средний период волнения.

Расчётные параметры для спектра Фирсова по данным таблицы 1 представлены в таблице 2.

Таблица 2

Расчётные параметры спектров по данным таблицы 1

Дата	Ветровое волнение			Зыбь		
	m_0	$\bar{\omega}$	ω_m	m_0	$\bar{\omega}$	ω_m
11.03.19	0,770	0,982	0,756	0,637	0,885	0,681
14.03.19	0,078	1,309	1,008	1,840	0,458	0,353
15.03.19	0,129	1,309	1,008	1,529	0,458	0,353

Преобразование кажущихся частот качки

Поскольку имеющая хождение в судовождении связь кажущихся периодов волнения τ_k с истинными τ и с параметрами движения судна – скоростью v и курсовым углом волнения q определяется из зависимостей:

$$\tau_k = \frac{\lambda}{c + v \cos q} = \frac{\tau^2}{\tau + \frac{2\pi v}{g \cdot \cos q}} \tag{4}$$

при обратном преобразовании относительно ω даёт неоднозначную связь истинных частот с кажущимися

$$\frac{\omega^2 v}{g \cos q} + \omega - \omega_k = 0,$$

то удобнее перейти к связи кажущихся частот ω_k с истинными ω и параметрами движения судна по формуле Доплера:

$$\omega_k = \frac{\omega}{1 - \frac{\omega v}{g \cdot \cos q}} \tag{5}$$

Из (5) получаем формулу для пересчёта известных кажущихся частот волнения, равных истинным частотам качки, в истинные частоты для расчёта значения спектра

$$\omega = \frac{\omega_k}{1 + \frac{\omega_k v}{g \cdot \cos q}} \tag{6}$$

Параметры движения судна в моменты записи качки для расчётов по (6) представлены в таблице 3.

Таблица 3

Параметры движения судна относительно волнения для пересчёта кажущихся частот в истинные частоты волнения

Дата записи качки	Ветровое волнение			Зыбь		
	v, м/с	q°	v/g cos q	v, м/с	ε°	v/g cos ε
11.03.19	10,85	37	0,881	10,85	76	0,268
14.03.19	9,66	15	0,951	9,66	53	0,593
15.03.19	9,71	64	0,434	9,71	49	0,649

Получение амплитудно-частотной характеристики бортовой качки

Рассчитанные по (6) частоты служат аргументом для вычисления значения спектров по зависимости (3), а затем и значений АЧХ по (1):

$$|\Phi(\omega)| = \frac{\theta_0}{\zeta_0} = \frac{\theta_0}{\sqrt{2S(\omega)}}; \tag{7}$$

Поскольку воздействие на судно определяется двумя системами волн, нужен механизм учёта спектров, как ветрового волнения, так и зыби. Предполагая волнение составным, но единым процессом, воздействующим на судно, суммируются дискретные значения спектров ветрового волнения и зыби, каждый из которых рассчитан по своим значениям истинных частот в соответствии с таблицей 3:

$$S(\omega_k) = S_{в.в.}(\omega_i) + S_з(\omega_i), \tag{8}$$

а уже затем по суммарной S рассчитывается итоговая АЧХ для дискретных значений ω_k по (7).

Пример расчёта АЧХ по суммарному спектру одной из записей качки представлен на рис. 3, где также показана форма суммарного спектра ветрового волнения и зыби.



Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика, полученная по суммарному спектру ветрового волнения и зыби

Линейчатый спектр АЧХ удобней изучать в распределённом интервальном представлении, осредняющем индивидуальные линейчатые значения АЧХ в пределах интервала частот качки:

$$AЧХ_{распр} = \frac{AЧХ}{\Delta\omega}. \quad (9)$$

Распределённые АЧХ при $\Delta\omega \rightarrow 0$ приближаются к спектральной плотности, поэтому их можно считать аналогом квадрата передаточной функции $\Phi^2(\omega)$. Отсюда

$$|\Phi(\omega)| = \sqrt{\Phi^2(\omega)}. \quad (10)$$

Особенность интервального представления заключается в должном подборе ширины интервала, поскольку от этого зависит форма гистограммы.

Окончательно итоговая распределённая интервальная АЧХ получается осреднением распределённых интервальных АЧХ из всех записей качки по одинаковым интервалам истинных частот качки $\Delta\omega$. Она представлена на рис. 4 для значений ширины интервалов $\Delta\omega = 0,05 \text{ с}^{-1}$ в диапазоне частот $\omega = 0,0 - 2,0 \text{ с}^{-1}$.

Обсуждение

Полученная АЧХ обнаруживает общую закономерность плавного возрастания значений до некоторого максимума на частотах $\omega=1,0-1,05$ и $1,4-1,5 \text{ с}^{-1}$ и последующий более резкий спад значений на более высоких частотах. В этой общей тенденции она соответствует типичным АЧХ судов, получаемым теоретическим путём или экспериментально на регулярном волнении. Это даёт основание для признания разработанного метода обработки записей качки судна в эксплуатационных условиях приемлемым для использования в задачах управления судном с целью оптимизации плавания на волнении.

Однако конкретная обобщённая АЧХ имеет ряд особенностей, причины которых желательно выявить, возможно, с некоторой дополнительной пользой.

Первая особенность заключается в не гладкости функции.

Она в значительной мере обусловлена разным количеством наблюдений, приходящихся на конкретный интервал частот, поскольку обобщённая АЧХ получена осреднением приходящихся на конкретный частотный интервал значений индивидуальных АЧХ. Индивидуальные АЧХ внутри каждого интервала частот имеют довольно значительный разброс значений. Уменьшение числа интервальных наблюдений, вплоть до единичных, существенно снижает доверие к получаемым значениям АЧХ, что особенно характерно на частотах $\omega \geq 1,6-1,8 \text{ с}^{-1}$. Например, пик на частоте $\omega=1,60-1,65 \text{ с}^{-1}$ имеет вероятность $P=5\%$, т.е. $0,5\%$. При более разнообразных волновых условиях распределение числа наблюдений по интервалам частот могло бы быть более равномерным.



Рис. 4. Обобщённое за 11.03.19–15.03.19 распределённое интервальное распределение АЧХ и её вероятность P‰

Анализируя вид обобщённой АЧХ, можно видеть несколько пиков на частотах $\omega=0,20-0,30$; $0,60-0,80$; $1,0-1,1$; $1,4-1,5$, а также и далее, возможно, по причине недостаточной репрезентативности значений. При этом пики на частотах $\omega=0,20-0,30$; $0,60-0,80$ имеют высокую репрезентативность, т.е. не случайны, и поэтому нуждаются в поиске объясняющих причин. В этой низкочастотной области основное воздействие оказывает зыбь. Зыбь во всех записях идёт от кормовых курсовых углов.

В общем случае волнение от кормовых курсовых углов может рассматриваться как попутное волнение. На попутном волнении при длине волн, соразмерной с длиной судна, может наблюдаться как явление снижения остойчивости из-за искажения формы действующей ватерлинии, так и два вида резонанса: основной и параметрический.

Первое явление проявляется при скорости судна, близкой к фазовой скорости волны, которая определяется истинной частотой волны $c = \frac{g}{\omega}$, а проекция скорости волны на направление движения судна $c_x = c \cdot \cos(\varepsilon)$. С учётом данных таблицы 3 для зыби, расчёт проекций фазовых скоростей волнового движения на путь судна представлен в таблице 4.

Таблица 4

Сравнение проекций фазовой скорости волн c_x со скоростью судна v

Дата	ω, c^{-1}	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
	$c, m/c$	49,0	32,7	24,5	19,6	16,4	14,0	12,3	10,9
11.03	$c \cdot \cos \varepsilon$	11,9	7,9	5,9	4,7	4,0	3,4	3,0	2,6
	$v, m/c$	10,85							
14.03	$c \cdot \cos \varepsilon$	29,5	19,7	14,7	11,8	9,8	8,4	7,4	6,6
	$v, m/c$	9,66							
15.03	$c \cdot \cos \varepsilon$	32,2	21,4	16,1	12,9	10,7	9,2	8,0	7,2
	$v, m/c$	9,71							

Из таблицы 4 видно, что 11.03.19 проекция фазовой скорости зыби на путь судна близка к скорости судна при частотах волн $\omega=0,2-0,3c^{-1}$; 14.03.19 – при $\omega=0,6-0,7c^{-1}$;

15.03.19 – при тех же значениях $\omega=0,6-0,7\text{c}^{-1}$. Эти значения выделены в таблице 4 другим цветом.

Пересчёт истинных частот зыби в кажущиеся по формуле Доплера

$$\omega_k = \frac{\omega}{1 + \frac{\omega v}{g \cdot \cos \varepsilon}}$$

даёт следующие диапазоны кажущихся частот: 11.03.19 $\omega_k=0,198-0,293$; 14.03.19 $\omega_k=0,495-0,542$; 15.03.19 $\omega_k=0,486-0,531$.

Обобщённая АЧХ на частотах 0,20–0,30 и 0,45–0,50 имеет локальные максимумы. Это значит, что судно реально испытывало эффект снижения остойчивости на попутном волнении, проявившийся в увеличенных углах крена с указанными частотами, а предложенный метод регистрации качки и её обработки этот эффект обнаружил.

Максимум на частотах $\omega=1,00-1,05$, очевидно, и является максимумом АЧХ бортовой качки.

Обобщённая распределённая интервальная АЧХ имеет локальные максимумы и в среднечастотной области спектра: на частотах 1,25–1,30; 1,40–1,45; 1,60–1,65; 1,85–1,95 c^{-1} . Эти частоты соответствуют кажущимся периодам волн 5,0–4,8; 4,5–4,2; 3,9–3,8; 3,4–3,2с. Некоторые из них имеют довольно убедительную вероятность.

Эти локальные максимумы на средних частотах, в том числе и с убедительными значениями вероятности, в рамках линейной теории качки объяснения не имеют. Возможно, это проявление нелинейных процессов качки, возможно – проявление реакции судна на интерференционные процессы в двух системах волн (ветровые и зыбь) или на групповую структуру волнения. Два последних явления в использованных аналитических моделях спектров не описываются, хотя могли бы быть обнаружены в эмпирическом фактическом спектре, а групповой характер качки соответственно групповой структуре волнения хорошо прослеживается в записи качки. Все эти вопросы ещё ждут своего разрешения в дальнейших исследованиях.

Частота, соответствующая собственному периоду качки 21-22с – собственная частота бортовой качки – равна $\omega_c=0,285-0,299\text{c}^{-1}$. Этой частоте на обобщённой распределённой АЧХ бортовой качки соответствует локальный максимум АЧХ и её наибольшая повторяемость Р. Оказалось, что собственная частота входит в интервал частот, на котором проекция скорости попутных волн близка к скорости судна.

Следовательно, информация о частоте максимальной вероятности АЧХ может служить также и маркером собственной частоты качки судна.

Параметрический резонанс наступает, когда частота волн вдвое больше собственной частоты качки:

$$\omega_{\text{парам}} = 2 \omega_c = 2(0,285 - 0,299) \cong 0,6 \text{ c}^{-1}.$$

На этой частоте на обобщённой распределённой АЧХ бортовой качки также имеется локальный максимум с локальным максимумом вероятности Р. Это также может быть маркером параметрического резонанса.

Заключение

Таким образом, амплитудно-частотная характеристика бортовой качки, полученная в эксплуатационном рейсе путём обработки записей качки на основе расчётных спектров смешанного волнения с исходными данными из гидрометеорологических источников, обнаруживает основные закономерности амплитудно-частотных характеристик, получаемых традиционным путём и, кроме того, обнаруживает частоты опасной потери остойчивости на попутном волнении, а также собственные частоты качки судна и параметрического резонанса.

Список литературы

1. Поминов А.Г. Регистрация параметров качки судна с помощью гироскопа и акселерометра / А.Г.Поминов, В.П.Умрихин // Судовождение – 2014: сб. науч. трудов. – Новосибирск: НГАВТ, 2014. – С. 46 – 48.
2. Бабич С.И. Проверка автоматического регистратора параметров качки судна / С.И.Бабич, Л.В.Дьячков, В.И.Сичкарев, В.П. Умрихин // Сибирский научный вестник, №XXII, 2018. – Новосибирск: СГУВТ, 2018. - С. 42–49.
3. Умрихин В.П. Создание аппаратно-программного комплекса для определения параметров качки судна / В.П. Умрихин, А.Г.Поминов // Материалы научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава Сибирского государственного университета водного транспорта «АРКТИКА-ЭКОЛОГИЯ-ТРАНСПОРТ». – Новосибирск: СГУВТ, 2017. – С. 301-304.
4. Умрихин В.П. Определение параметров качки судна в эксплуатационном рейсе / В.П. Умрихин // Научные проблемы водного транспорта, № 71, 2022. – Нижний Новгород: ВГУВТ, 2022. – С. 188-198. DOI: <https://doi.org/10.37890/jwt.vi71.268>
5. Луговский В.В. Динамика моря / В.В.Луговский. – Л.: Судостроение, 1976. – 200 с.
6. Оськин Д.А., Горшков А.А., Клименко С.А., Погодин Н.А. Информационно-управляющая система сбора и передачи информации для безэкипажного судна. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2021-2-24-31> // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: морская техника и технология том 2021 № 2 , 2021, -с.24-31.
7. Artemiev A. V., Gorshkov A. A., Oskin D. A., Gromasheva O. S. Assessment of Drift of Gyroscopic Systems Built on the Basis of Microelectromechanical Sensors // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2018 (Vladivostok, 03–04 October 2018). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018. P. 8602489.
8. Титов А. В., Баракат Л. Перспективы технологического развития и внедрения безэкипажных судов // Мор. интеллектуал. технологии. 2018. Т. 1. № 3 (41). С. 94–103.
9. Ершов А.А., Теренчук А.В. Совершенствование методов обеспечения безопасности штормового плавания судов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: морская техника и технология том 2015 № 3 , 2015, -с.7-13.
10. Кондратьев С. И. Полифакторный анализ процесса предупреждения столкновений судов / С. И. Кондратьев, А. Л. Боран-Кешишьян // Вестн. ГУМРФ им. адмирала С. О. Макарова. 2013. № 2 (21). С. 7-13.
11. Ершов А. А. Разработка системы интеллектуальной поддержки судоводителя для снижения опасности столкновений судов: дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2012. 322 с.

References

1. Pominov A.G. Registration of ship pitching parameters using a gyroscope and accelerometer / A.G.Pominov, V.P.Umrikhin // Navigation – 2014: collection of scientific works. – Novosibirsk: NGAVT, 2014. – pp. 46-48.
2. Babich S.I. Verification of the automatic recorder of vessel pitching parameters / S.I.Babich, L.V.Dyachkov, V.I.Sichkarev, V.P. Umrikhin // Siberian Scientific Bulletin, No.XXII, 2018. – Novosibirsk: SGUVT, 2018. - S. 42-49.
3. Umrikhin V.P. Creation of a hardware and software complex for determining the parameters of ship pitching / V.P. Umrikhin, A.G.Pominov // Materials of the scientific and practical conference of the teaching staff of the Siberian State University of Water Transport "ARCTIC-ECOLOGY-TRANSPORT". – Novosibirsk: SGUVT, 2017. – pp. 301-304.
4. Umrikhin V.P. Determination of ship pitching parameters in an operational voyage / V.P. Umrikhin // Scientific problems of water transport, No. 71, 2022. – Nizhny Novgorod: VGUVT, 2022. – pp. 188-198.
5. Lugovsky V.V. Dynamics of the sea / V.V.Lugovsky. – L.: Shipbuilding, 1976. – 200 p.
6. Oskin D.A., Gorshkov A.A., Klimenko S.A., Pogodin N.A. Information management system for collecting and transmitting information for an unmanned vessel. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2021-2-24-31> // Bulletin of the Astrakhan State

- Technical University. Series: Marine Engineering and Technology volume 2021 No. 2 , 2021, -pp.24-31.
7. Artemiev A. V., Gorhkov A. A., Oskin D. A., Gromasheva O. S. Assessment of Drift of Gyroscopic Systems Built on the Basis of Microelectromechanical Sensors // 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEastCon 2018 (Vladivostok, 03–04 October 2018). Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., 2018. P. 8602489.
 8. Titov A.V., Barakat L. Prospects of technological development and implementation of unmanned vessels // *Mor. an intellectual. technologies.* 2018. Vol. 1. No. 3 (41). pp. 94-103.
 9. Ershov A.A., Terenchuk A.V. Improvement of methods for ensuring the safety of storm navigation of ships// *Bulletin of the Astrakhan State Technical University. Series: Marine Engineering and Technology volume 2015 No. 3 , 2015, -pp.7-13.*
 10. Kondratiev S. I. Multifactor analysis of the process of preventing collisions of ships / S. I. Kondratiev, A. L. Boran-Keshishyan // *Vestn. GUMRF named after Admiral S. O. Makarov.* 2013. No. 2 (21). pp. 7-13.
 11. Ershov A. A. Development of a system of intellectual support for a boatmaster to reduce the risk of ship collisions: dis. ... Doctor of Technical Sciences. SPb., 2012. 322 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

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 of Navigation Department Siberian State University of Water Transport, 630099, Novosibirsk, Shchetinkina str., 33, e-mail: svny89@mail.ru

Умрихин Виктор Павлович, к.т.н., доцент, доцент кафедры высшей математики и информатики, Сибирский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: v.p.umrihin@nsawt.ru

Viktor P. Umrikhin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Higher Mathematics and Computer Science, Siberian State University of Water Transport, 630099, Novosibirsk, Shchetinkina str., 33, e-mail: v.p.umrihin@nsawt.ru

Приваленко Алексей Александрович, доцент кафедры судовождения, Сибирский государственный университет водного транспорта (ФГБОУ ВО «СГУВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, e-mail: a.a.privalenko@nsawt.ru

Alexey A. Privalenko, Associate Professor of the Department of Navigation, Siberian State University of Water Transport, 630099, Novosibirsk, Shchetinkina str., 33, e-mail: a.a.privalenko@nsawt.ru

Статья поступила в редакцию 30.10.2022; опубликована онлайн 20.03.2023.
Received 30.10.2022; published online 20.03.2023.