

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

УДК 629.5.035.5

О. Н. КОРНЕЛЮК^{1*}

^{1*}Каф. «Информационные технологии и физико-математические дисциплины», Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова, Херсонский филиал, пр. Ушакова, 44, Херсон, Украина, 73000, тел. +38 (050) 503 42 30, эл. почта OlgaNikKornelyuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-2444-1340

СПОСОБЫ ЗАДАНИЯ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ И ГЕОМЕТРИИ ГРЕБНОГО ВИНТА В FLOW VISION

Цель. В исследовании необходимо: сгенерировать 3D–модели исследуемых гребных винтов, а также расчетного бокса; провести ряд численных экспериментов для верификации полученных результатов с соответствующими результатами модельных экспериментов; исследовать возможные способы постановки проекта для моделирования работы гребного винта в свободной воде; оценить эффективность способов постановки проекта. **Методика.** Проведен анализ возможностей и особенностей CFD–моделирования на примере изучения работы гребного винта в свободной воде. В результате выявлены способы задания граничных условий и геометрии винта в расчетном проекте и проанализированы на предмет достоверности получаемых результатов расчета. Сформулированы рекомендации по использованию способов постановки проекта для моделирования работы гребного винта в свободной воде. **Результаты.** На примере решения практической задачи по исследованию влияния геометрии гребного винта на его гидродинамическую эффективность обоснована целесообразность внедрения CFD–технологий в проектирование гребных винтов. Об этом свидетельствуют как численные результаты, так и визуализация распределений скоростей и давления в потоке при обтекании гребного винта потоком воды. Для исследований использовались гребные винты с различной профилировкой. Наиболее неэффективным способом постановки проекта для моделирования работы гребного винта является способ с использованием секторной модели гребного винта. **Научная новизна.** Результаты работы являются частью методики постановки проекта в среде Flow Vision для проведения численных экспериментов по моделированию работы гребного винта в свободной воде. **Практическая значимость.** Установлено, что способ постановки проекта для моделирования работы гребного винта в свободной воде с использованием граничного условия «скользящая» сетка наиболее практичный. Обоснованность такого вывода подтверждена результатами, полученными в ходе проведения огромного количества численных экспериментов по обтеканию вращающегося с заданной скоростью гребного винта. Универсальность такого способа заключается в возможности его применения при расчетах движительно-рулевого комплекса, работающего за корпусом судна.

Ключевые слова: CFD–пакет; численный эксперимент; 3D–модель гребного винта; модельный эксперимент; эффективность гребного винта

Введение

Одним из научно-технических направлений совершенствования характеристик современных судов является разработка эффективных гребных винтов. Проектирование гребного винта в общем виде представляет собой решение двух основных задач – разработка формы гребного винта в соответствии с заданными геометрическими характеристиками и оценка эффективности спроектированного гребного винта. КПД гребных винтов, работающих в составе пропульсивного комплекса, даже на расчетном режиме, как правило, не превышает 60–65 %. Следует учитывать также влияние корпуса судна на работу движительно-рулевого комплекса, кото-

рое так или иначе уменьшает конечное значение КПД. Поэтому задача повышения эффективности современных гребных винтов является актуальной.

До определённого времени эффективность гребного винта оценивали на основании результатов модельных испытаний в опытных бассейнах и аэродинамических трубах. Основным требованием к моделям гребных винтов является точность и соответствие изготовленной модели винта спроектированной. Это очень трудоёмкий процесс. Изготовление моделей гребных винтов достаточно дорогое. А если необходимо внести изменения в форму лопастей модели с учётом полученных результатов испытаний, то затраты возрастают.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

Последние годы характеризуются эффективным внедрением методов вычислительной гидродинамики (CFD–пакетов) в область судостроения. На сегодняшний день огромное количество публикаций посвящено вопросам применения CFD–пакетов в области проектирования судов и гребных винтов, в частности. CFD–пакет Flow Vision успешно конкурирует с аналогичными пакетами, такими как STAR–CD, Ansys CFX, Fluent. В источниках [2, 4, 6, 8, 11] опубликованы результаты многочисленных экспериментов по исследованию гидродинамики судов, работы гребных винтов в свободной воде, проведённых в среде Flow Vision как разработчиками, так и пользователями программы. Но чаще всего результаты расчётов представлены посредством цветных рисунков, на которых визуализировано распределение давления и скорости потока при моделировании поставленных задач. Гораздо меньше работ, в которых представлены результаты численного моделирования гидродинамических задач. Установлено, что на достоверность результатов численных экспериментов влияет правильность постановки проекта в CFD–пакете: выбор множества параметров и модели расчета, а также способа загрузки геометрии исследуемых объектов в расчетный бокс для моделирования конкретной задачи. Поэтому изучение возможностей CFD–пакета Flow Vision является актуальной задачей.

Цель

Данная статья предполагает исследование способов постановки проекта в среде Flow Vision для моделирования работы гребного винта в свободной воде, а также оценку эффективности их использования на основе полученных результатов. Для достижения цели в исследовании предусмотрено выявить и рассмотреть все возможные варианты постановки проекта, провести ряд численных экспериментов, выполнить верификацию полученных результатов и оценить их.

Методика

Технологические возможности Flow Vision позволяют задавать различные модели движения жидкости (турбулентность), параметры метода численного моделирования, параметры расчёт-

ной сетки и др. Таким образом можно создать множество вариантов проектов для моделирования обтекания объектов в среде данного CFD–пакета программ. Однако речь идёт о том, чтобы проект моделирования работы гребного винта в свободной воде обеспечивал получение достоверных результатов расчёта. Основные этапы постановки проекта в среде Flow Vision описаны в [1–3]. Поэтому была поставлена задача исследовать возможные варианты задания параметров расчётного проекта в среде данного CFD–пакета с целью разработки методики постановки проекта моделирования работы гребного винта в свободной воде в Flow Vision. В результате исследований выяснилось, что проект по обтеканию гребного винта потоком жидкости может быть поставлен разными способами.

Результаты расчёта серийного винта в CFD–пакете есть возможность сравнить с результатами модельного эксперимента. В случае моделирования работы несерийного гребного винта такой возможности нет. К тому же опытным путём установлено влияние заданной модели турбулентности, размеров расчётной области (бокса), уровня адаптации расчётной сетки, модели расчёта, шага интегрирования на результаты численного эксперимента [1–3]. Таким образом, актуальность исследования способов постановки проекта в среде Flow Vision для конкретных винтов очевидна. 3D–модель гребного винта помещают в расчётную область при помощи Фильтра подвижного тела. На входе в расчётную область задают скорость набегающего потока воды.

Результаты

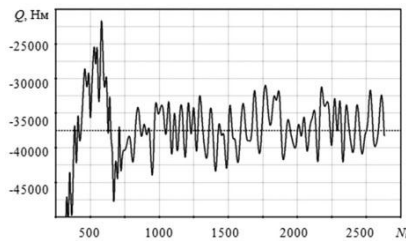
Существует четыре способа постановки проекта в среде Flow Vision для расчёта гребного винта.

Способ 1. Моделирование вращения гребного винта в свободной воде с заданием параметров движущегося тела. При такой постановке проекта задаются координаты расположения модели винта относительно границ расчётной области, массу винта, момент инерции, параметры вращения объекта (угловая скорость вращения, момент произвольной внешней силы, равный гидродинамическому моменту). Расчётная область может представлять собой параллелепипед, тогда задают следующие граничные условия: вход, «свободный» выход, стенка, симметрия. Либо

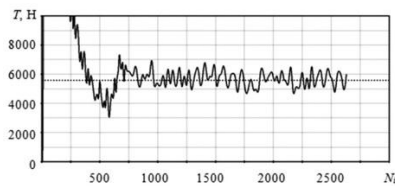
НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

расчётная область может иметь форму удлинённого цилиндра, – тогда задают такие граничные условия, как вход, «свободный» выход, стенка. Для модели гребного винта ВЗ–35 с шаговым отношением 1,1 и диаметром 1,0 м в цилиндрическом боксе диаметром 2,5 м и длиной 7,0 м при 200 тыс. ячеек локально измельченной сетки выполнены исследования влияния параметров моделирования на результаты расчетов. По физическому модельному эксперименту упор $T = 37\,520$ Н, момент $M = 5\,592$ Нм при угловой скорости $\omega = 62,8$ с⁻¹. На рис. 1 в качестве примера изображены зависимости гидродинамического момента Q , упора T и ω от количества итераций N_i . Пунктирными линиями обозначены контрольные значения указанных величин, рассчитанные для этого винта по кривым действия этой серии – результаты модельного эксперимента, синусоидальные кривые – это результаты численного эксперимента.

a – a



б – б



в – в

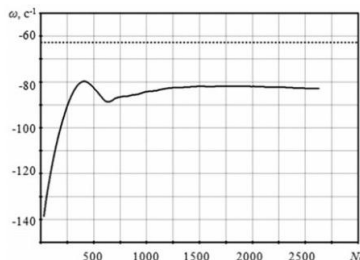


Рис. 1. Результаты численного эксперимента:
a – зависимость $Q(N_i)$; *б* – зависимость $T(N_i)$;
в – зависимость $\omega(N_i)$

Fig. 1. Results of numerical experiment:
a – dependence $Q(N_i)$; *b* – dependence $T(N_i)$;
c – dependence $\omega(N_i)$

В табл. 1 представлены результаты сравнения гидродинамических характеристик гребного винта, полученных при модельном и численном экспериментах.

Таблица 1

Сравнение результатов гидродинамических характеристик гребного винта, полученных при модельном и численном экспериментах

Table 1

Comparison of the results of hydrodynamic characteristics of the screw-propeller obtained during the model and numerical experiments

T , Н (модельный эксперимент)	M , Нм (модельный эксперимент)	T , Н (Flow Vision)	M , Нм (Flow Vision)
37 520	5 592	36 981,05	5 800,9

Способ 2. Моделирование вращения гребного винта в свободной воде с использованием принципа обратимости движения. При этом способе вращение гребного винта с постоянной скоростью в воде заменяют обтеканием неподвижного винта потоком, скорость которого по значению равна, а по направлению противоположна скорости вращения гребного винта. Винт находится в состоянии покоя, а вращается подобласть со скоростью вращения винта. При такой постановке проекта задают координаты расположения модели винта относительно границ расчётной области, тип движения подобласти – вращение, угловую скорость вращения, соответствующую скорости вращения винта. Результаты исследования проекта в такой постановке описаны в [2]. На рис. 2 представлена визуализация проекта расчёта гребного винта в свободной воде.

Способ 3. Моделирование вращения гребного винта в свободной воде с использованием его секторной модели. В этом случае исследуют сектор гребного винта, получаемый при сечении его плоскостями, расположенными вдоль и поперёк ступицы и пересекающимися при этом в центре ступицы. Такой способ постановки проекта не актуальный, поскольку вблизи работающего гребного винта возникает неоднородный поток, влияющий как на другие лопасти гребного винта, так и на корпус, и на руль судна.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

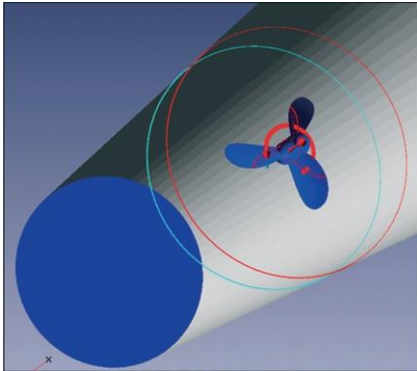
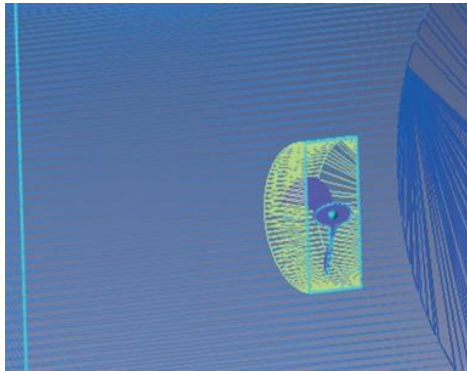
a – a*б – б*

Рис. 2. Способы постановки моделирования работы гребного винта в свободной воде в среде Flow Vision:
a – способ 2; *б* – способ 4

Fig. 2. Methods of setting the operation simulation of screw-propeller in free water in Flow Vision environment:
a – method 2; *b* – method 4

Способ 4. Моделирование вращения гребного винта в свободной воде с использованием граничного условия «скользящая» сетка. Особенность состоит в том, что при подготовке 3D–модели расчётной области в форме короткого цилиндра в соответствующем месте в ней делается вырез (рис. 2). При открытии расчётной области в программе Flow Vision гребной винт вставляют в вырез (размеры выреза должны быть максимально приближены к размерам гребного винта). В этом случае используют, помимо описанных выше, граничное условие «скользящая» сетка. При такой постановке проекта задают вращение подобласти цилиндра, соответствующее угловой скорости вращения гребного винта. Таким образом, в препроцессоре (панель задания параметров расчёта) опре-

делено две подобласти – одна в форме удлиненного цилиндра, имитирующего опытный бассейн, вторая в форме короткого цилиндра. Для модели гребного винта ВЗ–35 с шаговым отношением 0,997 и диаметром 7,9 м при 1 055 506 ячейках локально измельченной сетки выполнены исследования влияния параметров моделирования на результаты расчетов. Эксперименты проведены для трёх значений поступи J . На рис. 3 приведены результаты сравнения гидродинамических кривых, полученных в результате модельного и численного экспериментов. Сплошными линиями обозначены результаты модельного эксперимента, точками – результаты численного эксперимента.

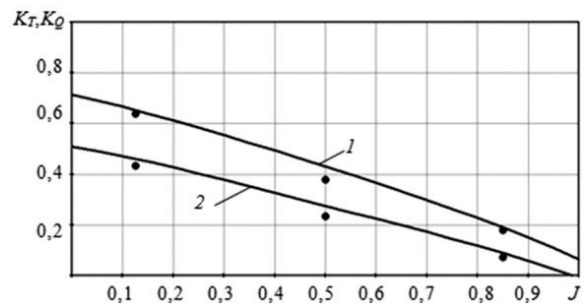


Рис. 3. Гидродинамические характеристики гребного винта:

1 – кривая зависимости $10 K_q(J)$;
2 – кривая зависимости $K_t(J)$

Fig. 3. Hydrodynamic characteristics of the screw-propeller:

1 – dependence curve $10 K_q(J)$;
2 – dependence curve $K_t(J)$

В табл. 2 представлены результаты сравнения коэффициентов упора K_t и момента K_q гребного винта, полученных при модельном и численном экспериментах.

Расчёты были проведены в CFD–пакете Flow Vision 2.05.05. На рис. 4 представлено распределение давления по нагнетающей и засасывающей поверхности гребного винта, а также вблизи винта при его работе в свободной воде.

Проведённые исследования способов задания проекта во Flow Vision обоснованы и аргументированы результатами решения конкретных задач расчёта гидродинамических характеристик гребных винтов на примере винтов серий В, КР–508 с целью оценки их эффективности.

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

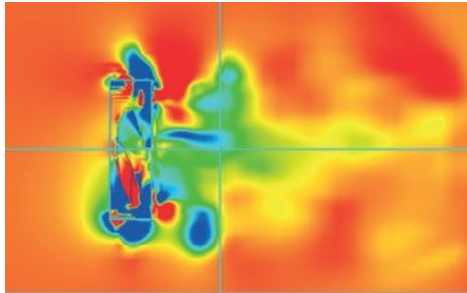
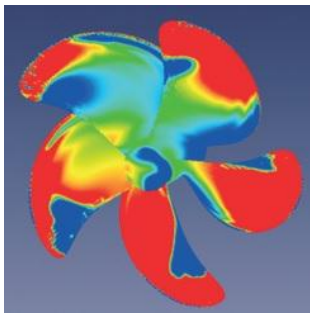
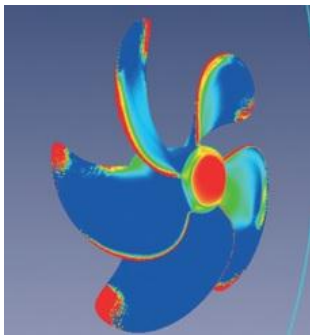
a – a*b – b**b – c*

Рис. 4. Визуализация распределения давления для гребного винта (серия КР–508):

a – вблизи работающего гребного винта;
b, *c* – на поверхности гребного винта

Fig. 4. Visualization of the pressure distribution for the screw-propeller (series KR – 508):

a – near the operating screw-propeller;
b, *c* – on the screw-propeller surface

В результате проведенных исследований было установлено, что в CFD–пакете Flow Vision существует несколько способов постановки проекта для моделирования работы гребного винта в свободной воде. Речь идет о вариантах задания граничных условий и геометрии 3–D модели гребного винта для обеспечения процесса расчета. Три способа из четырех (за исключением использования секторной модели

гребного винта) дают непротиворечивые достоверные результаты расчета, о чем свидетельствует табл. 2.

Таблица 2

Сравнение коэффициентов упора и момента гребного винта, полученных при численном и модельном экспериментах

Table 2

Comparison of the thrust and thrust of the screw-propeller obtained during numerical and model experiments

J	Kt (модельный эксперимент)	Kq (модельный эксперимент)	Kt (Flow Vision)	Kq (Flow Vision)
0,13	0,45	0,64	0,433	0,64
0,5	0,276	0,43	0,233	0,38
0,85	0,089	0,191	0,072	0,18

В ней отслеживается сходимость результатов численных и модельных экспериментов для гребного винта серии КР–508.

Однако если говорить о таком критерии качества расчета, как скорость, то следует применять способ моделирования вращения гребного винта в свободной воде с использованием граничного условия «скользящая» сетка. Также установлено и доказано, что при необходимости решения однотипных задач гидродинамики в CFD–пакете необходимо разрабатывать методику задания параметров проекта для расчета с целью обеспечения верификации полученных результатов, что особенно актуально в случае проектирования несерийных гребных винтов при отсутствии результатов модельных экспериментов. Постановка проектов в CFD–пакете для решения задач моделирования работы гребных винтов в свободной воде требует высокой квалификации пользователя, которая заключается как в компьютерной, так и гидродинамической грамотности.

Научная новизна и практическая значимость

Внедрение методов вычислительной гидродинамики (CFD–пакета) для исследования влияния геометрии гребного винта на его гидродинамику

намические характеристики привело к необходимости поиска решений по созданию расчетного проекта, с учётом, в том числе, руководства разработчиков CFD–пакета. Таким образом выявлено четыре способа моделирования работы гребного винта в свободной воде: с заданием параметров движущегося тела; с использованием принципа обратимости движения, когда вращение гребного винта с постоянной скоростью в воде заменяют обтеканием неподвижного винта потоком; с использованием секторной модели гребного винта; с использованием граничного условия «скользящая» сетка. Практическая ценность и оригинальность работы заключается в установлении такого способа из представленных, который дает возможность впоследствии рассчитывать движительно-рулевой комплекс судна отдельно, а также при работе его за корпусом судна. Это способ с использованием граничного условия «скользящая» сетка.

Выводы

Современное проектирование гребного винта не обходится без использования 3D–модели движителя [2, 3, 8, 11]. Это экономия финансовых средств, поскольку такой подход позволяет в дуэте с CFD–пакетом сократить или свести на нет количество проводимых модельных экспериментов. Одной из важных задач проектировщика при моделировании работы гребного винта в свободной воде с использованием CFD–пакета Flow Vision является правильное задание расчетного проекта, чтобы получить достоверные результаты расчёта гидродинамики винта и оценить его эффективность.

Результаты исследований, проведенных в рамках данной работы, говорят об истинности расчетных значений гидродинамических характеристик гребных винтов при использовании рекомендуемых способов задания граничных условий и геометрии 3–D модели гребного винта.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Король, Ю. М. Автоматизированная генерация данных для построения твердотельных моделей гребных винтов / Ю. М. Король, О. Н. Рудько // *Зб. наук. пр. нац. ун-ту кораблебудування*. – Миколаїв, 2008. – № 1. – С. 56–61.
2. Король, Ю. М. Влияние лопастных и профильных характеристик на гидродинамическую эффективность гребных винтов / Ю. М. Король, О. Н. Корнелюк // *Наука та прогрес транспорту*. – 2017. – № 4 (70). – С. 80–85. doi: 10.15802/stp2017/109589
3. Корнелюк, О. Н. Выбор оптимальных расчётных параметров при моделировании работы гребного винта в свободной воде в среде Flow Vision / О. Н. Корнелюк // *Зб. наук. пр. Нац. ун-ту кораблебудування*. – Миколаїв, 2014. – № 5. – С. 17–21.
4. 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
5. Bulten, N. Optimum propeller design leads to higher ship efficiency [Электронный ресурс] / N. Bulten // *Wärtsilä Technical Journal*. – 2014. – Режим доступа: <https://www.wartsila.com/twentyfour7/in-detail/optimum-propeller-design-leads-to-higher-ship-efficiency> – Загл. с экрана. – Проверено: 26.10.2018.
6. CFD Analysis of a Propeller Flow and Cavitation / S. Ramakrishna, V. Ramakrishna, A. Ramakrishna, K. Ramji // *Intern. Journal of Computer Applications*. – 2012. – Vol. 55. – Iss. 16. – P. 26–23. doi: 10.5120/8841-3125
7. Experimental and numerical analyses of the hydrodynamic performance of propeller boss cap fins in a propeller–rudder system / Yu Sun, Yumin Su, Xiaoxiang Wang, Haizhou Hu // *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*. – 2016. – Vol. 10. – Iss. 1. – P. 145–159. doi: 10.1080/19942060.2015.1121838
8. Majdfar, S. Hydrodynamic Effects of the Length and Angle of the Ducted Propeller / S. Majdfar, H. Ghassemi, H. Forouzan // *Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace–Science and Engineering*. – 2015. – Vol. 25. – P. 19–25.
9. Moonesun, M. CFD analysis on the equations of submarine stern shape / M. Moonesun, Y. M. Korol, A. Brazhko // *Journal of Taiwan Society of Naval Architects and Marine Engineers*. – 2015. – Vol. 34, No. 1. – P. 21–32.
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. Shi, Y. Rotor wake and flow analysis using a coupled Eulerian–Lagrangian method / Y. Shi, G. Xu, P. Wei // *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*. – 2016. – Vol. 10. – Iss. 1. – P. 384–402. doi: 10.1080/19942060.2016.1174887

О. М. КОРНЕЛЮК^{1*}

^{1*}Каф. «Інформаційні технології та фізико-математичні дисципліни», Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, Херсонська філія, пр. Ушакова, 44, Херсон, Україна, 73000, тел. +38 (050) 503 42 30, ел. пошта OlgaNikKornelyuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-2444-1340

СПОСОБИ ЗАВДАННЯ ГРАНИЧНИХ УМОВ І ГЕОМЕТРІЇ ГРЕБНОГО ГВИНТА У FLOW VISION

Мета. У дослідженні необхідно: згенерувати 3D–моделі досліджуваних гребних гвинтів, а також розрахункового боксу; провести ряд чисельних експериментів для верифікації отриманих результатів із відповідними результатами модельних експериментів; дослідити можливі способи постановки проекту для моделювання роботи гребного гвинта у вільній воді; оцінити ефективність способів постановки проекту. **Методика.** Проведено аналіз можливостей та особливостей CFD–моделювання на прикладі вивчення роботи гребного гвинта у вільній воді. В результаті виявлено способи завдання граничних умов і геометрії гвинта в розрахунковому проекті та проаналізовані на предмет достовірності отриманих результатів розрахунку. Сформульовано рекомендації щодо використання способів постановки проекту для моделювання роботи гребного гвинта у вільній воді. **Результати.** На прикладі вирішення практичного завдання по дослідженню впливу геометрії гребного гвинта на його гідродинамічну ефективність обґрунтовано доцільність впровадження CFD–технологій у проектування гребних гвинтів. Про це свідчать як чисельні результати, так і візуалізація розподілів швидкостей і тиску в потоці при обтіканні гребного гвинта потоком води. Для досліджень використовувалися гребні гвинти з різними профілями лопатей. Найбільш неефективним способом постановки проекту для моделювання роботи гребного гвинта є спосіб із використанням секторної моделі гребного гвинта. **Наукова новизна.** Результати роботи є частиною методики постановки проекту в середовищі Flow Vision для проведення чисельних експериментів по моделюванню роботи гребного гвинта у вільній воді. **Практична значимість.** Встановлено, що спосіб постановки проекту для моделювання роботи гребного гвинта у вільній воді з використанням граничної умови «змінна» сітка найбільш практичний. Обґрунтованість такого висновку підтверджена результатами, отриманими в ході проведення величезної кількості чисельних експериментів по обтіканню гребного гвинта, що обертається з заданою швидкістю. Універсальність такого способу полягає в можливості застосування його при розрахунках рушійно-рульового комплексу судна, що працює за корпусом судна.

Ключові слова: CFD–пакет; чисельний експеримент; 3D–модель гребного гвинта; модельний експеримент; ефективність гребного гвинта

О. N. KORNELIYUK^{1*}

^{1*}Dep. «Information Technologies and Physico-Mathematical Disciplines», Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Kherson Branch, Ushakov Av., 44, Kherson, Ukraine, 7300, tel. +38 (050) 503 42 30, e-mail OlgaNikKornelyuk@gmail.com, ORCID 0000-0002-2444-1340

METHODS OF PRESETTING BOUNDARY CONDITIONS AND GEOMETRY OF THE SCREW-PROPELLER IN THE FLOW VISION

Purpose. The article is aimed to: generate 3D models of the screw-propellers under study, as well as the calculation box; carry out a series of numerical experiments to verify the obtained results with the corresponding results of the model experiments; study possible ways of setting a project to simulate the screw-propeller operation in free water; to evaluate the efficiency of the ways of project setting. **Methodology.** The analysis of possibilities and features of CFD-modeling using the example of studying the screw-propeller operation in free water is carried out. As a result, the ways of defining the boundary conditions and the geometry of the screw-propeller in the calculating project are revealed and

НЕТРАДИЦІЙНІ ВИДИ ТРАНСПОРТУ. МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ

analyzed for the reliability of the obtained calculation results. Recommendations on the use of the methods for setting the project for simulation of the screw-propeller operation in free water are formulated. **Findings.** Using the example of solving a practical problem on studying the influence of the screw-propeller geometry on its hydrodynamic efficiency, the expediency of CFD-technologies introduction into the design of screw-propellers is substantiated. This is evidenced both by numerical results and by visualization of the velocity and pressure distributions during the water stream flow around the screw-propeller. For the research, the screw-propellers with different profiling were used. The method using the sector model of the screw-propeller is the most inefficient way of setting the project for simulation of the screw-propeller operation. **Originality.** The results of the work are the part of the methodology for setting the project in the Flow Vision environment for conducting numerical experiments to simulate the screw-propeller operation in free water. **Practical value.** It is established that the way of setting the project for simulating the screw-propeller operation in free water using the «sliding» grid boundary condition is the most practical one. The validity of this conclusion is confirmed by the results obtained during large number of numerical experiments on flow around the rotating screw-propeller at a given speed. The universality of such method lies in the possibility of its application during calculation of the propulsion/steering unit, which operates behind the ship hull.

Keywords: CFD-package; numerical experiment; 3D-model of the screw-propeller; model experiment; screw-propeller efficiency

REFERENCES

1. Korol, Y. M. & Rudko, O. N. (2008). Avtomatizirovannaya generatsiya dannykh dlya postroeniya tverdotelnykh modeley grebnykh vintov. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho universytetu korablebuduvannia, 1*, 56-61. (in Russian)
2. Korol, Y. M., & Kornelyuk, O. M. (2017). Influence of Blade and Profile Characteristics on Hydrodynamic Efficiency of Marine Propellers. *Science and Transport Progress, 4(70)*, 80-88. doi: 10.15802/stp2017/109589 (in Russian)
3. Kornelyuk, O. N. (2014). Vybhor optimalnykh raschetnykh parametrov pri modelirovanii raboty grebnogo vinta v svobodnoy vode v srede Flow Vision. *Zbirnyk naukovykh prats Natsionalnoho universytetu korablebuduvannia, 5*, 17-21. (in Russian)
4. 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 (in English)
5. Bulten, N. (2014). Optimum propeller design leads to higher ship efficiency. *Wärtsilä Technical Journal*. Retrived from <https://www.wartsila.com/twentyfour7/in-detail/optimum-propeller-design-leads-to-higher-ship-efficiency> (in English)
6. Ramakrishna, S., Ramakrishna, V., Ramakrishna, A., & Ramji, K. (2012). CFD Analysis of a Propeller Flow and Cavitation. *International Journal of Computer Applications, 55(16)*, 26-33. doi: 10.5120/8841-3125 (in English)
7. Sun, Y., Su, Y., Wang, X., & Hu, H. (2016). Experimental and numerical analyses of the hydrodynamic performance of propeller boss cap fins in a propeller-rudder system. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, 10(1)*, 145-159. doi: 10.1080/19942060.2015.1121838 (in English)
8. Majdfar, S., Ghassemi, H., & Forouzan, H. (2015). Hydrodynamic Effects of the Length and Angle of the Ducted Propeller. *Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace-Science and Engineering, 25*, 19-25. (in English)
9. Moonesun, M., Korol, Y. M., & Brazhko, A. (2015). CFD analysis on the equations of submarine stern shape. *Journal of Taiwan Society of Naval Architects and Marine Engineers, 34(1)*, 21-32. (in English)
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 (in English)
11. Shi, Y., Xu, G., & Wei, P. (2016). Rotor wake and flow analysis using a coupled Eulerian-Lagrangian method. *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, 10(1)*, 384-402. doi: 10.1080/19942060.2016.1174887 (in English)

Поступила в редколлегию: 01.06.2018

Принята к печати: 27.09.2018