

<http://dx.doi.org/10.15589/jnn20150105>

УДК 629.5.035.5

К 67

SPECIFIC FEATURES OF THE SIMULATION OF PROPELLER OPERATION IN FREE WATER IN THE FLOW VISION ENVIRONMENT

ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАБОТЫ ГРЕБНОГО ВИНТА В СВОБОДНОЙ ВОДЕ В СРЕДЕ FLOW VISION

Olha M. Korneliuk

olga.korneliuk@nuos.edu.ua

ORCID: 0000-0002-2444-1340

О. Н. Корнелюк,

преп. каф. информационных технологий

Admiral Makarov National University of Shipbuilding Kherson branch, Kherson

Херсонский филиал НУК имени адмирала Макарова, г. Херсон

Abstract. The need of carrying out numerical experiments has been discussed when studying the operation of designed screw propellers in free water. It will allow reducing the number of model experiments, the costs and the design terms. The influence of geometrical and hydrodynamic characteristics of the screw propeller on its efficiency is discussed. The aim of the studies is to determine experimentally the time step (the integration step over the time of the equations of the convective and diffusive transfer), which would correspond to the best convergence of the calculation of the screw propeller in free water in the CFD-package Flow Vision environment. The influence of the set time step on the results of the calculation of the hydrodynamics of the three-blade screw propeller is experimentally studied. The ratio of the optimum size of the time step and various flow rates is determined. The correctly set time step allows modeling a problem in an optimum time period with the acceptable convergence of the calculation.

Keywords: screw propeller; numerical experiment; solid model of the screw propeller; explicit scheme of calculation; implicit scheme of calculation; integration step; Courant number; iteration.

Аннотация. Разработаны рекомендации по выбору шага интегрирования при решении в среде CFD-пакета Flow Vision задачи моделирования работы гребного винта в свободной воде. Исследовано влияние задаваемого метода расчета и способа выбора шага интегрирования на результаты расчета. Приведены результаты численных экспериментов.

Ключевые слова: гребной винт; численный эксперимент; твердотельная модель гребного винта; явная схема расчета; неявная схема расчета; шаг интегрирования; число Куранта; итерация.

Анотація. Розроблено рекомендації щодо вибору кроку інтегрування при розв'язанні у середовищі CFD-пакета Flow Vision задачі моделювання роботи гребного гвинта у вільній воді. Досліджено вплив методу розрахунку і способу вибору кроку інтегрування на результати розрахунку. Наведено результати числових експериментів.

Ключові слова: гребний гвинт; числовий експеримент; твердотільна модель гребного гвинта; явна схема розрахунку; неявна схема розрахунку; крок інтегрування; число Куранта; ітерація.

REFERENCES

- [1] Alyamovskiy A.A. *Solid Works: kompyuternoe modelirovanie v inzhenernoy praktike* [Solid Works: Computer modeling in the engineering practice]. Saint Peterburg, BKhV-Peterburg Publ., 2005. 795 p.
- [2] Voytkunskiy Ya.I., Pershi R.Ya., Titov I.A. *Spravochnik po teorii korablya* [Reference book on the ship theory]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1973. 511 p.
- [3] Aksenov A.A., Shmelev V.V., Pechenyuk A.V., Stankov B.N., Pasechnik V.G. *Gidrodinamicheskiy analiz sudna v programnom komplekse Flow Vision* (The hydrodynamic analysis of the ship in the software complex Flow Vision). *Avtomatizatsiya proektirovaniya—Design Automation*, 2007, no. 4, 64 p. Available at: <http://www.rem-mag.ru>.
- [4] Bavin V.F., Zavadovskiy N.Yu., Lemkovskiy Yu.L., Mitskevich V.G. *Grebnye vinty. Sovremennye metody rascheta* [Screw Propellers. Advanced methods of calculation]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1983. 296 p.
- [5] Korol Yu.M., Rudko O.N. *Issledovanie zadachi obtekaniya ploskikh konturov s nefiksirovannymi tochkami otryva pogrannichnogo sloya v srede Flow Vision* [Study of the problem of the flow of flat contours with unstable

separation points of the interface in the Flow Vision environment]. *Sbornik nauchnykh trudov NUK* [Collection of Scientific Publications of NUS], 2008, no. 4, pp. 30–35.

- [6] Korol Yu.M., Rudko O.N. Tekhnologiya modelirovaniya raboty sudovykh vinto–rulevykh kompleksov v srede Flow Vision [Technology of modeling of the operation of the ship rudder propeller units]. *Trudy vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Inzhenernye sistemy–2010»* [Proceedings of the All Russian Scientific and Practical Conference «Engineering systems 2010»]. Moscow, 2010, pp. 137–141.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Одной из основных задач судостроения является рациональное преобразование мощности установленных на судне двигателей в энергию перемещения судна с определенной скоростью хода. Такое преобразование осуществляется специальными устройствами, называемыми движителями. Эффективность движителей определяется степенью совершенства преобразования вращающего момента двигателя в силу упора и во многом зависит от его геометрических и гидродинамических характеристик. Стремление повысить эффективность и надежность движителей привело к созданию различных типов судовых движителей, имеющих свои достоинства и недостатки.

Наиболее приемлемым и простым с точки зрения действия является гребной винт. Огромное разнообразие типов гребных винтов [3, 4], их конструкции, поиск оптимальной формы лопасти (в том числе комбинирование в рамках одной лопасти характеристик различных серий гребных винтов), проведение исследований по совместной работе двух винтов, расположенных вдоль корпуса судна напротив друг друга и вращающихся в разных направлениях, и т. д. – все это направлено на достижение единой цели – повышение КПД движительно-рулевого комплекса и, как следствие, уменьшение количества затрачиваемого топлива. Достаточно внушительным является утверждение: «Увеличение КПД на 1 % позволит сэкономить эшелоны топлива».

Неприемлемым на сегодняшний день является вопрос о замене физического эксперимента численным, однако, с другой стороны, численный эксперимент позволяет сократить затраты на проведение дорогостоящих физических экспериментов и дать направление дальнейших исследований данной задачи для достижения необходимых результатов. Правильный выбор типа гребного винта оказывает существенное влияние на процесс проектирования судна. И чем на более ранней стадии создания судна этому будет уделено должное внимание, тем быстрее будет достигнут наилучший результат. Именно поэтому проведение численных экспериментов по обтеканию гребных винтов потоком жидкости (особенно при отсутствии кривых действия для проектируемого винта) является неотъемлемой частью проектирования судна в целом.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Влияние задаваемой в проекте Flow Vision величины шага интегрирования (шага по времени), способа его задания, а также выбор соответствующего метода расчета ранее исследовалось автором статьи [5]. Только в качестве объекта обтекания выступали круговой и эллиптический цилиндры [6]. Далее исследование перечисленных параметров выполнялось при разработке технологии моделирования работы судовых винторулевых комплексов в среде Flow Vision, результаты описаны в [7].

В публикации [1] приведены результаты моделирования работы гребного винта серии М4–75 в среде Flow Vision, испытания которого в свое время были выполнены в кавитационных трубах ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. На рисунках продемонстрирована сходимость результатов численных и модельных экспериментов. Однако многочисленные эксперименты с гребным винтом показали, что добиться такого результата можно только при наличии четко сформулированной технологии задания конкретных параметров для конкретных задач.

ЦЕЛЬЮ РАБОТЫ является определение экспериментальным путем шага по времени (шага интегрирования по времени уравнений конвективно-диффузионного переноса), который бы соответствовал наилучшей сходимости расчета гребного винта в свободной воде в среде CFD-пакета Flow Vision.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Любой программный продукт – это лишь инструмент в руках человека. И от того, как пользоваться этим инструментом, зависит качество получаемых результатов. Для эффективного использования программы недостаточно знания только возможностей, непосредственно предоставляемых программой. Необходимо также ориентироваться в особенностях той задачи, которую нужно решить посредством программного продукта. И такие рассуждения напрямую относятся к использованию CFD-пакетов программ при проведении численных экспериментов. Пакеты программ, реализующие методы вычислительной гидродинамики (CFD-пакеты), предоставляют возможность проверки теоретических приближений к таким условиям, экспериментальное моделирование которых невозможно. Например, эксперименты в аэродинамических трубах ограничиваются определенным

Основные параметры расчета – «Макс. шаг», «CFL», «Фикс. шаг» определяют выбор программой расчетного шага по времени. CFL – это так называемое число Куранта; его физический смысл можно трактовать как максимальное число ячеек сетки, которое малый объем жидкости может преодолеть за один шаг по времени.

При задании скошенной схемы (явной схемы) были получены результаты, представленные на рис. 4. Эксперименты проводились для различных чисел Куранта: 1; 10; 100. Чем больше заданное число Куранта, тем больший промежуток времени необходим для сходимости процесса расчета. Так, например, при задании числа Куранта, равного 1, в случае швартовного режима (скорость набегающего потока равна нулю) вычислительная эффективность составила $1,69 \times 10^{-5}$, процесс расчета длился 2400 итераций, что соответствует 93600 с физического времени, т. е. 1,58346 с времени задачи. Как видно из рис. 4, значения момента (сплошная линия бордового цвета) и упора (сплошная линия зеленого цвета) гребного винта достаточно завышены по сравнению с результатами физического эксперимента. При задании числа Куранта, равного 10, наблюдалась аварийная остановка процесса расчета.

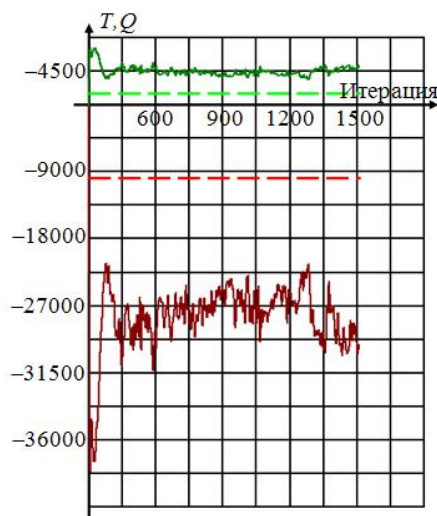


Рис. 4. Скошенная схема: — — — численный эксперимент; — — — физический эксперимент

При моделировании вращения гребного винта в свободной воде с использованием неявной схемы можно задавать различный шаг по времени. Была поставлена задача экспериментальным путем определить шаг по времени, который соответствовал бы наилучшей сходимости расчета.

На основании результатов физического эксперимента были определены значения упора T и момента Q гребного винта, представленные в табл. 1.

Таблица 1. Расчетные значения упора и момента

Поступь гребного винта J	Скорость потока v , м/с	Момент Q , Нм	Упор T , Н
0	0	1474,5	9875,0
0,6	3	882,0	5944,0
1,2	6	136,0	120,0

Для каждой поступи расчет выполнялся с заданным по умолчанию шагом по времени. Далее шаг увеличивался либо уменьшался в зависимости от величины рассчитанных упора и момента гребного винта (рис. 5,а). Соотношение оптимальной величины шага по времени для различных скоростей потока представлено в табл. 2.

Таблица 2. Оптимальный шаг по времени

v , м/с	0	3	6
h , с	0,0015	0,0045	0,0088

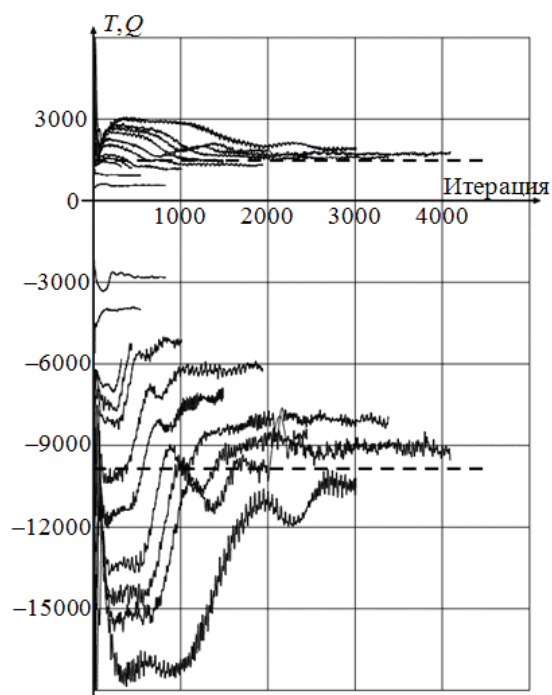
Для наглядности получаемых результатов были построены графики зависимости величины шага по времени от величины упора и момента гребного винта (рис. 5,б–г). Из рис. 5,а видно, что расчет сходится достаточно быстро для различных шагов по времени. Например, в случае задания скорости потока 0 м/с и шага по времени 0,001 вычислительная эффективность составила $2,89 \times 10^{-5}$, процесс расчета длился 3120 итераций, что соответствует 108000 с физического времени, т. е. 3,121 с времени задачи.

ВЫВОДЫ

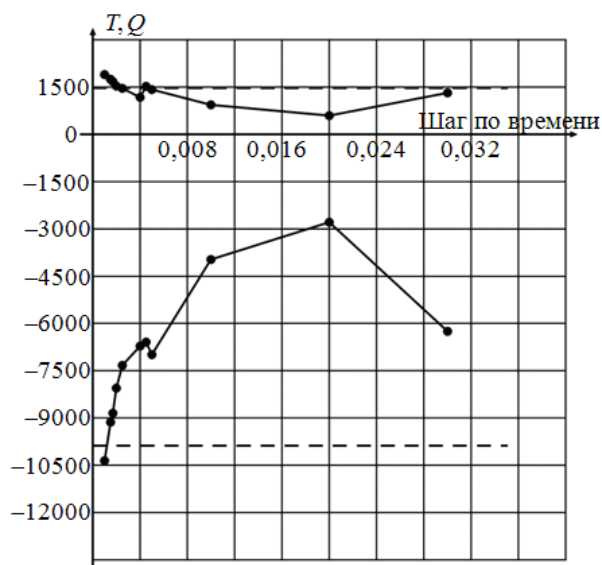
1. Установлено, что при моделировании работы гребного винта приемлемо использование неявного варианта итерационного процесса (неявной схемы расчета) в программе Flow Vision. Использование явного метода для данной задачи приводит к некорректным результатам.

2. Полученное соотношение между скоростью потока и шагом по времени, определяющим точность расчета, позволяет сократить количество численных экспериментов при исследовании гребных винтов в свободной воде.

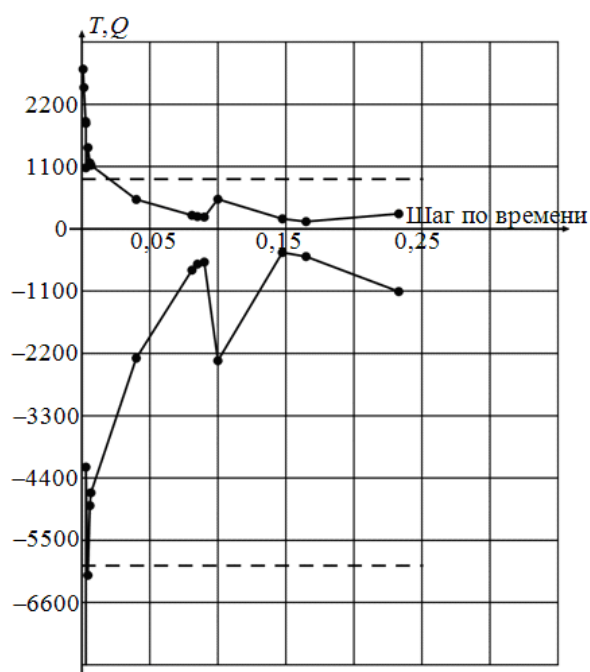
3. Результаты численного эксперимента дают возможность проектантам анализировать дальнейшие направления исследований гребного винта для достижения максимального КПД.



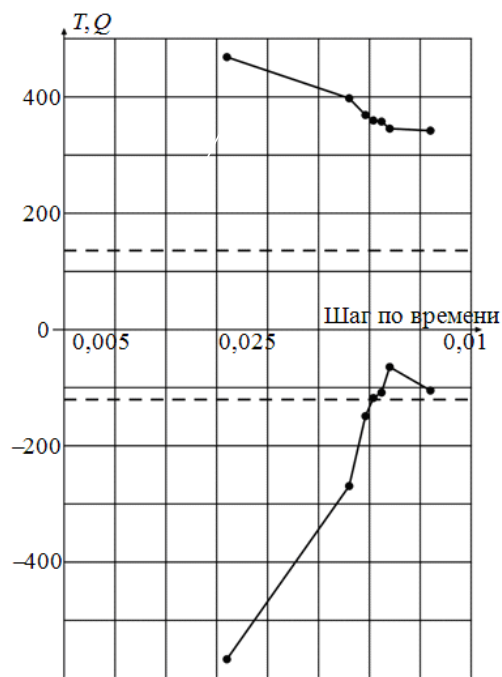
а



б



в



г

Рис. 5. Результаты численных экспериментов: а – графики зависимости количества итераций от упора и момента гребного винта при различных шагах по времени, $v = 0$ м/с; б – $v = 0$ м/с, $J = 0$; в – $v = 3$ м/с, $J = 0,6$; г – $v = 6$ м/с, $J = 1,2$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Алямовский, А. А.** Solid Works компьютерное моделирование в инженерной практике [Текст] / А. А. Алямовский. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 795 с.
- [2] **Войткунский, Я. И.** Справочник по теории корабля [Текст] / Я. И. Войткунский, Р. Я. Перши, И. А. Титов. – Л. : Судостроение, 1973. – 511 с.
- [3] Гидродинамический анализ судна в программном комплексе Flow Vision [Электронный ресурс] / А. А. Аксенов, В. В. Шмелев [и др.] // Автоматизация проектирования. – 2007. – № 3. – Режим доступа: <http://www.remmag.ru>.
- [4] Гребные винты. Современные методы расчета [Текст] / В. Ф. Бавин, Н. Ю. Завадовский, Ю. Л. Лемковский, В. Г. Мицкевич. – Л. : Судостроение, 1983. – 296 с.
- [5] **Корнелюк, О. Н.** Выбор оптимальных расчетных параметров при моделировании работы гребного винта в свободной воде в среде Flow Vision [Текст] / О. Н. Корнелюк // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2014. – № 5. – С. 17–21.
- [6] **Король, Ю. М.** Исследование задачи обтекания плоских контуров с нефиксированными точками отрыва пограничного слоя в среде Flow Vision [Текст] / Ю. М. Король, О. Н. Рудько // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2008. – № 4. – С. 30–35.
- [7] **Король, Ю. М.** Технология моделирования работы судовых винто-рулевых комплексов в среде Flow Vision [Текст] / Ю. М. Король, О. Н. Рудько // Труды Всерос. науч.-практ. конф. «Инженерные системы–2010». – М. : РУДН, 2010. – С. 137–141.

© О. М. Корнелюк

Надійшла до редколегії 06.11.2014

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК

д-р техн. наук, проф. *В. О. Некрасов*