

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИКИ СУДОВ И ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПЛЕКСА FLOWVISION И ПРОГРАММЫ FREE!SHIP PLUS

Тимошенко В. Ф. , канд. техн. наук, доцент
Национальный университет кораблестроения, Николаев, Украина

FREE!ship Plus - это программа со свободным исходным кодом по лицензии GNU GPL, бесплатный аналог таких программ как Multisurf, Maxsurf, AutoShip, NavCAD и т.п., и предназначена для проектирования обводов корпуса по технологии NURBS, расчетов статики, ходкости и других расчетов гидродинамики судов и подводных аппаратов (ПА).

Расчёты в FREE!ship Plus базируются на данных систематических серийных испытаний моделей судов, содержат более 34-ти опубликованных методов и серий для расчета буксировочного сопротивления и мощности [1,2,4] (морские и речные суда, самоходные ПА, катамараны, траулеры и буксиры, быстроходные катера и глиссеры, яхты) для более чем 55 типов корпусов и обводов, 17-ти винтовых диаграмм 7 типов движителей [4] и, в том числе, водометов фирмы Hamilton WaterJet.

FREE!ship Plus дает возможность конструктору полностью смоделировать и проанализировать состояние равновесия комплекса корпус-рули-кили-двигатели-движители на разных режимах работы с учетом условий эксплуатации судна, учесть 11 типов выступающих частей судна и оценить влияние на сопротивление факторов внешней среды (ветер, волнение, обрастание, мелководье и др.).

Free!ship Plus включает в себя 10 типовых задач по статике теории корабля, 8 задач по расчету движителей и выбору главного двигателя (имеется база данных по 335-ти ДВС, 95-ти электро- и 30-ти гидромоторам малой мощности для ПА) и 5 других очень важных задач по динамике судов:

- расчет присоединенных масс корпуса - CFD методом (моделирование поверхности источниками-стоками), методом эквивалентного эллипсоида и для речных судов на циркуляции методом НИИВТа;
- расчет аэродинамических характеристик надводной части корпуса (15 типов судов) с использованием регрессионного анализа экспериментальных данных Ишервуда и ОИИМФа;
- расчет устойчивости на курсе по методу Кларка-Гедлинга-Хайна, поворотливости и расчет циркуляции судна при действии руля по методу Листера-Найта;
- расчет разгона, свободного и активного торможения (реверса);
- создание 3D геометрии рулей, килей и килей с бульбом.

База профилей содержит более 125 симметричных профилей типа NACA, НЕЖ, Епплера, GOE, FX, HQ, RAF и др. Для оценки эффективности профилей имеется расчет их гидроаэродинамических характеристик по нелинейной теории крыла Федяевского К.К.

В тех случаях, когда обводы корпуса проектируемого судна существенно отличаются от обводов испытанных серий моделей, можно воспользоваться для расчета буксировочного сопротивления комплексом [FlowVSION](#). Для проверки и отработки методики расчета сопротивления были выполнены расчеты более 15 корпусов судов разных типов, рулей с профилем NACA, кольцевой насадки и глиссера. В качестве примера, ниже на рисунках 1 и 2 приведены результатов расчета 2-тонного глиссера с круглокилевым днищем с продольным реданом в сравнении с расчетом по методам Седова-Перельмутра и Д.Савитского-64.

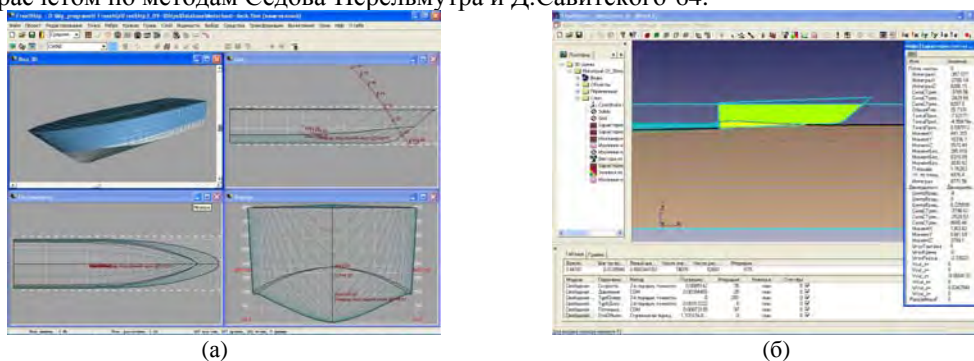


Рис. 1. Пример 3D геометрии 2-тонного глиссера (а) и результаты его моделирования при скорости 30 м/с (б)

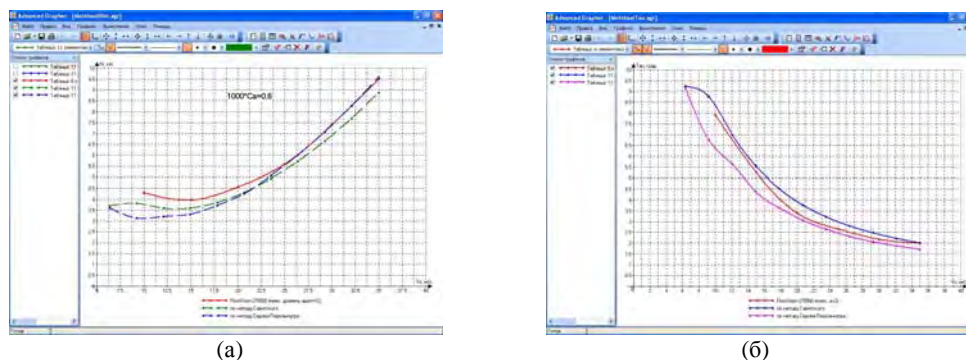


Рис. 2. Сравнение результатов расчета буксировочного сопротивления глиссера (а) и углов ходового дифферента в зависимости от скорости (б)

При проектировании автономных ПА одной из важных задач является расчет параметров пространственного криволинейного движения с целью определения гидродинамических характеристик (ГДХ) элементов движительно-рулевого комплекса (ДРК) и других систем управления ПА.

Для решения этой задачи удобно воспользоваться компьютерной моделью функционирования автономного ПА, основанной на численном моделировании гидродинамики пространственного криволинейного движения ПА под действием маршевых движителей, подруливающих устройств и систем изменения плавучести и дифферента с использованием ПЭВМ.

Разработана гидродинамическая модель динамики автономного ПА базирующаяся на теоретическом и экспериментальном определении позиционных, вращательных и инерционных характеристик.

Позиционные составляющие гидродинамических сил и момента, входящие в уравнения динамики корпуса ПА с выступающими частями, определяются на базе экспериментальных продувок моделей проектируемых ПА, либо теоретически.

Теоретическое определение позиционных ГДХ корпуса ПА с выступающими частями в рамках теории идеальной жидкости основано на методе определения ГДХ пространственных тел, обтекаемых косым потоком жидкости с переменным вдоль длины тела углом атаки [3]. На базе нелинейной нестационарной вихревой теории крыла конечного удлинения, а также численных методов гидромеханики и математики оно реализовано в виде расчетных алгоритмов и программ расчета на ПЭВМ.

В данной работе были также получены результаты расчета позиционных характеристик ПА в связанной и поточной системах координат с использованием комплекса FlowVision и представлены на рис 3 и 4.

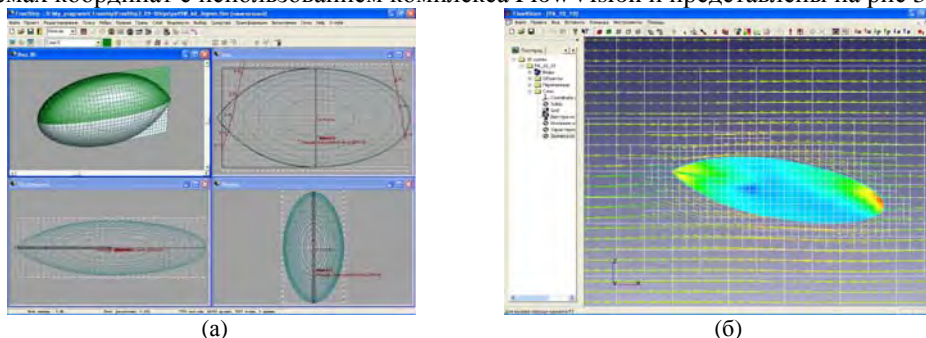


Рис. 3. 3D геометрия ПА типа “Скарус” (а) и результаты моделирования поля скоростей и давлений в поточной системе координат (б)

Твердотельная модель корпуса ПА с килем и расчетная область (бокс) были созданы средствами FREE!ship Plus и сохранены в формате STL. Моделирование обтекания корпуса осуществляется с использованием модели “несжимаемой жидкости”, модель турбулентности к-ε, а корпус через фильтр подвижного тела помещается в расчетную область. Скорость на “входе” задавалась 40 м/с.

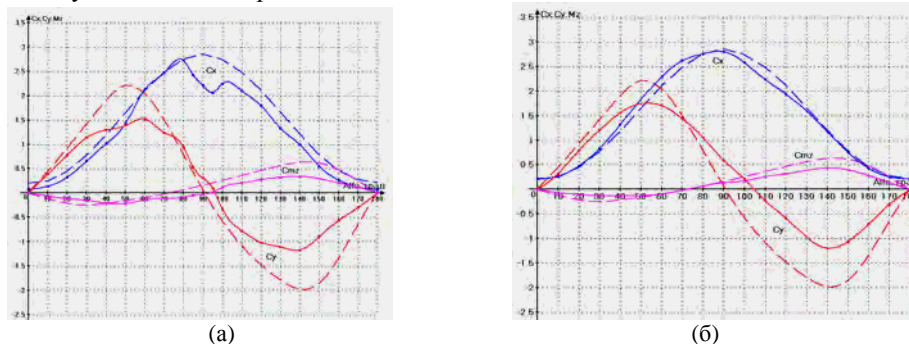


Рис. 4. Результаты расчета позиционных ГДХ АПА “Скарус” C_x , C_y и C_z в поточной (а) и связанной системе координат (б)

Результаты гидродинамического моделирования в FlowVision позиционных характеристик ПА ($L=3.94\text{м}$, $B=1.1\text{м}$, $H=2.0\text{м}$, $C_b=0.476$) типа “Скарус” (сплошные линии на рис. 4) в сравнении с осредненными экспериментальными данными (пунктирные), полученными в аэродинамической трубе при скоростях натекания 25...45 м/с, свидетельствуют об их удовлетворительном совпадении. Неточности расчета и эксперимента, видимо, связаны с нестационарностью обтекания корпуса ПА из-за колебательного характера углов атаки в аэродинамическом эксперименте.

Вращательные компоненты гидродинамических сил и момента рассчитываются численно по методике, основанной на разделении на составляющие по циркуляционно-отрывной теории обтекания тел удлиненной формы К.К.Федяевского на линейные и нелинейные вращательные компоненты гидродинамических сил и моментов с использованием данных позиционных компонент (рис. 4).

Присоединенные массы определяются численно методом последовательных приближений при решении интегральных уравнений Фредгольма 2-го рода относительно плотности гидродинамических особенностей (источников-стоков) распределенных непрерывно по поверхности ПА (с килем) с учетом и без учета влияния дна и дифферента [5]. При этом полагаем, что жидкость идеальная, несжимаемая, а движение потенциальное.

Кривые действия гребных винтов и коэффициентов взаимодействия корпуса, винтов и насадок определяются по справочнику [4] или экспериментально. Внешние характеристики капсулированных маршевых движи-

телей и подруливающих устройств (ПУ) определяются по экспериментальным данным. Дифференциальные уравнения движения интегрируются методом Рунге-Кутты с постоянным или автоматически выбираемым переменным шагом по времени.

Разработан программный симулятор вертикального маневрирования автономного ПА под действием маршевых движителей, носового и кормового ПУ и систем изменения плавучести (СИП) и дифферента, который позволяет определять параметры движения ПА при решении задач:

- разгон и торможение, свободное погружение и всплытие ПА в однородной и неоднородной стратифицированной жидкости;

- погружение и всплытие ПА под действием ПУ, разности сил плавучести и тяжести, при действии дифференциальной системы и др.

- управляемое маневрирование вблизи дна под действием маршевых движителей, кормового и носового ПУ, СИП и дифференциальной системы;

- определение оптимальных характеристик и размещения элементов устройств управления, ДРК и других систем проектируемого АПА.

- автоматическое отслеживание рельефа дна, а также и определение энергетических потребностей АПА;

Данная гидродинамическая модель нестационарного ПА и разработанный на ее базе комплекс программ могут быть использованы при проектировании и при разработке математического обеспечения автоматического управления автономных подводных аппаратов.

FREE!ship Plus, в сочетании с его бесплатностью, является великолепным инструментом, позволяющим разработать обводы корпуса, рассчитать гидростатику, остойчивость, ходкость и маневренность, получить результаты приемлемой точности, а при совместном использовании с комплексом [FlowVision](#), во многих случаях, избежать дорогостоящих модельных испытаний.

1. Мордвинов Б.Г. Справочник по малотоннажному судостроению. – Л.: Судостроение, 1987, 575с.

2. Слижевский Н.Б., Король Ю.М., Соколик М.Г., Тимошенко В.Ф. Расчет ходкости надводных водоизмещающих судов: Учебное пособие. – Николаев, НУК, 2004, 192с.

3. Слижевский Н.Б., Тимошенко В.Ф. Гидродинамические характеристики пространственных тел при обтекании косым потоком. Институт гидромеханики АН Украины. Сборник науч. трудов. Киев, ISSN 0367-4088 Гидромеханика, 72, 1998, 15с.

4. Справочник по теории корабля: В трех томах. Том 1. Гидромеханика. Сопротивление движению судов. Судовые движители / Под редакцией Войткунского Я.И. – Л.: Судостроение, 1985, 768с.

5. Тимошенко В.Ф. Определение инерционных характеристик подводного аппарата вблизи дна и в стратифицированной жидкости. Гидродинамика корабля. Сб. науч. трудов Николаев. НКИ, 1993, с.14-21.