



УДК 629.12

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ БУКСИРОВОЧНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СУДНА В
ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ «ANSYS FLUENT»****Демидов Василий Иванович**

студент 4 курса факультета «Кораблестроение»

Елисеева Ольга Владимировнастарший преподаватель кафедры
«Кораблестроение»**Черенков Николай Иванович,**канд.тех.наук,
доцент кафедры кораблестроенияФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный
университет имени М. В. Ломоносова»**Аннотация**

Данная статья посвящена расчету ходовых качеств судна методом численного моделирования. В работе приведен последовательный процесс расчета буксировочного сопротивления корпуса KCS (Kriso Container Ship) с использованием программного комплекса «Ansys Fluent».

Ключевые слова: Kriso Container Ship, буксировочное сопротивление, Ansys Fluent, численное моделирование.

**DETERMINATION OF THE SHIP'S TOWING RESISTANCE IN THE ANSYS
FLUENT SOFTWARE COMPLEX****Vasily I. Demidov**

4th year student of the faculty "Shipbuilding"

Olga V. Eliseevasenior lecturer of the Department
"Shipbuilding"**Nikolay I. Cherenkov,**Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor of the Department of Shipbuilding

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education "Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov»

ABSTRACT

This article is devoted to the calculation of the ship's driving performance by numerical simulation. The paper presents a sequential process for calculating the towing resistance of the KCS (Kriso Container Ship) hull using the Ansys Fluent software package.

Keywords: Kriso Container Ship, towing resistance, Ansys Fluent, numerical simulation.

При проектировании судна значительное внимание уделяется оценке ходовых качеств, в частности определению буксировочного сопротивления. Буксировочное сопротивление, в свою очередь, необходимо знать при выборе двигателя для обеспечения необходимой скорости судна и расхода топлива.

В настоящее время для оценки ходкости судна и определения буксировочного сопротивления применяются как расчетные, так и экспериментальные методы. Наиболее популярными являются метод Холтропа-Меннена и метод Гирса. Однако, они имеют ограниченное применение при выполнении крупных проектов ввиду невысокой точности результатов. Экспериментальные же методы, основанные на проведении модельных испытаний в опытовых бассейнах, имеют высокую точность, но также не всегда применимы из-за высокой стоимости.

В связи с этим была поставлена задача определить буксировочное сопротивление корпуса KCS в программном комплексе «Ansys Fluent», сравнить полученные результаты с результатами испытаний в опытовом бассейне и оценить возможность применения метода численного моделирования при проектировании судов.

Ansys Fluent не единственная программа, применяемая для определения ходовых качеств судна. Также судовыми проектантами широко используются такие программы как Star-CCM и отечественный FlowVision. Однако, сравнив наличие справочных материалов было решено проводить расчеты в Ansys Fluent [3].

Программные комплексы имеют ряд преимуществ перед расчетными методами определения ходовых качеств судна. В первую очередь можно выделить возможность получения результатов на основании 3D модели. Это позволяет учитывать изменения формы корпуса, а также получать результаты для судов с нетипичными обводами. Численное моделирование также дает возможность получить картину волнообразования и обтекания корпуса судна потоком жидкости. Программы, в отличие от опытовых бассейнов, позволяют получить результаты практически для любой скорости и положения судна [1].

Анализ корпуса судна в программном комплексе Ansys Fluent требует выполнения следующих этапов:

- формирование или доработка цифровой модели;
- создание расчетной области;
- формирование сетки;
- задание характеристик среды и параметров движения судна;
- определение составляющих буксировочного сопротивления;
- расчет коэффициента сопротивления и визуальная оценка результатов.

Формирование цифровой модели корпуса судна может производиться как в самом комплексе Ansys, так и в специализированных CAD-программах. Для данной задачи модель была сформирована в ПК Rhinoceros (рис. 1)

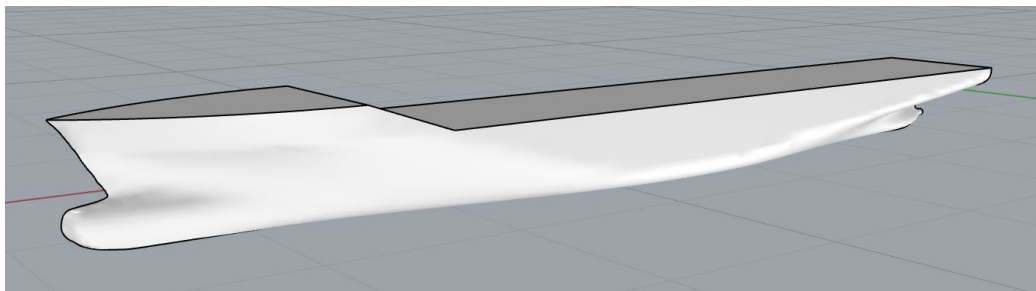


Рисунок 1. Цифровая модель корпуса KCS

После создания 3D модели корпуса судна, была задана расчетная область, представляющая виртуальный бассейн. При задании размеров расчетной области следует руководствоваться имеющимися рекомендациями [2].

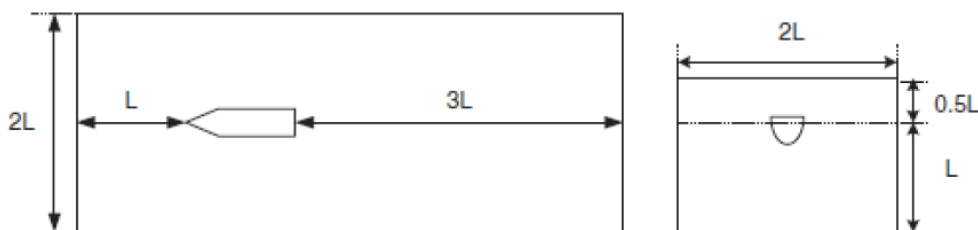


Рисунок 2. Размеры расчетной области

После формирования расчетной области создается сетка, состоящая из множества конечных элементов. Точность результата напрямую зависит от их размеров и количества. Однако, чем больше элементов, тем больше требуется вычислительных ресурсов для выполнения расчета. Поэтому необходимо найти оптимальное количество ячеек, при которых хватает мощности компьютера, но при этом сохраняется точность расчетов [1].

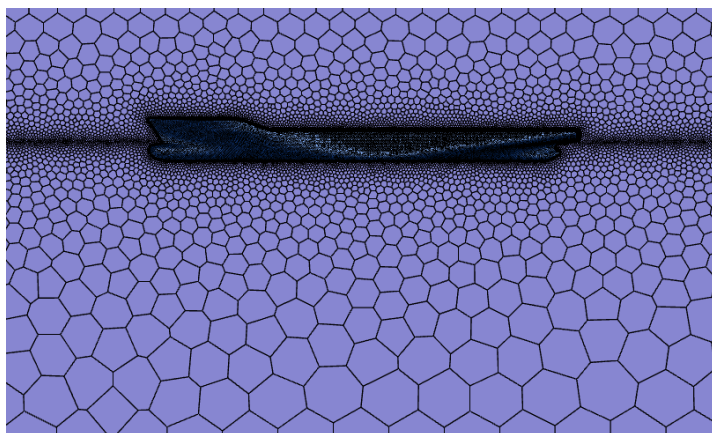


Рисунок 3. Расчетная область в Ansys Fluent

На рисунке 3 представлена сетка с плавным уменьшением размера ячеек к границе раздела фаз и к поверхности корпуса. Это позволяет получить здесь более точные значения сопротивления судна и реалистичную картину свободной поверхности. Более крупный размер ячеек у границ расчетной области существенно не влияет на результат, но значительно экономит время расчета.

После формирования сетки необходимо задать граничные условия расчетной области. При расчете условно принимается, что судно стоит неподвижно, а вода и воздух движутся ему навстречу с определенной скоростью. Для входной и выходной границы необходимо указать скорость потока, уровень дна и уровень свободной поверхности [5].

На границах расчетной области задается условие полного проскальзывания, необходимое для того, чтобы виртуальные стенки не влияли на поток и свободную поверхность. Для корпуса судна напротив назначается условие прилипания, что наиболее соответствует обтеканию его жидкостью.

Далее настраивается вывод получаемой силы сопротивления и баланса массового расхода на входной и выходной границах. По данным показателям определяется сходимость задачи. Когда баланс массового расхода равен нулю или начинает периодически колебаться около этого значения, расчет можно считать сошедшимся. Сила сопротивления при этом должна принять постоянные значения, а график должен «выйти на полку» (рис. 4) [4].

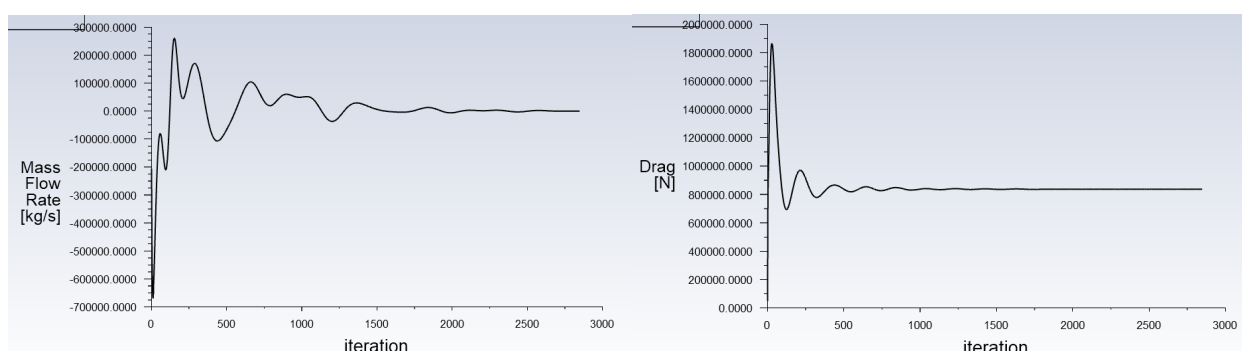


Рисунок 4. Графики баланса массового расхода и силы сопротивления

После окончания расчета выводятся результаты сопротивления судна. Получаются три значения сопротивления: сила остаточного сопротивления, сила трения и полная сила сопротивления. Далее на основании значений буксировочного сопротивления для разных скоростей находятся коэффициенты сопротивления по формуле:

$$C_x = \frac{2 \cdot R_0}{\rho \cdot v^2 \cdot \Omega}$$

где R_0 – полное сопротивление движению судна;

ρ – плотность жидкости;

v – скорость судна;

Ω – площадь смоченной поверхности.

Перенесем полученные значения в итоговую таблицу и сравним с результатами испытаний в опытовом бассейне, пересчитанными на натурные размеры судна [3].

Для оценки точности проведено сравнение расчетных данных Ansys Fluent результатами испытаний в опытовом бассейне [3], пересчитанными на натурные размеры судна (табл. 1). Графики коэффициентов сопротивления, полученных по результатам модельного эксперимента [3] и расчета в Ansys Fluent представлены на рисунке 5.

Таблица 1. Сравнения результатов модельного эксперимента и расчета в Ansys Fluent

Число фруда	Скорость		К-т общего сопр-ия		Погрешность %
	узлы	м/с	Эксперимент	Ansys	
0.1733	16	8.224	2.0463	2.1255	-3.87
0.1949	18	9.252	2.0103	2.0891	-3.92
0.2166	20	10.28	2.0218	2.0978	-3.76
0.2382	22	11.308	2.1034	2.1385	-1.67
0.2599	24	12.336	2.3426	2.3382	0.19
0.2707	25	12.85	2.6498	2.5882	2.32
0.2816	26	13.364	3.1572	3.05764	3.15

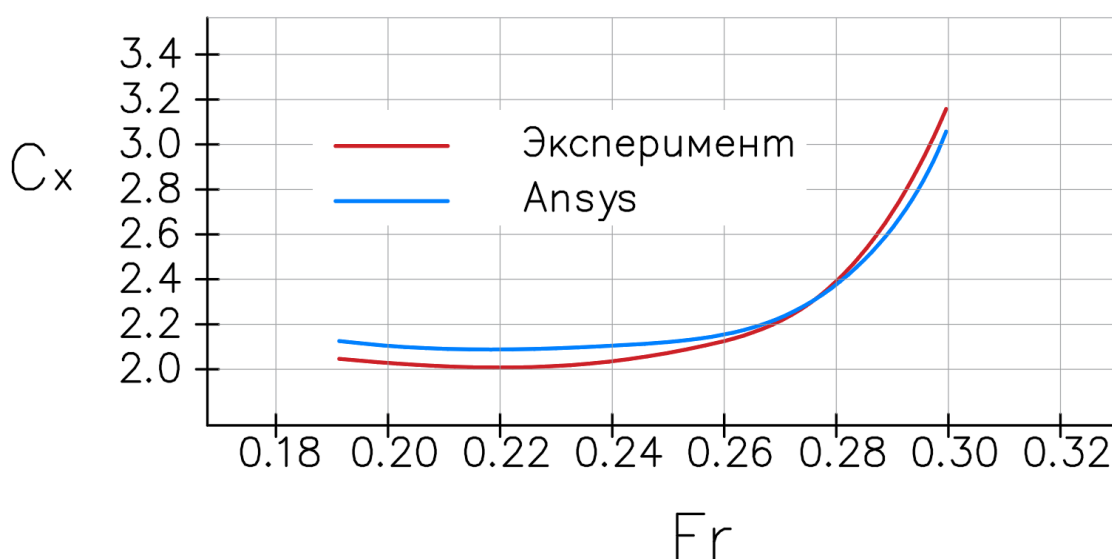


Рисунок 5. Графики коэффициентов сопротивления, полученных по результатам модельного эксперимента [3] и расчета в Ansys Fluent

Определение сопротивления движению судна с применением программного комплекса «Ansys Fluent» показало достаточно хорошее совпадение результатов расчета с экспериментальными данными, с расхождением не превышающим 4% при всех исследуемых числах Фруда (табл. 1, рис.5).

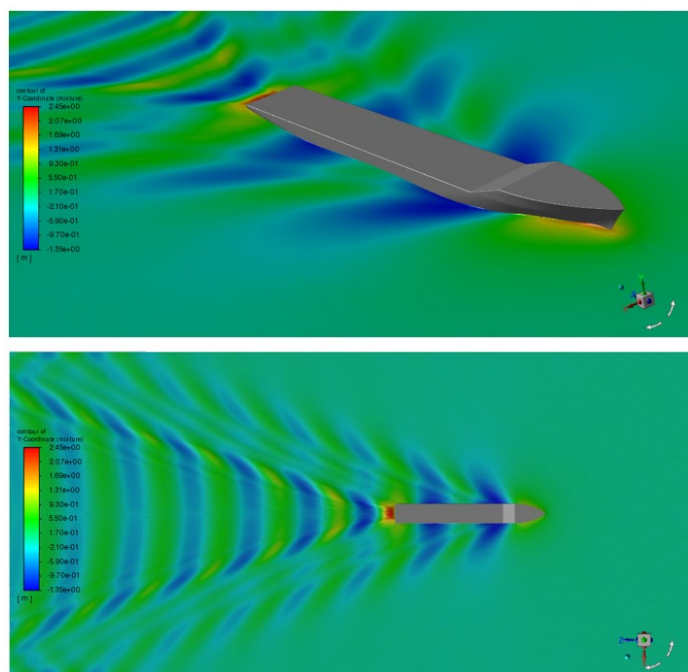


Рисунок 6. Волновая картина при движении судна

Помимо численных значений Ansys Fluent позволяет визуально оценить волновую картину движения судна (рис. 6).

Среди плюсов численного моделирования по сравнению с испытаниями в опытовом бассейне можно выделить гораздо меньшие финансовые и временные затраты. Благодаря этому, численное моделирование дает возможность проектанту проводить неограниченное количество испытаний. По итогу это позволяет получить наилучшую форму корпуса, а соответственно и наименьший расход топлива при оптимальной скорости судна.

Таким образом, определение ходовых качеств судна методом

численного моделирования может применяться на практике. Буксировочное сопротивление определяется достаточно точно, расхождение с данными эксперимента находится в пределах погрешности.

Список литературы:

1. Петров А.А., Рябова А.А., Рябов Ф.С., Оценка ходкости судов на открытой воде после демонтажа носового бульба // Научно-технический сборник Российского морского регистра судоходства. - 2021. - №64/65. - С. 27-36.
2. ИТТС, «ИТТС - рекомендуемые процедуры и рекомендации: испытание на устойчивость» Технический отчет, ИТТС, 2011.
3. Печенюк А.В., Эталонное тестирование ПК FlowVision в задаче моделирования обтекания судна // Компьютерные исследования и моделирование. - 2014. - №6/6. С. 889-899.
4. Расчет буксировочного сопротивления сосуду. - URL: // <https://multiphysics.ru/stati/proekty/raschet-buksirovochnogo-soprotivleniia-sudna.htm> (дата обращения 10.11.2022).
5. Моделирование движения моторной лодки с учетом границы раздела вода-воздух. - URL: // https://www.youtube.com/watch?v=KZs_Wm0p7Hw (дата обращения 10.11.2022).

References:

1. Petrov A.A., Ryabova A.A., Ryabov F.S., Evaluation of the propulsion of ships in open water after dismantling the nasal bulb // Scientific and technical collection of the Russian Maritime Register of Shipping. - 2021. - No. 64/65. - S. 27-36.
2. ITTC, "ITTC - Recommended Procedures and Recommendations: Stability Test" Technical Report, ITTC, 2011.

3. Pechenyuk A.V., Reference testing of the FlowVision PC in the problem of modeling the flow around a ship // Computer Research and Modeling. - 2014. - No. 6/6. pp. 889-899.
4. Calculation of the towing resistance of the vessel. - URL: // <https://multiphysics.ru/stati/proekty/raschet-buksirovochnogo-soprotivleniia-sudna.htm> (accessed 11/10/2022).
5. Simulation of the movement of a motor boat, taking into account the water-air interface. - URL: // https://www.youtube.com/watch?v=KZs_Wm0p7Hw (accessed 11/10/2022).