

УДК 532.5.013

А.В. Маттис, А.А. Коптилкин

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МОРСКИХ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ САПР

Маттис Алексей Валерьевич, кандидат технических наук, окончил машиностроительный факультет Ульяновского государственного технического университета по специальности «Технология, оборудование и автоматизация машиностроительных производств». Заместитель главного конструктора ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Имеет публикации в области моделирования и разработки АСУ. [e-mail: mars@mv.ru].

Коптилкин Александр Александрович, окончил факультет специального машиностроения Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. Инженер-конструктор ФНПЦ ОАО «НПО «Марс». Область научных интересов – аэродинамика, механика твердого тела. [e-mail: koptilkin@front.ru].

Аннотация

В статье рассматривается задача определения гидродинамических характеристик морских подвижных объектов (МПО) с помощью систем автоматизированного проектирования (САПР). Приводится краткий обзор основных известных пакетов гидродинамического анализа FlowVision, SolidWorks+COSMOSFloWorks, ANSYS. Приводятся результаты расчета гидродинамических коэффициентов модели судна с помощью пакета COSMOSFloWorks. Результаты расчета сравниваются с результатами натурального эксперимента.

Ключевые слова: САПР, гидродинамика, гидродинамические коэффициенты, морской подвижный объект, FlowVision, SolidWorks+COSMOSFloWorks, ANSYS.

Alexey Valeryevich Mattis, Candidate of Engineering, graduated from the Faculty of Machine-Building at Ulyanovsk State Technical University in the profession 'Technology, Equipment and Automation of Machine-Building Productions'; deputy chief designer at FRPC OJSC 'RPA 'Mars'; author of publications in the field of modeling and development of C2 systems. e-mail: mars@mv.ru.

Alexander Alexanderovich Koptilkin, graduated from the Faculty of Special Machine-Building at Bauman Moscow State Technical University; design engineer at FRPC OJSC 'RPA 'Mars'; interested in aerodynamics, mechanics of rigid body. e-mail: koptilkin@front.ru.

Abstract

The article deals with a task of definition of hydrodynamic features of maritime mobile crafts using CAD and gives a brief review of basic known suites for hydrodynamic analysis: FlowVision, SolidWorks+COSMOSFloWorks, ANSYS. It also cites results of the calculation of hydrodynamic factors for a vessel model using COSMOSFloWorks. The calculation results are compared with those of a full-scale experiment.

Key words: CAD, hydrodynamics, hydrodynamic factors, maritime mobile object, FlowVision, SolidWorks+COSMOSFloWorks, ANSYS.

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных задач, возникающих при математическом моделировании движения МПО, а также при разработке алгоритмов автоматического управления их движением, является задача определения гидродинамических характеристик МПО.

Как известно, гидродинамическая сила, действующая на подводную часть МПО, имеет инерционную и вязкостную составляющие. Инерционная составляющая проявляется в дополнительном сопротивлении движению МПО вследствие вовлечения в движение водных масс и учитывается в уравнениях динамики значениями присоединенных масс. Вязкостная составляющая обусловлена наличием трения и разделяется по характеру движения

на позиционную составляющую, возникающую при прямолинейном движении МПО с углами атаки и дрейфа, и демпфирующую составляющую, возникающую при вращении МПО.

Определение этих сил может осуществляться аналитическим или экспериментальным методами, а также с использованием САПР.

ОБЗОР ПАКЕТОВ САПР ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

САПР для построения модели и проведения гидродинамических расчетов (CAD/CAE-системы) должны обладать следующими функциональными возможностями:

- создания геометрических моделей со сложными поверхностями;

- импортирования существующих моделей из внешних файлов;
- настройки параметров расчетной сетки;
- расчета гидродинамических характеристик моделей в различных режимах их движения и в различных условиях обтекания;
- визуализации результатов расчета;
- всестороннего анализа результатов расчета.

При выборе САПР следует учитывать их стоимость, а также возможности интеграции с уже внедренными на предприятии средствами проектирования.

В настоящее время этим требованиям соответствуют следующие пакеты САПР для проведения гидродинамических расчетов: FlowVision, ANSYS, SolidWorks+COSMOSFloWorks.

FlowVision. Пакет FlowVision является мощным современным средством изучения и разработки вычислительных методов гидро-, газо- и термодинамики, исследования сложных процессов движения жидкостей и газов, распространения тепла, а также ряда других задач, в том числе описываемых системами дифференциальных уравнений в частных производных [1]. FlowVision позиционируется как надежный инструмент научных исследований. Существует возможность получения не только интегральных, но и дифференциальных характеристик течения, таких, как поле скоростей, давлений, температур, линий тока, траекторий.

ANSYS. Универсальная программная система конечно-элементного анализа, которая на протяжении последних 30 лет является одним из мировых лидеров в области CAE. Включает в себя модули для решения линейных и нелинейных, стационарных и нестационарных пространственных задач механики деформируемого твердого тела и механики конструкций (включая нестационарные геометрически и физически нелинейные задачи контактного взаимодействия элементов конструкций), задач механики жидкости и газа, теплопередачи и теплообмена, электродинамики, акустики, а также механики связанных полей [2].

Для решения задач механики жидкости и газа используются модули для создания модели, построения расчетной сетки, ввода исходных данных (препроцессор), сам «решатель» и модуль для просмотра и анализа результатов (постпроцессор). Модули позволяют импортировать и создавать геометрические модели, тонко настраивать расчетную сетку. В процессе решения у пользователя есть возможность анализировать изменения указанных физических величин и сходимость задачи. Все модули обладают удобной для пользователя возможностью предупреждений об ошибках.

SolidWorks+COSMOSFloWorks. Пакет программ SolidWorks+COSMOSFloWorks представляет собой комбинацию среды моделирования SolidWorks и гидрогазодинамического решателя COSMOSFloWorks. Пакет прикладных программ COSMOSFloWorks базируется на последних достижениях вычислительной газо- и гидродинамики и позволяет рассчитывать гидродинамические характеристики различных объектов при различных условиях их обтекания: двумерного и трехмерного, ламинарного и турбулентного, несжимаемого и сжимаемого [3].

В основе пакета лежат решение уравнений Навье-Стокса, описывающих в нестационарной постановке законы сохранения массы, импульса и энергии среды, уравнения состояния компонентов этой среды и эмпирические зависимости этих компонентов.

Для проведения гидродинамических расчетов в программе COSMOSFloWorks необходимо предварительно построить трехмерную модель исследуемого объекта, задать систему координат, расчетную область, начальные и граничные условия. Как правило, задача решается в связанной системе координат, при этом исследуемый объект считается неподвижным, а жидкость движется со скоростью перемещения объекта. Начальными условиями задачи являются давление и температура жидкости, линейные и угловые скорости течения жидкости. Граничными условиями являются условия теплообмена на границе погруженной поверхности объекта с внешней средой [4].

Таким образом, пакеты SolidWorks+COSMOSFloWorks и ANSYS обладают примерно равными функциональными возможностями. Основным недостатком пакета FlowVision является отсутствие возможности твердотельного моделирования исследуемых объектов. Исходя из этого и с учетом обеспечения интеграции с используемой на предприятии САПР SolidWorks, для проведения гидродинамических расчетов был выбран пакет COSMOSFloWorks.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

С целью обоснования возможности применения пакета COSMOSFloWorks для определения гидродинамических характеристик различных МПО был проведен гидродинамический расчет автономной радиоуправляемой модели судна, ранее испытанной в опытовом бассейне ЦНИИ им. акад. Крылова.

Предварительно с помощью САПР SolidWorks была построена трехмерная твердотельная модель судна (в масштабе 1:20 от размеров реального судна). При расчете в COSMOSFloWorks была определена система координат с началом в центре масс модели (рис. 1) и расчетная область – параллелепипед с размерами 5000×1200×3400 мм.

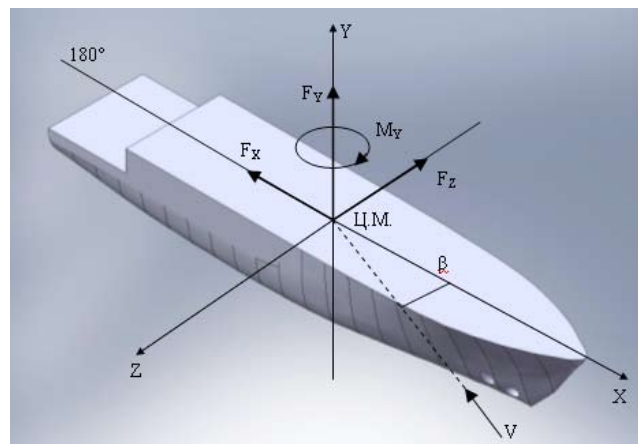


Рис. 1. Используемая система координат

Модель погружалась в расчетную область на величину осадки. Течение жидкости задавалось как ламинарное, тип жидкости — вязкая несжимаемая с плотностью 1000 кг/м³, линейная скорость течения жидкости — 0,9 м/с. Граничные условия задавались в виде идеальной адиабатической поверхности (теплообмен с внешней средой отсутствует). Направление вектора скорости течения жидкости (угол дрейфа β) варьировалось в интервале от 0 до 180° с шагом 10°.

Было выполнено 18 расчетов. Каждый расчет занимал около 20 минут на ЭВМ с параметрами: процессор – 2,4 ГГц, ОЗУ – 2 Гб. В результате каждого расчета были определены действующие на МПО составляющие гидродинамической силы и момента. Рассчитанные значения затем приводились к безразмерным коэффициентам гидродинамической силы C_X , C_Z и момента C_M по формулам [5]:

$$C_X = \frac{F_X}{0,5 \cdot \rho \cdot L \cdot T \cdot (V^2 + \omega^2 L^2)},$$

$$C_Z = \frac{F_Z}{0,5 \cdot \rho \cdot L \cdot T \cdot (V^2 + \omega^2 L^2)},$$

$$C_M = \frac{M_Y}{0,5 \cdot \rho \cdot L^2 \cdot T \cdot (V^2 + \omega^2 L^2)},$$
(1)

где F_X , F_Z , M_Y – составляющие гидродинамической силы и момента,

L – длина подводной части модели,

T – осадка,

ρ – плотность жидкости,

V , $\omega = 0$ – линейная и угловая скорости натекания жидкости.

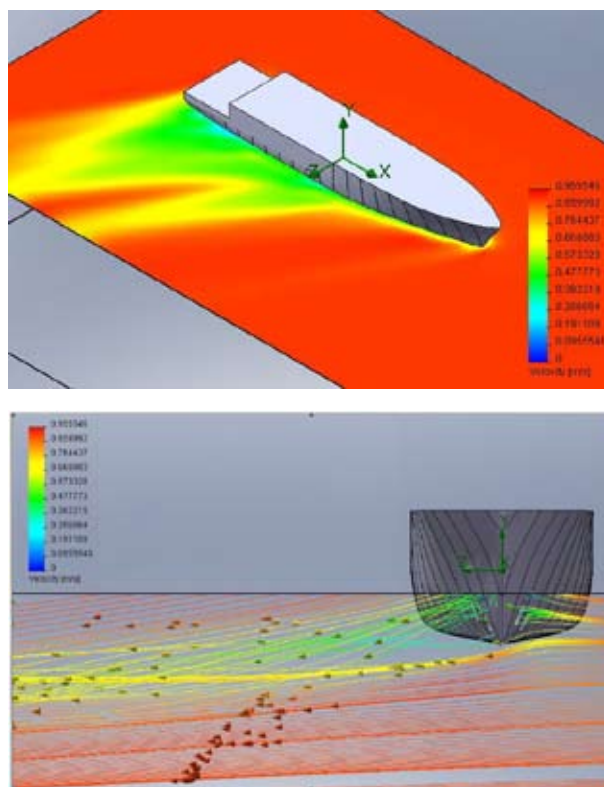


Рис. 2. Картина распределения скоростей и линий тока жидкости

Также были получены картины распределения скоростей и линий тока жидкости (рис. 2)

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ

Сравнение коэффициентов гидродинамической силы C_X , C_Z и момента C_M полученных с помощью пакета COSMOSFloWorks (рис. 3), с коэффициентами, полученными ранее при испытании этой же модели судна в опытовом бассейне ЦНИИ им. акад. Крылова [6], показывает близость результатов для коэффициентов C_X и C_Z . Для коэффициента C_M разница в результатах оказалась более существенной. Большие значения коэффициента C_M полученного при испытаниях модели в опытовом бассейне, может быть объяснено тем, что в состав измеряемого гидродинамического момента дополнительно входит инерционная составляющая [7].

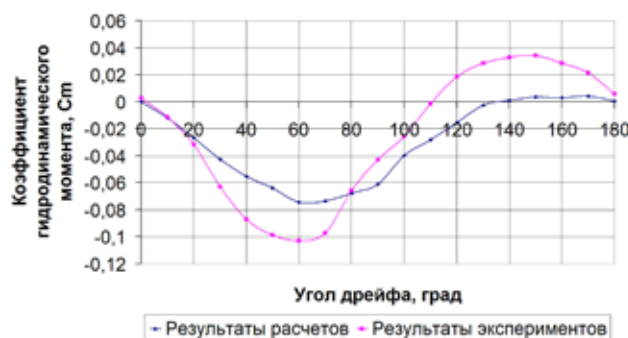
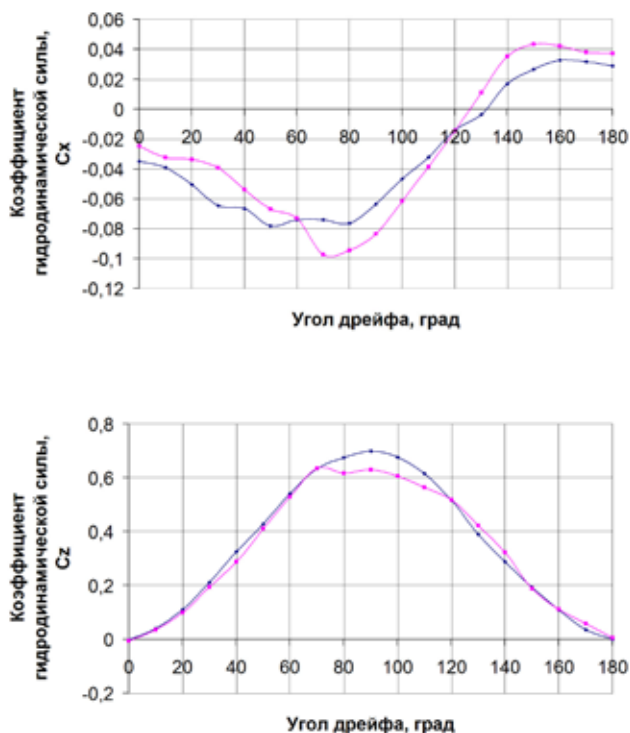


Рис. 3. Зависимости коэффициентов гидродинамической силы C_X , C_Z и момента C_M от угла дрейфа

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленные в работе материалы подтверждают возможность использования программы COSMOSFloWorks для гидродинамических расчетов МПО. При этом достигается значительное сокращение времени и затрат на проведение натурного эксперимента. Преимуществами метода также являются возможность определения гидродинамических характеристик реального (в масштабе 1:1) МПО, возможность задания различных условий обтекания и других исходных данных, а также хорошая визуализация результатов расчета.

Основным недостатком способа является отсутствие возможности расчета гидродинамических сил при вращении неосесимметричных тел, к которым относится большинство МПО.

В ряде случаев определение гидродинамических характеристик с помощью САПР может служить альтернативой проведению натурных экспериментов. Однако наиболее эффективный путь – это сочетание гидродинамических расчетов, выполненных с помощью САПР для всех режимов движения МПО, с экспериментальными исследованиями отдельных характерных режимов движения моделей МПО в опытовых бассейнах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Король Ю.М. FlowVision в учебном процессе и научных исследованиях / Николаев, Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова. – URL: http://www.thesis.com.ru/infocenter/downloads/flowvision/fv_es08_nukua1.pdf.
2. Басов К.А. Графический интерфейс комплекса ANSYS. – М. : ДМК Пресс, 2006. – 248 с.
3. Ушаков В. Анализ обтекания тел с отрывом потока в системе SolidWorks/Flowworks // CAD/CAM/CAE Observer. – 2003. – № 3 (12). – С. 2–9.
4. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовский [и др.]. – СПб. : БХВ-Петербург, 2005. – 1022 с.
5. Войткунский Я.И., Першиц Р.Я., Титов И.А. Справочник по теории корабля. Судовые движители и управляемость. – Л. : Судостроение, 1973. – 512 с.
6. Научно-технический отчет ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова «Разработка математической модели движения корабля. Расчеты позиционирования и различных режимов движения». Вып. № 43423. – СПб., 2005. – 78 с.
7. Привязные подводные системы. Прикладные задачи статики и динамики / Н.И. Виноградов [и др.]. – СПб. : Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2005. – 303 с.