

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ТЕЧЕНИЙ СО СВОБОДНОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ И РАСЧЕТ БУКСИРОВОЧНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СУДНА

Н.А.Владимилова, К.В. Мякушев

Для **демонстрации** возможностей вычислительной гидродинамики применительно к задачам судостроения рассмотрена модельная задача движения судна в водной среде с учетом выстраивания волновой формы поверхности раздела вода/воздух с целью определения буксировочного сопротивления судна при различной скорости хода.

### Постановка задачи, геометрия и расчетные сетки

Рассмотрена задача моделирования буксировки лодки (без двигателя и винта) в среде вода/воздух с учетом волнообразования на свободной поверхности раздела. Скорость движения лодки принимает значения (1 ÷ 4) м/с, дифферент равен -0.06 м. Общий вид рассчитываемой геометрии судна показан на Рис. 1 (расчетная модель состояла из нижней части корпуса (ниже ватерлинии 1400 мм, с «обрезанными» по ватерлинии верхней частью корпуса, палубой и надстройками).

Длина корпуса лодки по ватерлинии  $L=18.6$  м, ширина  $b=5.2$  м.

В результате расчета определяется буксировочная кривая гидродинамического сопротивления корпуса лодки в диапазоне чисел Фруда  $Fr=V/(gL)^{1/2}=0\div 0.3$  и чисел Рейнольдса  $Re=(2\div 8)\cdot 10^8$  соответственно.

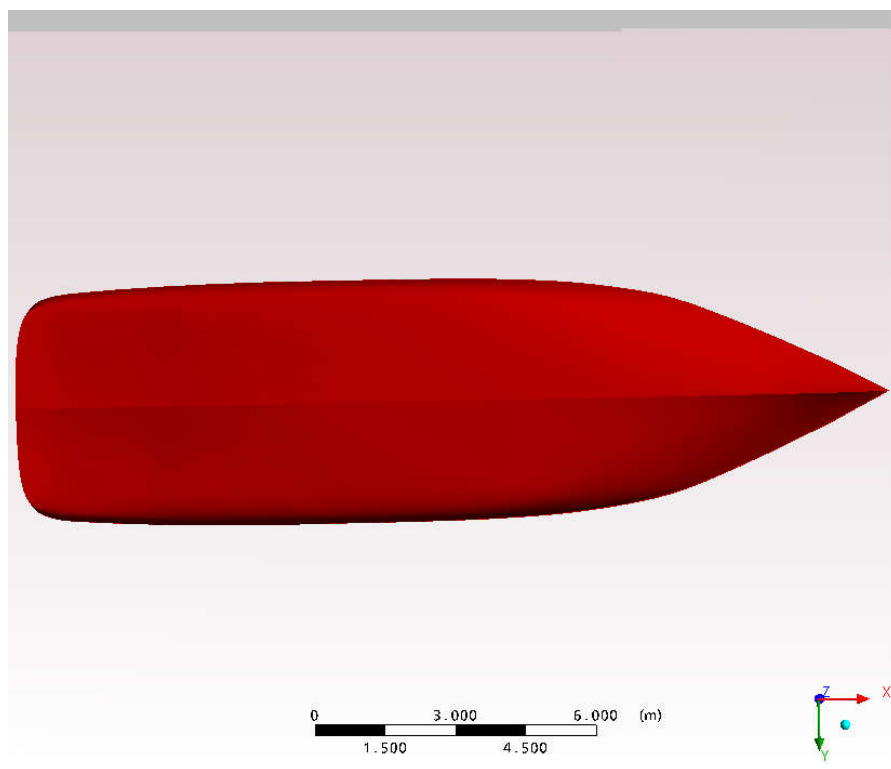


Рис. 1 Форма поверхности лодки (вид снизу)

В расчетной области в виде параллелепипеда длиной 160 м, шириной 50 м и высотой 50 м была построена пространственная гексаэдральная расчетная сетка с пограничными слоями вблизи твердых границ лодки и на свободной поверхности вода/воздух, состоящая из 630 тыс. узлов.

На границах расчетной области использовались граничные условия типа "Inlet" и "Outlet" (дальнее поле), "Wall" (на поверхности корпуса лодки) и "Symmetry" (в вертикальной плоскости симметрии задачи), на границе раздела вода/воздух использовалась модель межфазового переноса в приближении "Free surface".

На Рис. 2 показана сетка на поверхности лодки и в вертикальной плоскости симметрии.

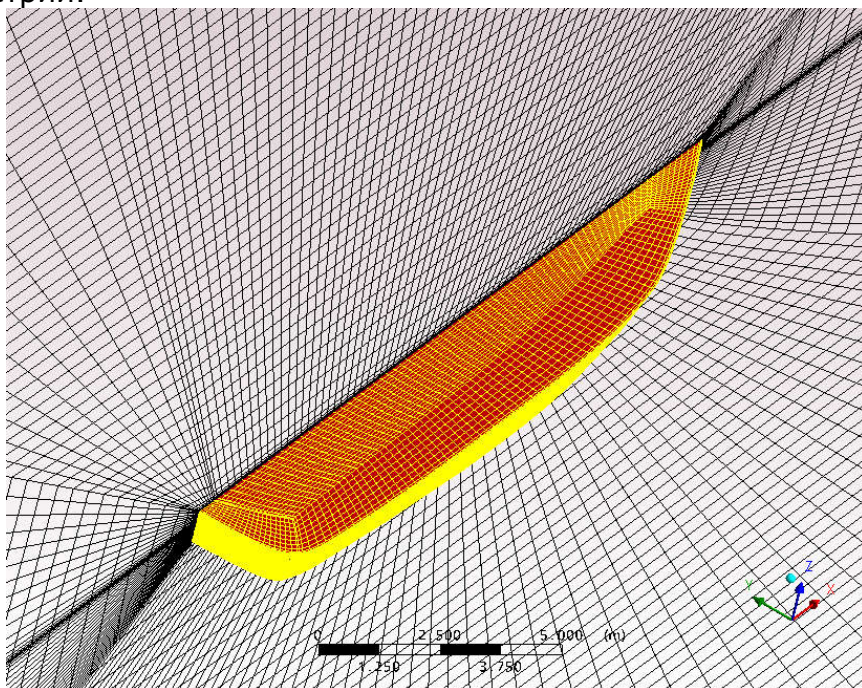


Рис. 2 Сетка на поверхности лодки и в вертикальной плоскости симметрии

## Результаты расчетов

Расчеты проводились на персональном компьютере с двухядерным процессором Intel® Core™ 2 CPU 2.40 GHz, с объемом оперативной памяти 4 GB, под управлением операционной системы Windows XP Professional x64 Edition.

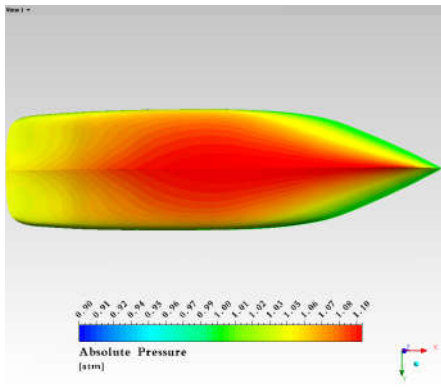
Для решения осредненных по Рейнольдсу уравнений Навье-Стокса (RANS) использовался метод конечного объема, численная схема высокого порядка для конвективных и вязких членов,  $k-\varepsilon$  модель турбулентности для замыкания уравнений. Задача решалась в стационарной постановке.

Для получения стационарного решения на одном режиме по скорости буксировки требовалось осуществить 500-600 итераций, что соответствует 20-25 часам работы компьютера.

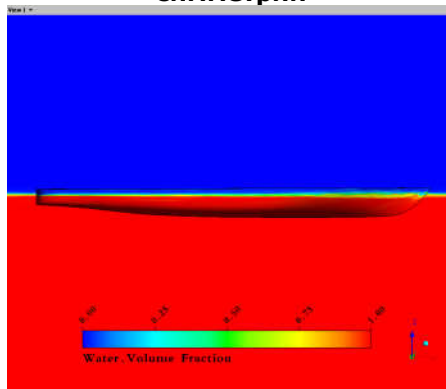
Результаты расчетов представлены на Рис. 3-4.

Водно-воздушная среда моделировалась в расчете несжимаемыми жидкостью и газом при температуре 18° С, плотность воды 1000 кг/м<sup>3</sup>, динамическая вязкость воды 8.899·10<sup>-4</sup> кг/мс, плотность воздуха 1.185 кг/м<sup>3</sup>, динамическая вязкость воздуха 1.831·10<sup>-5</sup> кг/мс.

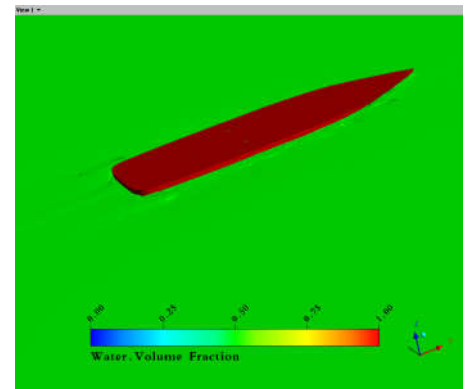
Распределение давления по дну лодки



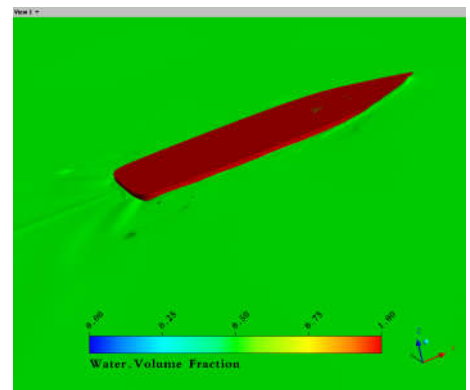
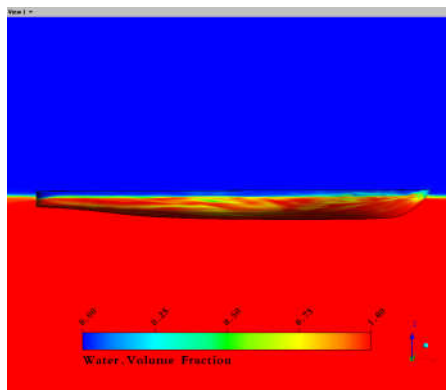
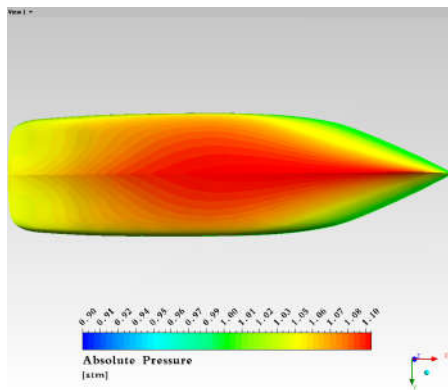
Распределение фракции воды на поверхности лодки и в вертикальной плоскости симметрии



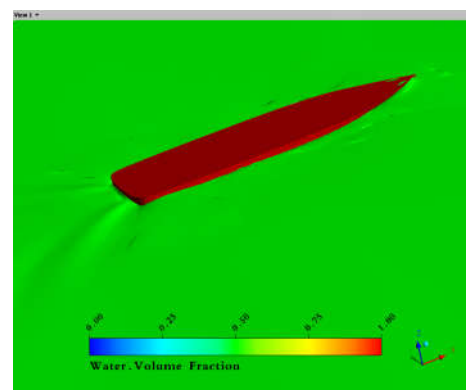
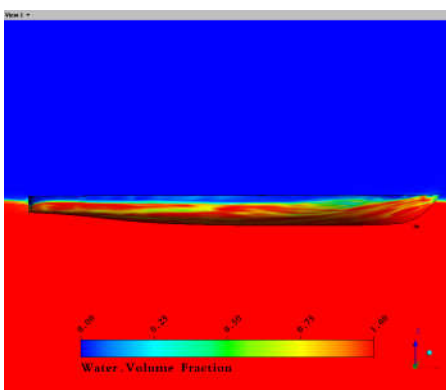
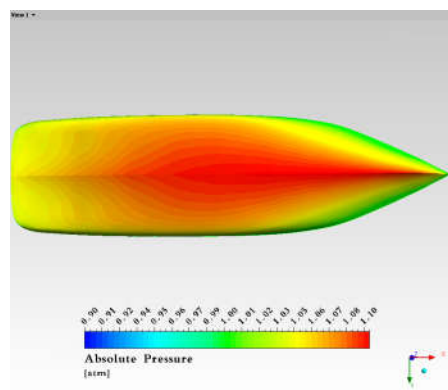
Волновая картина на поверхности раздела вода/воздух



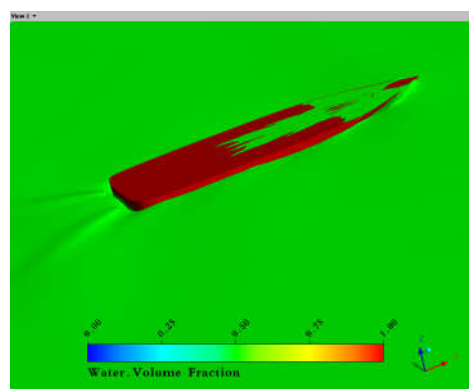
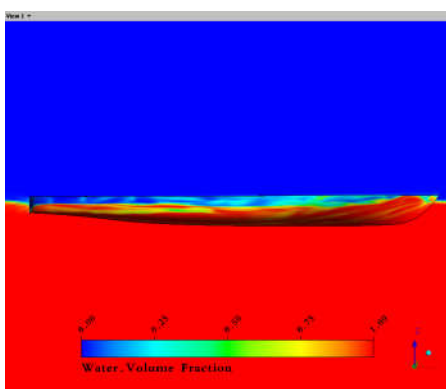
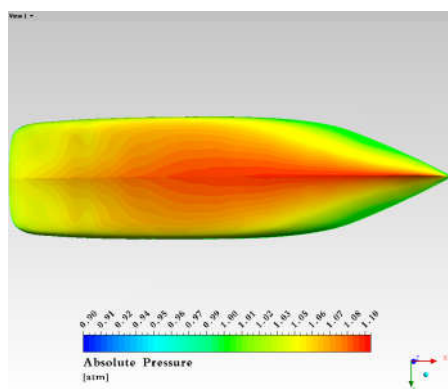
Скорость буксировки 1 м/с



Скорость буксировки 2 м/с



Скорость буксировки 3 м/с



Скорость буксировки 4 м/с

Рис. 3

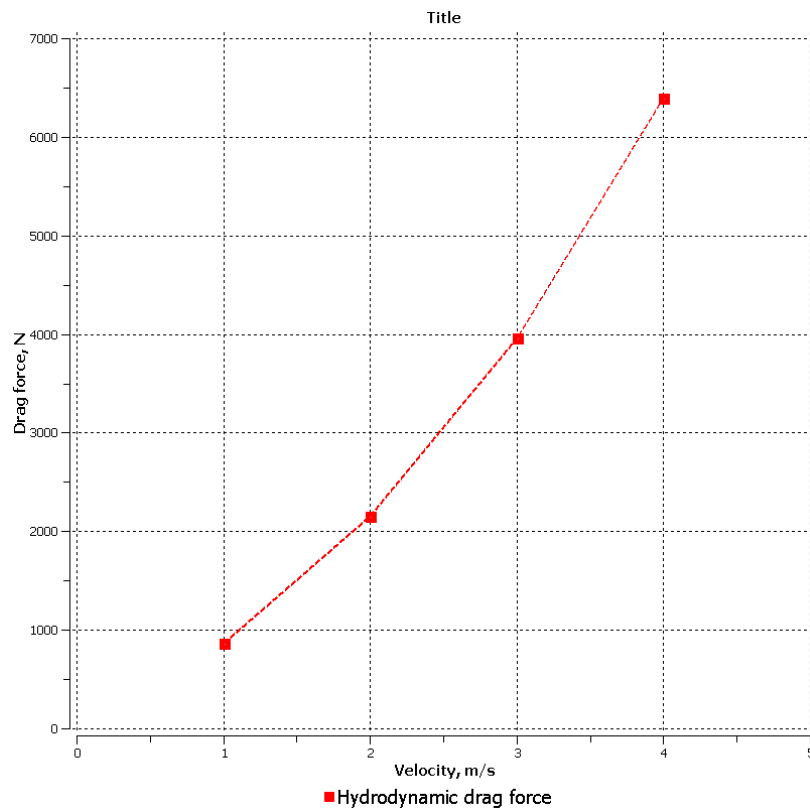


Рис. 4 Буксировочное сопротивление судна в зависимости от скорости хода

Для повышения точности определения гидродинамических коэффициентов расчеты следует проводить не на персональном компьютере, а на кластере с объемом памяти 15-20 Гб, на расчетных сетках с 5-10 млн. узлов.