

Исследование буксировочного сопротивления и оптимизация формы судна с большой полнотой обводов

Печенюк Андрей Владимирович

Digital Marine Technology, Аркадиевский пер. 4, Одесса, Украина

andrew@digitalmarine.net

Аннотация. В докладе изложены результаты численного исследования обтекания корпуса транспортного судна с большой полнотой обводов, выполненного в программном комплексе FlowVision версии 3.08. В рамках исследования проведено моделирование буксировки корпусов в широком диапазоне чисел Фруда, рассмотрены вопросы влияния разрешения расчетной сетки и типа пристеночной функции граничного условия на корпусе на силу буксировочного сопротивления, выполнено сопоставление полученных результатов с экспериментальными данными. Представлены некоторые результаты применения оригинального численного подхода к оптимизации буксировочного сопротивления объекта исследования. Для выполнения расчетов были использованы вычислительные ресурсы Фонда суперкомпьютерного центра Кастилии и Леона (The Foundation of Supercomputing Center of Castile and León – FCSCL), предоставленные в ходе международного проекта The Uber-Cloud HPC Experiment. Организация удаленных суперкомпьютерных вычислений была осуществлена совместно со специалистами компании «Тесис». Опыт выполненных расчетов показал, что применение суперкомпьютерных вычислений в комбинации с параллельной версией программного комплекса FlowVision позволяет значительно ускорить получение результатов для задач со свободной поверхностью.

Ключевые слова

гидродинамика судна, параллельные вычисления, буксировочное сопротивление.

1 Введение

В настоящее время конструкторские бюро во всех странах с развитым судостроением при проектировании обводов судов используют численные методы гидродинамики. Существенным обстоятельством, позволившим начать эффективное внедрение численных методов в проектную практику, стало развитие мощной вычислительной техники. Происходящее сейчас увеличение быстродействия параллельных компьютеров, совершенствование вычислительных методов и программного обеспечения способствует оперативному и гибкому выполнению больших объемов численных расчетов при проектировании судовых обводов, что сокращает потребность в проведении экспериментов в опытовых бассейнах, гидролотках, кавитационных и аэродинамических трубах. Применение численного подхода позволяет не только существенно уменьшить сроки разработки, но и повысить качество проекта, так как дополнительным преимуществом численного моделирования по сравнению с экспериментом является наличие большого объема информации о локальных характеристиках потока, доступной проектанту в том числе в визуальной форме. Это и распределение давления по поверхности корпуса, и линии тока на поверхности, и распределение скоростей и давлений в объеме воды, и многие другие характеристики. Возможности постановки в современных программных комплексах также являются весьма широкими, что позволяет выполнять численное моделирование не только буксировочных испытаний, но также самоходных, мореходных и маневренных, т. е. охватить практически все актуальные задачи гидродинамики судна.

2 Связь с другими исследованиями

Исследование в части численного моделирования буксировки корпуса и сравнения его результатов с экспериментальными данными находится в ряду других работ, выполненных при участии автора ([1], [2] и др.). По сравнению с более ранними работами, представленные здесь результаты получены в сетках с высоким разрешением, достигнутым благодаря применению параллельных суперкомпьютерных вычислений. Результаты

по оптимизации формы корпуса с использованием численных методов получены автором в рамках подготовки его кандидатской работы в аспирантуре Одесской национальной морской академии.

3 Объект исследования

Объектом настоящего исследования является корпус сухогрузного судна смешанного река-море плавания с большой полнотой обводов. В последние годы большое количество судов с подобными обводами строится по отечественным проектам для работы на внутренних водных путях и в прибрежных морских районах.

Характерной особенностью рассматриваемого типа судов является необходимость учитывать при проектировании формы корпуса путевые ограничения, которые накладывают жесткие рамки на главные размерения. Например, габаритные размерения объекта исследования соответствуют условиям эксплуатации через шлюзы Волго-Донского речного канала (ВДРК). Следствием ограничения главных размерений является принятие в проекте неоптимальных их соотношений и чрезвычайно высокого коэффициента общей полноты, который в грузу составляет около 0.9. В таких условиях вопрос о рациональной с точки зрения ходкости форме оконечностей приобретает особую актуальность.

Эксплуатационные скорости судов данного типа лежат в диапазоне 10 – 11 узлов ($Fr = 0.140 - 0.154$), сдаточные – в диапазоне 11.5 – 12.5 узлов ($Fr = 0.161 - 0.175$).

Носовые обводы судна таранно-конические, со сломом в горизонтальной плоскости в районе КВЛ. Кормовая оконечность – транцевая, санного типа с небольшой килеватостью и центральным обтекателем для установки одновального пропульсивного комплекса. Основные геометрические параметры формы корпуса даны в таблице 1. Теоретический чертеж показан на рисунке 1.

Табл.1. Главные размерения судна

Длина между перпендикулярами, $L_{ПП}$	м	135.690
Длина по ватерлинии, $L_{КВЛ}$	м	137.764
Ширина, В	м	16.500
Осадка, Т	м	4.600
Коэффициент общей полноты, δ	-	0.892
Коэффициент полноты мидель-шпангоута, β	-	0.994
Коэффициент полноты ватерлинии, α	-	0.968

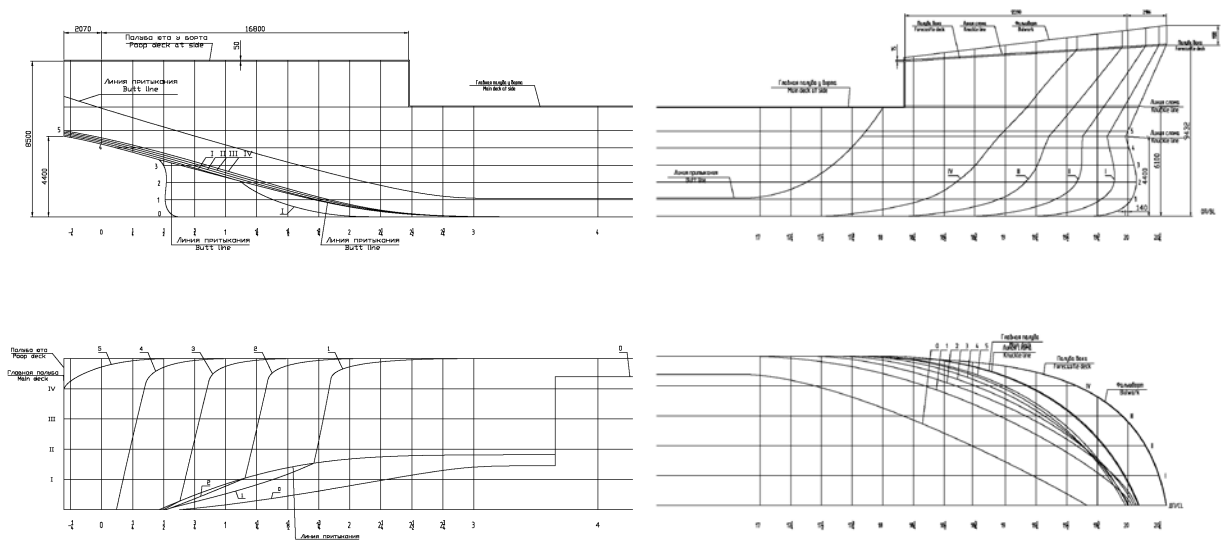


Рис. 1. Теоретический чертеж судна

4 Результаты численного моделирования буксировки

Численное моделирование буксировки было подготовлено по оригинальной методике [2] и выполнено в программном комплексе FlowVision [3]. Результаты расчетов сопоставлены с данными пересчета результатов модельных испытаний, выполненных в большом опытовом бассейне ЦНИИ им. акад. Крылова. Сопоставление в безразмерной форме $C_R = f(Fr)$ представлено на рисунке 2. Результаты расчетов находятся в весьма хорошем соответствии с экспериментальными данными.

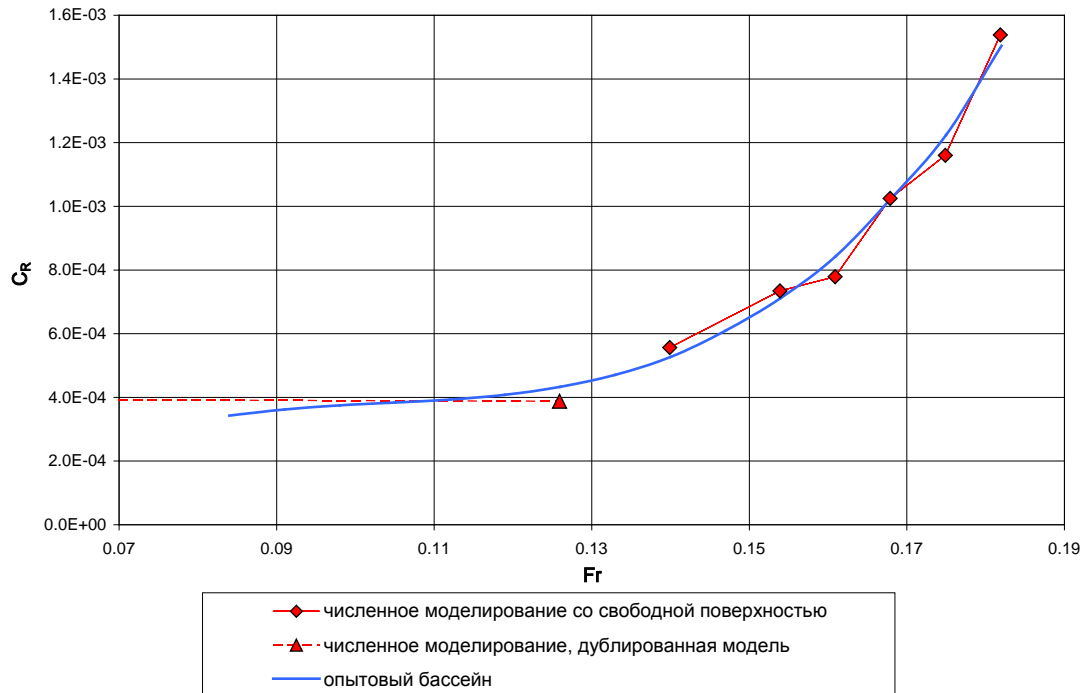


Рис. 2. Сопоставление расчетных и экспериментальных результатов

5 Оптимизация формы корпуса

Для исследования возможности улучшения формы корпуса с помощью модели систематических вариаций судовой поверхности [4] была подготовлена серия из четырех трехмерных моделей корпуса с равнообъемными вариациями формы на двух участках носовой оконечности. Соответствующие изменения строевой по ватерлиниям и шпангоутов носовой части корпуса показаны на рисунке 3. Вариации выполнены так, что вертикальное распределение водоизмещения в безразмерном виде $\chi = f(z)$ для всех моделей неизменно (шпангоуты преобразованы аффинно вдоль поперечной горизонтальной оси).

Результаты численных расчетов буксировочного сопротивления моделей серии при скорости 13 узлов ($Fn = 0.182$) представлены на рисунке 4.

Вариации формы привели к колебаниям сопротивления корпуса на 1-2%. Влияние приращений водоизмещения на сопротивление для двух участков имеет противоположный характер. На первом участке (ближе к форштевню) увеличение объема приводит к снижению сопротивления, на втором участке увеличение объема сопровождается ростом сопротивления.

В результате анализа было получено оптимальное сочетание вариаций в исследованном диапазоне, для которого прогноз снижения сопротивления составил 8.22 кН или около 3.5% сопротивления исходного корпуса. Численные расчеты по модели с улучшенной формой показали, что ее сопротивление снизилось на 7.45 кН (3.1%). Небольшое расхождение с прогнозом можно объяснить влиянием вязкостной составляющей сопротивления.

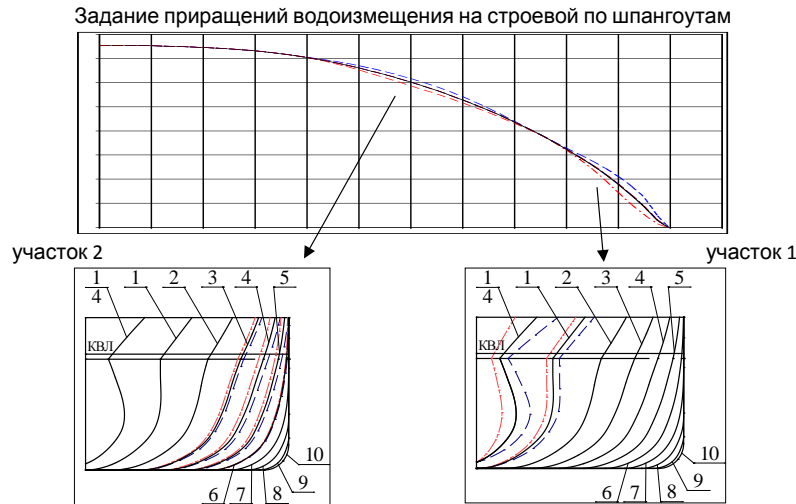


Рис. 3. Вариации формы корпуса

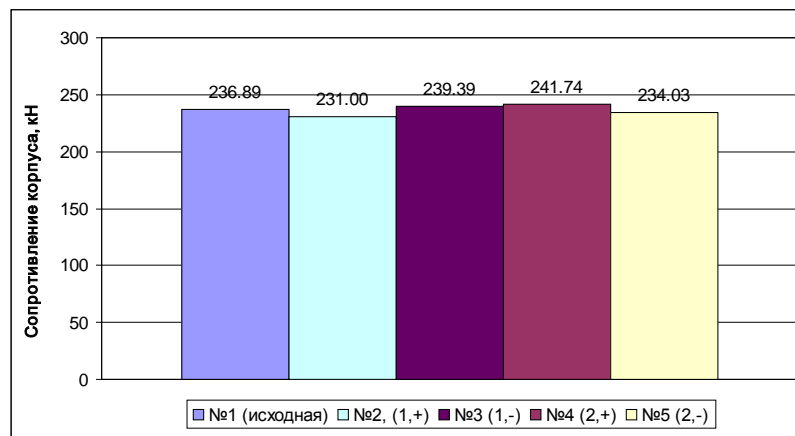


Рис. 4. Сопротивление моделей серии

6 Выводы

Полученные результаты численного исследования сопротивления тихоходного судна с большой полнотой обводов хорошо соответствуют надежным экспериментальным данным. Улучшение формы корпуса, предпринятое по оригинальному алгоритму, позволило снизить буксировочное сопротивление на 3.1% без существенных с общепроектной точки зрения изменений.

7 Благодарности

Автор выражает благодарность координаторам проекта The Uber-Cloud HPC Experiment Вольфгангу Геншу и Бураку Ениру, оказавшим содействие в предоставлении вычислительных мощностей для выполнения расчетов.

Перечень ссылок

- [1] Вишнеvский Л.И., Егоров Г.В., Станков Б.Н., Печенюк А.В. Проектирование пропульсивного комплекса судна ограниченного района плавания на базе современных методов вычислительной гидродинамики // Судостроение. - 2006. - # 2. - С.27 - 31.
- [2] Егоров Г. В., Печенюк А. В. Применение методов вычислительной гидромеханики при проектировании корпуса контейнеровоза // Проблемы техники. – 2008. - N 3. – С. 3 - 15.
- [3] <http://www.flowvision.ru>
- [4] Печенюк А. В. Модель изменений судовой поверхности // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: Матеріали 3-ї Міжнародної науково-технічної конференції. – Миколаїв: НУК. 2012. – С. 179 – 181.