

Численное моделирование процесса обтекания корпуса ледокола нового типа

Г.Ю. Мухаметдинов, Р.А. Бегалиев, В.Н. Щербаков
Московский физико-технический институт (государственный университет)

1 Аннотация

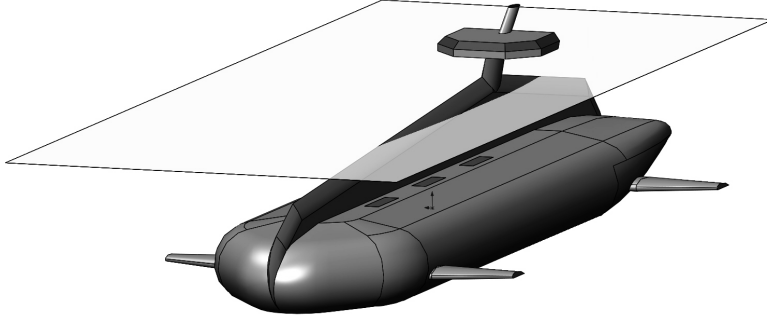
Исследование эффективности ледоколов разбивается на несколько задач, одной из которых является исследования сопротивления ледоколов на открытой ото льда воды. В данном докладе представлены результаты исследования зависимости волнового сопротивления от глубины погружения судна и проведено сравнение волнового сопротивления подводного и надводного суден с одинаковыми водоизмещением и пропорциями.

2 Введение

После обнаружения в Арктике большого количества полезных ископаемых, ведущие мировые державы приступили к активным исследованиям и обработке доступных шлейфов. В связи с этим становится актуальным вопрос проводки судов во льдах, прокладка канала, буксировка, выполнение спасательных работ. Для решения этой проблемы используются современные ледоколы, основными недостатками которых являются маленькая скорость рубки льда и большое сопротивление из-за конструкции корпуса. Это приводит к колоссальным затратам. В данных условиях существует необходимость в ледоколах нового поколения.

В. Н. Щербаковым запатентован новый способ разрушения ледяного покрова и на его основе полупогружное ледокольное судно для перевозки различных грузов (жидких, сыпучих и контейнеров) [1]. В отличие от стандартных ледоколов [2] разрушение ледяного покрова производится снизу вверх узким, прочным тараном, расположенным сверху вдоль всего корпуса. Ходовая рубка находится высоко над поверхностью воды на прочном, узком плавнике. Вертикальная разрушающая сила создается всей положительной плавучестью и гидродинамической подъемной силой подводных крыльев. Буксировочные испытания, проведенные на моделях (1:100), показали семикратное снижение усилия, необходимого для разрушения льда, по сравнению с классическими ледоколами. Предлагаемый ледокол имеет преимущества и на чистой ото льда воде за счет снижения волнового сопротивления и меньшего воздействия волн при шторме.

В данном докладе отражены результаты исследования зависимости волнового сопротивления от глубины погружения и скорости судна, полученные на основе программного обеспечения FlowVision.



3 Физическая модель

3.1 Модель несжимаемой жидкости со свободной поверхностью

В данном исследовании расчёты проводились на основе уравнений Рейнольдса и уравнения непрерывности [3]:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \nabla(V \otimes V) = -\frac{\nabla P}{\rho} + \frac{1}{\rho} \nabla((\mu + \mu_t)(\nabla V + (\nabla V)^T)), \quad (1)$$
$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + (\nabla, \rho V) = 0.$$

Свободная поверхность моделируется с помощью метода VoF (от англ. Volume of Fluid), в котором используется функция заполнения F , принимающая значения $F = 1$ и $F = 0$ в ячейках с жидкостью и газом соответственно. Уравнение переноса имеет вид [4]:

$$\frac{\partial F}{\partial t} + V \nabla F = 0. \quad (2)$$

3.2 Моделирование турбулентности

Для расчёта турбулентной вязкости [4] μ_t применяется линейная двухпараметрическая модель турбулентности - стандартная $k - \varepsilon$ модель, которая описывается формулой:

$$\mu_t = C_\mu \rho \frac{k^2}{\varepsilon}. \quad (3)$$

k (турбулентная энергия) и ε (скорость диссипации энергии) определяются из выражений:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \nabla(V_k) = \frac{1}{\rho} \nabla((\mu + \mu_t) \nabla k) + \frac{G}{\rho} - (\varepsilon - \varepsilon_{ini}), \quad (4)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \nabla(V_\varepsilon) = \frac{1}{\rho} \nabla((\mu + \mu_t) \nabla \varepsilon) + \frac{\varepsilon}{\kappa} \left(C_1 \frac{G}{\rho} - C_2(\varepsilon - \varepsilon_{ini}) \right). \quad (5)$$

3.3 Объект исследования

Проводились исследования по вычислению волнового сопротивления подводного судна в зависимости от глубины погружения. Также проводилось сравнение сопротивления подводного и надводного судна при одинаковых водоизмещении и пропорции. Поскольку реальные размеры судов слишком велики(200-400 метров), то для численного моделирования используются масштабированные модели. Используя критерий подобия Фруда, была установлена связь между реальной и моделированной скоростями и размерами [2]:

$$Fr = \frac{V^2}{gL},$$

где V —скорость, L —длина судна.

Таблица значений размеров и скоростей:

Параметр	Натура	Модель(100:1)
Длина	300м	3м
Скорость	$10 \frac{м}{с}$	$1 \frac{м}{с}$
Осадка	45м	0.45м
Водоизмещение	450000м ³	0.45м ³

3.4 Расчетная область и начальные условия

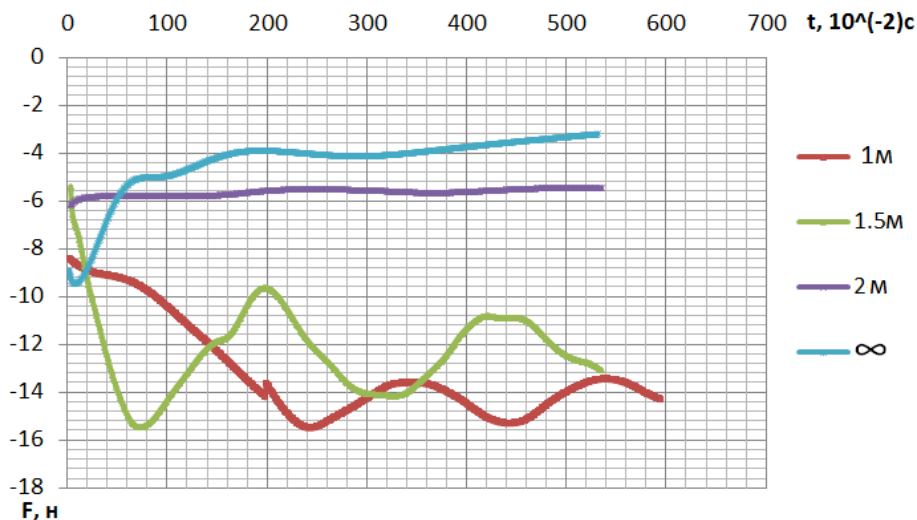
Для неизменного положения расчётной сетки и объекта, моделирование хода судна на открытой воде выполнялось путём введения потока жидкости, обтекающей модель. Выбор расчётной области определялся отсутствием влияния границ на получаемые результаты.

В моделировании использовалась половина корпуса ввиду его симметричности. На поверхности модели судна было установлено граничное условие стенки с логарифмическим законом для скорости.

Начальными условиями в расчётах являлись: ускорение силы тяжести, скорость буксировки. Свойства воды были загружены из базы данных.

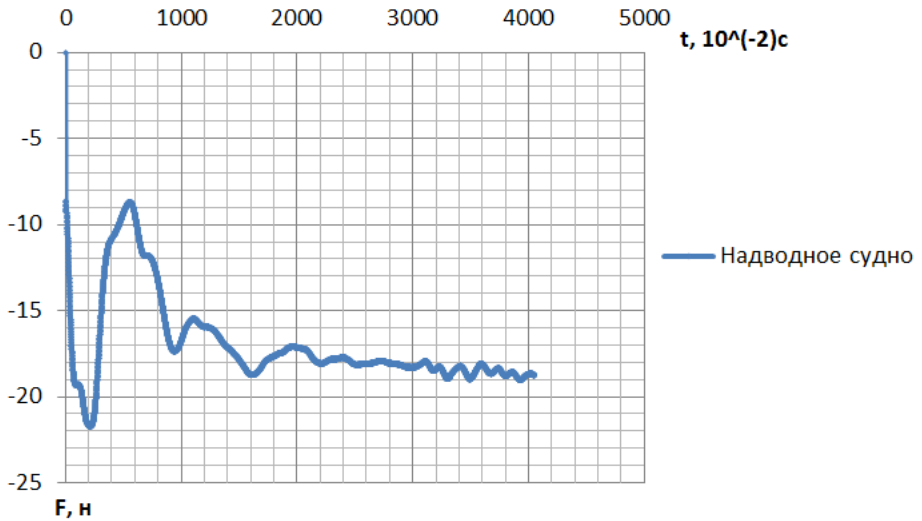
4 Результаты по модели

Данные, полученные при моделировании, отражены на графике зависимости сопротивления от времени:



Для значений глубины в 1 м и 1.5 м наблюдаются затухающие осцилляции около определённых значений, которые занесены в таблицу.

Объект	Глубина, м	Сопротивление, Н
надводное судно	1	-18
подводное судно	1	-15
подводное судно	1.5	-12
подводное судно	2	-5
подводное судно	∞	-3



5 Вывод

1. Волновое сопротивление подводного судна значительно меньше аналогичного сопротивления надводного корабля, имеющего такие же водоизмещение и пропорции.

2. Волновое сопротивление подводного судна уменьшается до нуля по мере его погружения в воду.

Литература

1. Щербаков В.Н. Способ разрушения ледяного покрова и полупогружное ледокольное судно: пат. 2535346. Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Московский физико-технический институт (государственный университет)".

2. Басин А.М., Анфилов В.Н. Гидродинамика судна. - Л. Речной транспорт, 1951. - 684с.

3. Ландау Л.Д., Лившиц Е.М. Гидродинамика. - М., Наука, 1986. - 733с.

4. Система моделирования движения жидкости и газа FlowVision. Руководство пользователя. - Москва. ООО "Тесис - 2001, - 344 с.