

УДК: 629.562

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИНТО-РУЛЕВОГО КОМПЛЕКСА И ПОВОРОТЛИВОСТИ РЫБОЛОВНОГО СУДНА

В.Г. Бугаев

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия

Д.В. Тунг

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия

Я.Р. Домашевская

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия

Ф.Ч. Хиен

Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия

Аннотация. Адекватная оценка гидродинамических характеристик и поворотливости судна требует тщательного и детального анализа формы корпуса и элементов винто-рулевого комплекса, а также их взаимодействия в процессе промысловых операций. Для оценки поворотливости судна применение экспериментальных и численных методов является чрезвычайно актуальным и удобным решением. Важным преимуществом численных методов по сравнению с традиционными методами, натурными испытаниями и модельными экспериментами является возможность исследования как системы корпус-насадка-винт в целом, так и каждого элемента в отдельности, уделив особое внимание его характеристикам.

Целью исследований является анализ с использованием численных методов взаимодействия корпуса и винто-рулевого комплекса (гребного винта в насадке) рыболовного судна, предназначенного для изготовления и эксплуатации во Вьетнаме. Влияние корпуса судна на гидродинамические характеристики винто-рулевого комплекса обусловлено следующими факторами: а) наличием попутного потока за корпусом судна; б) наличием скоса потока воды при дрейфе судна; в) наличием свободной поверхности; г) увеличением скорости потока, набегающего на насадку, создаваемого винтом. Существенное влияние на гидродинамические характеристики насадки, а, следовательно, на ходкость и поворотливость оказывают также скорость судна, частота вращения винта и угол поворота насадки. Приведены результаты расчетов поперечной силы и силы сопротивления, действующих на изолированную насадку, насадку с вращающимся винтом, с вращающимся винтом за корпусом судна, а также диаметра циркуляции.

Ключевые слова: рыболовное судно, винто-рулевой комплекс, насадка, поворотливость

Введение

Численные методы гидродинамики нашли широкое применение в кораблестроении при решении задач моделирования движения судна на спокойной воде, моделирования работы гребного винта в составе винто-рулевого комплекса, управляемости и качки [1–3, 9–14]. Сложность постановки и решения задач численной гидродинамики заключается в создании точных моделей поверхности корпуса судна, насадки и движителя, работающих в составе системы корпус судна – винто-рулевой комплекс. Существенной проблемой является также задание внешних условий таких как: течение потока, свободная поверхность, волнение и др. Несмотря на это, численные методы дают достаточно хорошие результаты, приемлемые с точки зрения решения инженерных задач.

Цель исследования – анализ взаимодействия корпуса и винто-рулевого комплекса рыболовного судна проекта 70133 (ООО СК «Посейдон-Звезда», гл. конструктор В.Е. Рожков), предназначенного для изготовления и эксплуатации во Вьетнаме (рис. 1).

Особенностями проектирования и эксплуатации рыболовных судов являются [4, 5]:

- поиск объектов лова и ведение промысла различными орудиями лова;
- длительное нахождение в море при различных метеорологических условиях;
- ведение промысла в условиях взволнованного моря и в различных режимах движения;
- частое маневрирование в процессе промысловых операций и швартовки в море.

Ошибки, допущенные при выборе промысловой скорости, маневренности и мореходных качеств, могут привести к значительному снижению эффективности судна.

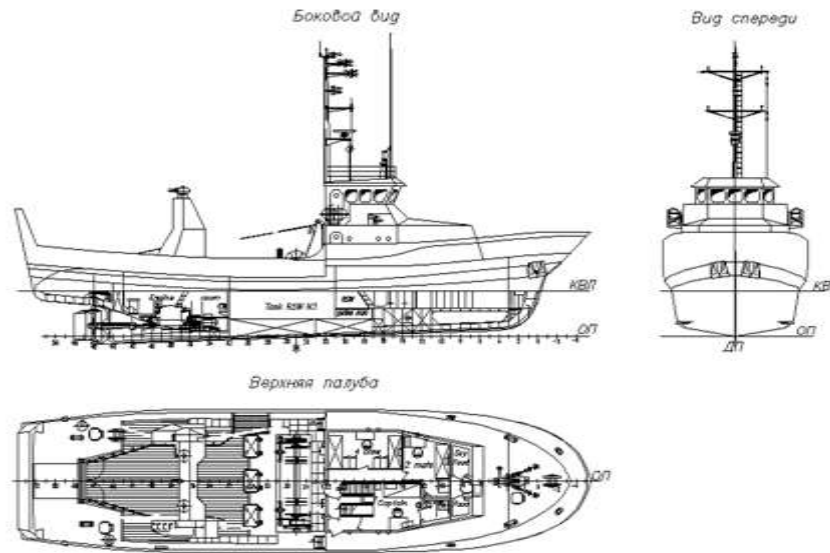


Рис. 1. Общее расположение судна

Судно с дизельным двигателем, одновинтовое, с транцевой кормой, непрерывной верхней палубой и с двухъярусной носовой рубкой. Гребной винт регулируемого шага из Ni-AL-BZ в поворотной направляющей насадке, скорость 11,0 узлов [6].

Таблица 1

Основные характеристики РС 70133

Характеристика	Значение
$L_{пп}$ – длина между перпендикулярами, м	27,31
B – ширина по КВЛ, м	7,08
T – осадка по КВЛ, м	2,4
H – высота борта, м	3,42
β – коэффициент полноты подводной части мидель-шпангоута	0,854
δ – коэффициент общей полноты	0,546
φ – коэффициент продольной полноты	0,663
D – водоизмещение по КВЛ, т	254,5

В результате исследований решены следующие задачи:

- созданы 3D-модели поверхности корпуса судна и винто-рулевого комплекса (гребного винта в насадке), позволяющие выполнить анализ взаимодействия корпуса и винто-рулевого комплекса как системы;
- определены гидродинамические характеристики винто-рулевого комплекса в свободной воде;
- определены поперечные силы и силы сопротивления, создаваемые насадкой с вращающимся винтом при различных углах её поворота;
- определена зависимость диаметра циркуляции от скорости движения судна и угла перекладки насадки.

1. 3D-модель

Судовая поверхность состоит из линейчатых участков, соединенных между собой сломами. Все сломы находятся выше конструктивной ватерлинии. Таким образом, достигается повышение технологичности конструкций корпуса без существенного роста сопротивления воды.

Для исследований гидродинамических характеристик винто-рулевого комплекса создана параметрическая модель четырехлопастного винта, позволяющая моделировать работу судна в различных режимах промысловых операций и перехода. Базовым выбран винт диаметром 1,5 м, с конструктивным шагом 1,24 м, шагвым отношением 0,827 и дисковым отношением 0,63.

Модель базового варианта насадки со стабилизатором: внутренний диаметр – 1,56 м; длина – 0,8 м; хорда стабилизатора – 0,6 м; высота пера стабилизатора – 1,64 м.

3D-модели поверхности корпуса судна, гребного винта и насадки приведены на рис. 2.

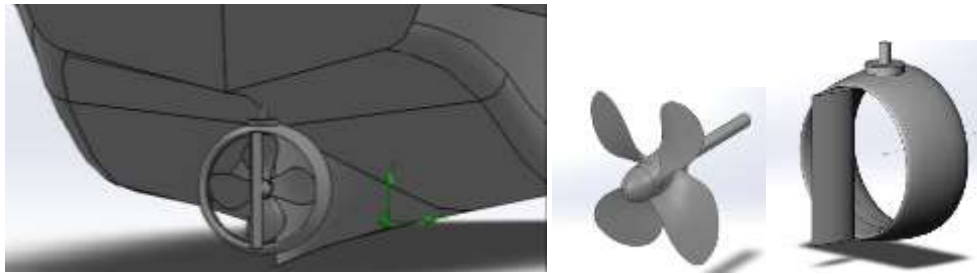


Рис. 2. 3D-модели поверхности корпуса судна, гребного винта и насадки

2. Результаты моделирования

Гидродинамические характеристики винта в свободной воде

При моделировании приняты следующие начальные условия:

- частота вращения винта 350, 400, 450 об/мин;
- скорость набегающего потока от 0 до 8 м/с с шагом 2 м/с.

Результаты расчетов (кривые действия винта): K_t – коэффициент упора; K_q – коэффициент момента; КПД – коэффициент полезного действия винта, приведены на рис. 3.

Результаты расчетов достаточно хорошо согласуются со значениями, полученными по диаграммам винтов регулируемого шага в направляющих насадках, приведенными в справочной литературе (разница составляет 5–10%) [7]. Расчетное значение коэффициента полезного действия винта, установленного на судне, несколько меньше (на 5%), чем у винтов серии В. Однако преимуществом винта регулируемого шага в насадке является его универсальность и возможность управления тягой.

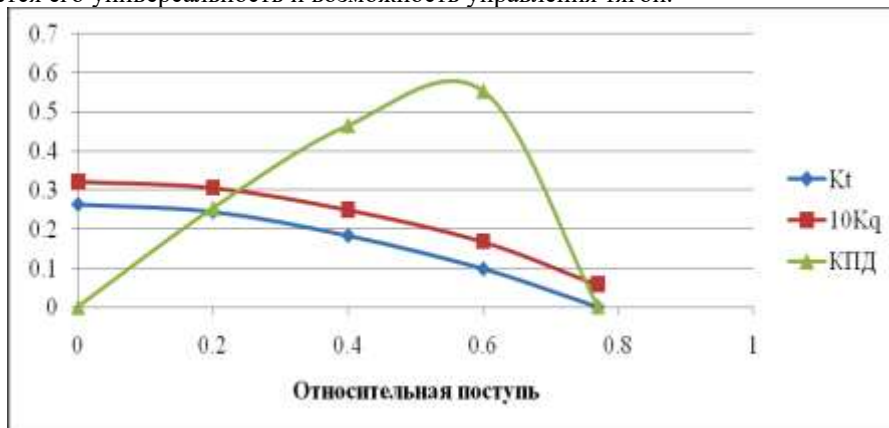


Рис. 3. Кривые действия гребного винта

Выбор размеров винто-рулевого комплекса осуществляется исходя из соображений обеспечения требований ходкости и поворотливости судна. Диаметр, шаг, дисковое отношение гребного винта, а также коэффициенты раствора и расширения насадки определяются в основном из соображений ходкости. В то время как длина насадки, хорда и высота пера стабилизатора – из требований поворотливости [8]. Строго говоря, насадка со стабилизатором и винтом – это система и рассматривать её необходимо с системных позиций.

Влияние корпуса судна и винта на гидродинамические характеристики насадки обусловлено следующими факторами: а) наличием попутного потока за корпусом судна; б) наличием скоса потока воды при дрейфе судна; в) наличием свободной поверхности; г) увеличением скорости потока, набегающего на насадку, создаваемого винтом. Существенное влияние на гидродинамические характеристики насадки, а, следовательно, на ходкость и поворотливость оказывают также скорость судна, частота вращения винта и угол поворота насадки [9].

Поперечная сила и сила сопротивления насадки. Ниже приведены результаты расчетов поперечных сил и сил сопротивления, действующих на изолированную насадку, насадку с вращающимся винтом и с вращающимся винтом за корпусом судна.

Изолированная насадка. Кривые зависимости гидродинамических характеристик (поперечной силы $F(y)$ и силы сопротивления $F(x)$) изолированной насадки со стабилизатором от углов её поворота (при различных скоростях набегающего потока) показаны на рис. 4.

Насадка с вращающимся винтом. Вращающейся гребной винт существенно изменяет поперечную силу насадки вследствие увеличения скорости её обтекания и изменения углов атаки. Это происходит в результате закручивания струи и наличия в ней тангенциальных вызванных скоростей.

При моделировании приняты следующие начальные условия:

- частота вращения винта n : 350, 400, 450 об/мин;
- скорость набегающего потока v : 2, 4, 6 м/с;
- угол поворота насадки α_p : 10, 20, 30 град.

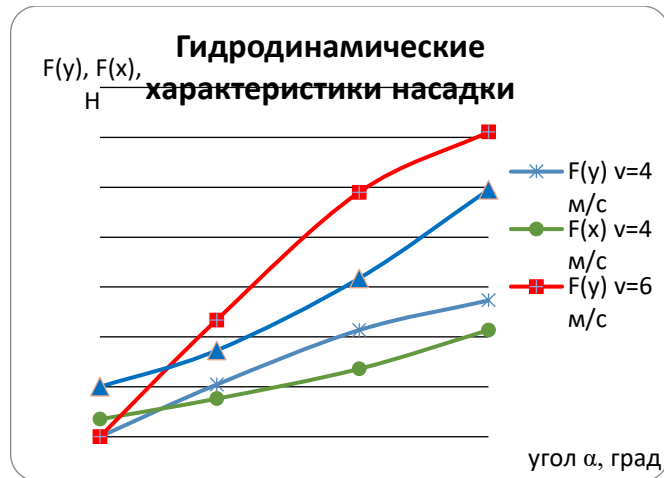
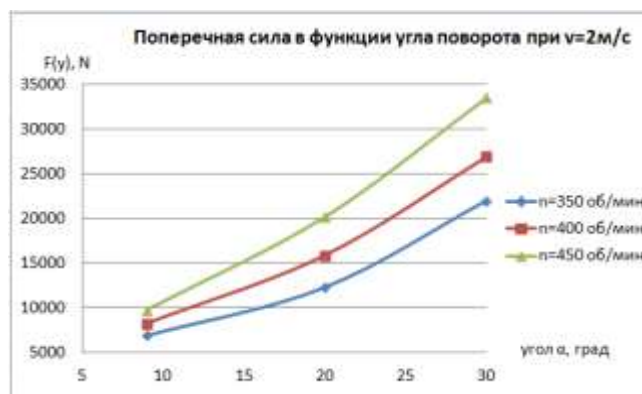


Рис. 4. Зависимость гидродинамических характеристик изолированной насадки от углов её поворота

Поперечная сила зависит от борта перекладки насадки и направления вращения винта. На рис. 5 приведены гидродинамические характеристики, соответствующие направлению перекладки насадки, с наибольшими значениями поперечной силы.



а)



б)

Рис. 5. Зависимость поперечной силы насадки от углов её поворота: а) $v=2$ м/с; б) $v=6$ м/с

Гидродинамические характеристики насадки (поперечные силы $F(y)$ и силы сопротивления $F(x)$) с вращающимся винтом при скорости набегающего потока 4 м/с приведены на рис. 6.

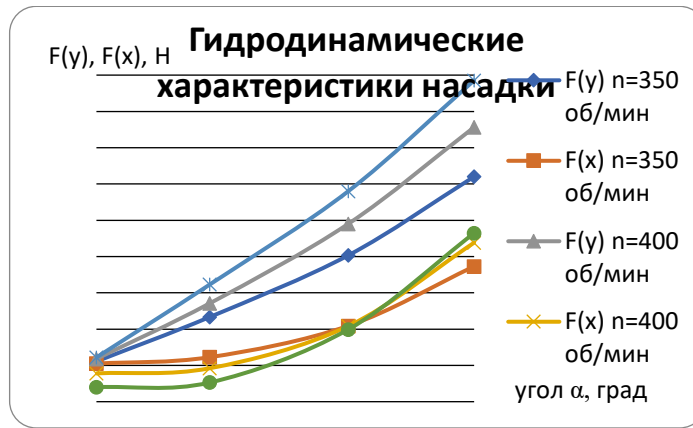


Рис. 6. Гидродинамические характеристики насадки с вращающимся винтом при скорости набегающего потока 4 м/с

Вращающийся в насадке винт формирует струю повышенной скорости, которая, набегающая на профиль насадки, создает дополнительный упор. На малых скоростях дополнительный упор может составлять до 10–15 %.

Дополнительная поперечная сила, возникающая вследствие набегающего потока от вращающегося винта, составляет от 8% до 40% в зависимости от частоты вращения винта.

Насадка с вращающимся винтом за корпусом судна. Зависимость гидродинамических характеристик насадки от углов её поворота с вращающимся винтом за корпусом судна при скорости его движения 4 м/с приведена на рис. 7.

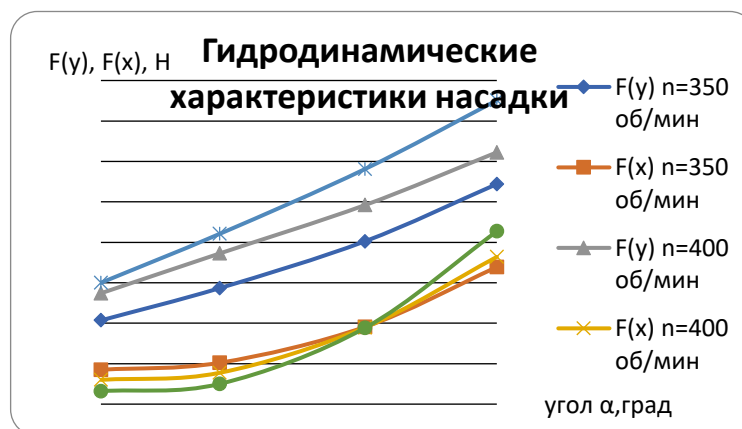


Рис. 7. Зависимость гидродинамических характеристик насадки от углов её поворота с вращающимся винтом за корпусом судна

Наличие тангенциальных скоростей потока, набегающего на насадку, попутного потока и близость обшивки корпуса судна приводит к уменьшению поперечной силы на 18–25%.

Коэффициент попутного потока корпуса судна, скорость потока, набегающего на винт, и коэффициент нагрузки винта по упору определяются в процессе моделирования системы корпус-винт-насадка, но в настоящем исследовании не рассматриваются как результат моделирования.

Поворотливость. В процессе перекадки насадки на ней возникает поперечная сила $F(y)$ и момент этой силы $M(y)$, стремящийся повернуть судно в сторону перекадки насадки. Одновременно с этим появляется сила, вызывающая смещение судна в поперечном направлении в сторону противоположную перекадки насадки. В результате поворота судна меняется направление и скорость набегающего потока, и появляются дополнительные силы, приложенные в центре давления на корпусе судна. Продольная дополнительная сила $P(x)$ увеличивает сопротивление воды, а поперечная $P(y)$ – уравнивает силу поперечного смещения судна и вызывает появление крена.

При малых углах дрейфа β центр давления смещен в нос от центра тяжести судна, и поперечная сила увеличивает поворачивающий момент. По мере увеличения угла дрейфа β центр давления смещается в корму от центра тяжести, а момент, возникающий при этом, уравнивает момент поперечной силы на насадке.

В установившийся период циркуляции наступает равновесие всех сил и моментов, действующих на судно, и циркуляция превращается в окружность диаметром $D_{ц}$. Угол дрейфа и скорость судна на циркуляции стабилизируются и принимают постоянное значение до окончания поворота.

Чем больше угол поворота насадки, тем больше поперечная сила и сила сопротивления воды движению судна и тем больше потеря скорости на циркуляции.

Алгоритм моделирования циркуляции

Маневренный период. В начальный момент судно движется прямолинейно с заданной скоростью (в исследовании поворотливости 4; 5; 6 м/с), затем насадка переключается на угол 10, 20, 30 град.

Эволюционный период. Судно начинает поворачиваться, при этом изменяются траектория движения, угол набегающего потока и сопротивление движению. Угол β , при котором моменты M_{1z} и M_{2z} (см. рис. 8) равны система стабилизируется.

Установившийся период. Определяются сопротивление движению (скорость судна снижается до 3; 4; 5 м/с), центробежная сила, вызывающая крен, и диаметр установившейся циркуляции.

На рис. 8 приведена система сил и моментов, действующих на судно при циркуляции, и картина работы винто-рулевого комплекса с повернутой на 30 град насадкой и вращающимся винтом.

Диаметр циркуляции (по Шенхеру) определяется по приближенной формуле [8]:

$$D_{ци} = \frac{2 \cdot k \cdot V}{C_y \cdot S_p \cdot \cos \alpha_p}, (L)$$

где: k – эмпирический коэффициент, зависящий от отношения $\frac{V}{S_{он} \cdot L}$;

$S_{он}$ – площадь погруженной части диаметральной плоскости судна, м²;

V – объемное водоизмещение судна, м³;

C_y – коэффициент подъемной силы;

S_p – площадь пера руля (насадки), м²;

α_p – угол перекладки пера руля, град.

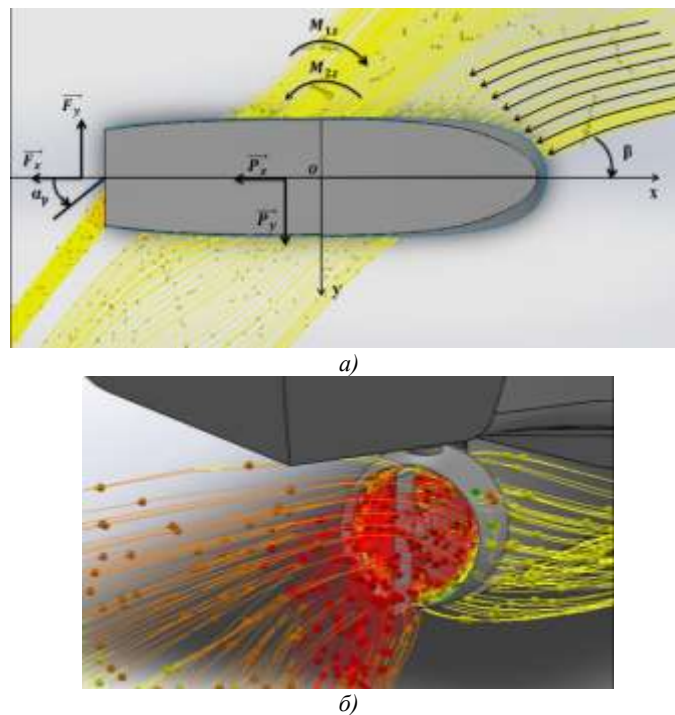


Рис. 8. Иллюстрации к моделированию:
а) силы и моменты, действующие на судно при циркуляции;
б) картина работы винто-рулевого комплекса

Результаты численного моделирования и расчетов по формуле Шенхера приведены на рис. 9.

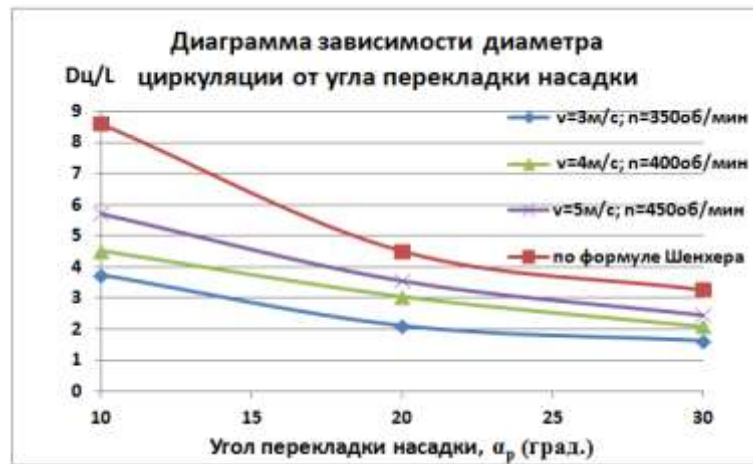


Рис. 9. Диаграмма зависимости диаметра циркуляции от угла перекладки насадки

Завышенные значения диаметра циркуляции, полученные по формуле Шенхера, по сравнению с численными расчетами, можно объяснить следующим образом:

- в формуле Шенхера используется коэффициент подъемной силы пера руля, а не насадки со стабилизатором. Поэтому поперечная сила по Шенхеру меньше, чем в численном исследовании.
- в формуле Шенхера подъемной силы пера руля зависит только от угла атаки, и не зависит от скорости набегающего потока при циркуляции.

3. Заключение

1. Поле скоростей в плоскости диска винта имеет значительную окружную неравномерность, что связано с V-образной формой обводов в кормовой оконечности. Установка насадки несколько сглаживает эту неравномерность и компенсирует снижение (по сравнению с рулем) поперечной силы и тяги винта, возникающих вследствие неравномерности потока.

2. Наличие тангенциальных скоростей потока, набегающего на насадку, попутного потока и близость обшивки корпуса судна приводит к уменьшению поперечной силы на 18–25%. Вращающийся в насадке винт формирует струю повышенной скорости, которая, набегающая на профиль насадки, создает дополнительный упор. На малых скоростях дополнительный упор может составлять до 10–15%. Дополнительная поперечная сила, возникающая вследствие набегающего потока от вращающегося винта, составляет от 8% до 40% в зависимости от частоты вращения винта.

3. С увеличением угла перекладки насадки уменьшается диаметр установившейся циркуляции и увеличивается угол крена. Увеличение скорости на циркуляции вызывает незначительное увеличение диаметра циркуляции.

4. Картина результатов моделирования винто-рулевого комплекса судна, а также численные значения выходных параметров свидетельствуют о пригодности численного моделирования для использования на этапе проектирования и инженерного анализа до проведения экспериментальных исследований.

5. Важным преимуществом численных методов по сравнению с традиционными методами, натурными испытаниями и модельными экспериментами является возможность исследования как системы корпус-насадка-винт в целом, так и каждого элемента в отдельности.

Список литературы:

1. Блищик А.Э., Таранов А.Е. Численное моделирование динамики судна в задачах управляемости и качки. Труды Крыловского государственного научного центра. 2018; 2(384). – С. 29–38.
2. Печенюк А.В. Эталонное тестирование ПК FlowVision в задаче моделирования обтекания судового корпуса // Компьютерные исследования и моделирование. – 2014. – Т. 6. – С. 889–899.
3. Печенюк А.В. Численное моделирование работы гребного винта в составе судовой винто-рулевой колонки // Инженерные системы–2017: Труды Международного форума: Москва, 11–12 апреля 2017 г. / Инжиниринговая компания «ТЕСИС». – 2017. – С. 99–110.
4. Раков А.И. Особенности проектирования промысловых судов. Л.: Судостроение, 1966. – 144 с.
5. Раков А.И. Оптимизация основных характеристик и элементов промысловых судов. Л.: Судостроение, 1978. – 232 с.
6. Рыболовное судно проекта 70133, ООО «Посейдон Звезда», Владивосток.
7. ОСТ 5.4129-75. Комплекс движительный гребной винт–направляющая насадка. Методика расчета и правила проектирования [Текст]: – М.: Изд-во стандартов, 1975. – 202 с.
8. Справочник по теории корабля: в 3 т. т.3. Управляемость водоизмещающих судов. Гидродинамика судов с динамическими принципами поддержания /под ред. Я. И. Войткунского. Л.: Судостроение, 1985. – 539 с.

9. Знамеровский В.П. Теоретические основы управления судном /под ред. проф. Д. В. Дорогостайского и проф. М. М. Лескова. – Л.: Издательство ЛВИМУ, 1974. – 127 с.
10. Molland A.F., Turnock S.R., Hudson D.A. Ship resistance and propulsion: practical estimation of ship propulsive power, Cambridge, GB. University Press, 2011, 544pp.
11. Kwang-Jun Paik, Numerical study on the hydrodynamic characteristics of a propeller operating beneath a free surface. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, Volume 9, Issue 6, November 2017, pp. 655–667.
12. Spyros A. Kinnas, Ye Tian, Abhinav Sharma, Numerical modeling of a marine propeller undergoing surge and heave motion. International Journal of Rotating Machinery, Volume 2012, Article ID 257461, 8 pages.
13. Tu T.N. Numerical simulation of propeller open water characteristics using RANSE method. Alexandria Engineering Journal, Volume 58, Issue 2, 2019, pp. 531-537.
14. Bertram V. Practical ship hydrodynamics (2nd edition), Elsevier, 2011, 390pp.
15. Bugaev V.G., Tung Dam Van, Domashevskaya Ya.R. Study the hull form and propeller-rudder system of the fishing vessel for Vietnam. Proceedings of the Intern. conf. on advances in computational mechanics. Series Lectures Notes in Mechanical Engineering. 2017, pp. 691–700. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-7149-2_47; <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57201007287-19.12.2018>

THE NUMERICAL MODELLING OF HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS OF THE PROPELLER-RUDDER SYSTEM AND TURNING CAPACITY OF THE FISHING VESSEL

Victor G. Bugaev,

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

Dam Van Tung,

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

Yana R. Domashevskaya,

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

Pham Trung Hiep,

Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

Abstract. Adequate assessment of the vessel's turning capacity requires a thorough and detailed analysis of the hull shape and characteristics of the propeller-rudder system, as well as their interaction in the process of fishing operations. The use of experimental and numerical methods is extremely relevant and convenient solution to assess the vessel's turning capacity. An important advantage of numerical methods in comparison with traditional methods, full-scale tests and model experiments are the possibility of studying both the hull-nozzle-propeller system as a whole and each element separately, paying particular attention to its characteristics. The purpose of the research is to substantiate, using numerical methods of the hull shape and the characteristics of the propeller-rudder system (propeller in the nozzle) of the fishing vessel, which is intended for manufacturing and operation in Vietnam. The influence of the hull and the propeller on the hydrodynamic characteristics of the nozzle is due to the following factors: a) the presence of a propeller wave behind the hull; b) the presence of downwash of water flow when the vessel drifts; c) the presence of a free surface; d) increasing the flow rate, which runs on the nozzle, is made by the propeller. The speed of the vessel, the speed of rotation of the propeller and the angle of the nozzle rotation have also a significant influence on the hydrodynamic characteristics of the nozzle, and, consequently, on the propulsion and turning capacity. The results of calculations of the transverse and the resistance force acting on an isolated nozzle, a nozzle with a rotating propeller and with a rotating propeller behind the hull have been presented.

Keywords: fishing vessel, propeller-rudder system, nozzle, turning capacity.

References

1. Blischik A.E., Taranov A YE. Chislennoe modelirovanie dinaviki sudov v zadachach upravlyaemosti i kachki. Trudy Krylovskogo gosudarstvennogo nauchnogo chentra. 2018; 2 (384) – P.29-38.
2. Pechenyuk A.V. Jetalonnnoe testirovanie PK FlowVision v zadache modelirovanija obtekanija sudovogo korpusa [Benchmarking of CEA FlowVision in ship flow simulation] // Computer Research and Modeling. – 2014. – Vol. 6. – P. 889– 899 (in Russian).
3. Pechenyuk A. V. Chislennoe modelirovanie raboty grebnogo vinta v sostave sudovoj Bvinto-rulevoj kolonki [Numerical simulation of marine propeller operation as part of azimuthing thruster] // Engineering systems-2017: Proc. of Int. Conf.: Moscow, April 11-12, 2017 / Inzhiniringovaya kompaniya «TESIS». – 2017. – P. 99 -110 (in Russian).
4. Rakov A.I. Osobennosti proektirovanija promyslovih sudov. L.: Sudostroenie, 1966. – 144 s.
5. Rakov A.I. Optimizacija osnovnyh harakteristik i jelementov promyslovih sudov. L.: Sudostroenie, 1978. – 232 s.
6. Rybolovnoe sudno proekta 70133, OOO «Posejdon Zvezda», Vladivostok.
7. OST 5.4129-75. Kompleks dvizhitel'nyj grebnoj vint–napravljajushhaja nasadka. Metodika rascheta i pravila proektirovanija [Tekst]: – M.: Izd-vo standartov, 1975. – 202 s.
8. Spravochnik po teorii korablja: v 3t. t.3. Upravljaemost' vodoizmeshhajushih sudov. Gidrodinamika sudov s dinamicheskimi principami podderzhanija /pod red. Ja. I. Vojtkunskogo. L.: Sudostroenie, 1985. – 539 s.
9. Znamerovskij V.P. Teoreticheskie osnovy upravleniya sudnom / pod red. prof. D.V. Dorogostajskogo i prof. L. Leskova. – L.: Izdatel'stvo LVIMU, 1974. – 127 s.
10. Molland A.F., Turnock S.R., Hudson D.A. Ship resistance and propulsion: practical estimation of ship propulsive power, Cambridge, GB. University Press, 2011, 544pp.

11. Kwang-Jun Paik, Numerical study on the hydrodynamic characteristics of a propeller operating beneath a free surface. International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, Volume 9, Issue 6, November 2017, pp. 655-667.
12. Spyros A. Kinnas, Ye Tian, Abhinav Sharma, Numerical modeling of a marine propeller undergoing surge and heave motion. International Journal of Rotating Machinery, Volume 2012, Article ID 257461, 8 pages.
13. Tu T.N. Numerical simulation of propeller open water characteristics using RANSE method. Alexandria Engineering Journal, Volume 58, Issue 2, 2019, pp. 531-537.
14. Bertram V. Practical ship hydrodynamics (2nd edition), Elsevier, 2011, 390pp.
15. Bugaev V.G., Tung Dam Van, Domashevskaya Ya.R. Study the hull form and propeller-rudder system of the fishing vessel for Vietnam. Proceedings of the Intern. conf. on advances in computational mechanics. Series Lectures Notes in Mechanical Engineering. 2017, pp. 691-700. URL:https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-981-10-7149-2_47; <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57201007287-19.12.2018>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Виктор Григорьевич Бугаев, д.т.н., профессор кафедры кораблестроения и океанотехники, Инженерной школы, Дальневосточный федеральный университет (ФГАОУ ВО «ДВФУ»), 690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс-10, email: v_bugaev@mail.ru

Дам Ван Тунг, аспирант, кафедры кораблестроения и океанотехники, Инженерной школы, Дальневосточный федеральный университет (ФГАОУ ВО «ДВФУ»), 690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс-10, e-mail: damvantung@mail.ru

Яна Руслановна Домашевская, аспирант, кафедры кораблестроения и океанотехники, Инженерной школы, Дальневосточный федеральный университет (ФГАОУ ВО «ДВФУ»), 690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс-10, e-mail: 100-70-100dom@mail.ru

Фам Чунг Хиеп, аспирант, кафедры кораблестроения и океанотехники, Инженерной школы, Дальневосточный федеральный университет (ФГАОУ ВО «ДВФУ»), 690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс-10, e-mail: phiepast07@gmail.com

Victor G. Bugaev, doctor of Engineering Sciences, professor of the Department of Shipbuilding and ocean engineering, School of engineering, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok 690922

Dam Van Tung, postgraduate student of the Department of Shipbuilding and ocean engineering, School of engineering, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok 690922

Yana R. Domashevskaya, postgraduate student of the Department of Shipbuilding and ocean engineering, School of engineering, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok 690922

Pham Trung Hiep, postgraduate student of the Department of Shipbuilding and ocean engineering, School of engineering, Far Eastern Federal University, 10 Ajax Bay, Russky Island, Vladivostok 690922

Статья поступила в редакцию 11.12.2019 г.