

Примеры использования ANSYS CFD в судостроительной отрасли

За последние несколько лет с ростом производительности вычислительной техники увеличились и возможности специализированных программ, ориентированных на решение задач вычислительной гидродинамики (CFD), повысилась точность результатов, получаемых с помощью этих программ. Все это открыло перед CFD-кодами самую широкую перспективу по использованию в судостроительной отрасли, в том числе и в яхтостроении. В статье на примере гидродинамического расчета кубковой яхты представлены основные возможности CFD-кода, разрабатываемого компанией ANSYS, Inc.

Оптимизация геометрии киля кубковой яхты

Основное назначение киля заключается в обеспечении необходимой остойчивости судна при плавании под парусами. Бульбкий – эффективное средство для противодействия кренящей силе, кроме того, он оказывает положительное влияние на восстанавливающие моменты за счет более низкого расположения центра тяжести. Закрылки на бульбе и плавник выполняют первую функцию. Для этого их специально профилируют, чтобы уменьшить сопротивление трения и увеличить подъемную силу. А для увеличения массы балласта и улучшения остойчивости бульбы изготавливают из тяжелых материалов и устанавливают как можно ниже.

В описываемом примере объем бульба был постоянным, но можно было менять геометрию его обводов, чтобы улучшить аэродинамику системы “плавник-бульб-закрылки” в целом.

Вычислительная платформа

Вычислительный Linux-кластер был собран на основе шестнадцати серверов SUN Fire X4100, оборудованных двумя двухъядерными процессорами AMD Opteron 285 и 16 Гб оперативной памятью. Семнадцатый узел – управляющий – представлял собой сервер SUN Fire 4200 на базе процессора AMD Opteron 252.

Все вычислительные узлы были объединены в кластер гигабитной сетью Ethernet, кроме того, использовались адаптеры Myrinet 2000. В качестве ОС использовалась SUSE Linux SLES9 SP3 64-bit.

Описание расчетной модели

Высота киля яхт класса “Кубок Америки” регламентирована правилами соревнований. Профиль плавника был предварительно получен в процессе двухмерной оптимизации, и в последующих расчетах его геометрия не изменялась. Кроме того, был зафиксирован угол откло-



Яхта класса “Кубок Америки”

нения закрывков, а требуемое значение величины подъемной силы достигалось путем изменения угла атаки. Поэтому для определения геометрии плавника достаточно было задать следующие параметры: длина корневой хорды, конусность, угол стреловидности и положение плавника относительно бульба.

Параметризованная модель бульба показана на рис. 1. Как видно из рисунка, геометрия бульба задается тремя Безье-кривыми, координаты точек которых и являются параметрами оптимизации геометрии бульба. В дополнение к этому, отслеживалась кривизна кривой в поперечном сечении бульба (кривая Section line на рис. 1).

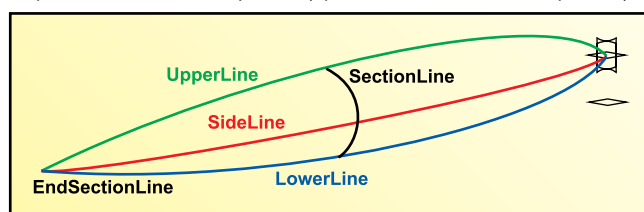


Рис. 1. Каркасная модель бульба

Геометрия закрывков также была получена в ходе двухмерной оптимизации и в последующих расчетах не изменялась. Однако положение закрывков на бульбе варьировалось в процессе оптимизации.

Процедура оптимизации

Для решения задачи оптимизации геометрии бульба киля был выбран генетический алгоритм, который обладает большей устойчивостью по сравнению с алгоритмами градиентного типа и хорошо параллелится.

Выбор входных управляемых переменных является самым ответственным моментом в процессе оптимизации, поскольку они определяют диапазон решений, внутри которых ищется оптимальное значение. В таблице приведены

все переменные оптимизации – геометрические размеры плавника и закрылков. Параметрическое описание геометрии бульба является более сложной задачей. По существу, в ней необходимо полностью описать геометрию с помощью набора точек, определяющих кривую Безье. Однако этот массив точек может оказаться слишком большим, что затруднит процесс оптимизации. Более того, изменение координат всего лишь одной точки Безье приводит к таким изменениям геометрии, которые являются незначительными с точки зрения аэродинамики всей системы и поэтому избыточными.

Решение данной проблемы было найдено в задании дополнительных контрольных точек, управляющих “поведением” точек Безье и полностью определяющих геометрию бульба. Таким образом, наблюдается следующая иерархия: изменения в контрольных точках приводят к изменениям в точках Безье и далее – к изменениям геометрических размеров.

Целевая функция представляет собой весовую комбинацию лобового сопротивления бульбика при различных рабочих условиях и фиксированной величине подъемной силы. В расчете также учитывались изменения сопротивления бульбика и положения центра тяжести при движении яхты по ветру и против ветра.

Постановка любой задачи оптимизации требует введения ограничений во избежание расчета неприемлемых вариантов конструкции. В описываемом случае были введены ограничения на длину бульба (максимальную и минимальную), положение закрылков, а также на длину корневой и концевой хорд для контроля минимально допустимой, с точки зрения прочности, толщины плавника. Объем и продольное расположение центра тяжести бульба были приняты постоянными.

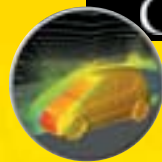
Для расчета была построена сетка размерностью 4 млн элементов. В процессе оптимизации было исследовано около 1000 различных вариантов конструкции бульбика. Общее время оптимизации составило 12 дней.

Геометрия	Изменение
Длина бульба	1,97 %
Смоченная поверхность (с. п.) киля	4,11 %
С. п. бульба	7,87 %
С. п. плавника	0,2 %
С. п. закрылков	-33,34 %
Объем бульба	0 %
Центр тяжести	1,21 %
Кренящий момент	1,21 %
Инерционный момент рысканья	-8,24 %
Характеристика	Изменение
Лобовое сопротивление (киля)	-4,20 %
Сопротивление давления	3,71 %
Сопротивление трения	-0,57 %
Полная подъемная сила	0 %



ANSYS

Инженерный консалтинг



CFX FLUENT

Лицензирование



ICEM CFD GAMBIT

Адаптация и интеграция



AUTODYN

www.autodyn.ru

Внедрение



AQWA/ASAS

Обучение



ANSYS/CivilFEM

www.civildem.ru

Техническое сопровождение

@ Подпишись!

ANSYS Advantage
Русская редакция

Инженерно-технический журнал о современных технологиях компьютерного инжиниринга (CAE).
Подробная информация на сайте www.ansyssolutions.ru

ANSYS eNews
на русском языке

Электронные новости об опыте применения расчетных технологий ANSYS, новых релизах, мероприятиях и событиях ANSYS в России и в мире.
Подробная информация на сайте www.ansys.msk.ru

ЗАО "EMT P" – авторизованный дистрибьютер, инженерно-консалтинговый и учебный центр компании ANSYS, Inc.

Тел. (495) 644 06 08
Факс (495) 644 06 09
E-mail: info@emt.ru
Web: <http://www.emt.ru>



Анализ результатов

На рис. 2а показана исходная геометрия бульбкля, на рис. 2б – оптимизированная. Уменьшение значения целевой функции составило 5,8 %. Изменения основных геометрических параметров бульбкля сведены в таблицу. Там же представлена информация об улучшении рабочих характеристик бульбкля. Наиболее наглядным следствием процесса оптимизации является изменение положения закрылков на бульбе, которые из центра бульба сместились к его задней кромке. Однако справедливо будет заметить, что влияние этого смещения на аэродинамику всей системы является крайне незначительным.

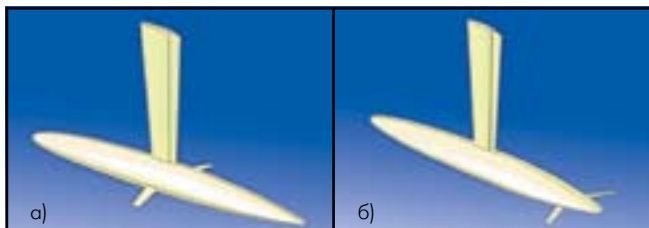


Рис. 2. Геометрия бульбкля: а) до оптимизации, б) после оптимизации

В процессе оптимизации бульб был немного удлинен, и его форма претерпела существенные изменения. В результате этих изменений уменьшился момент инерции системы. Несмотря на то что увеличилась суммарная площадь смоченной поверхности, сопротивление трения уменьшилось, так как развился более благоприятный градиент давления (рис. 3). Величина полного сопротивления уменьшилась более чем на 4 %.

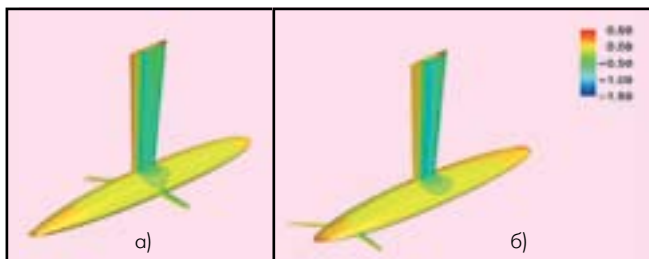


Рис. 3. Распределение давления на поверхности бульбкля: а) начальная конфигурация, б) оптимизированная конфигурация

Замена воды в балластных цистернах судна

Проточная смена балласта является популярным способом очистки балластной воды океанических судов. Эта операция снижает риски появления морской фауны из других регионов в прибрежных водах США и Великих озер.

В процессе проточного обмена вода закачивается в отсеки танка через специальный патрубок на днище танка. При переполнении вода вытекает за борт через вентиляционный канал. Как правило, смена балластной воды производится в тройном объеме танка, чтобы оставить менее 5 % первичной жидкости по окончании цикла заполнения. Проточная смена воды в основном используется на судах, которые не имеют достаточной конструктивной прочности и остойчивости, а также при последовательной перекачке двух танков.

Для изучения поведения жидкости внутри различных по конструкции танков при проточной смене балласта использовался программный комплекс FLUENT.

Для проточной и первичной воды использовалась модель многокомпонентных течений, хотя плотность этих жидкостей была практически одинакова. Размер расчетной сетки составлял от 100 до 200 тыс. элементов.

Расчеты были выполнены для следующих конструкций танка: прямоугольной балластной цистерны с двойным дном, бортовой балластной цистерны и цистерны j-типа.

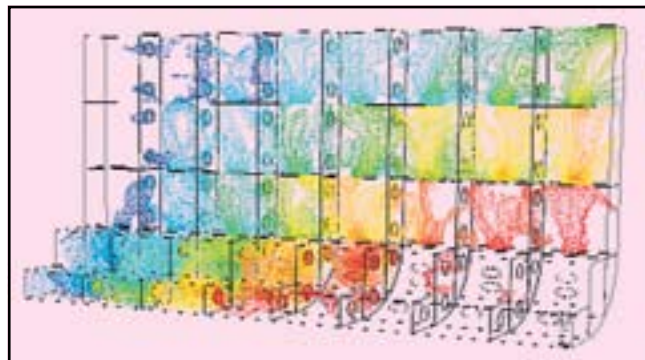


Рис. 4. Распределение объемной концентрации проточной и первичной воды внутри бортовой балластной цистерны (с двумя воздушными клапанами) после 65 минут от начала процесса. Красным цветом выделены области, заполненные проточной водой, синим цветом – области с первичной водой

В каждом случае проводились расчеты для различных комбинаций одного или двух воздушных клапанов (рис. 4). Кроме того, решалась задача по оптимизации числа подводящих каналов. Вследствие ограниченности расчетного времени некоторые несущественные конструктивные элементы не учитывались при моделировании. К таким элементам относятся шпигаты в основном и вспомогательном наборе, кницы, небольшие ребра жесткости.

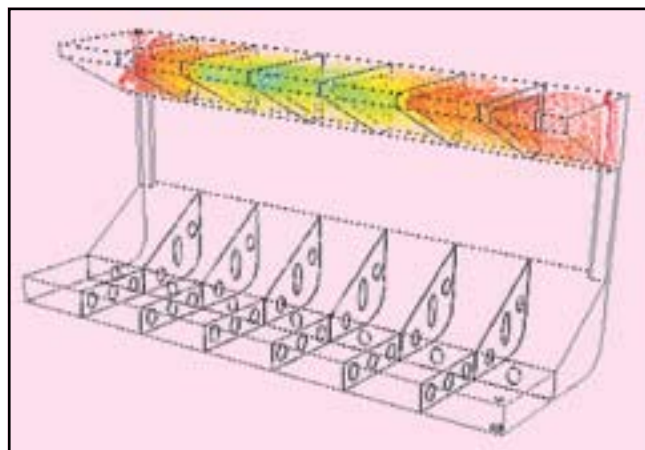


Рис. 5. Объемная концентрация проточной воды в "твиндечной" цистерне с двумя воздушными клапанами после прокачки тройного объема воды. Отсутствие красного цвета говорит о незавершенности процесса

В ходе проведенных исследований было установлено, что существующее требование по прокачке тройного объема воды через балластную цистерну является обоснованным (рис. 5). Однако некоторые конфигурации цистерн не позволяют использовать проточную смену балласта без увеличения времени прокачки, которое должно быть установлено в ходе тщательного гидродинамического анализа течения жидкости в цистернах.

**Михаил Ларин, ведущий специалист,
Денис Хитрых, ведущий специалист,
компания EMT P**