

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА FLOWVISION В РАСЧЕТАХ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОДЫ ДВИЖЕНИЮ ГЛИССИРУЮЩИХ СУДОВ

Ю. М. Король, канд. техн. наук, проф. ;
Ле Куок Ван, асп.

¹*Национальный университет кораблестроения, г. Николаев*

Аннотация. Осуществлен анализ применяемых методов расчета сопротивления глиссирующих судов. Описаны преимущества *CFD*-технологий в целом и программного комплекса *FlowVision* в частности. Выполнена оценка ходкости проекта 4666 в программном комплексе *FlowVision*.

Ключевые слова: глиссирующие суда, сопротивление, методы вычисления, вычислительная гидродинамика, программный комплекс *FlowVision*.

Анотація. Виконано аналіз застосовуваних методів розрахунку опору глісіруючих суден. Описано переваги *CFD*-технологій у цілому і програмного комплексу *FlowVision* зокрема. Виконано оцінку швидкохідності проекту 4666 у програмному комплексі *FlowVision*.

Ключові слова: глісіруючі судна, опір, методи обчислення, обчислювальна гідродинаміка, програмний комплекс *FlowVision*.

Abstract. The analysis of the applied methods of calculation of resistance of planing boats are presented. The advantages of *CFD*-technology in general and program *FlowVision* in particular are described. The propulsive estimation of the project 4666 in *FlowVision* is carried out.

Keywords: planing boats, resistance, methods of computation, computational fluid dynamics, *FlowVision* complex.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

В процессе проектирования судов оценка их ходовых качеств осуществляется поэтапно. На ранних стадиях для этого чаще всего используются данные серийных систематических модельных экспериментов, представленных в виде зависимостей коэффициентов сопротивления от ряда проектных параметров. После выполнения параметрического синтеза и разработки

теоретического чертежа, как правило, наступает этап поверочных или доводочных модельных испытаний в опытовом бассейне. Именно эти данные и служат основой для дальнейшего проектирования движительного комплекса. Окончательная оценка ходкости судна осуществляется на этапе ходовых приемо-сдаточных испытаний.

Глиссирующие суда (ГС) имеют специфические остроскулые формо-

образования и могут двигаться в трех режимах — плавании, переходном и глиссировании. В процессе движения происходят существенные изменения как параметров посадки, так и площади смоченной поверхности. Поэтому расчет сопротивления воды движению этих судов имеет ряд особенностей.

Во-первых, к набору проектных параметров формы корпуса следует добавить координаты упорного подшипника и центра тяжести судна, а к измеряемым величинам скорости и сопротивлению — смоченную длину и параметры посадки. Все это настолько увеличивает объем, сроки и стоимость систематических экспериментальных исследований, что они могут быть осуществлены только в рамках международных или национальных программ крупных судостроительных держав. Даже при проектировании и оценке ходкости ГС с традиционными формами обводов, не всегда представляется возможным проведение модельных испытаний в опытовом бассейне с целью поверочных ходовых характеристик, поскольку, как правило, стоимость проекта невысока и, следовательно, его временной и финансовый бюджеты очень ограничены. Совершенно очевидно, что отсутствие или недостаточный объем этих данных не позволяет осуществлять качественное проектирование судов новых прогрессивных формообразований.

Во-вторых, увеличение количества проектных параметров и, соответственно, возрастание объема графического материала систематических серийных испытаний осложняет задачу построения математических моделей для инженерного анализа и оптимизационного проектирования.

В-третьих, ходовые и маневренные характеристики ГС могут быть существенно улучшены при помощи продольных и поперечных реданов, тран-

цевых плит, интерцепторов и других специальных устройств, основным методом проектирования которых продолжает оставаться надежный, но далеко не эффективный метод проб и ошибок.

В-четвертых, процесс глиссирования при определенных условиях может быть неустойчивым. Поэтому исследование устойчивости глиссирования является практически важной, но ввиду крайней сложности, мало изученной задачей, которая требует более глубокого исследования.

Таким образом, в силу указанных особенностей существующая методика оценки ходкости ГС нуждается в совершенствовании с целью снижения стоимости и сроков выполнения научно-исследовательских работ, а также повышения качества проектирования.

АНАЛИЗ ПУБЛИКАЦИЙ И ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящее время существуют три группы методов, с помощью которых определяют сопротивление движению ГС: определения сопротивления движению судов с помощью модельного эксперимента; инженерные; вычислительной гидродинамики (*CFD*).

Модельные испытания в опытовом бассейне длительное время являлись наиболее достоверным способом исследования гидродинамических и аэродинамических характеристик современных типов судов. Прежде всего это относится к судам с динамическими принципами поддержания, и в том числе глиссерам. Однако, ввиду высокой стоимости и продолжительности модельные испытания в настоящее время, как правило, выполняются для 1–2 вариантов проектируемого судна с целью подтверждения проектных решений, полученных другими способами. На первоначальных этапах проектирования,

когда необходимо оперативно оценить ходкость различных вариантов проекта, с целью отбора наиболее удовлетворяющих заданию указанный способ определения сопротивления движению судна неприменим.

Инженерные методы основаны на систематических испытаниях глиссирующих пластин, а также моделей глиссирующих судов. Эксперименты позволили полностью выявить изменения гидродинамических характеристик при установившемся глиссировании. На основании обработки результатов этих буксировочных испытаний разрабатывались различные методы расчета сопротивления ГС, каждый из которых дает достаточно высокую точность расчета в пределах параметров моделирования. Для ГС в настоящее время широко используются следующие методы определения сопротивления движению: методы Седова–Перельмутра (1944), Клементя–Поупа (1961), Клементя–Блаунта (1963), Д. Савитского (1964), М. Бунькова (1971) и Мерсиера–Савитского (1973). Особенность каждого метода, а также их диапазоны применения подробно изложены в [1] и [3]. Однако при расчете и проектировании ГС, имеющего обводы, отличные от серийных, использование материалов данной группы может привести к непрогнозируемым погрешностям, что и является существенным недостатком данной группы.

В настоящее время методы вычислительной гидродинамики (CFD) получили широкое распространение в практике проектирования судов и постепенно вытесняют физический эксперимент, длительное время считавшийся наиболее достоверным способом определения сопротивления. Преимущества CFD-технологий общеизвестны и состоят в относительной дешевизне и доступности. Они позволяют расчет-

ным путем получить полную картину обтекания, силовое воздействие потока на тело и закон его движения. Они удобны для сопоставления вариантов и задач оптимизации. К недостаткам можно отнести высокие требования к квалификации пользователей и мощности вычислительной техники.

ЦЕЛЮЮ СТАТЬИ является оценка перспектив использования программного комплекса *FlowVision* для моделирования процесса глиссирования судов.

ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

К настоящему времени для численных гидродинамических расчетов в области судостроения разработаны и распространяются разнообразные универсальные компьютерные CFD-пакеты (*STAR-CD/STAR-CCM+*, *Fluent*, *Flow 3D*, *ShipFlow*, *CFX*, *FlowVision*, *OpenFOAM* и другие). Все эти программы отличаются друг от друга методами решения, имеют разную вычислительную точность, разный круг решаемых задач, а также разную стоимость. Применение пакетов такого уровня в практике проектирования еще только начинается, поскольку они достаточно сложны и для их эффективного использования требуется длительный опыт и высокая квалификация пользователей. По уровню полноты реализуемых физических и математических моделей и необходимому уровню профессиональной подготовки пользователей *STAR-CD/STAR-CCM+*, *Fluent*, *CFX* относят к группе так называемых пакетов «тяжелого класса». Эти программные комплексы предназначены для решения широкого спектра задач механики сплошных сред и тепло-массообмена.

К пакетам «среднего класса» следует отнести программный комплекс *FlowVision*, он менее универсален, чем пакеты первой группы, однако суще-

ственно проще в освоении и менее требователен к вычислительным ресурсам. Этот *CFD*-пакет является продуктом компании ТЕСИС, одной из ведущих российских компаний разработчиков и поставщиков инженерных решений для промышленных предприятий, исследовательских организаций и вузов. С момента появления точность расчета, а также возможности у этого программного комплекса непрерывно повышаются и расширяются, что делает его весьма привлекательным и конкурентоспособным среди других *CFD*-пакетов. Возможности программного комплекса *FlowVision* подробно описаны в [4, 5], а разработанная авторами методика моделирования процесса глиссирования в этом программном комплексе изложена в [2].

Оценка возможностей программного комплекса *FlowVision* в области расчета сопротивления воды движению ГС осуществляется на хорошо зарекомендовавшей себя серии моделей *DTMB*. Проекция корпуса исходной модели серии *DTMB* № 62 представлена на рис. 1.

Серия *DTMB* № 62 состоит из 5 моделей: 4665, 4666, 4667, 4668 и 4669. Все они тождественны и имеют незначительные отличия. Их главные размерения, а также результаты модельных испытаний в опытовом бассейне были опубликованы в [6]. В настоящее время для из-

готовления одной модели и проведения буксировочных испытаний потребуются не меньше 80000–100000 долларов. Расчет буксировочного сопротивления в программном комплексе *FlowVision* обходится по крайней мере на порядок дешевле. Проведенные систематические исследования на различных скоростях глиссирования показывали качественное соответствие с картиной течения и волнообразования, наблюдаемой в физическом эксперименте (рис. 2).

На основании полученных результатов были построены кривые буксировочного сопротивления проекта (рис. 3). Поскольку экспериментальные материалы не содержат данных по центровке моделей, а, как известно [3], центровка оказывает существенное влияние на сопротивление судна в режиме глиссирования, было выполнено исследование влияния этого фактора в *FlowVision*. Результаты расчетов подтвердили этот факт (кривые 1, 2, и 3). Очевидно, что учет влияния центровки на ходовую посадку судна и его буксировочное сопротивление безусловно способствуют точности определения сопротивления, а, следовательно, и повышению качества проектирования.

Из графиков видно, что в режиме чистого глиссирования результаты модельного эксперимента и расчета по разным

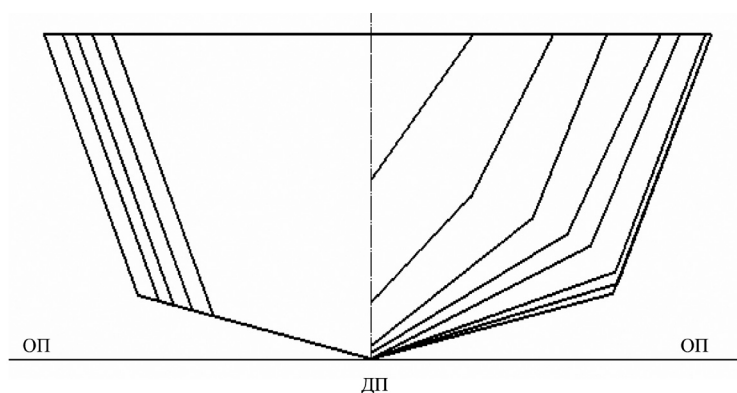


Рис. 1. Корпус исходной модели серии *DTMB* № 62

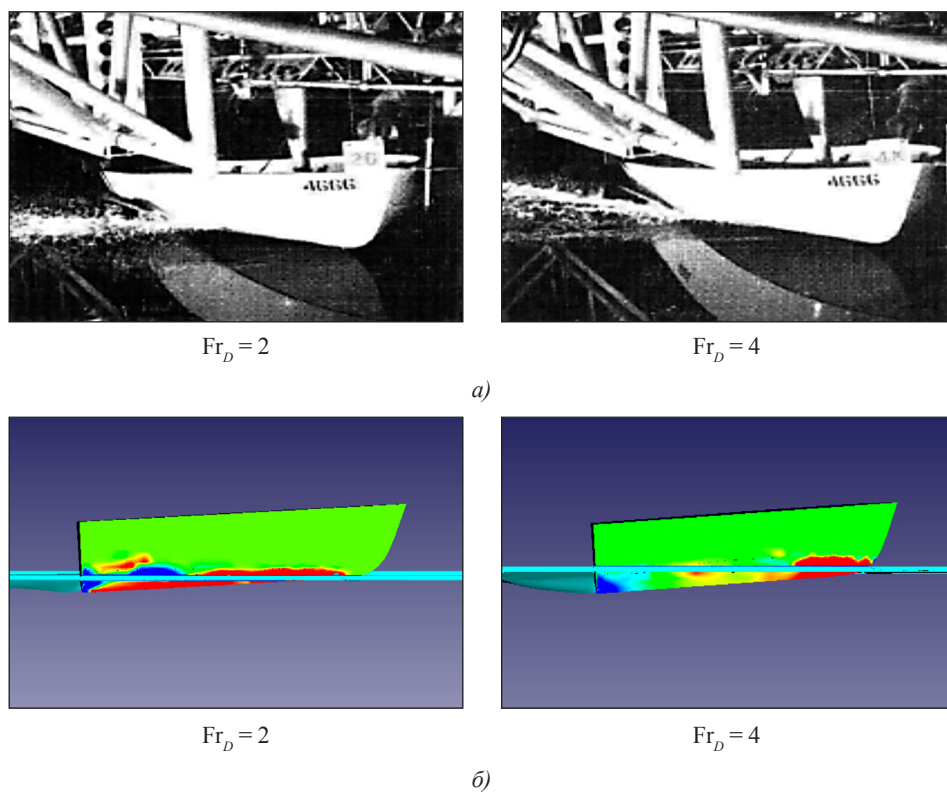


Рис. 2. Волнообразование катера в опытном бассейне (а) и в программном комплексе *FlowVision* (б)

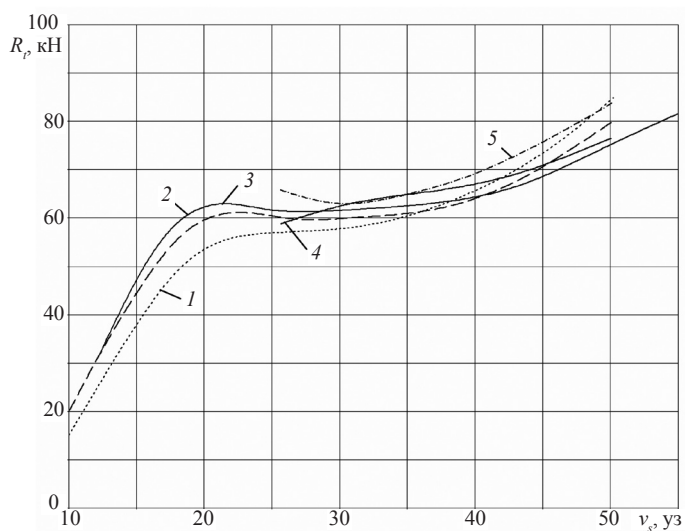


Рис. 3. Результаты расчета сопротивления катера по разным методам: 1 — результаты в *FlowVision* при $X_G = -0,50$ м; 2 — результаты в *FlowVision* при $X_G = -0,52$ м; 3 — результаты испытания в опытном бассейне; 4 — метод Савитского; 5 — метод Седова–Перельмутра

методам достаточно близки, во всем диапазоне скоростей характер экспериментальной зависимости и расчетной, полученной в *FlowVision*, совпадают, заметное влияние на величину сопротивления оказывает центровка. С ее помощью можно регулировать способность выхода судна на режим глиссирования.

ВЫВОДЫ

Трудоемкость и стоимость выполнения работ при физическом и математическом моделировании могут отличаться в десятки раз, что и способствует внедрению *CFD*-технологий в практику проектных организаций.

Программный комплекс *FlowVision* позволяет не только определить сопротивление движению ГС любой формы, параметры ходовой посадки, но и давать оценку состояния весовой нагрузки и расположения упорного подшипника на параметры глиссирования с достаточно высокой точностью.

Практика отечественных и зарубежных проектных организаций свидетельствует о высокой эффективности внедрения *CFD*-технологий в их производственные процессы, поэтому программный комплекс *FlowVision* может быть рекомендован для моделирования процессов глиссирования судов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] **Егоров, И. Т.** Ходкость и мореходность глиссирующих судов [Текст] / И. Т. Егоров, М. М. Буньков, Ю. М. Садовников. — Л. : Судостроение, 1978. — 336 с.
- [2] **Король, Ю. М.** Моделирование процесса глиссирования в программном комплексе *FlowVision* [Текст] / Ю. М. Король, Ле Куок Ван // 3б. наук. праць НУК. — Миколаїв : НУК, 2010. — № 5 (434). — С. 19–26.
- [3] **Мордвинов, В. Г.** Справочник по малотоннажному судостроению [Текст] / В. Г. Мордвинов. — Л. : Судостроение, 1987. — 575 с.
- [4] Применение пакетов прикладных программ при изучении курсов механики жидкости и газа [Текст] / Т. В. Кондранин, Б. К. Ткаченко [и др.]. — М. : МФТИ, 2005. — 104 с.
- [5] Сертификация системы моделирования движения жидкости и газа *FlowVision* [Текст] / А. А. Аксенов, В. В. Шмелев, М. Л. Смирнова, В. В. Банкрутенко [и др.] // САПР и графика. — 2006. — № 6. — С. 2–7.
- [6] **Clement, E. P.** Resistance tests of a systematic series of planing hull forms [Text] / E. P. Clement, D. L. Blaunt // Transaction of the Society of Naval Architects and Marine engineers. — 1963. — Vol. 71. — P. 491–579.