

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ТЕЧЕНИЙ И РАСЧЕТ БУКСИРОВОЧНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ МОДЕЛИ ПОДВОДНОЙ ЛОДКИ

Н.А.Владимирова

Для **демонстрации** возможностей вычислительной гидродинамики применительно к задачам судостроения рассмотрено решение модельной задачи движения подводного аппарата в морской среде с целью определения его буксировочного сопротивления при постоянной скорости хода.

Постановка модельной задачи, геометрия и расчетные сетки

Рассмотрена задача глубинной буксировки схематизированной подводной лодки (без двигателя и винта) в морской воде.

Морская среда считается безграничной, скорость хода постоянна и равна 22 узлам (11.32 м/с), деферент равен нулю.

Общий вид геометрии изделия показан на Рис. 1 (лодка имеет цилиндрический корпус с носовым отсеком в виде полусферы, рубку с горизонтальными рулями и 4 кормовых стабилизатора схемы «X» с симметричным профилем в сечениях).

Длина корпуса $L=56$ м, диаметр $d=7$ м.

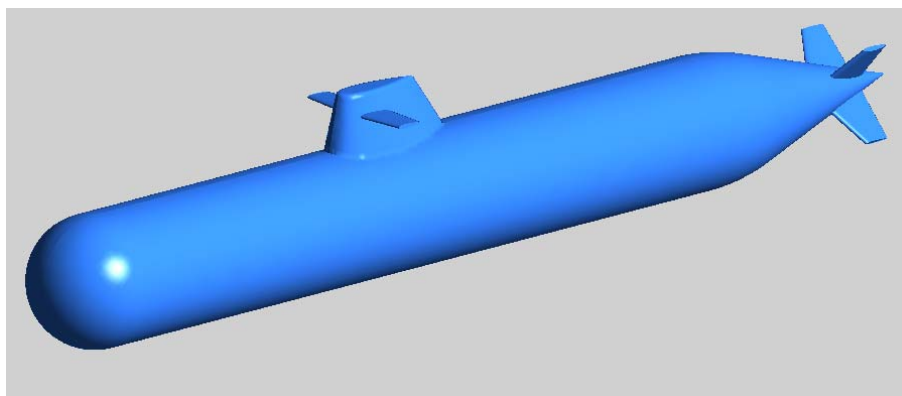


Рис. 1 Общий вид геометрии изделия

В расчетной области в виде полуцилиндра диаметром 200 м и длиной 600 м построена пространственная тетраэдральная расчетная сетка с призматическими пограничными слоями вблизи твердых границ, состоящая из 530 тыс. узлов, 1.5 млн. тетраэдров, 1.5 тыс. пирамид и 500 тыс. призм.

На границах расчетной области использовались граничные условия типа "Opening" (дальнее поле), "Wall" (на поверхности подводной лодки) и "Symmetry" (в вертикальной плоскости симметрии задачи).

На Рис. 2 показана треугольная сетка на поверхности лодки и в вертикальной плоскости симметрии; на Рис. 3 представлены фрагменты треугольной сетки на поверхности рубки и горизонтальных рулей (слева) и на поверхности кормового отсека и кормовых стабилизаторов (справа).

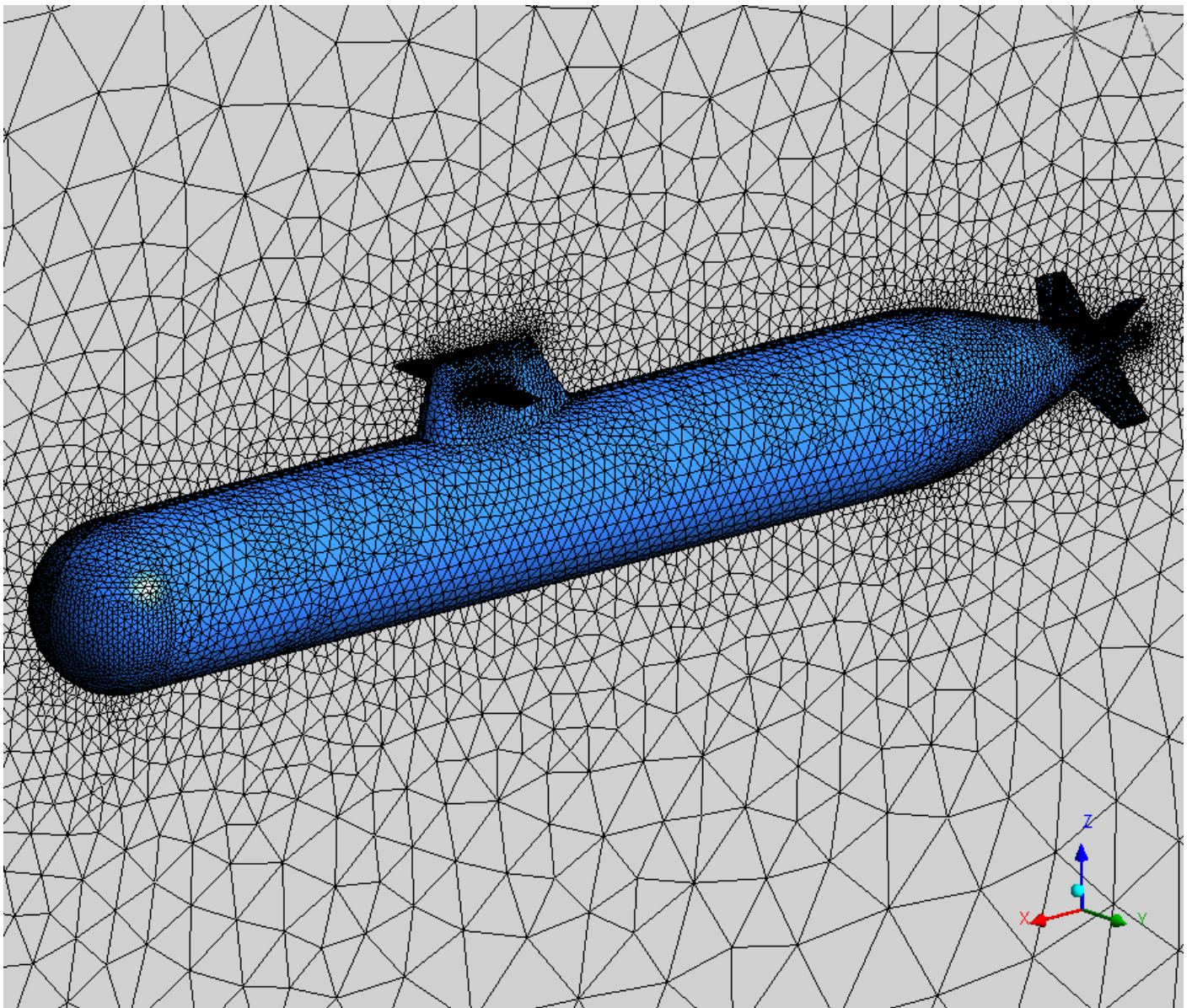


Рис. 2 Треугольная сетка на поверхности изделия и в плоскости симметрии

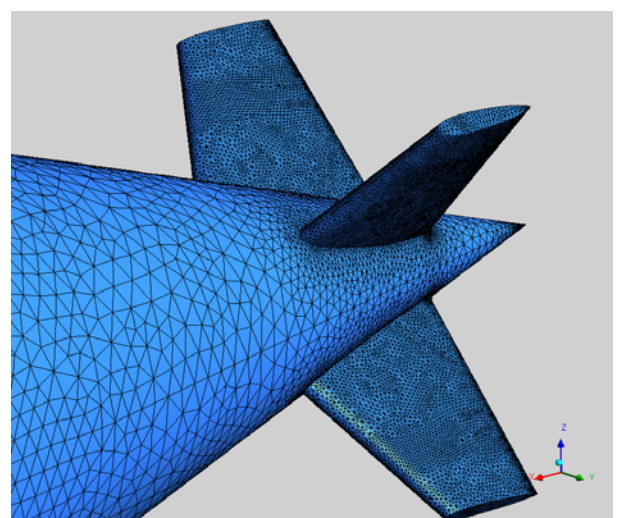
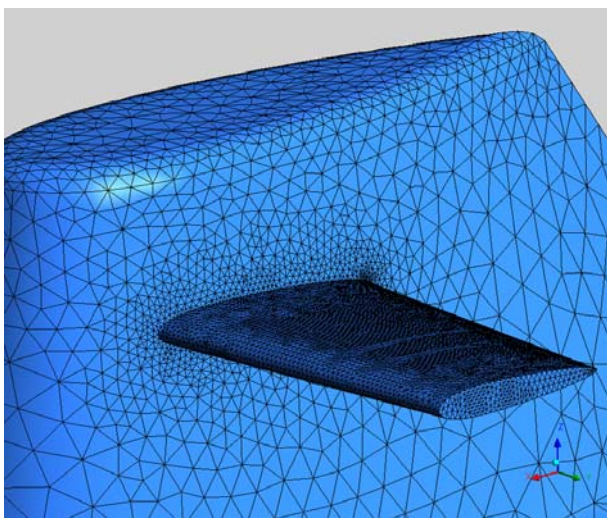


Рис.3 Фрагменты сетки на поверхности рубки и горизонтальных рулей (слева) и на поверхности кормового отсека и кормовых стабилизаторов (справа)

Результаты расчетов

Расчеты проводились на персональном компьютере Intel Pentium 4 CPU 2.00 GHz с объемом оперативной памяти 2 GB.

Для решения уравнений Навье-Стокса, описывающих вязкие турбулентные течения, использовался метод конечного объема, численная схема высокого порядка для конвективных и вязких членов и модель турбулентности *SST (Shear-Stress-Transport) k- ω* , позволяющая моделировать как безотрывные турбулентные течения, так и течения с развитыми турбулентными отрывами.

Задача решалась в стационарной постановке.

Для получения стационарного решения потребовалось осуществить 100 итераций, что соответствует 8.5 часам работы центрального процессора.

Результаты расчетов представлены на Рис. 4-6.

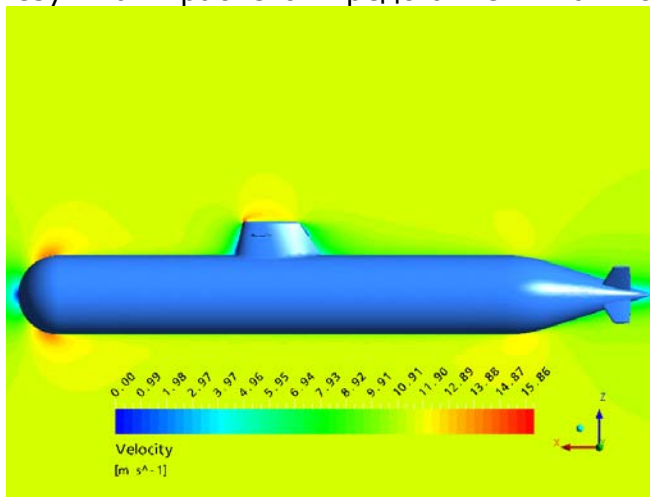


Рис.4 Распределение давления на поверхности лодки

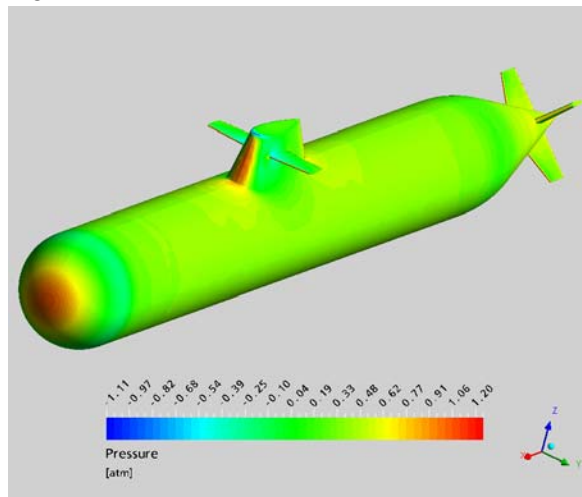


Рис.5 Распределение скорости в плоскости симметрии

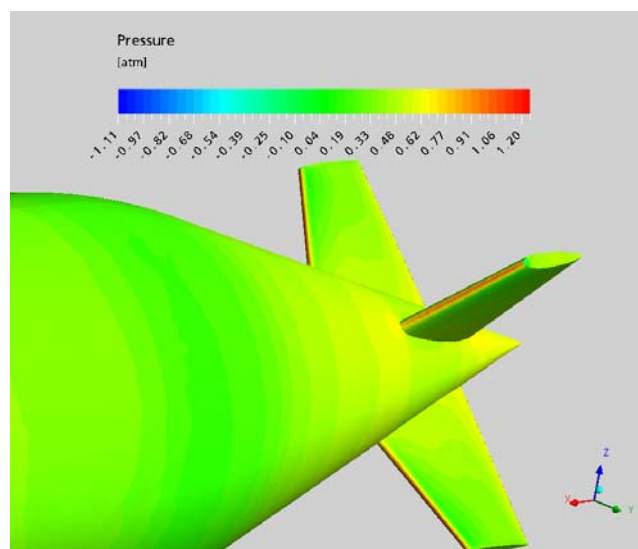
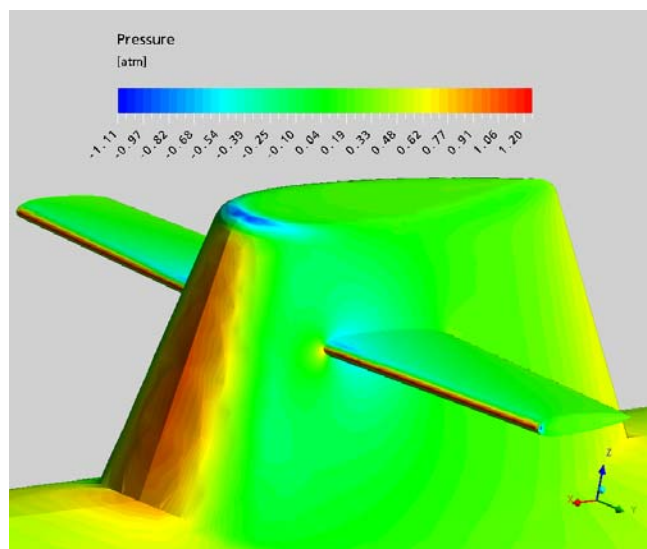


Рис. 6 Распределение давления на поверхности рубки и рулей (слева) и в окрестности кормовых стабилизаторов (справа)

На основании расчетов обтекания подводного аппарата определено значение коэффициента буксировочного сопротивления $C_R=0.0031$.

При этом полная размерная сила сопротивления лодки составляет $R=2.5 \cdot 10^5$ н ($C_R=R/[S \cdot (\rho \cdot v^2)/2]$, где ρ - плотность морской воды, v - скорость хода, $S=1204$ м² - полная смачиваемая поверхность изделия).

Обтекание лодки является «высокорейнольдсовым» (характерное число Рейнольдса задачи, вычисленное по длине лодки, $Re=5.5 \cdot 10^8$), число Фруда $Fr=v^2/g \cdot L=0.48$.

Гидродинамическое качество, полученное в результате расчетов, $K=74$ и составляет достаточно высокое значение для такого класса аппаратов.

Значение гидродинамического качества подводного аппарата определяется по формуле $K=D \cdot g/R$, где $D=1890$ т – водоизмещение судна, $g=9.8$ м/с² – ускорение свободного падения.

Следует подчеркнуть, что приведенные результаты расчетов носят демонстрационный характер.

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.