

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОРЕХОДНЫХ КАЧЕСТВ РАЗНЫХ ТИПОВ ПАТРУЛЬНЫХ СУДОВ

Кондратьева Л. Ю., аспирант Национального университета кораблестроения
им. С. О. Макарова (г. Николаев), E-mail: muschil@mail.ru

В данной статье впервые определено влияние волнения Черноморского бассейна на качку патрульных судов разных архитектурно-конструктивных типов. Модуль Motion Design позволяет рассчитать характеристики качки с помощью двух методов: линейная теория плоских сечений и панельный метод. В случае расчета для СМПВ актуально использовать панельный метод, так как он точнее отображает нетипичную форму шпангоута. В данной статье будет рассматриваться качка судна без хода (случай посадки вертолета). Исследование определяет преимущества мореходных качеств СМПВ по сравнению с другими типами КБО. Результаты оформлены в виде амплитудно-частотных характеристик (РАО). Данные графики могут быть использованы для выбора перспективного типа кораблей береговой охраны Черноморского побережья Украины и качественного улучшения оптимизационной задачи их проектирования. Исследование подчеркивает необходимость учета свойств мореходности патрульных судов.

Ключевые слова: судно с малой площадью ватерлинии; бортовая качка; мореходность; панельный метод.

Постановка проблемы. В 2007 году в черноморском регионе был зафиксирован сильный шторм (максимальная значительная высота волн – 6,8 м; время жизни – 18 ч; общая площадь шторма – 174,5 тыс. км²;) по данным [1]. В этом шторме затонуло 4 судна, были сорваны с якорей и сели на мель 6 судов, получили повреждения 2 танкера. В результате разлома одного из танкеров произошел разлив около 13001600 т нефтепродуктов. Тем не менее, при выборе типа судна для кораблей береговой охраны, которые должны в экстренных ситуациях спасать человеческие жизни, до сих пор не стоит вопрос мореходности как приоритетный. Одна из причин – высокая стоимость перспективных типов судов. Нужны ли недорогие суда, которые не могут выполнять поставленные перед ними задачи в условиях шторма. В данной статье автор анализирует характеристики качки наиболее распространенных типов судов, которые на сегодняшний день используются в мире как корабли береговой охраны.

Анализ последних достижений и публикаций. В источниках [2, 3, 4] говорится о преимуществах судов с малой площадью ватерлинии перед другими типами судов. Например, в [4] указан минимальный размер ширины судна 18(м), в случае размещения вертолета на палубе, который, в свою очередь, позволяет снизить требуемую скорость судна. В результате одним из главных требований к кораблям береговой охраны становится увеличенная площадь палуб, что вполне соответствует концепции СМПВ. Улучшенная мореходность и возможность быстро, но существенно изменить осадку, рассматриваются как преимущества. Ветро-волновой режим локации функционирования КБО описаны в [5]. В [6] отмечены требования к возможности всепогодной службы судна, а также описаны некоторые перспективные типы судов и их особенности. Однако автору не известны работы, в которых анализируются конкретные результаты расчетов качки для разных типов судов с учетом требований, выдвигаемых к патрульным кораблям. В [7] подробно описаны математические подходы к расчетам амплитудно-частотных характеристик типа СМПВ. Известны работы, подробно описывающие вопросы функционирования кораблей береговой охраны [8], но без учета особенностей мореходных качеств альтернативных типов судов. В то же время, освещены особенности конструкции и оптимизации судов с малой площадью ватерлиний в [9], но большая часть преимуществ и недостатков, связаны с работой пассажирских судов, не учитывают особенностей работы кораблей береговой охраны.

Цель работы. Целью данной статьи является сравнение характеристик мореходных качеств в виде расчетов качки (амплитудно-частотных характеристик) для разных типов судов. Результаты работы позволяют обосновать необходимость учета

улучшенных мореходных качеств при выборе типа судна на ранних этапах проектирования корабля береговой охраны.

Изложение основного материала работы. На тихой воде, если КБО имеет водоизмещение D_K больше, чем водоизмещение нарушителя D_H , но скорость v_K меньшую, чем скорость нарушителя v_H , корабль береговой охраны не догонит нарушителя. Вместе с тем, на волнении определенной бальности (в плохую погоду) v_K при тех же исходных данных может стать равной или больше v_H , тогда корабль догонит нарушителя. Этим обуславливается влияние штормовых условий на вероятность захвата судна нарушителя [9]. Таким образом, для достижения поставленных перед кораблем береговой охраны целей в плохих погодных условиях, судно должно иметь большое водоизмещение, это решение несет за собой увеличение металлоемкости, а, следовательно, и увеличение стоимости судна. К тому же, в случае приемлемых погодных условий, этот вариант имеет смысл только для размещения вертолета. В случае, если корабль береговой охраны является судном типа СМПВ, его водоизмещение будет минимизировано и при этом сохраняется необходимая для расположения вертолета площадь палуб. К тому же, мореходные качества СМПВ превосходят качества традиционных водоизмещающих судов как с точки зрения комфорта экипажа [8], так и для операций по задержанию судна нарушителя.

Модуль Motion Design позволяет рассчитать характеристики качки с помощью двух методов: линейная теория плоских сечений и панельный метод. В случае расчета для СМПВ актуально использовать панельный метод, так как он точнее отображает нетипичную форму шпангоута. В данной статье будет рассматриваться качка судна без хода (случай посадки вертолета или проведения других операций).

Патрульный корабль проектируется для района Черного моря между мысом Тарханкут и островом Змеиный. Эта зона патрулирования стратегически важна для Украины, так как она находится между полуостровом Крым и материковой частью страны.

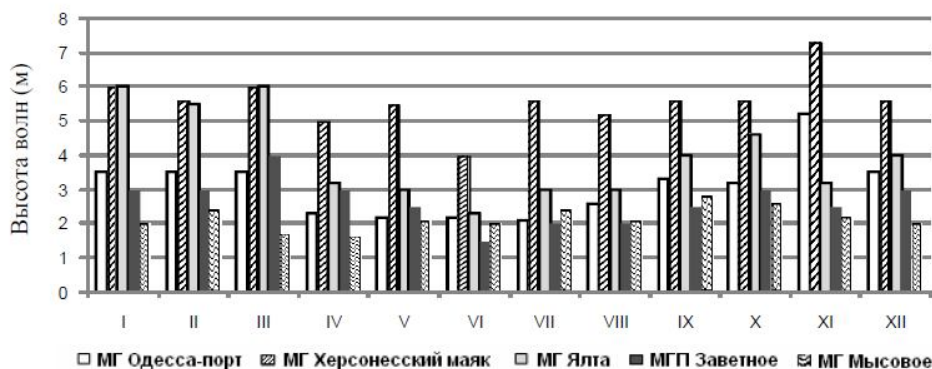


Рисунок 1 – Годовой ход максимальной высоты волн по данным морских береговых наблюдений Азово-Черноморского региона Украины за период 1954-2009 гг.

К характеристикам ветро-волновых режимов района функционирования КБО, исходя из расположения на карте метеогидростанций, следует отнести данные метеогидростанции «Херсонский Маяк», находящейся в открытом море, по максимальным высотам волн, варьируемым от 4 м до 7,2 м, и метеогидростанции «Одесса-порт» – от 2,1 м до 5,2 м. Среднегодовые показатели максимальных высот волн района составляют 0,8 м [5]. Эти наблюдения подтверждают актуальность «всепогодного» патрульного судна для данного региона, а также позволяют применить долговременное распределение, построенное на основании данных [5], к решению задачи оптимизации корабля береговой охраны.

В ПО Bentley Engineering, блоке Maxsurf Motion для расчета качки судна существует несколько вариантов для определения волнового спектра [10].

– ИТТС (двухпараметрический спектр Бретшнайдера) На Международной конференции опытовых бассейнов (ИТТС International Towing Tank Conference) в 1978 году этот спектр был принят в качестве стандартного для Северного моря. В исходных данных необходимо указать характерную высоту волны и собственный период качки:

$$S_{ITTC\zeta(\omega)} = \frac{A}{\omega^5} \exp\left(\frac{-B}{\omega^4}\right); A = 172,75 \frac{H_{char}^2}{T^4}; B = \frac{691}{T^4};$$

– однопараметрический спектр Бретшнайдера. Этот спектр может быть использован, когда известна только характерная высота волны $H_{1/3}$ м:

$$S_{1Param\ Brechneider\zeta}(\omega) = \frac{A}{\omega^5} \exp\left(\frac{-B}{\omega^4}\right); A = 8,11 * 10^{-3} g^2; B = \frac{3,11}{H_{1/3}^2};$$

– JONSWAP (joint North Sea wave Project) часто используется для расчетов прибрежных районов плавания. Этот метод основан на спектре ИТТС, однако в целом координаты максимума спектральной плотности выше. Исходные данные: высота волны $H_{1/3}$ м, модальный период, средний период качки:

$$S_{JONSWAP\zeta}(\omega) = 0,658 S_{ITTC\zeta}(\omega) C(\omega);$$

$$C(\omega) = 3,3 \uparrow \exp\left[\frac{-1}{2\sigma^2} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - 1\right)^2\right];$$

– Pierson Moskowitz – спектр Пирсона Московица может быть использован для определения спектра с помощью номинальной скорости ветра, ветра на высоте 19,5м над поверхностью моря. Исходные данные – скорость ветра U_{wind} (м/с)

$$S_{PM\zeta}(\omega) = \frac{A}{\omega^5} \exp\left(\frac{-B}{\omega^4}\right); A = 8,11 * 10^{-3} g^2; B = \frac{0,74 g^4}{U_{wind}^4};$$

– Ochi Hubble Спектр Очи Хаббл позволяет пользователю указать два пика используемого спектра, чтобы приблизить состояние моря к ситуации с низкочастотной дистанционно генерируемой зыби в сочетании с высокочастотным локально сгенерированным действием ветровых волн определяется по формуле:

$$S_{OH(f)} = \frac{\pi}{2} \sum_{j=1}^2 \frac{[4(4\lambda_j + 1)\pi^4 f_{pj}^4]^{\lambda_j}}{\Gamma(\lambda_j)} \frac{h_{sj}^2}{(2\pi f)^{4\lambda_j+1}} \exp\left[-\frac{4\lambda_j + 1}{4} \left(\frac{f_{pj}}{f}\right)^4\right];$$

– DNV Det Norske Veritas. Особые случаи этого спектра включают спектр Бретшнайдера, когда коэффициент увеличения амплитуды составляет $\gamma=1,0$, а спектр JONSWAP, в случае, когда коэффициент увеличения амплитуды составляет $\gamma= 3,3$. Исходные данные: модальный период – T_0 (с) и характерная высота волны – $H_{1/3}$ (м). Сам спектр определяется следующим образом:

$$S_{DNV\zeta}(\omega) = \frac{\alpha}{\omega^5} \exp\left(\frac{-\beta}{\omega^4}\right) * \gamma \uparrow \exp\left[\frac{-1}{2\sigma^2} \left(\frac{\omega}{\omega_0} - 1\right)^2\right];$$

$$\alpha = 5\pi^4 (1 - 0,287 \ln(\gamma)) \frac{H_{1/3}^2}{T_0^4}; \beta = \frac{20\pi^4}{T_0^4}.$$

Выбранный район плавания имеет как мелководную зону, так и глубоководную, следовательно, обоснованной аппроксимацией спектра нерегулярного волнения является спектр JONSWAP (Joint North Sea Wave Project).

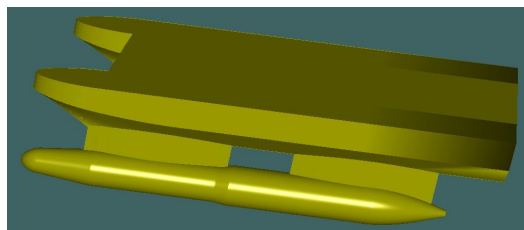
Исходя из данных волновых режимов полученных в [5], задач, стоящих перед кораблем береговой охраны [9], методов расчета спектральной плотности [10], а также минимума исходных данных на этапе начального проектирования был осуществлен расчет амплитудно-частотных характеристик бортовой, килевой качки и рысканья для судов четырех разных типов. Высота волны $h_{1/3} = 4$ м.

Расположение к волнам было выбрано лагом к волне как наиболее опасное для остойчивости судна при плохих погодных условиях. The Response Amplitude Operator (RAO)–оператор амплитудных характеристик позволяет рассчитать все 6 видов качки: продольно-горизонтальную, поперечно-горизонтальную, вертикальную, бортовую, килевую и рыскание. Однако в данной работе будут подробно рассмотрены рысканье, бортовая и килевая качка.

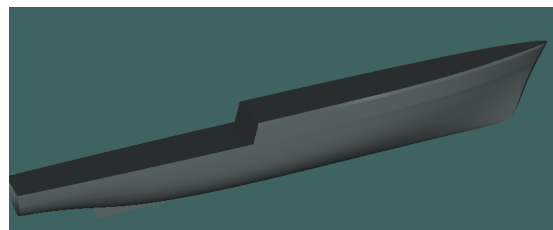
Поверхности для расчета характеристик качки имеют параметры, описанные в табл. 1.

Таблица 1 – Главные размерения исследуемых типов корпуса

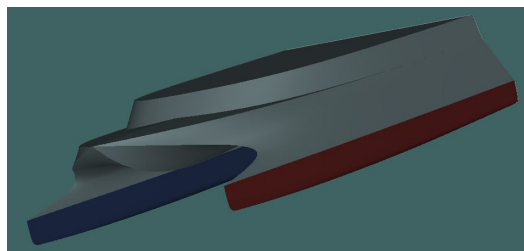
<i>Tun</i>	<i>D, (м)</i>	<i>L, (м)</i>	<i>B, (м)</i>	<i>T, (м)</i>
СМПВ	970	29	21	6
Катамаран	934,5	92	28	2,6
Однокорпусное судно	813	50	12,7	5
Ахе-bow	818	53	9,8	3,7



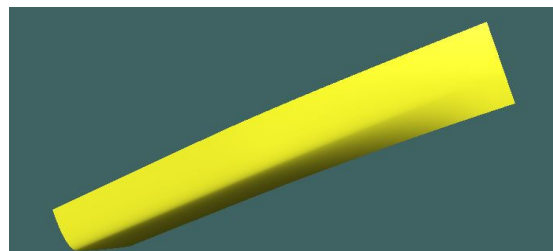
а



б



в



г

Рисунок 3а – поверхность СМПВ с четырьмя стойками; б – поверхность корпуса стандартного водоизмещающего КБО; г – поверхность корпуса волнорезного катамарана; д – поверхность корпуса с носовой оконечностью типа AXE-bow

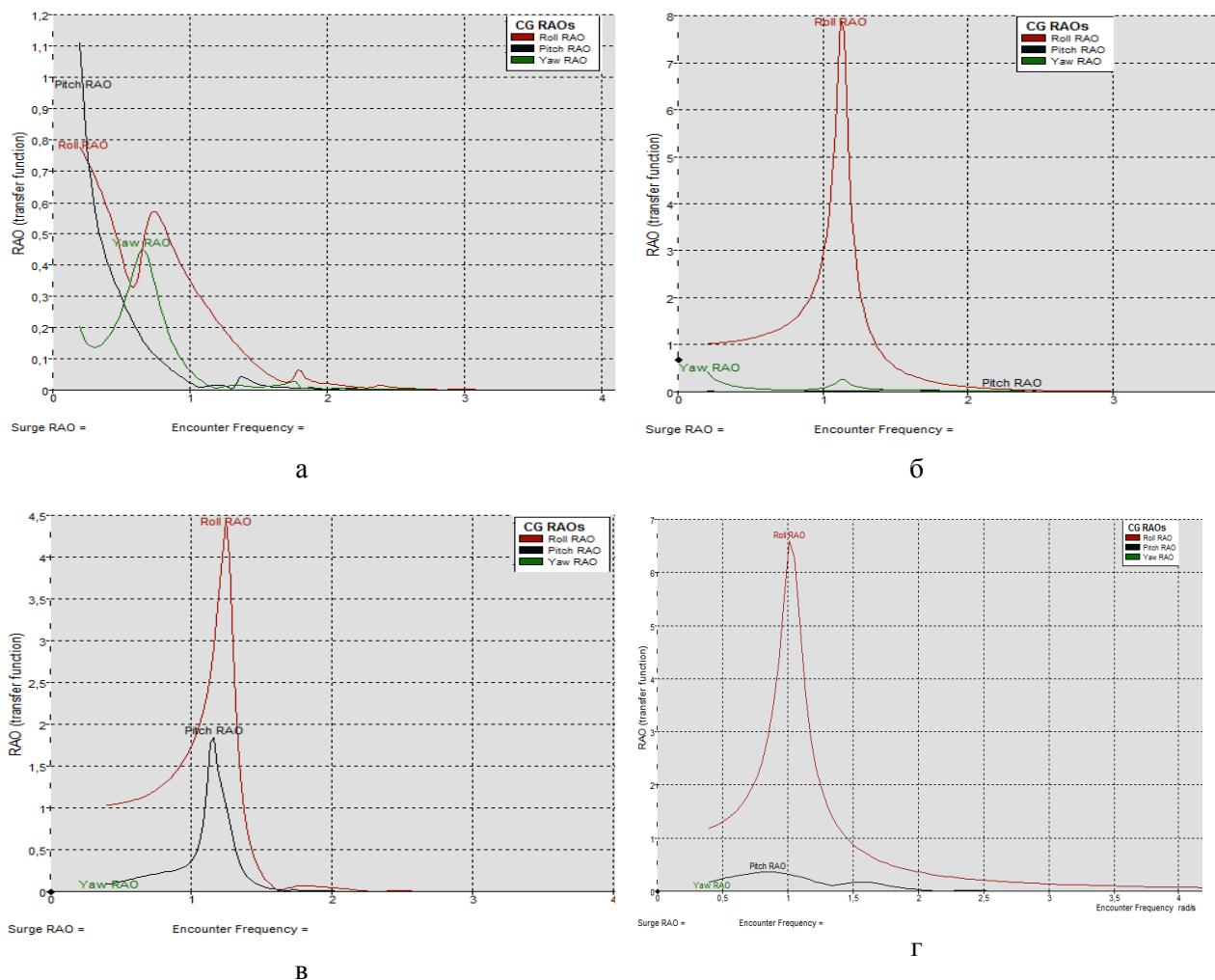


Рисунок 4 – График зависимости передаточной функции в пределах частотного диапазона для рысканья, бортовой и килевой качки:
 а – СМПВ с четырьмя стойками; б – стандартный водоизмещающий КБО; в – волнорезный катамаран; г – судно с носовой оконечностью типа AXE-bow

Из полученных графиков хорошо видно, что максимум амплитудно-частотной характеристики (бортовая качка) СМПВ существенно меньше аналогичных величин других видов современных судов. Следовательно, посадка и взлет вертолета, а также другие операции, будут возможны фактически при любых погодных условиях.

Вывод. В данной статье впервые определено влияние волнения Черноморского бассейна на бортовую, килевую качку и рысканье патрульных судов разных архитектурно-конструктивных типов. Исследование наглядно иллюстрирует преимущества судов типа СМПВ в штормовых условиях по сравнению с другими типами КБО, что позволяет данному типу судов получить дальнейшее развитие в этой сфере. Полученные результаты доказывают необходимость учета всепогодности судна при расчете вероятности выполнения задач, стоящих перед патрульным судном, то есть при расчете его эффективности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Доценко С. Ф. Природные катастрофы Азово-черноморского региона / С. Ф. Доценко, В. А. Иванов. – Севастополь : НАН Украины, Морской гидрофизический институт, 2010. – 112 с.
2. Дубровский В. А. Эффективный и недорогой патрульный корабль с вертолетом и беспилотными аппаратами [Электронный ресурс] / В. А. Дубровский // Третья

Сахалинская региональная морская научно-техническая конференция «Мореходство и морские науки–2011». Центральный военно-морской портал. – Режим доступа : http://shipdesign.ru/Sea/2011-02-15/1_114-121.pdf

3. Дубровский В. А. Выбор типа судна должен определяться его назначением / В. А. Дубровский // Судостроение. – Ленинград, 2007. – № 6. – С. 22-26.

4. Дубровский В. А. О многокорпусных судах более детально [Электронный ресурс] / В. А. Дубровский // Центральный военно-морской портал. – Режим доступа : <http://flotprom.ru/publications/science/hull/multihulldetails/>

5. Наумова В. А. Ветро-волновые условия азово-черноморского побережья Украины / В. А. Наумова, М. П. Евстигнеев, В. П. Евстигнеев, Е. П. Любарец // Морская гидрометеорология; науч. труды УкрНДГМИ. – 2010. – Вып. 259. – С. 263-281.

6. Храмушин В. Н. Концептуальные проекты рыболовных, спасательных и патрульных судов для Сахалина и Курильских островов [Электронный ресурс] / В. Н. Храмушин / Третья Сахалинская региональная морской научно-техническая конференция «Мореходство и морские науки – 2011». Центральный военно-морской портал. – Режим доступа : http://shipdesign.ru/Sea/2011-02-15/1__64-81.pdf

7. Соломенцев О. И. Анализ частот нулевого возмущения при качке судов с малой площадью ватерлинии / О. И. Соломенцев, Л. Ю. Кондратьева // Материалы Всеукраинской научно-технической конференции с международным участием «Современные технологии проектирования, построения, эксплуатации и ремонта судов, морских технических средств и инженерных сооружений». – Николаев : НУК, 2015. – С. 67.

8. Бойко А. П. Метод формирования поверхности судна с малой площадью ватерлинии / А. П. Бойко, А. В. Бондаренко // Сборник научных трудов НУК. – Николаев : НУК, 2010. – № 3. – С. 62–68.

9. Дам С. Т. Выбор основных проектных характеристик кораблей береговой охраны : дис. к-та техн. наук: 629.05.02 / Дам Суан Туан; Украинский государственный морской технический университет имени адмирала Макарова. – Д., 2003. – 96 с.

10. Maxsurf Motions Windows Version 20 User Manual [Справка], © Bentley Systems, Incorporated 2013.

REFERENCES

1. Dotsenko S. F., Ivanov V.A., Pryrodni katastrofi azovo-chornomors'koho rehionu [The natural catastrophe in Azov-Black Sea region], *Mors'kyi hidrofizychnyy instytut* [Marine hydrophysical institute], Sevastopol', 2010, Pp.107-112.

2. Dubrovskiy V.A. Tsentral'nyy viys'kovo-mors'kyi portal Efektyvnyy i nedorohyy patrol'nyy korabel' z vertol'otom i bezpilotnyimi aparatami [Virtual resurs] *Elektronne vydannya: Tretya Sakhalins'ka rehional'na mors'ka naukovo-tekhnichna konferentsiya Moreplavstvo i mors'ki nauky*, 2011 - Available at: URL: http://shipdesign.ru/Sea/2011-02-15/1_114-121.pdf (Accessed 12 December 2015).

3. Dubrovskiy V.A., *Vybor tipa sudna dolzhen opredelyat'sya yego naznacheniyem* [Selecting the type of vessel should be determined by its purpose]. Leningrad, Sudostroyeniye Publ., 2007 issue 6 pp.22-26.

4. Dubrovskiy, V. A. Tsentral'nyy voyenno-morskoy portal *O mnogokorpusnykh sudakh boleye detal'no* [About multihull vessels in more detail][Virtual resurs] *Elektronne vydannya* Available at: URL: <http://flotprom.ru/publications/science/hull/multihulldetails/> (Accessed 12 October 2015).

5. Naumova V.A., Yevstigneyev M.P., Yevstigneyev V.P., Lyubarets Ye.P., *Vetro-volnovyye usloviya azovo-chernomorskogo poberezh'ya Ukrainy* [Wind and wave conditions are the Azov-Black Sea coast of Ukraine] *Nauk. pratsi UkrNDGMI Publ.*, 2010, issue 259, pp.263-281

6. Khramushin, V.N. Tsentral'nyy voyenno-morskoy portal *Kontseptual'nyye proyekty*

rybolovnykh, spasatel'nykh i patrol'nykh sudov dlya Sakhalina i Kuril'skikh ostrovov [Conceptual designs of fishing, rescue and patrol vessels for Sakhalin and the Kuril Islands] (Virtual resurs) http://shipdesign.ru/Sea/2011-02-15/1__64-81.pdf (Accessed 5 Tezisy Tret'yey Sakhalinskoy regional'noy morskoy nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya Morekhodstvo i morskoye nauki 2011 October 2015).

7. Solomentsev O.I., Kondrat'yeva L. YU., Analiz chastot nulevogo vozmushcheniya pri kachke sudov s maloy ploshchad'yu vaterlinii [Frequencies of the zero excitation at the swath motions] *Tezisy Vseukraïns'koï naukovo-tekhničnoï konferentsii z mizhnarodnoyu uchastyu Suchasni tekhnologiiï proyektuvannya, pobudovi, yekspluatatsii i remontu suden, mors'kikh tekhnichnikh zasobiv i inzhenernikh sporud (20-22.05.2015)*. Mikolaïv, 2015. Pp. 67

8. Boyko A.P., Bondarenko A.V., Metod formuvannya poverkhni sudna z maloyu ploshcheyu vaterliniyi [The method of the formative surface vessels with small waterline area]. *Zbirnyk naukovykh prats' NUK*. [Collection of scientific papers of NUOS], 2010, issue 3, pp. 62-68

9. Dam S. T. *Vybir osnovnykh proektnykh kharakterystyk korabliv berehovoyi okhorony dys. k-ta tekhn. Nauk* [The selection of the main design features of ships Coast Guard]. Nikolaev., 2003 pp.7-96.

10. Maxsurf Motions Windows Version 20 User Manual [Spravka] , © Bentley Systems, Incorporated 2013.

Кондратьева Л. Ю. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МОРЕХОДНЫХ КАЧЕСТВ РАЗНЫХ ТИПОВ ПАТРУЛЬНЫХ СУДОВ

В данной статье впервые определено влияние волнения Черноморского бассейна на качку патрульных судов разных архитектурно-конструктивных типов. Модуль Motion Design позволяет рассчитать характеристики качки с помощью двух методов: линейная теория плоских сечений и панельный метод. В случае расчета для СМПВ актуально использовать панельный метод, так как он точнее отображает нетипичную форму шпангоута. В данной статье будет рассматриваться качка судна без хода (случай посадки вертолета). Исследование определяет преимущества мореходных качеств СМПВ по сравнению с другими типами КБО. Результаты оформлены в виде амплитудно-частотных характеристик (RAO). Данные графики могут быть использованы для выбора перспективного типа кораблей береговой охраны Черноморского побережья Украины и качественного улучшения оптимизационной задачи их проектирования. Исследование подчеркивает необходимость учета свойств мореходности патрульных судов.

Ключевые слова: судно с малой площадью ватерлинии; бортовая качка; мореходность; панельный метод.

Kondratieva L. Yu. THE COMPARATIVE CHARACTERISTIC OF SEAWORTHINESS OF DIFFERENT TYPES FOR PATRUL VESSELS

There are, at first time determined the effect of motion on the Black Sea pool for the roll of patrol vessels of different types of architectural design in this paper. The Motion Design module allows to calculate the characteristics of the roll by two methods: the linear theory of plane sections and the panel method. In the case of SWA ships calculation seems relevant use the panel method, because it more accurately reflects the atypical form of the frame. This article considered a rolling of ship without stroke (the case of the helicopter landing). The research identifies benefits seaworthiness SWA ships compared with other types of CCD. The results take the form of amplitude-frequency characteristics (RAO). These graphs can be used in selection of the types of perspective ships Coast Guard Black Sea coast for Ukraine, and improve the quality of their design optimization problem. The study emphasizes the needing to consider the properties of seaworthy of patrol vessel.

Keywords: ship with a small waterline area; rolling; seakeeping; panel method.

© Кондратьева Л. Ю.

Статтю прийнято
до редакції 08.11.16