

УДК 629.5.035.5

Ю. М. КОРОЛЬ^{1*}, О. Н. КОРНЕЛЮК²

^{1*}Каф. «Гидромеханика и гидротехника», Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, пр-т Героев Сталинграда, 9, Николаев, Украина, 54025, тел. +38 (066) 188 21 34, эл. почта y_korol@nuos.edu.ua, ORCID 0000-0001-6588-7798

²Каф. «Информационные технологии и физико-математические дисциплины», Херсонский филиал, Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, пр-т Ушакова, 44, Херсон, Украина, 73000, тел. +38 (050) 503 42 30, эл. почта y_korol@nuos.edu.ua, ORCID 0000-0002-2444-1340

ВЛИЯНИЕ ЛОПАСТНЫХ И ПРОФИЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ГИДРОДИНАМИЧЕСКУЮ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ

Цель. Для обоснования экспериментальных методов необходимо: 1) сформировать 3D-модели исследуемых гребных винтов; 2) изучить влияние профилировки лопасти гребного винта на его гидродинамические характеристики; 3) разработать методику задания оптимальных параметров проекта для моделирования работы гребного винта в свободной воде, которые в дальнейшем можно было бы рекомендовать при моделировании подобных задач в CFD-пакете Flow Vision. **Методика.** Разработана технология проектирования гребных винтов новых серий. Впервые предложена методика постановки проекта в среде CFD-пакета Flow Vision для исследования работы гребного винта в свободной воде. **Результаты.** На примере решения практической задачи по исследованию влияния профилировки лопасти на эффективность гребного винта обоснована целесообразность разработки предложенной методики постановки проекта для расчёта гребных винтов в CFD-пакете Flow Vision. Применение данной методики позволяет получить достоверные значения гидродинамических характеристик винта для построения кривых действия, а также сократить расчётное время. Такой подход дает возможность оптимизировать процесс проектирования гребных винтов. **Научная новизна.** Путём проведения многочисленных экспериментов и на основании анализа полученных результатов было установлено, что именно профилировка гребного винта в большей степени влияет на его гидродинамические характеристики. Выбор и расчёт гребного винта для проектируемого судна происходит на ранних стадиях проектирования. Поэтому обоснование выбора той или иной геометрии винта является задачей актуальной. Предложена и обоснована методика задания параметров проекта для проведения численных экспериментов при изучении работы гребных винтов в свободной воде. Таким образом, можно проектировать не только серийные винты, но и винты новых серий, максимально сокращая расходы на проведение исследований наряду с достоверностью получаемых результатов расчёта. **Практическая значимость.** Авторами установлено, что влияние профилировки лопасти гребного винта на его гидродинамические характеристики больше, чем влияние других общих и лопастных характеристик. Разработанная методика постановки проекта для расчёта гребных винтов в CFD-пакете Flow Vision может быть использована при проектировании винтов как новых серий, так и уже существующих, а также в случае оптимизации формы гребного винта с целью обеспечения наибольшего коэффициента полезного действия (КПД). Применение методики позволит сократить время на проведение численного эксперимента за счёт сходимости решения через сравнительно небольшой отрезок времени.

Ключевые слова: численный эксперимент; профилировка лопасти гребного винта; CFD-пакет; несерийный гребной винт; 3D-модель гребного винта; высокая эффективность; гидродинамика

Введение

Одним из критериев эффективности гребного винта является значение его коэффициента полезного действия. Ввиду того, что до 60 % эксплуатационных затрат на морские перевозки приходится на топливо, следует отметить актуальность совершенствования формы гребных винтов как одного из направлений обеспечения

экономии дорогостоящего топлива во время эксплуатации судов.

При проектировании высокоэффективных гребных винтов необходимо учитывать влияние их геометрии и формы поверхности на гидродинамические характеристики [8, 10, 11]. По результатам исследований, описываемых в данной статье, и с учётом разработанной ме-

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

тодики задания параметров проекта в CFD-пакете для моделирования работы гребных винтов в свободной воде, следует отметить, что основополагающим фактором, влияющим на гидродинамику винта, остаётся профилировка лопасти проектируемого гребного винта.

Цель

Целью данных исследований является обоснование при помощи теоретических и экспериментальных методов связи между лопастными и профильными характеристиками гребного винта на его гидродинамическими характеристиками. Для достижения цели в исследовании предусмотрено разработать методику постановки проекта в среде CFD-пакета Flow Vision для исследования работы гребного винта в свободной воде, изучить адекватность этой методики путём проведения численных экспериментов с винтами различной профилировки и оценки достоверности полученных результатов с помощью верификации.

Методика

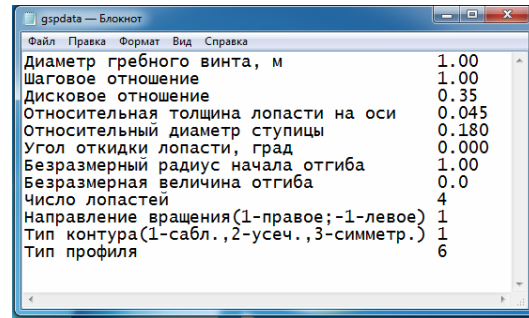
На сегодняшний день основным способом получения оптимального решения задач проектирования судов и судовых движителей, в частности, является многовариантное проектирование, которое возможно только с использованием компьютерных технологий, что позволяет сократить количество модельных экспериментов в опытовых бассейнах [9]. В публикации [5] описана разработанная авторами схема проектирования эффективных гребных винтов. В рамках проектирования винтов по такой схеме проведены исследования влияния профилировки лопасти на коэффициент полезного действия гребного винта. Суть исследования состоит в построении кривых действия исследуемых гребных винтов путём проведения численных экспериментов и сравнения их данных между собой. Такой путь позволяет сделать выводы об их эффективности.

Таким образом, задача была разбита на следующие этапы:

I этап. Выбор геометрических характеристик исследуемых винтов

К общим геометрическим параметрам относятся: диаметр гребного винта, шагвое отно-

шение, дисковое отношение, угол откидывания лопасти, число лопастей и другое. В качестве общих параметров для исследования гидродинамических характеристик гребного винта выбраны значения, указанные на рис. 1 (это строки 1–11).



Параметр	Значение
Диаметр гребного винта, м	1.00
Шаговое отношение	1.00
Дисковое отношение	0.35
Относительная толщина лопасти на оси	0.045
Относительный диаметр ступицы	0.180
Угол откидки лопасти, град	0.000
Безразмерный радиус начала отгиба	1.00
Безразмерная величина отгиба	0.0
Число лопастей	4
Направление вращения (1-правое; -1-левое)	1
Тип контура (1-сабл., 2-усеч., 3-симметр.)	1
Тип профиля	6

Рис. 1. Исходные данные для программы-генератора поверхности гребных винтов GSP3D, описанной в [4]

Fig. 1. The initial data for the program-generator of the surface of propellers GSP3D, described in [4]

Следует отметить, что в качестве базового выбран четырёхлопастной гребной винт правого вращения с саблевидным типом контура.

II этап. Выбор профилировки лопастей

Лопастные параметры детально характеризуют форму лопасти винта и их, в свою очередь, можно разделить на две группы. К первой группе относятся параметры, определяющие форму контура лопасти и характеристики винтовой поверхности. А именно: $\bar{b}_{in}(\bar{r})$ – закон изменения безразмерной ординаты входящей кромки спрямленной лопасти вдоль радиуса; $\bar{c}_b(\bar{r})$ – закон изменения безразмерной длины хорды профиля вдоль радиуса; $\bar{P}_d(\bar{r})$ – закон изменения шагвого отношения вдоль радиуса лопасти, а:

$$b_{in}(r) = c_{bm} \bar{b}_{in}(\bar{r}), \quad c_b(r) = c_{bm} \bar{c}_b(\bar{r}),$$

$$\frac{P}{D}(r) = \frac{P_c}{D} \bar{P}_d(\bar{r}), \quad \bar{r} = \frac{2r}{D},$$

где r – текущий радиус, c_{bm} – максимальная ширина (длина хорды) лопасти, $\frac{P_c}{D}$ – конструктивное шагвое отношение. Ко второй группе относятся параметры, определяющие форму профиля лопасти.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

Лопать винта имеет на каждом радиусе профильные сечения различной толщины, длины хорды и других профильных характеристик, в дальнейшем называемых профилировкой. Другими словами, речь идёт о параметрах, определяющих форму профиля лопасти. Количество, сущность и значения этих параметров зависят от типа профиля. Также известно, что чем больше средняя линия профиля отклоняется от нуля, тем винт становится более саблевидным.

При одинаковых общих геометрических параметрах исследовались винты с профилями (рис. 3):

- профиль серии «В»;
- саблевидный профиль, близкий к профилю серии В;
- NACA6556XX;
- NACA6633XX.

На рис. 2 представлены профили винтов, сформированных с помощью авторской программы FoilGen, которая позволяет с минимальным количеством исходных данных формировать профили различных серий гребных винтов.

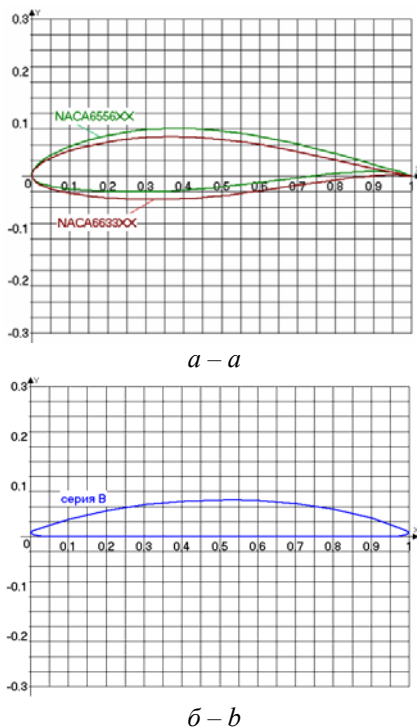


Рис. 2. Профили гребных винтов:
a – серии NACA6556XX, NACA6633XX; б – серия «В»

Fig. 2. Profiles of propellers:
a – series NACA6556XX, NACA6633XX; b-series B

III этап. Подготовка данных для построения поверхности моделей гребных винтов

Таким образом, путём изменения перед запуском программы GSP3D [4] номера профиля (строка 12 на рис. 1) были сформированы массивы координат поверхности гребных винтов для построения их 3D-моделей. Закон изменения максимальной толщины профиля вдоль радиуса для всех моделей винтов оставался одинаковым. Это связано с обеспечением прочности лопастей гребного винта.

IV этап. Создание 3D-моделей гребных винтов

Далее в CAD SolidWorks [1] на основе данных, подготовленных на этапе III, построены 3D-модели винтов, представленные на рис. 3.

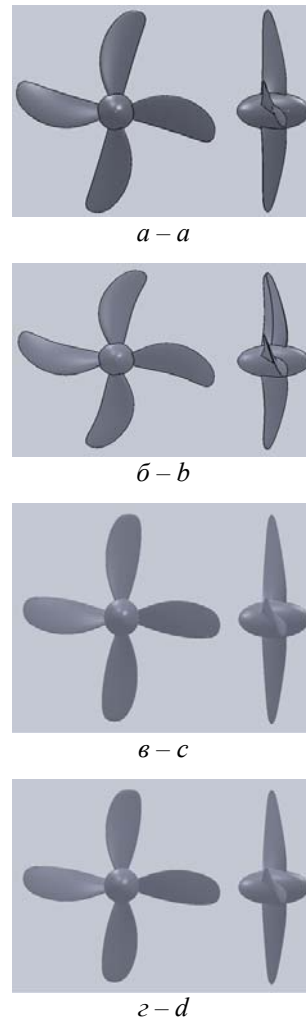


Рис. 3. 3D-модели винтов

Fig. 3. 3D models of screws

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

V этап. Расчёт гребных винтов в CFD-пакете Flow Vision

В CFD-пакете Flow Vision существует несколько способов задания расчётной области: 1) вставкой поверхности винта в бокс при помощи фильтра подвижного тела; 2) заданием бокса с вырезом внутри в форме поверхности винта; 3) использованием внешнего бокса со скользящей поверхностью [6, 7].

Отличные результаты были получены путём задания расчётной области третьим способом. При использовании внешнего бокса со скользящей поверхностью расчётная область в формате STL состоит из трёх областей, для двух из которых – рабочих, задаются граничные условия согласно рис. 4.

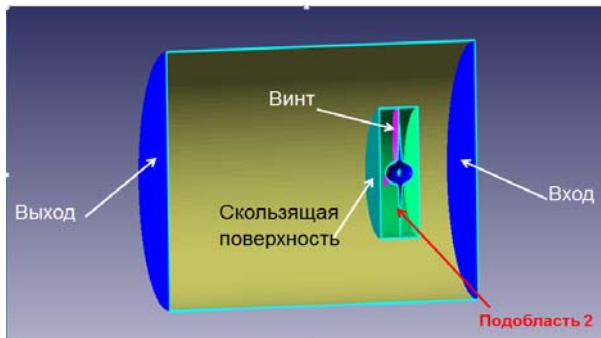


Рис. 4. Бокс с использованием граничного условия. Скользящая поверхность

Fig. 4. Box using the boundary condition. Sliding surface

В результате многочисленных экспериментов, опубликованных авторами ранее в [2, 3], при постанове проекта было принято решение задать следующие параметры:

- модель «Несжимаемая жидкость» с $k - \epsilon$ моделью турбулентности;
- локально измельчённую расчётную сетку 100/50/50;
- расчётный шаг по времени $\Delta t = 0,001$;
- слои визуализации: векторы по скорости; заливку по давлению, характеристики по давлению;
- скорость потока воды в зависимости от поступления J исследуемого гребного винта: 1 м/с, 4 м/с, 5 м/с;
- скорость вращения гребного винта (5 об/с);
- уровень адаптации сетки по поверхности у гребного винта – 2.

Результаты расчёта формируются в слое «Характеристики и давление» в виде файла с расширением *.glo, в котором содержатся значения сил и моментов, действующих на гребной винт при заданных значениях частоты n и скорости v_p на входе. Далее рассчитываются безразмерные характеристики $K_T = \frac{T}{\rho n^2 D^4}$,

$$K_Q = \frac{Q}{\rho n^2 D^5} \text{ и } \eta_p = \frac{K_T J_p}{K_Q 2\pi}$$

ставлены результаты таких расчётов для винта серии «В» – сплошные линии соответствуют модельному эксперименту, результаты которого опубликованы в [3], точки – численному эксперименту, приведенному в CFD-пакете Flow Vision.

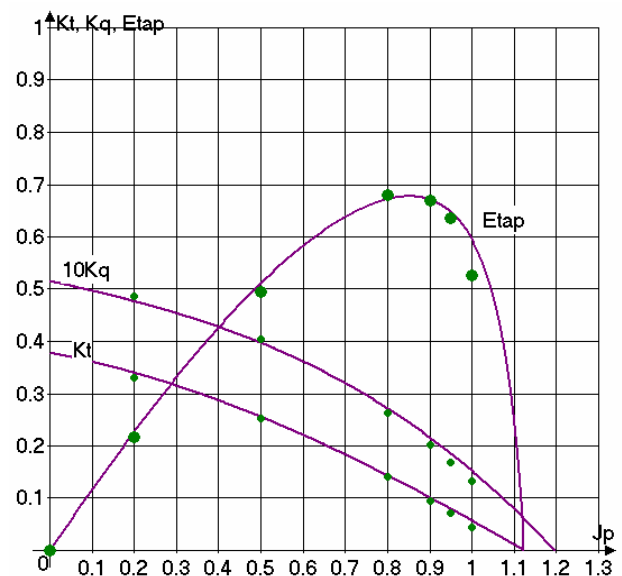


Рис. 5. Кривые действия гребного винта с профилем серии «В» (физический и численных экспериментов)

Fig. 5. Propeller action curves with profile «B» (physical and numerical experiments)

Результаты

В процессе верификации результатов численных экспериментов, проведённых в ходе исследования, использованы результаты модельных экспериментов, опубликованные ранее для гребных винтов серии «В». Абсолютно подобная 3D-модель такого винта была рассчитана в CFD-пакете Flow Vision. На рис. 5 сплош-

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

ные линии соответствуют модельному эксперименту, точки – численному эксперименту, приведённому в CFD-пакете Flow Vision. Отсюда следует, что результаты численных экспериментов достоверные. Дальнейшие исследования проходили по двум направлениям:

А. Разработка методики постановки проекта для расчёта гребных винтов в CFD-пакете Flow Vision. Дело в том, что каждый CFD-пакет требует верификации и предварительного его освоения в силу его сложности. При задании одинаковой сетки для винтов с различной профилировкой наблюдалось снижение КПД при шаге больше 0,9. Разработанная методика позволяет максимально сократить время проведения численного эксперимента за счёт сходимости результатов уже на 200 итерации (рис. 6). Это достигнуто за счёт исследования влияния размерности сетки расчётной области и, как следствие, уменьшения количества расчётных ячеек до 300 000. Кроме того, экспериментально установлено влияние расчётного шага на результаты. Рекомендуется при шагах винта больше 0,95 увеличивать сетку на 20 % вдоль осей X, Y, Z соответственно. При этом расчётный шаг задаётся не как фиксированный, а путём задания числа Куранта, равного 0,5.

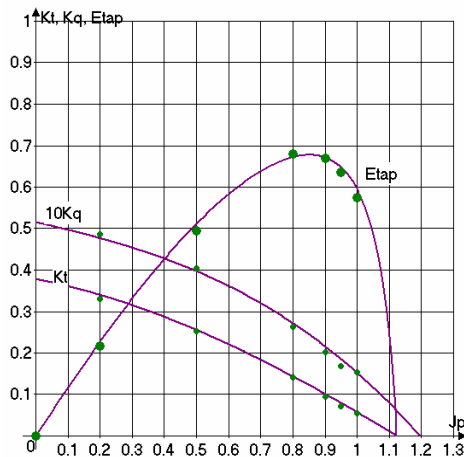


Рис. 6. Результат применения разработанной методики постановки проекта в CFD-пакете Flow Vision

Fig. 6. The result of the developed methods application of the project in CFD package Flow Vision

Производительность выполненных расчётов в CFD-пакете Flow Vision представлена в табл. 1.

Таблица 1

Производительность

Table 1

Productivity

Параметр	$J < 0,95$	$J \geq 0,95$
Время 1-й итерации	1,74 минуты	1,98 минуты
Количество расчётных ячеек	300 000	400 000
Сходимость расчёта/ Вре- мя расчёта	в среднем на 120 итераций / 209 минут	в среднем на 350 итераций / 691 минута

Б. Проведение численных экспериментов с винтами различной профилировки. Результаты расчёта представлены на рис. 7 в виде кривых действия гребных винтов. Исследования доказали влияние профилировки на гидродинамические характеристики винтов. Придание саблевидности профилю, близкому к серии «В», привело к увеличению КПД гребного винта.

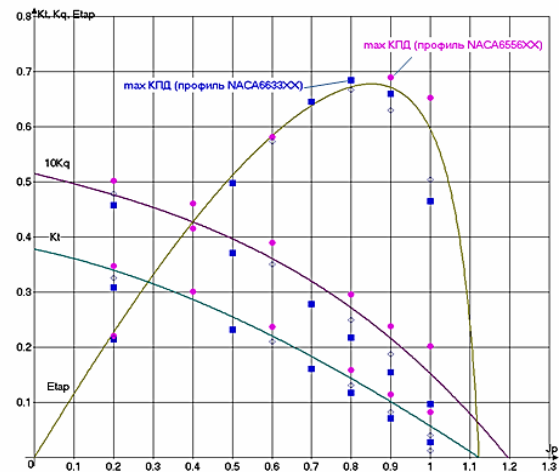


Рис. 7. Анализ результатов расчёта: точки в виде квадратов – профиль NACA6633XX, точки в виде кружков – профиль NACA6556XX, точки в виде ромбов – профиль саблевидный, близкий к серии «В»

Fig. 7. Analysis of calculation results: points in the form of squares – profile NACA6633XX, points in the form of circles – profile NACA6556XX, points in the form of rhombuses – the profile is saber-like, close to series «В»

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

Результаты, полученные при исследовании винтов с другими профилями, говорят об их преимуществе в сравнении с профилем серии «В». КПД гребного винта серии НАСА6556 при шаге 0,9 наибольший – на 2,7 % больше, чем у винта серии «В». В свою очередь КПД винта серии НАСА6633 имеет максимальный КПД, на 0,7 % меньший, чем у серии НАСА6556, однако при этом шаг его составляет 0,8. Этот шаг более приближен к реальным режимам работы гребного винта.

Научная новизна и практическая значимость

Путём проведения многочисленных экспериментов и на основании анализа полученных результатов было установлено, что именно профилировка гребного винта в большей степени влияет на его гидродинамические характеристики. Выбор и расчёт гребного винта для проектируемого судна происходит на ранних стадиях проектирования. Поэтому обоснование выбора той или иной геометрии винта является задачей актуальной. Разработанная методика постановки проекта для расчёта гребных винтов в CFD-пакете Flow Vision может быть использована при проектировании винтов как новых серий, так и уже существующих, а также в случае оптимизации формы гребного винта с целью обеспечения наибольшего КПД. Применение методики позволит сократить время на проведение численного эксперимента за счёт

получения решения через сравнительно небольшой отрезок времени.

Выводы

1. Очевидно, что гидродинамические характеристики гребных винтов, а именно: коэффициент упора $K_T\left(\frac{P}{D}, J_P\right)$ и коэффициент момента $K_Q\left(\frac{P}{D}, J_P\right)$ – явно зависят от шагового отношения $\frac{P}{D}$ и относительного шага $J_P = \frac{v_P}{nD}$ и неявно зависят от профилировки лопастей.

2. Установлено влияние профилировки лопастей на указанные характеристики K_T, K_Q .

3. Очевидно, что, действуя подобным образом, можно подбирать как тип профиля, так и зависимость его характеристик от радиуса лопасти, которые будут способствовать повышению КПД гребных винтов на расчетных режимах их работы.

4. Известны более двадцати серий гребных винтов, на основании которых проектируются новые. Однако, в эксплуатации, КПД гребных винтов, как правило, достигает не более 65 %. Таким образом, разработанная схема проектирования гребных винтов новых серий [5], а также разработанная методика постановки проекта для расчёта гребных винтов в CFD-пакете Flow Vision являются актуальными и имеют практическое значение.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Алямовский, А. А. Solid Works 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А. А. Алямовский. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2008. – 1040 с.
2. Гидродинамический анализ судна в программном комплексе Flow Vision [Электронный ресурс] / А. А. Аксенов, В. В. Шмелев, А. В. Печенюк, Б. Н. Станков, В. Г. Пасечник // Rational Enterprise Management. – 2007. – № 3. – С. 64-67.
3. Корнелюк, О. Н. Расчёт гидродинамических характеристик гребного винта при работе в свободной воде в CFD-пакете Flow Vision / О. Н. Корнелюк // 36. наук. пр. / Нац. ун-т кораблебудування ім. адмірала Макарова. – Миколаїв, 2016. – № 2. – С. 34–39. doi: 10.15589/jnn20160205.
4. Король, Ю. М. Автоматизированная генерация данных для построения твердотельных моделей гребных винтов / Ю. М. Король, О. Н. Рудько // 36. наук. пр. / Нац. ун-т кораблебудування ім. адмірала Макарова. – Миколаїв, 2008. – № 1. – С. 56–61.
5. Новый метод проектирования высокоэффективных гребных винтов [Электронный ресурс] / Ю. М. Король, О. Н. Корнелюк // Инновации в судостроении и океанотехнике : материалы V междунар. науч.-техн. конф. – Николаев, 2014. – Режим доступа: http://portal.fke.utm.my/libraryfke/files/541_sazilabhintisalleh2010.pdf. – Загл. с экрана. – Проверено : 02.07.2017.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

6. Применение системы инженерного анализа FlowVision для решения прикладных задач гидродинамики судна [Электронный ресурс] / Б. Н. Станков, А. В. Печенюк // САПР и графика. – 2006. – № 11. – С. 50–56. – Режим доступа: <http://sapr.ru/article/16904>. – Загл. с экрана. – Проверено: 04.07.2017.
7. Чижумов, С. Д. Основы гидродинамики : учеб. пособие / С. Д. Чижумов. – Комсомольск-на-Амуре : ГОУВПО «КнАГТУ», 2007. – 106 с.
8. Application of Dynamic Mesh in Analysis of Propeller Hydrodynamic Characteristics / F. L. Wu, Y. L. Peng, Z. G. Zhang, G. D. Wang // Applied Mechanics and Materials. – 2012. – Vol. 212–213. – P. 1112–1118. doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.212-213.1112.
9. Bulten, N. Optimum propeller design leads to higher ship efficiency [Электронный ресурс] / N. Bulten // Wärtsilä Technical Journal. – 2014. – 23 Oct. – Режим доступа: <https://www.wartsila.com/twentyfour7/in-detail/optimum-propeller-design-leads-to-higher-ship-efficiency>. – Загл. с экрана. – Проверено: 04.07.2017.
10. Ou, L. J. Influence Analysis of Blade Fracture on Hydrodynamic Performance of Ducted Propellers Based on CFD / L. J. Ou, D. Y. Li, W. Zhang // Applied Mechanics and Materials. – 2013. – Vol. 300–301. – P. 1071–1076. doi: 10.4028/www.scientific.net/amm.300-301.1071.
11. The Hydrodynamic Analysis of Propeller Based on ANSYS-CFX / D. Z. Wang, D. Wang, L. Mei, W. C. Shi // Advanced Materials Research. – 2013. – Vol. 694–697. – P. 673–677. doi: 10.4028/www.scientific.net/amr.694-697.673.

Ю. М. КОРОЛЬ^{1*}, О. М. КОРНЕЛЮК²

^{1*}Каф. «Гідромеханіка та гідротехніка», Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, пр-т Героїв Сталінграда, 9, Миколаїв, Україна, 54025, тел. +38 (066) 188 21 34, ел. пошта y_korol@nuos.edu.ua, ORCID 0000-0001-6588-7798

²Каф. «Інформаційні технології та фізико-математичні дисципліни», Херсонський філіал, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, пр-т Ушакова, 44, Херсон, Україна, 73000, тел. +38 (050) 503 42 30, ел. пошта do_life@rambler.ru, ORCID 0000-0002-2444-1340

ВПЛИВ ЛОПАТЕВИХ ТА ПРОФІЛЬНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НА ГІДРОДИНАМІЧНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ ГРЕБНИХ ГВИНТІВ

Мета. Для обґрунтування експериментальних методів необхідно: 1) сформувати 3D-моделі досліджуваних гребних гвинтів; 2) вивчити вплив профілювання лопаті гребного гвинта на його гідродинамічні характеристики; 3) розробити методику завдання оптимальних параметрів проекту для моделювання роботи гребного гвинта у вільній воді, які в подальшому можна було б рекомендувати при моделюванні подібних завдань в CFD-пакеті Flow Vision. **Методика.** Розроблено технологію проектування гребних гвинтів нових серій. Вперше запропонована методика постановки проекту в середовищі CFD-пакета Flow Vision для дослідження роботи гребного гвинта у вільній воді. **Результати.** На прикладі вирішення практичного завдання по дослідженню впливу профілювання лопаті на ефективність гребного гвинта обґрунтовано доцільність розробки запропонованої методики постановки проекту для розрахунку гребних гвинтів в CFD-пакеті Flow Vision. Застосування даної методики дозволяє отримати достовірні значення гідродинамічних характеристик гвинта для побудови кривих дії, а також скоротити розрахунковий час. Такий підхід дає можливість оптимізувати процес проектування гребних гвинтів. **Наукова новизна.** Шляхом проведення численних експериментів та на підставі аналізу отриманих результатів було встановлено, що саме профілювання гребного гвинта в більшій мірі впливає на його гідродинамічні характеристики. Вибір та розрахунок гребного гвинта для судна, що проектується, відбувається на ранніх стадіях проектування. Тому обґрунтування вибору тієї чи іншої геометрії гвинта є завданням актуальним. Запропоновано та обґрунтовано методику завдання параметрів проекту для проведення чисельних експериментів при вивченні роботи гребних гвинтів у вільній воді. Таким чином можна проектувати не тільки серійні гвинти, а й гвинти нових серій, максимально скорочуючи витрати на проведення досліджень, отримуючи при цьому достовірні результати розрахунку. **Практична значимість.** Авторами встановлено, що вплив профілювання лопаті гребного гвинта на його гідродинамічні характеристики більше, ніж вплив інших загальних і лопатевих характеристик. Розроблена методика постановки проекту для розрахунку гребних гвинтів у CFD-пакеті Flow Vision може бути використана при проектуванні гвинтів як нових серій, так і вже існуючих, а також у разі оптимізації форми гребного гвинта з метою забезпечення найбільшого коефіцієнту корисної дії (ККД). Застосування методики дозволить

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

скоротити час на проведення чисельного експерименту за рахунок збіжності рішення через порівняно невеликий відрізок часу.

Ключові слова: чисельний експеримент; профілювання лопаті гребного гвинта; CFD-пакет; несерійний гребний гвинт; 3D-модель гребного гвинта; висока ефективність; гідродинаміка

Y. M. KOROL^{1*}, O. M. KORNELYUK²

^{1*}Dep. «Hydromechanics and Hydraulic Engineering», Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Geroyev Stalingrada Av., 9, Nikolayev, Ukraine, 54025, tel. +38 (066) 188 21 34, e-mail y_korol@nuos.edu.ua, ORCID 0000-0001-6588-7798

²Dep «Information Technologies and Physical and Mathematical Disciplines», Kherson Branch, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Ushakov Av., 44, Kherson, Ukraine, 73000, tel. +38 (050) 503 42 30, e-mail do_life@rambler.ru, ORCID 0000-0002-2444-1340

INFLUENCE OF BLADE AND PROFILE CHARACTERISTICS ON HYDRODYNAMIC EFFICIENCY OF MARINE PROPELLERS

Purpose. The study involves: 1) formation of 3D propeller models under study; 2) studying of the effect of profiling the blade of the propeller on its hydrodynamic characteristics; 3) development of a methodology for specifying optimal project parameters for modeling the operation of a propeller in free water, which in the future could be recommended when simulating similar tasks in the CFD package Flow Vision. **Methodology.** The technology of design of propellers of new series was developed. For the first time, the project methodology was proposed in the CFD package Flow Vision for studying the operation of a propeller in free water. **Findings.** On the example of solving a practical problem for studying the influence of blade profiling on the efficiency of a propeller, the expediency of developing the proposed methodology for setting a propeller design in the CFD package Flow Vision is justified. The using of this technique makes it possible to obtain reliable values of the propeller hydrodynamic characteristics for constructing its action curves, and also to reduce the estimated time. This approach makes it possible to optimize the process of designing propellers. **Originality.** Through numerous experiments and based on the analysis of the obtained results, it was found that the profiling of the propeller mainly affects its hydrodynamic characteristics. The choice and calculation of the propeller for the projected vessel occurs in the early stages of design. Therefore, the rationale for choosing one or another geometry of the marine propeller is a topical task. A method for specifying project parameters for conducting numerical experiments in studying the operation of propellers in free water was proposed and justified. Thus, it is possible to design not only the serial screws, but also the new series propellers, minimizing the costs of carrying out the research along with the reliability of the resulting calculation results. **Practical value.** Authors established that the influence of the propeller blade profiling on its hydrodynamic characteristics is greater than the influence of its other general and blade characteristics. The developed design methodology for the calculation of propellers in the CFD package Flow Vision can be used to design the marine propellers of both new series and existing ones, and also in the case of optimizing the shape of the propeller to ensure the greatest efficiency. The application of the technique will allow reducing the time for conducting a numerical experiment due to the convergence of the solution in a relatively short time.

Keywords: numerical experiment; profiling blade propeller; CFD package; non-serial propeller; 3D model of the marine propeller; high efficiency; hydrodynamic

REFERENCES

1. Alyamovskiy, A. A. (2008). *Solid Works 2007/2008. Kompyuternoye modelirovaniye v inzhenernoy praktike*. St. Petersburg: BHV-Peterburg.
2. Aksenov, A. A., Shmelev, V. V., Pechenyuk, A. V., Stankov, B. N. & Pasechnik, V. G. (2007). *Gidrodinamicheskiiy analiz sudna v programmnom komplekse Flow Vision. Rational Enterprise Management*, 3, 64-67.
3. Kornelyuk, O. N. (2016). Calculation of the hydrodynamic characteristics of the screw propeller when working in the free water in CFD-package Flow Vision. *Collection of Scientific Publications NUS*, 2, 34-39. doi:10.15589/jnn20160205
4. Korol, Y. M., & Rudko, O. N. (2008). Avtomatizirovannaya generatsiya dannykh dlya postroyeniya tverdotelnykh modeley grebnykh vintov. *Collection of Scientific Publications NUS*, 1, 56-61.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

5. Korol, Y. M., & Kornelyuk, O. N. (2014). Novyy metod proyektirovaniya vysokoeffektivnykh grebnykh vintov. *Proceedings of the V International Conference on «Innovatsii v sudostroenii i okeanotekhnike», October 08-10, 2014, Nikolaev*. Retrieved from <https://www.usenix.org/system/files/conference/woot17/woot17-paper-bock.pdf>
6. Stankov, B. N., & Pechenyuk, A. V. (2006). Primeneniye sistemy inzhenerenogo analiza FlowVision dlya resheniya prikladnykh zadach gidrodinamiki sudna. *SAPR i grafika*, 11, 50-56. Retrieved from <http://sapr.ru/article/16904>
7. Chizhiumov, S. D. (2007). *Osnovy gidrodinamiki* [tutorial]. Komsomolsk-on-Amur: Komsomolsk-na-Amure State Technical University.
8. Wu, F. L., Peng, Y. L., Zhang, Z. G., & Wang, G. D. (2012). Application of Dynamic Mesh in Analysis of Propeller Hydrodynamic Characteristics. *Applied Mechanics and Materials*, 212-213, 1112-1118. doi:10.4028/www.scientific.net/amm.212-213.1112
9. Bulten, N. (2014, October 23). Optimum propeller design leads to higher ship efficiency. *Wärtsilä Technical Journal*. Retrieved from <https://www.wartsila.com/twentyfour7/in-detail/optimum-propeller-design-leads-to-higher-ship-efficiency>
10. Ou, L. J., Li, D. Y., & Zhang, W. (2013). Influence Analysis of Blade Fracture on Hydrodynamic Performance of Ducted Propellers Based on CFD. *Applied Mechanics and Materials*, 300-301, 1071-1076. doi:10.4028/www.scientific.net/amm.300-301.1071
11. Wang, D. Z., Wang, D., Mei, L., & Shi, W. C. (2013). The Hydrodynamic Analysis of Propeller Based on ANSYS-CFX. *Advanced Materials Research*, 694-697, 673-677. doi:10.4028/www.scientific.net/amr.694-697.673

Статья рекомендована к публикации д.т.н., проф. А. В. Щедролосевым (Украина); к.физ.-мат.н., доц. Н. Л. Дон (Украина)

Поступила в редколлегию: 17.03.2017

Принята к печати: 14.06.2017