

<http://dx.doi.org/10.15589/jnn20140503>

УДК 629.5.035.5

К 67

**DEVELOPMENT OF METHODOLOGY OF THE CHOICE OF OPTIMUM PARAMETERS OF CALCULATION FOR MODELLING OF THE SCREW PROPELLER OPERATION IN FREE WATER IN PROGRAM FLOW VISION**

**ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ РАСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ РАБОТЫ ГРЕБНОГО ВИНТА В СВОБОДНОЙ ВОДЕ В СРЕДЕ FLOW VISION**

**Olha M. Korneliuk**

[olga.korneliuk@nuos.edu.ua](mailto: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 relevance of introduction of the new means and technologies for expeditious definition of rational screw propeller elements at the earliest design stages of the ship is discussed. The question of influence of set calculation parameters in the Flow Vision project on results of calculation is discussed. The aim of researches is the development of methodology which would allow reducing the number of numerical experiments at design of the concrete screw propeller at the expense of recommendations about the choice of the optimum calculation parameters in Flow Vision medium. The turbulence model; the grid dimension; the sizes of the calculation area; the step on time; the templates of adaptation of the grid are experimentally studied. The received results prove the relevance of creation of similar techniques that allows reducing the number of numerical experiments and the terms of design of object consequently, at the solution of the same tasks for which this technique is developed.

**Keywords:** screw propeller; numerical experiment; screw propeller efficiency; solid solid-state model of the screw propeller; the obvious scheme of calculation; the implicit scheme of calculation; a step on time; Courant's number; iteration.

**Аннотация.** Разработана методика выбора оптимальных параметров, задаваемых в программе Flow Vision, при моделировании работы гребного винта в свободной воде. Приведены рекомендации по ее практическому использованию.

**Ключевые слова:** гребной винт; численный эксперимент; КПД гребного винта, твердотельная модель; явная схема расчета; неявная схема расчета; шаг по времени; число Куранта; итерация.

**Анотація.** Розроблено методику вибору оптимальних параметрів, що задаються у програмі Flow Vision при моделюванні роботи гребного гвинта у вільній воді. Наведено рекомендації щодо її практичного використання.

**Ключові слова:** гребний гвинт; числовий експеримент; ККД гребного гвинта; твердотільна модель; 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 engineering practice]. Sankt-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 programmnom komplekse Flow Vision* [The ship hydrodynamic analysis in the program Flow Vision]. *Avtomatizatsiya proektirovaniya – Design Automation*, 2007, no. 4, p. 64. Available at: <http://www.remmag.ru>.
- [4] Bavin V.F., Zavadovskiy N.Yu., Lemkovskiy Yu.L., Mitskevich V.G. *Grebnye vinty. Sovremennye metody rascheta* [Screw Propellers. Modern methods of calculation]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1983. 296 p.
- [5] Korol Yu.M., Rudko O.N. *Avtomatizirovannaya generatsiya dannykh dlya postroeniya tverdotelnykh modeley grebnykh vintov* [Automated Data Generation for Construction of Solid Models of Screw Propellers]. *Sbornik nauchnykh trudov NUK* [Collection of Scientific Publications NUS], 2008, no.1, pp. 56–61.
- [6] Korol Yu.M., Rudko O.N. *FLOW VISION v uchebnom protsesse i nauchnykh issledovaniyakh* [FLOW VISION in Education Process and Scientific Studies]. *Trudy vsrossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Inzhenernye*

*sistemy–2008»* [Proceedings of All-Russian Scientific and Practical Conference «Engineering Systems – 2008»], Moscow, 2008, pp.30–41.

- [7] Subbotina P.N. *Reshenie zadach vneshnego obtekaniya s ispolzovaniem razlichnykh modeley turbulentsnosti v Flow Vision* (The solution of problems of an external flow with use of various models of turbulence in Flow Vision). Available at: <http://www.thesis.com.ru>.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Правильный выбор типа (открытый гребной винт или винт в направляющей насадке) и элементов гребного винта, обеспечивающего высокие пропульсивные качества при удовлетворительной его виброактивности и надежности работы, оказывает существенное влияние на процесс проектирования судна. И чем на более ранней стадии создания судна этому будет уделено должное внимание, тем быстрее, как показывает практика, достигается наилучший результат. Диаметр, частота вращения, шаговое и дисковое отношение гребного винта, как известно, для каждого конкретного судна определяются на основе расчетов ходкости на заключительной стадии его проектирования [2, 4]. Можно назвать немало случаев, когда в этот период обнаруживалось, что принятая на начальных стадиях проектирования судна частота вращения гребного винта излишне велика или мала, а соответствующий ей диаметр гребного винта далек от оптимального. В результате снижаются пропульсивные качества судна и возрастает опасность кавитации гребного винта. Это свидетельствует о необходимости поиска новых средств и технологий для оперативного определения рациональных элементов гребного винта на самых ранних стадиях проектирования судна, избегая по возможности трудоемких и длительных расчетов и высоких финансовых вложений.

Программа Flow Vision позволяет успешно решать достаточно сложные задачи гидродинамики, и точность получаемых результатов во многом зависит от правильности и оптимальности задаваемых в препроцессоре параметров моделирования и расчета [3, 5].

### АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Поскольку CFD-пакет является сложным программным обеспечением и решает достаточно большой спектр различных задач гидро- и аэродинамики, то на сегодняшний день актуальным выступает вопрос принятия решения о целесообразности задания значений тех или иных параметров при постановке проекта в CFD-пакете для исследования конкретной задачи. А параметров достаточно много – от задания скорости потока до выбора метода расчета и пр. В публикации [7] приведены результаты исследований целесообразности использования той или иной модели турбулентности – это один из параметров, задаваемых в проекте Flow Vision при решении инженерных задач. В работе [1] представлены результаты

моделирования работы гребного винта серии М4–75 в среде Flow Vision, испытания которого в свое время были проведены в кавитационных трубах ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова. Однако опыт многочисленных экспериментов по моделированию работы гребного винта в среде Flow Vision позволяет с точностью утверждать, что для конкретных задач необходимо создание конкретных технологий задания оптимальных параметров расчета.

**ЦЕЛЮЮ РАБОТЫ** является разработка методики, которая позволила бы уменьшить количество проводимых численных экспериментов при проектировании конкретного гребного винта за счет выбора оптимальных параметров расчета, выявленных и обоснованных в результате многочисленных экспериментов по работе гребного винта в свободной воде, проведенных в среде Flow Vision.

### ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

Задание проекта во Flow Vision характеризуется необходимостью назначения множества параметров – от определения области расчета до генерации расчетной сетки и формирования граничных условий. И это далеко не все параметры, которые необходимо задать пользователю. В качестве тестовой задачи был выбран трехлопастный гребной винт Вагенингентской серии (серии В) правого вращения с дисковым отношением 0,35 и шаговым отношением 1,1, твердотельная модель и кривые действия которого представлены на рис. 1.

Результаты модельных испытаний винтов данной серии, проведенных в Вагенингентском бассейне, позволяют сравнить результаты численных экспериментов с результатами модельных экспериментов и выполнить анализ влияния параметров, задаваемых во Flow Vision, на результаты расчета.

Геометрические характеристики гребного винта представлены на рис. 2. Твердотельная модель гребного винта была построена в среде Solid Works на основе данных, рассчитанных в программе GSP. Эта программа формирует файлы в формате кривых Solid Works с пространственными координатами точек профильных сечений каждой лопасти и координатами точек входящей и выходящей кромок [6].

Исследуемые параметры:

- 1) модель турбулентности;
- 2) размерность сетки;
- 3) размеры расчетной области;
- 4) величина шага по времени;
- 5) шаблоны адаптации сетки.

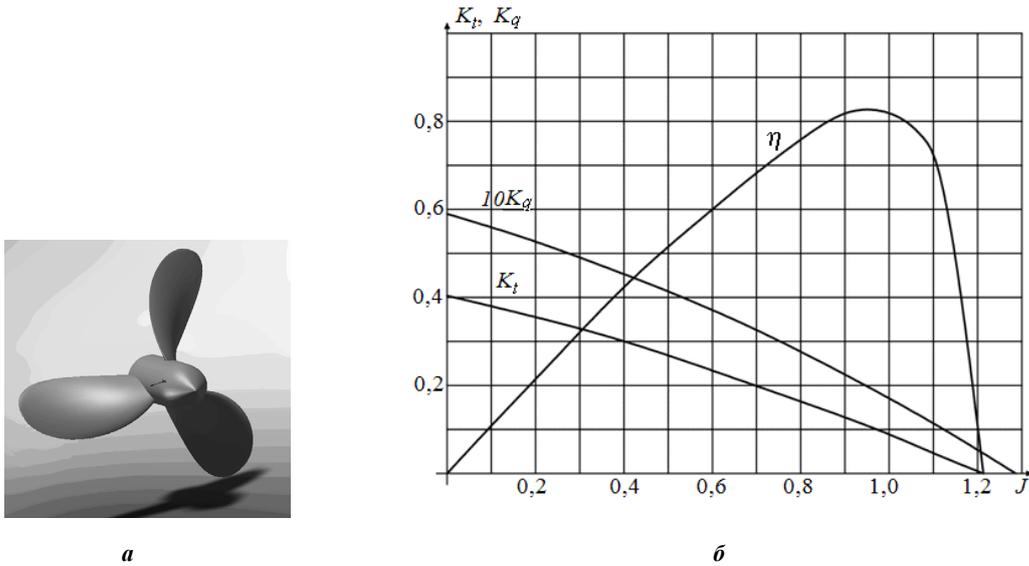


Рис. 1. Характеристики гребного винта: а – твердотельная модель; б – кривые действия

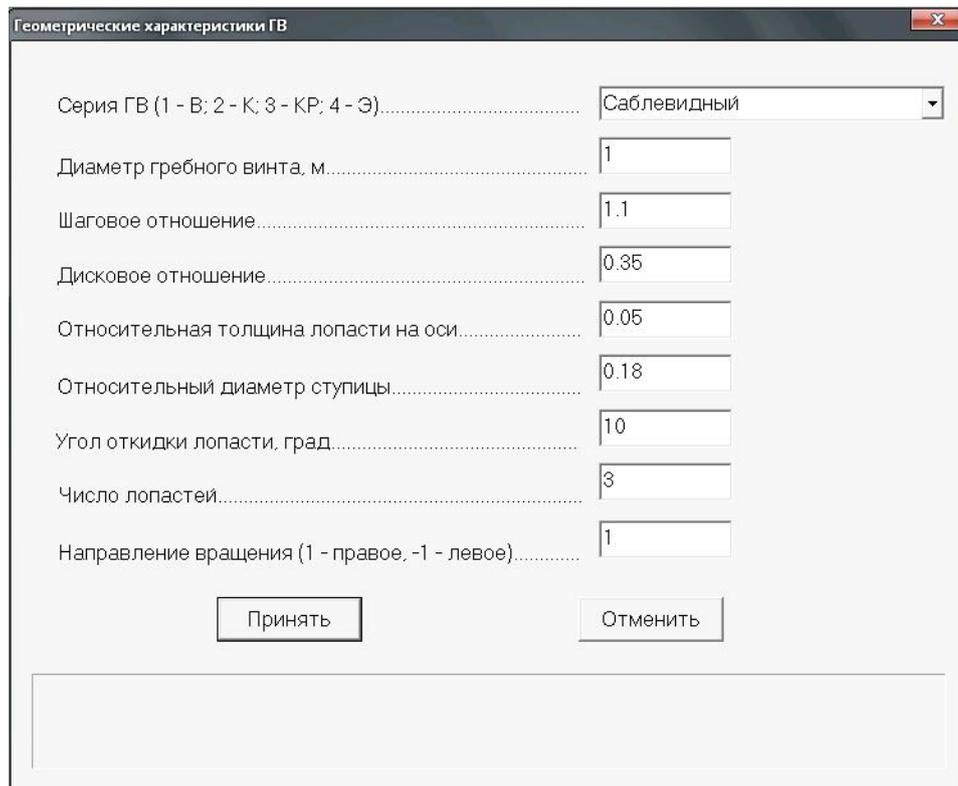


Рис. 2. Диалоговое окно программы GSP

В пакете твердотельного моделирования Solid Works была построена расчетная область (бок) в форме цилиндра, имитирующая окружающую гребной винт жидкость. На основе построенного бокса в пакете Flow Vision создается проект и выполняются стандартные действия по выбору математической модели, осуществляется задание физических параметров и параметров метода [7]. При помощи инструментов препроцессора «фильтры» твердотель-

ная модель гребного винта помещается в расчетную область, что весьма удобно для задания нужного местоположения подвижного тела в области бокса и начальных условий свободного вращения гребного винта. Гребной винт вращался со скоростью 300 об/мин.

При заданной скорости натекающего на винт потока 5 м/с проводился ряд экспериментов с поочередным изменением значений исследуемых параметров,

что в результате дало возможность проанализировать их влияние и сделать выводы.

Среди исследуемых моделей турбулентности (SA, SST,  $k-\epsilon$ -турбулентность) приемлемой для данной задачи выступает модель турбулентности SA, влияние моделей  $k-\epsilon$ -турбулентности и низкорейнольдсовой характеризуется заниженными результатами расчета.

Поскольку нет четких рекомендаций по заданию размерности расчетной сетки, то для цилиндра высотой 5 м и диаметром 2 м изначально была выбрана расчетная сетка 50/20/20 ячеек, т. е. 20 тысяч ячеек первого уровня (объем ячейки составил 0,001 м<sup>3</sup>, число расчетных ячеек – 44491). Ряд проведенных экспериментов позволил установить улучшение результатов расчета при увеличении количества ячеек начальной расчетной сетки вдвое, однако увеличение количества ячеек в полтора раза не дало дальнейшего улучшения. Для изучения влияния такого параметра, как адаптация расчетной сетки в пределах заданной области (все пространство, плоскость, конус, параллелепипед) при одинаковых остальных параметрах, проведен расчет как без адаптации, так и с адаптацией сетки. Установлено слабое влияние задания адаптации сетки по шаблону на результаты расчета. Дело в том, что сам по себе программный комплекс Flow Vision содержит прямоугольную адаптивную сетку с локальным измельчением. Для аппроксимации с повышенной точностью Flow Vision использует технологию подсеточного разрешения геометрии, благодаря чему сетка генерируется автоматически для расчетной области, имеющей любую степень сложности. Для моделирования работы гребного винта в свободной воде нет необходимости использовать дополнительную адаптацию сетки.

В документации, поставляемой с CFD-пакетом Flow Vision, даны следующие рекомендации по заданию шага по времени. Для большинства математических моделей шаг по времени можно задать равным одной десятой пролетного времени. Пролетным называется то время, которое потребуется частице, выпущенной из входа в расчетную область, для достижения выхода расчетной области. Ранее в рамках исследований был проведен ряд экспериментов по изучению влияния на расчет шага по времени (рис. 3).

В ходе дополнительных экспериментов шаг уменьшался в 2; 4–16 раз. Чем меньше величина шага по времени, тем больше время расчета, поэтому при отсутствии влияния величины шага на результаты нет смысла его уменьшать. Для каждой конкретной задачи существует оптимальный шаг, тогда любое значение шага меньше оптимального не будет влиять на результаты. Таким образом, экспериментально установлена следующая схема задания рекомендуемого значения шага по времени. Шаг по времени, рассчитанный как 1/10 от времени, за которое части-

ца пройдет расстояние от входа к выходу, необходимо уменьшить в четыре раза. Дальнейшее уменьшение не имеет никакого существенного влияния, поэтому им можно пренебречь.

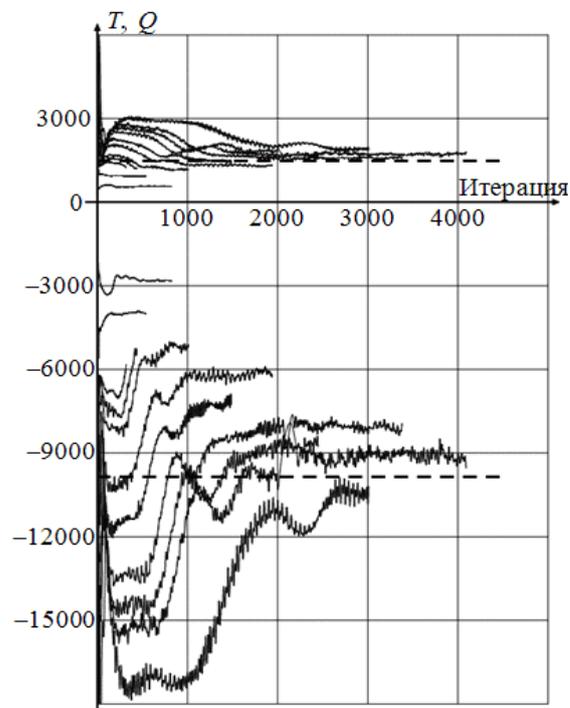


Рис. 3. График зависимости количества итераций от упора и момента гребного винта серии В при различных шагах по времени при  $v = 0$  м/с

Немаловажную роль при моделировании процесса обтекания любого объекта в программе Flow Vision играют размеры бокса, в который помещается исследуемое тело: правильно подобранные значения увеличивают уровень сходимости получаемых результатов численных экспериментов. Первоначально цилиндр, в который помещалась твердотельная модель гребного винта, имел диаметр 2 м и высоту 5 м при диаметре гребного вина 1 м (рис. 4).

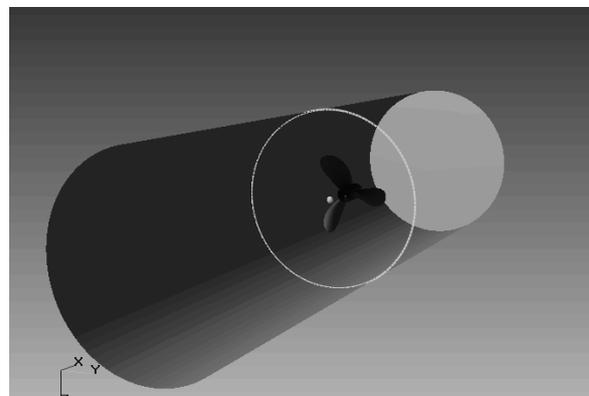


Рис. 4. Постановка задачи во Flow Vision

Далее менялась высота цилиндра: 3 м, 7 м, 9 м – и изменялся его диаметр. Исследования показали,

что изменение значения диаметра не влияет на результаты. При увеличении длины бокса с 5 до 7 м результаты улучшились, однако дальнейшее удлинение его до 9 м не привело к улучшению результатов. При диаметре гребного винта в 1 м оптимальным оказался цилиндр, высота (она же длина бокса) которого в 7 раз превышает диаметр гребного винта, а диаметр цилиндра (он же ширина и высота бокса) – в 2 раза. В данном случае можно сделать вывод, что при моделировании работы конкретного гребного винта в программе Flow Vision следует провести ряд дополнительных исследований по определению оптимальных размеров бокса для исключения влияния его стенок на расчет, что фактически может иметь место при модельном эксперименте в опытовом бассейне, поскольку оптимальные размеры бокса напрямую зависят от геометрических размеров гребного винта.

## ВЫВОДЫ

1. Для численного эксперимента характерно такое понятие, как дискретизация, или численная расходимость, которая возникает при измельчении сетки. Поэтому достаточно мелкая сетка не улучшает результаты расчета, а, наоборот, может служить ядром накопления ошибок.

2. Разработанные рекомендации по заданию оптимальных размеров расчетной области, размерности сетки, величины шага по времени, модели турбулентности, шаблона адаптации эффективны для моделирования работы гребного винта в свободной воде в среде Flow Vision.

3. Выполненное обоснование влияния параметров на результаты расчета при моделировании работы проектируемых объектов в среде Flow Vision позволяет сократить количество численных экспериментов, а следовательно, и сроки проектирования.

## 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, А. В. Печенюк, Б. Н. Станков, В. Г. Пасечник // 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] **Король, Ю. М.** Автоматизированная генерация данных для построения твердотельных моделей гребных винтов [Текст] / Ю. М. Король, О. Н. Рудько // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв : НУК, 2008. – № 1. – С. 56–61.
- [6] **Король, Ю. М.** FLOW VISION в учебном процессе и научных исследованиях [Текст] / Ю. М. Король, О. Н. Рудько // Труды Всероссийской научно-практической конференции «Инженерные системы–2008». – М. : РУДН, 2008. – С. 30–41.
- [7] **Субботина, П. Н.** Решение задач внешнего обтекания с использованием различных моделей турбулентности в Flow Vision [Электронный ресурс] / П. Н. Субботина. – Режим доступа: <http://www.thesis.com.ru>.

© О. М. Корнелюк

Надійшла до редколегії 15.07.2014

Статтю рекомендує до друку член редколегії ЗНП НУК  
д-р техн. наук, проф. *В. О. Некрасов*