



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ДГТУ)**

**КАФЕДРА  
«ГИДРАВЛИКА, ГИДРОПНЕВМОАВТОМАТИКА И  
ТЕПЛОВЫЕ ПРОЦЕССЫ»**

## **Методические указания**

для выполнения расчетной работы

### **Определение буксировочного сопротивления корпуса судна**

по дисциплине «Экспериментальная гидромеханика судна»

Учебно-методическое пособие

Ростов-на-Дону

2022 г.

Составитель: доц. Полешкин М.С.

Методические указания по выполнению расчетной работы по дисциплине  
«Экспериментальная гидромеханика судна». ДГТУ, г. Ростов-на-Дону, 2022 г.

В учебном пособии рассматривается моделирование корпуса судна, задание граничных условий и изображение волновой поверхности при движении.

Даются краткие теоретические сведения и методика расчета движения корпуса судна в программной среде FlowVision.

Предназначено для обучающихся очной формы обучения для направления: 26.04.02 Кораблестроение, океанотехника и системотехника объектов морской инфраструктуры.

Ответственный за выпуск:

зав. кафедрой

«Гидравлика, гидропневмоавтоматика  
и тепловые процессы»

Грищенко В.И.  
Ф.И.О.

© Издательский центр ДГТУ, 2022г.

## Введение

В настоящее время компьютерные методы существенно потеснили экспериментальную гидродинамику, расширив понимание происходящих вблизи корпуса корабля процессов.

Важнейшим, революционным шагом для экспансии компьютерной гидродинамики явилась разработка методов расчета потоков вязкой жидкости методом решения уравнений Навье – Стокса в приближении Рейнольдса (RANS методы или, в нестационарной постановке, – URANS методы). Расчетные методы имеют огромный потенциал, ограничение – мощность вычислительных ресурсов (суперкомпьютеры с их возможностями параллельных вычислений).

Применение таких способов расчета, даже без крупных экспериментальных установок, позволяет проектным группам верфей и конструкторских бюро, производить исследования в собственном вычислительном центре. Все они проявляют заинтересованность, видят возможность закрыть расчетами все технические вопросы и, не слишком углубляясь в проблемы точности и области применения используемых моделей и программ, проводят решение задач, которые раньше безусловно заказывались бы для экспериментального решения в опытовых бассейнах.

В то же время известно, что для внедрения новых расчетных инструментов исследования требуется разработка и всесторонняя валидация технологий проведения расчетов, которую крайне сложно выполнить, не имея доступа к соответствующей экспериментальной базе.

В учебном пособии рассматриваются основы гидродинамического моделирования движения судна и расчет буксировочного сопротивления, при помощи методов конечных объемов в программном комплексе FlowVision, позволяющие приобрести навыки и умения работы в подобных вычислительных программных комплексах.

## **1. Цель и задачи расчетной работы**

Целью данной работы является создание трехмерной модели корпуса накатного судна с помощью программы SolidWorks и исследование обтекания полученной модели с помощью программного комплекса FlowVision.

Задачи решаемые в расчетной работе:

- создать трехмерную модель корпуса моторной яхты в SolidWorks;
- получить изображение волновой поверхности, которая возникает при движении судна;
- определить буксировочное сопротивление воды движению судна с заданной скоростью.

## **2. Состав и тематика расчетной работы**

Тема расчетной работы (ее объем – от 15 до 25 машинописных страниц без учета приложений) соответствует одному из вариантов заданий, который выбирается по последним двум цифрам зачетной книжки студента. Основными целями выполнения практической работы являются: расширение и углубление знаний обучающихся, выработка приемов и навыков в анализе теоретического и практического материала, а также обучение методам расчета и проектирования гидродинамических энергетических машин. Обучающийся, со своей стороны, при выполнении практической работы должен показать умение работать с литературой, давать анализ соответствующих источников, аргументировать сделанные в работе выводы.

## **3. Структура и оформление работы**

Структура работы включает в себя: титульный лист, лист задания, содержание, введение, разделы основной части, заключение, список использованных источников и приложения в виде графической части листов формата A1. Текст работы необходимо набирать на компьютере на одной стороне стандартного листа формата A4 с большим штампом для листа

содержания, и малым штампом для остальных страниц. Размер левого поля 20 мм, правого – 10 мм, верхнего – 20 мм, нижнего – 20 мм. Шрифт – Times New Roman, размер – 14, межстрочный интервал – 1,5. Фразы, начинающиеся с новой строки, печатаются с абзацным отступом от начала строки. Работа, выполненный небрежно, неразборчиво, без соблюдения требований по оформлению, возвращается студенту без проверки с указанием причин возврата на титульном листе.

#### **4. Краткие теоретические сведения**

В данной работе при исследовании обтекания корпуса судна программой FlowVision будут использованы такие модели, как модель несжимаемой жидкости и модель двухфазного течения жидкости. Программа FlowVision использует для решения задачи метод конечных объемов.

Метод конечных объемов (FVM --- Finite Volume Method) представляет собой главный способ решения связанных уравнений переноса импульса и турбулентности [2].

В отличие от метода конечных разностей, данный метод использует формулировку уравнений в интегральной форме. Расчетная область разбивается на определенное количество контрольных объемов (ячеек), каждому из которых сопоставляется неизвестная величина, представляющая собой среднее значение переменной по этому объему. Для того, чтобы получить алгебраическое уравнение, соответствующее интегральному, записанному для некоторой контрольной ячейки, необходимо осуществить два этапа аппроксимации:

- Приближенные значения интегралов, входящих в уравнение, при помощи квадратурных формул, выражаются через значения подынтегральных выражений в точках границы.
- Значения переменных в точках границы ячейки интерполируются по их значениям, заданным в узловых точках.

Интегральное уравнение выполняется как для каждого отдельного контрольного объема в отдельности, так и для расчетной области в целом. Таким образом метод конечных объемов обладает свойством глобального сохранения, что является важным преимуществом этого метода.

Метод конечных объемов может применяться с любым типом сетки, так что он применим для сложных геометрий. Сетка определяет только границы контрольного объема и не нуждается в привязке к системе координат. По сравнению с методом конечных элементов, метод конечных объемов более приемлем для большинства программистов, менее сложен с математической точки зрения и требует меньшей памяти компьютера при том же числе расчетных узлов.

Метод обладает преимуществами несложного программирования, математической простоты и физической адекватности. Вследствие этих достоинств, большинство разработанных коммерческих программ численного решения задач гидродинамики используют метод конечных объемов.

Модель несжимаемой жидкости описывает течения вязкой жидкости при малых числах Маха ( $M < 0.3$ ), малых и больших (турбулентных) числах Рейнольдса. Допускаются малые изменения плотности, что позволяет естественным образом учесть подъёмную силу. В модель входят уравнения Навье-Стокса, уравнение энергии.

Уравнения Навье-Стокса (закон сохранения импульса) для нахождения значения скорости имеют вид:

$$\frac{\partial V}{\partial t} + \nabla(V \otimes V) = -\frac{\nabla P}{\rho} + \frac{1}{\rho} \nabla \left( (\mu + \mu_t) \left( \nabla V + (\nabla V)^T \right) \right) + S \quad (1)$$

$$\nabla V = 0, \quad (2)$$

где источник  $S$  равен

$$S = \left( 1 - \frac{\rho_{hyd}}{\rho} \right) g \quad (3)$$

Уравнение энергии:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla(Vh) = \frac{1}{\rho} \nabla \left( \left( \frac{\lambda}{C_p} + \frac{\mu_t}{Pr_t} \right) \nabla h \right) + \frac{q}{\rho} \quad (4)$$

Модель двухфазного течения жидкости предназначена для исследования двухфазных течений со свободной поверхностью. Эта модель используется для определения коэффициентов сопротивления кораблей и подводных аппаратов, заполнения форм расплавом металлов и т.д.

Модель использует функцию VOF, принимающую значения 0 (газ, в данном случае воздух) и 1 (жидкость). Свободная поверхность представляется набором фасеток, отсекающих расчетную область. Рассчитываются все ячейки, в которых присутствует жидкость.

Помимо уравнения Навье-Стокса и уравнения энергии, записанных выше, в данной модели используется уравнение переноса функции заполнения F. Данное уравнение имеет вид:

$$\frac{\partial F}{\partial t} + V \nabla F = 0 \quad (5)$$

## **5. Методика выполнения работы**

### **5.1 Создание трехмерной модели корпуса судна**

Процесс создания области расчета включает в себя следующие шаги:

Запустить программу SolidWorks.

Создать новый документ детали, выбрав трехмерное представление одного компонента.

Зайти в “Tool → Options” на панели инструментов и во вкладке “Document properties → Unit” поставить единицы измерения, соответствующие системе единиц измерения МКС (метр, килограмм, секунда).

Выбрать в меню “Curves ” команду “Curve Through XYZ points ” и в открывшемся окне ввести точки, через которые будет проходить кривая. Построим кривую ВП правого борта следующим:

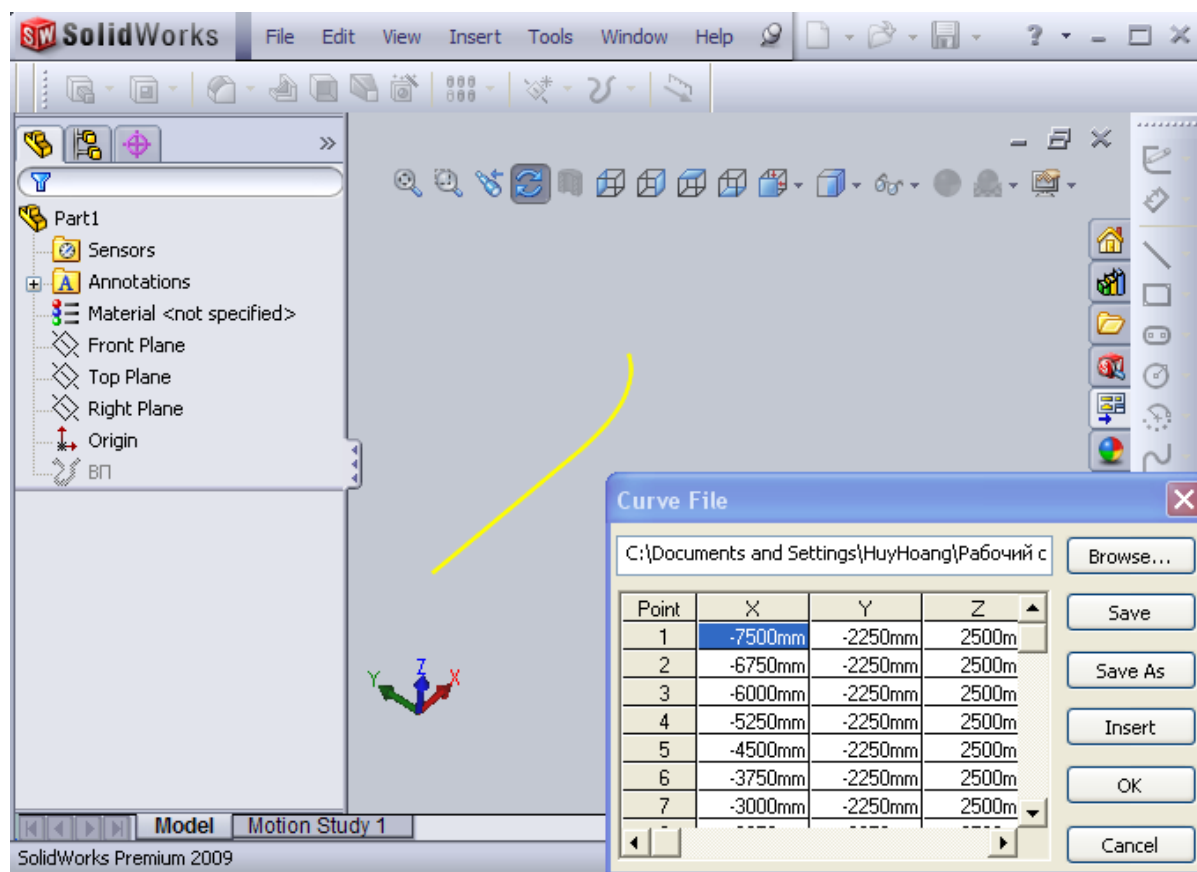


Рисунок 1 - Окно ввода точек для построения кривой

Для построения кривой ВП левого борта (симметрия относительно ДП кривой ВП правого борта), сохраним файл с координатами кривой ВП правого борта в файл ВП.sldcrv. Выбрать в меню “Curves” команду “Curve Through XYZ points” и открываем файл ВП.sldcrv, изменяем координаты Y в положительные значения и нажмем ОК.

Аналогично построим остальные кривые для скула, кили и несколько шпангоутов.

В результате должен быть получен набор кривых представленных на рисунке 2.



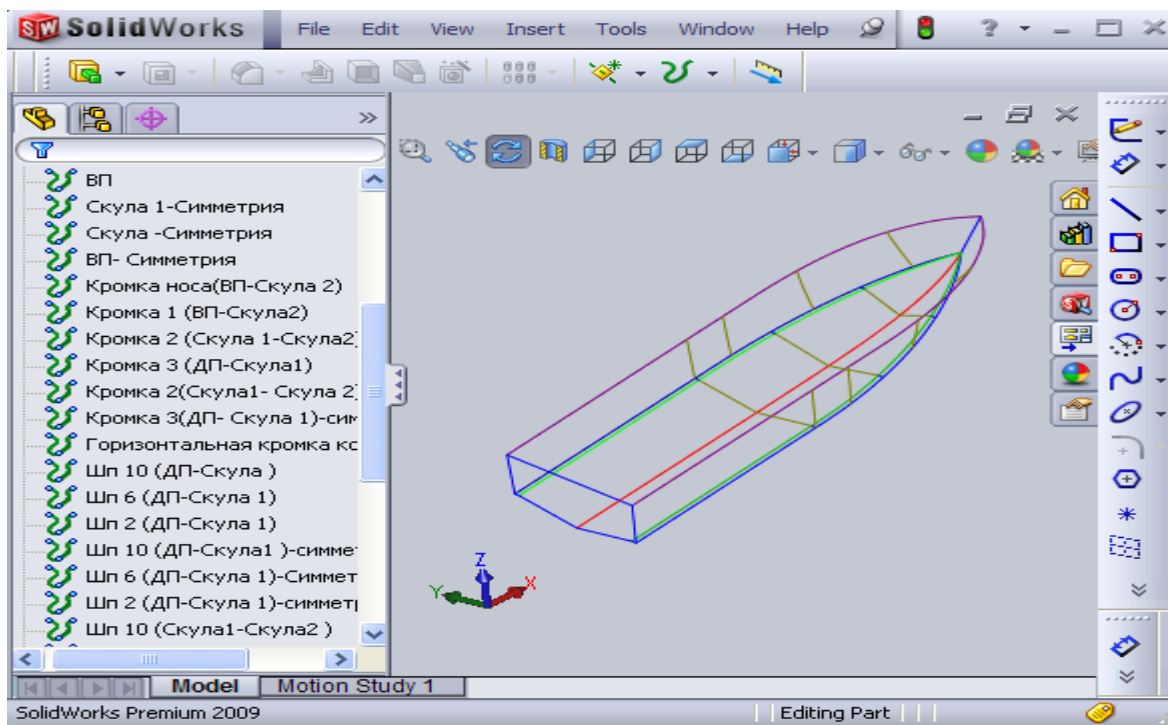


Рисунок 2 - Набор кривых, необходимых для построения твердотельной модели

Для построения поверхностей модели в меню “Insert” выбрать команду “Boundary Surface”. В “Direction 1” выбираем кривые ВП и Скула 2, в “Direction 2” выбираем кривые кромки носа, шп 0, шп 4, 8, 10 и кромки кормы. Наконец получим поверхность, показана на рисунке 3

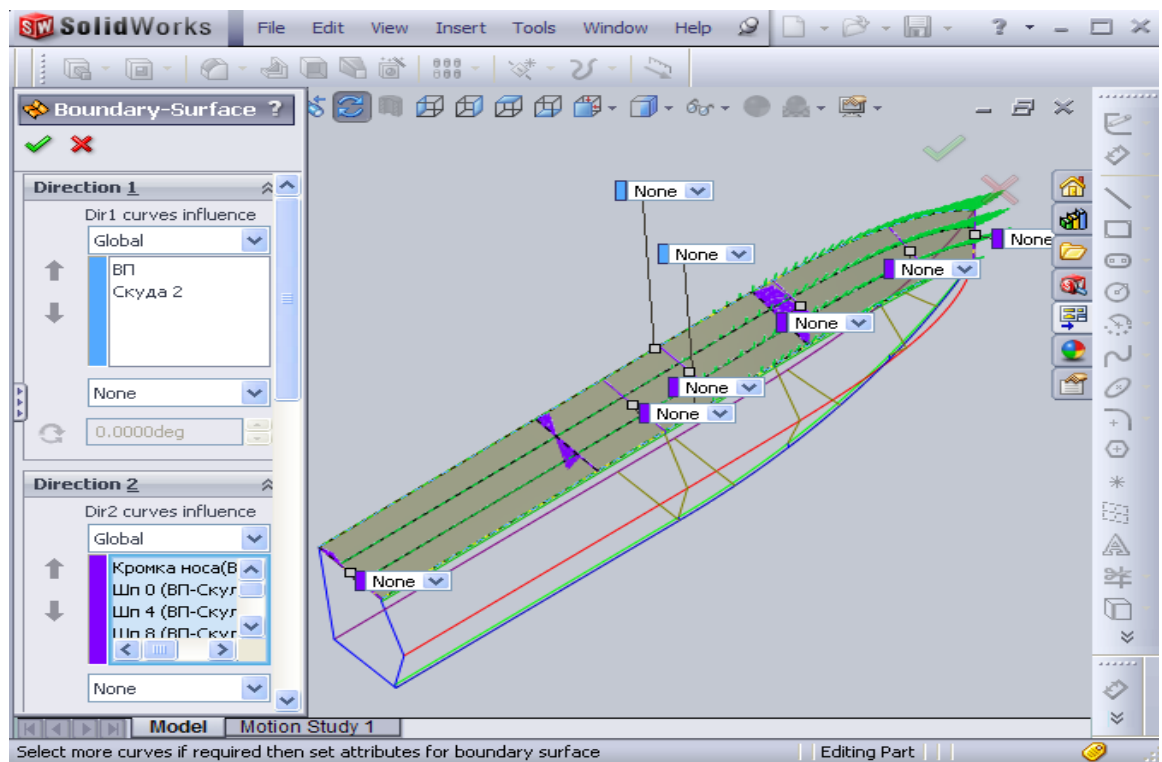


Рисунок 3 - Построение поверхностей модели

Аналогично для построения остальных поверхностей.

Для построения твердотельной модели в меню “Insert” выбрать команду “Surface→ Knit Surface” выбираем все поверхности модели в “Selections” и отметим выбор “Try to form solid”. Наконец получим твердую модель, показана на рисунке 4.

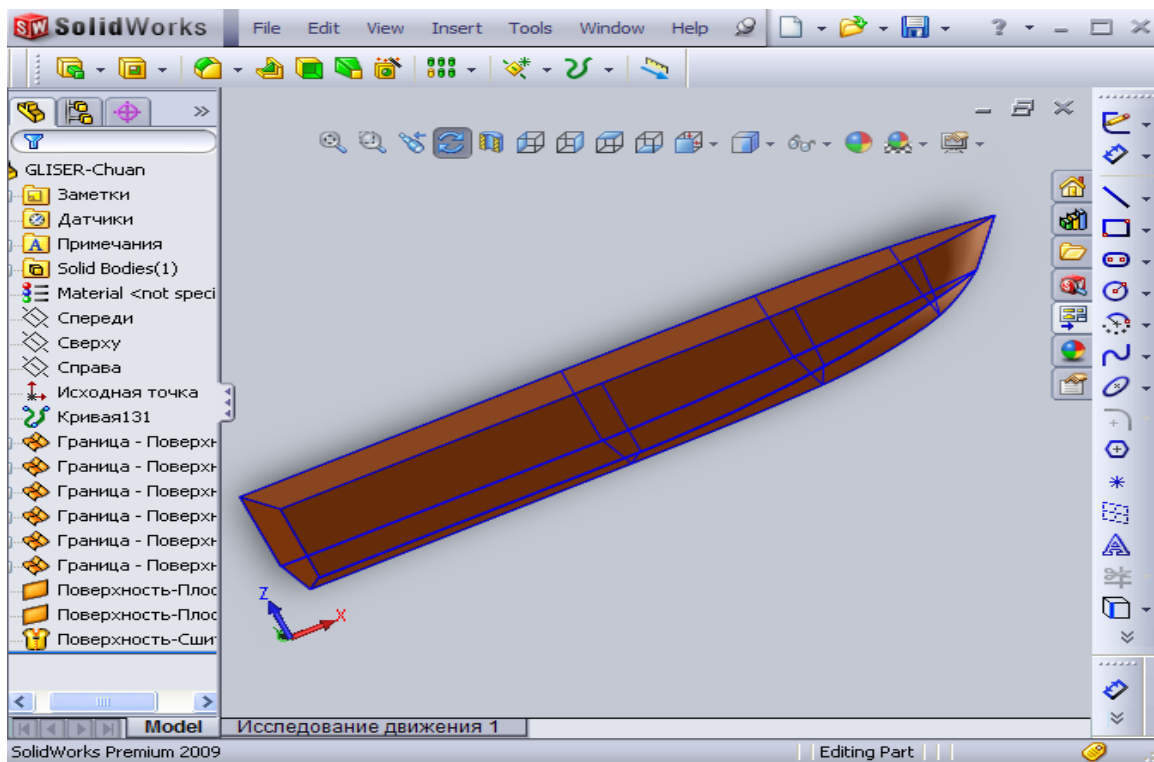


Рисунок 4 - Твердотельная модель моторной яхты

На панели инструментов в меню файл выбрать пункт “Save As”. Выбрать тип файла .STL, настроить в параметрах единицы измерения – метры, допуск 0,005, угол 5 градусов. Сохранить файл под названием “HullShip”.

## 5.2 Создание бокса

Процесс создания области расчета включает в себя следующие шаги:

Создать новый документ детали, выбрав трехмерное представление одного компонента.

Зайти в “Tool → Options” на панели инструментов и во вкладке “Document properties

→Unit” поставить единицы измерения, соответствующие системе единиц измерения МКС (метр, килограмм, секунда).

На панели инструментов выбрать команду “Sketch”. Выбрать плоскость “Top Plan”.

С помощью команды “Line” нарисовать горизонтальную прямую произвольного размера. Отредактировать размеры, полученного в предыдущем пункте прямой, задав координаты правой точки  $X = 100\text{ м}$  и  $Z = 0\text{ м}$ .

Нарисовать вертикальную прямую произвольного размера. Отредактировать размеры, полученного в предыдущем пункте прямой, задав координаты верхней точки  $X = 100\text{ м}$  и  $Z = 14\text{ м}$ .

Нарисовать горизонтальную прямую произвольного размера. Отредактировать размеры, полученного в предыдущем пункте прямой, задав координаты правой точки  $X = 100,001\text{ м}$  и  $Z = 14\text{ м}$ .

Нарисовать вертикальную прямую произвольного размера. Отредактировать размеры, полученного в предыдущем пункте прямой, задав координаты верхней точки  $X = 100,001\text{ м}$  и  $Z = 18\text{ м}$ .

Нарисовать горизонтальную прямую произвольного размера. Отредактировать размеры, полученного в предыдущем пункте прямой, задав координаты левой точки  $X=0$ ,  $Z=18$ .

Нарисовать вертикальную прямую произвольного размера. Отредактировать размеры, полученного в предыдущем пункте прямой, задав координаты нижней точки  $X = 0\text{ м}$  и  $Z = 0\text{ м}$ .

В результате построений получим рисунок 5

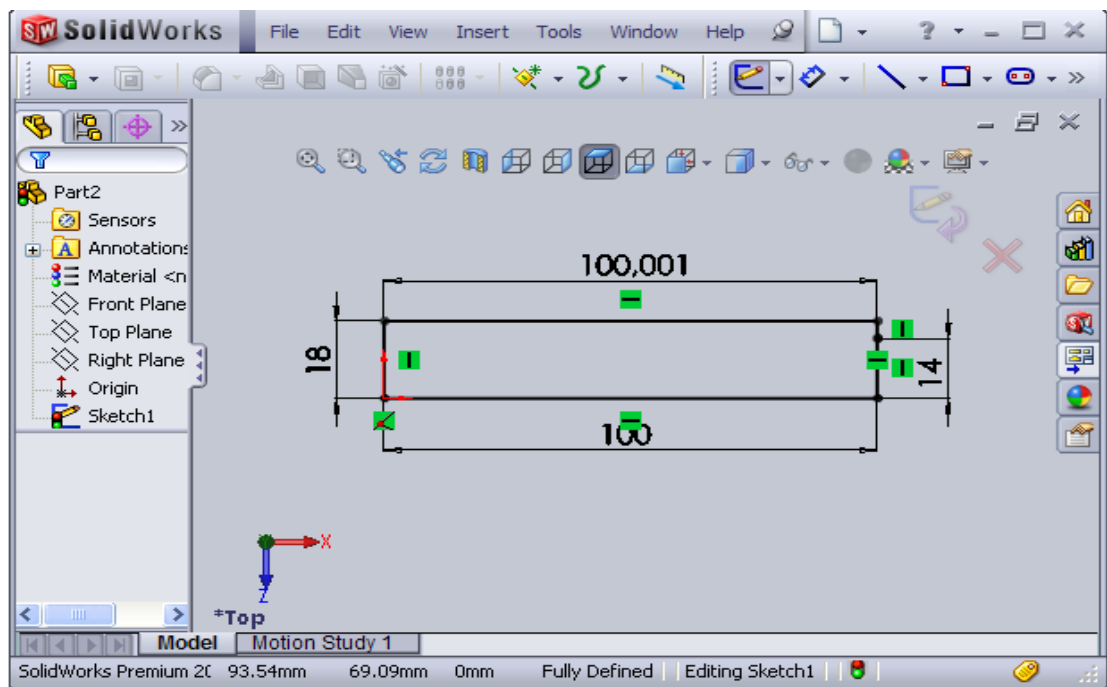


Рисунок 5 - Эскиз бокса

Нажать кнопку “Exit Sketch” и перейти в “Features” панели инструментов.

В панели инструментов выбрать команду “Extruded Boss/Base”. В поле “Направление1” принять длину 18 м. В результате получим бокс, изображенную на рисунке 6.

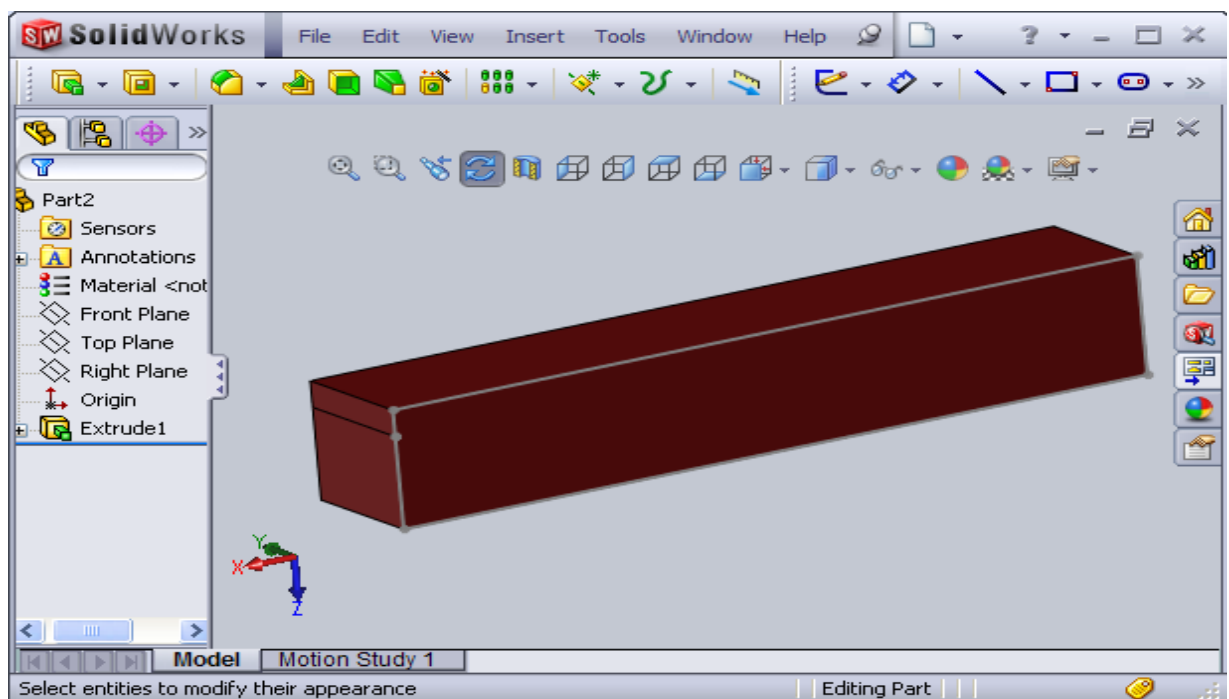


Рисунок 6 - Твёрдотельная модель бокса

На панели инструментов в меню файл выбрать пункт “Save As”. Выбрать тип файла .STL, настроить в параметрах единицы измерения – метры, допуск 0,005, угол 5 градусов. Сохранить файл под названием “Box Ship”.

### 5.3 Расчет поставленной задачи в программе FlowVision

#### 5.3.1 Задание математической модели

Процесс создания математической модели включает в себя следующие шаги:

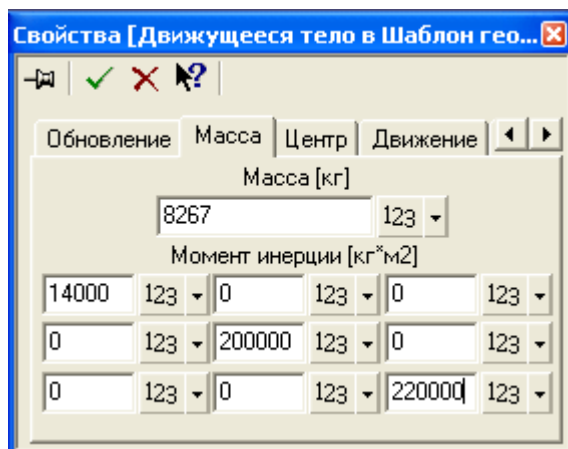
Запустить программу FlowVision.

На панели инструментов выбрать команду “Создать”. В появившемся окне выбирать тип файлов .STL и открыть документ “Box Ship”.

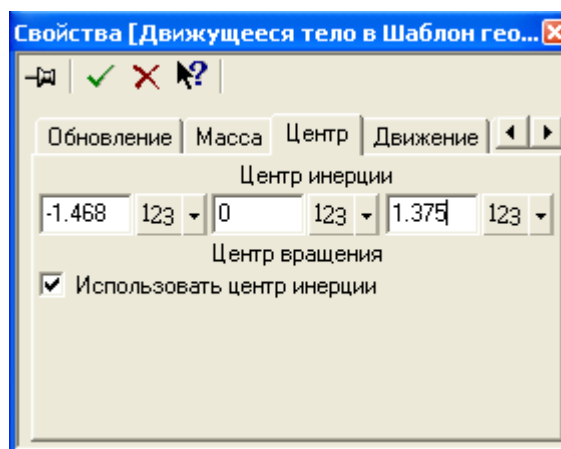
В меню “Фильтры” выбрать команду “Движущееся тело в шаблон геометрии” и загрузить “HullShip. STL”.

Выбрать свойства в “Движущееся тело в шаблон геометрии” и ввести: в поле “Масса”

$m = 8267 \text{ кг}$ ,  $I_{xx} = 14000 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ,  $I_{yy} = 200000 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ,  $I_{zz} = 220000 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$  (на рисунке 7,а); в поле “Центр” координаты центра инерции судна  $X = -1,468 \text{ м}$ ;  $Y = 0 \text{ м}$ ;  $Z = 1,375 \text{ м}$ , вместо центра вращения использовать центр инерции (см. на рисунке 7,б);



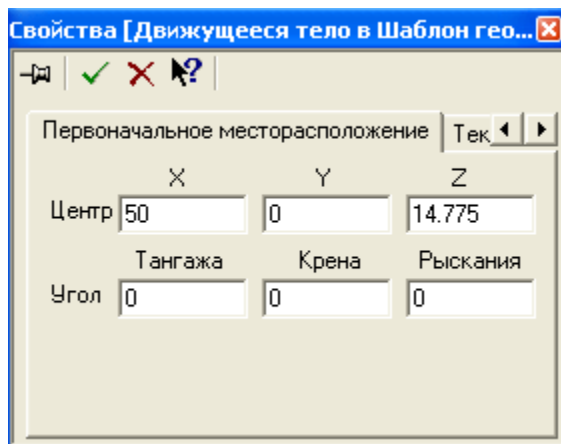
а)



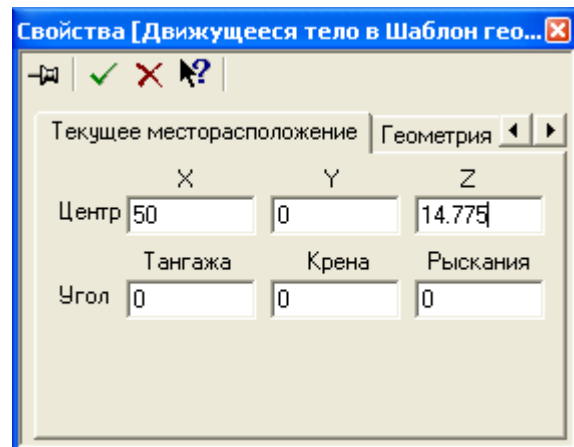
б)

Рисунок 7 – а) Масса и моменты инерции судна; б) Центр инерции и центр вращения судна

в поле “Первоначальное место расположение” указать координаты  $X = 50\text{м}; Y = 0\text{м}; Z = 14,775\text{м}$  (см. на рисунке 8, а); в поле “Текущее расположение” указать координаты  $X = 50\text{м}; Y = 0\text{м}; Z = 14,775\text{м}$  ( см. на рисунке 8, б). Согласится.



а)



б)

Рисунок 8 – а) Координаты первоначального места расположения; б) Координаты текущего расположения

Получим в результате корпус судна расположенный в боксе, показанный на рисунке 9.

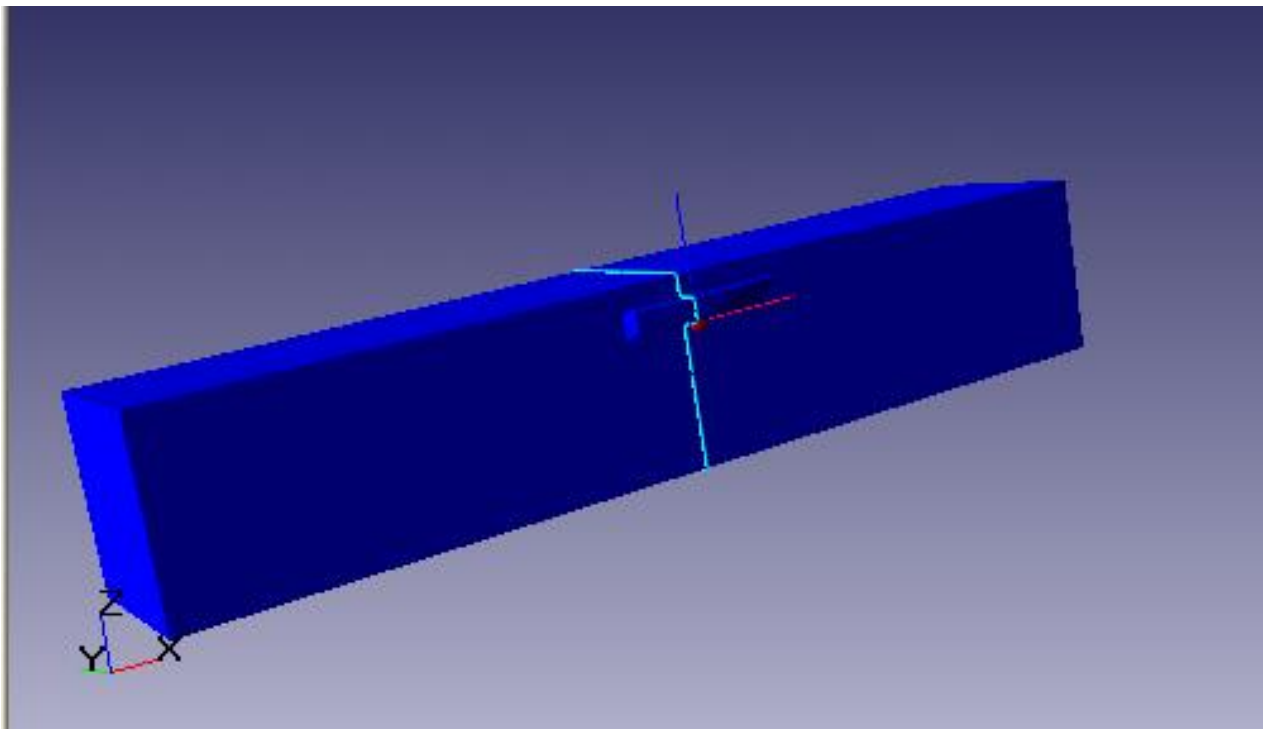


Рисунок 9 – Расположение судна в боксе

### 5.3.2 Задание физических параметров

Выполнение задания физических параметров включает в себя следующие шаги:

В “Подобласть#1” через команду “Изменить модель” выбрать модель “Свободная поверхность”( см. на рисунке 10).

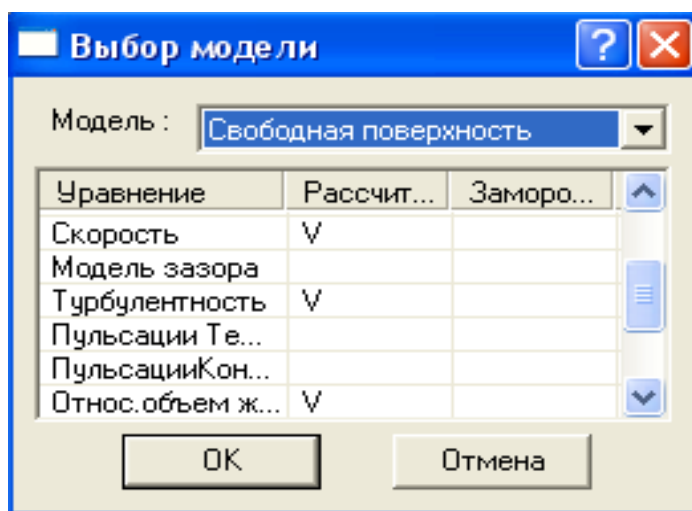


Рисунок 10 – Выбор модели расчета

В меню “Физические параметры” в поле “Начальные значения” изменить свойства, приняв скорость течения жидкости xСкорость равной - 2,57 м/с (5уз.) (см. на рисунке 11).

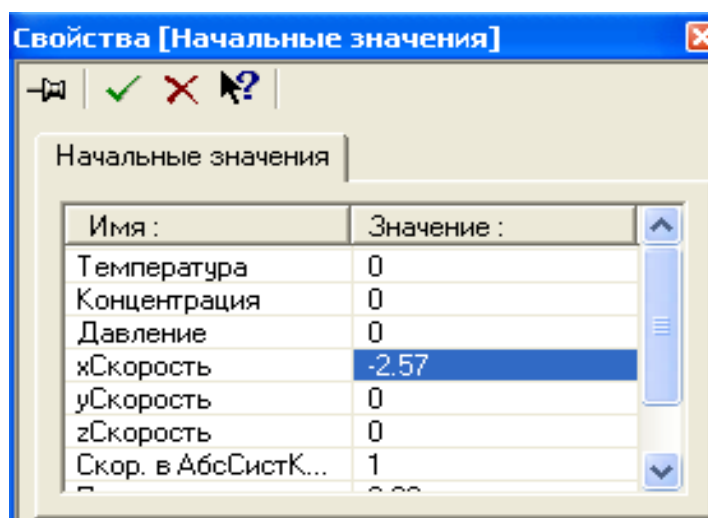


Рисунок 11 – Начальные значения

В меню “Физические параметры” в поле “Опорные величины” задать температуру 293 К, давление 100000 Па (см. на рисунке 12).

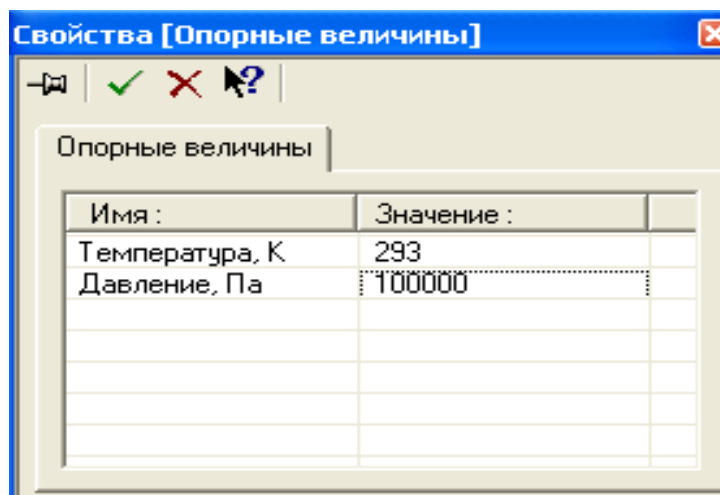


Рисунок 12 – Опорные величины

В меню “Физические параметры” в поле “Параметры модели” задать в графе “Общие” значение давление минимум 50000 Па, давление максимум 150000 Па, температура минимум 100К, максимум 50000 К скорость максимум 30 м/с (см. на рисунке 13); в графе “Гидростатика” ввести значение плотности 1000 кг/м<sup>3</sup> (см. на рисунке 14, а); z уровня жидкости 14 м и в графе “Уровень жидкости” ввести x начальный уровень жидкости 100 м, y начальный уровень жидкости 18 м, z начальный уровень жидкости 14м (см. на рисунке 14, б).

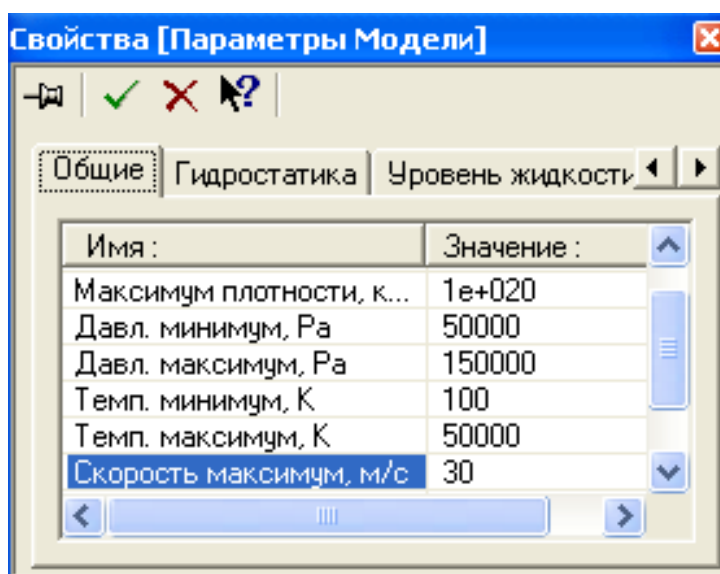
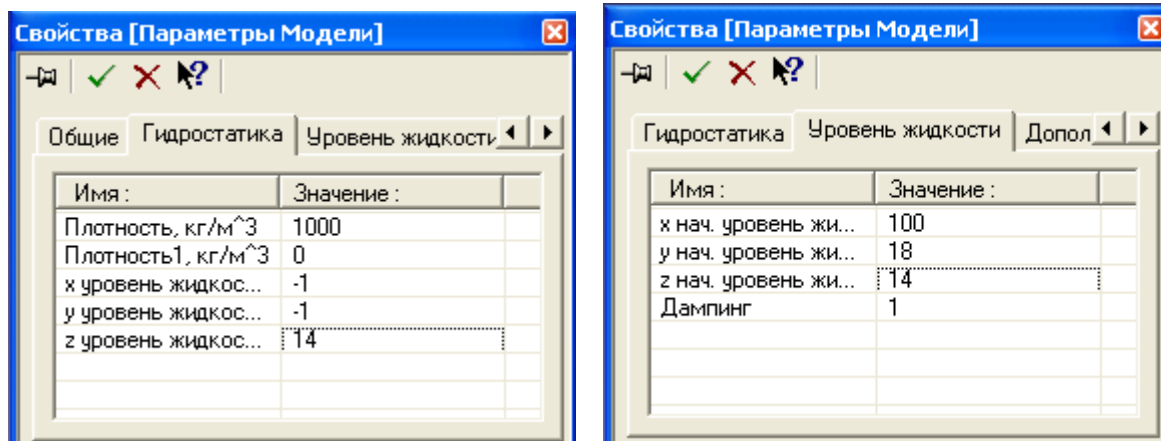


Рисунок 13 – Общие параметры модели





а)

б)

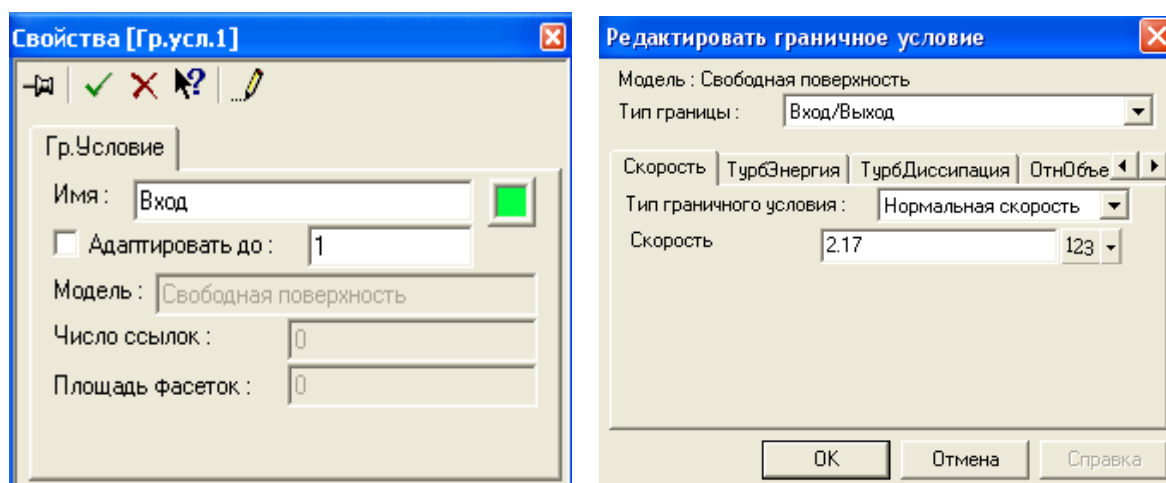
Рисунок 14 – а) Гидростатика; б) Уровень жидкости

В меню “Физические параметры” в поле “Вещество0” загрузить из базы “Вода (чистая)”.

### 5.3.3 Задание граничных условий

Выполнение задания граничных условий включает в себя следующие шаги:

В дереве конструирования “Граничные условия” создать имя “Вход”. В этом же меню нажать “Редактировать” принять тип границы “Вход/Выход”, скорость равная -2.17 м/с, тип граничного условия – “Нормальная скорость”, ОтноОбъемЖидкВЯчейке равен 1 (см. на рисунке 15) Согласится.



а)

б)

Рисунок 15 – а) Создание гр.усл. входа; б) Редактировать гр.усл.

В дереве конструирования “Граничные условия” создать имя “Выход”. В этом же меню нажать “Редактировать” принять тип границы “Свободный выход”, Тип граничного условия – “Нулевое давление/выход ” (см. на рисунке 16). Согласится.

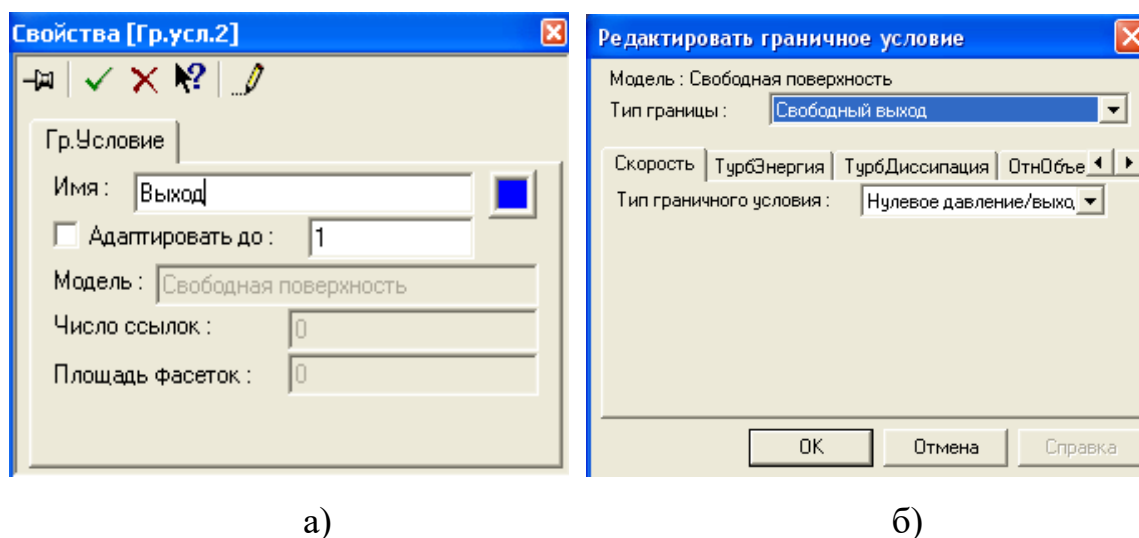


Рисунок 16 – а) Создание гр.усл. выхода; б) Редактировать гр.усл.

В дереве конструирования “Граничные условия” создать имя “Симметрия”. В этом же меню нажать “Редактировать” принять тип границы “Симметрия”, Тип граничного условия – “Стенка с проскальзыванием” (см. на рисунке 17). Согласится.

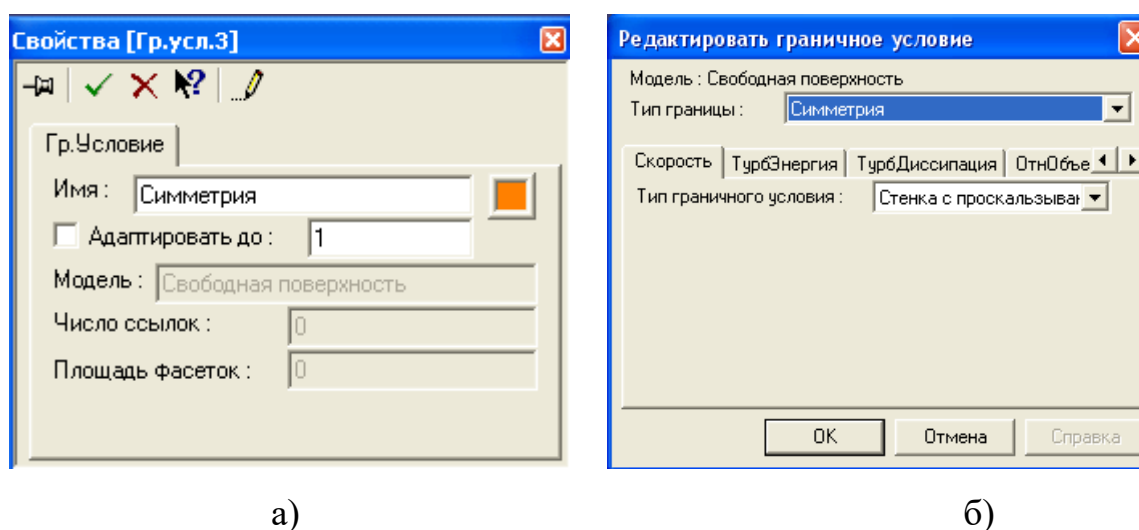


Рисунок 17 – а) Создание Гр.усл. симметрии; б) Редактировать Гр.усл.

В дереве конструирования “Граничные условия” создать имя “Корпус”. В этом же меню нажать “Редактировать” принять тип границы “Стенка”, шероховатость равная ноль, тип граничного условия – “Стенка, логарифмический закон ”, адаптация равна двум (см. на рисунке 18). Согласится.

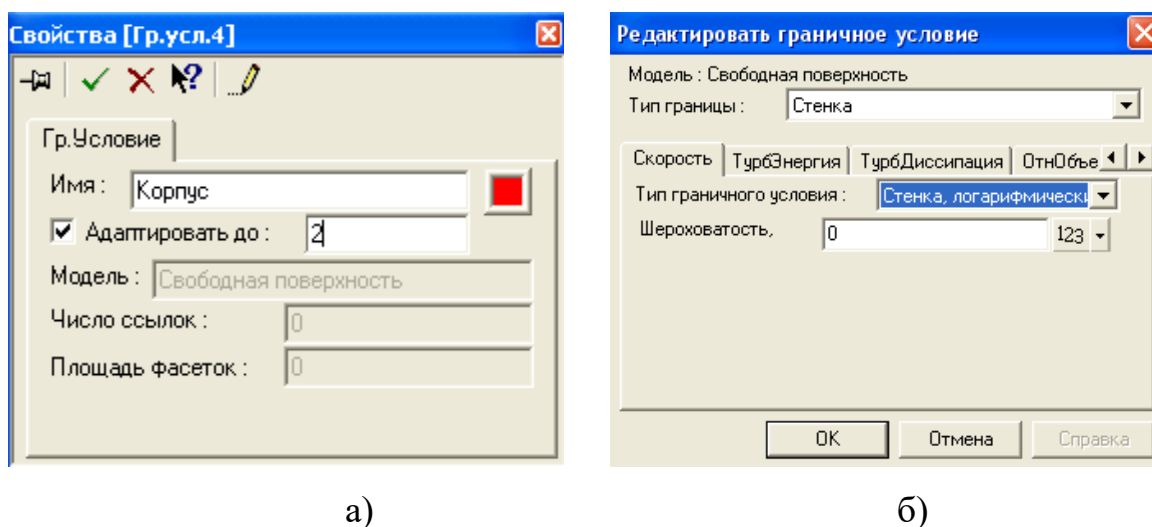


Рисунок 18 – а) Создание Гр.усл. выхода; б) Редактировать Гр.усл.

### 5.3.4 Задание геометрии

Расставить граничные условия:

- На передней грани ниже уровня воды – вход (см. на рисунке 19)
- На боковой и задней гранях бокса – выход (см. на рисунке 20);
- На передней грань выше уровня воды, верхней, нижней и боковой грани – симметрия (см. на рисунке 21).
- На корпусе – корпус (см. на рисунке 22);

В дереве конструирования в “Граничные условия” на “Корпусе” принять “Создать Супергруппу” и экспортировать ее в «Построцессор».

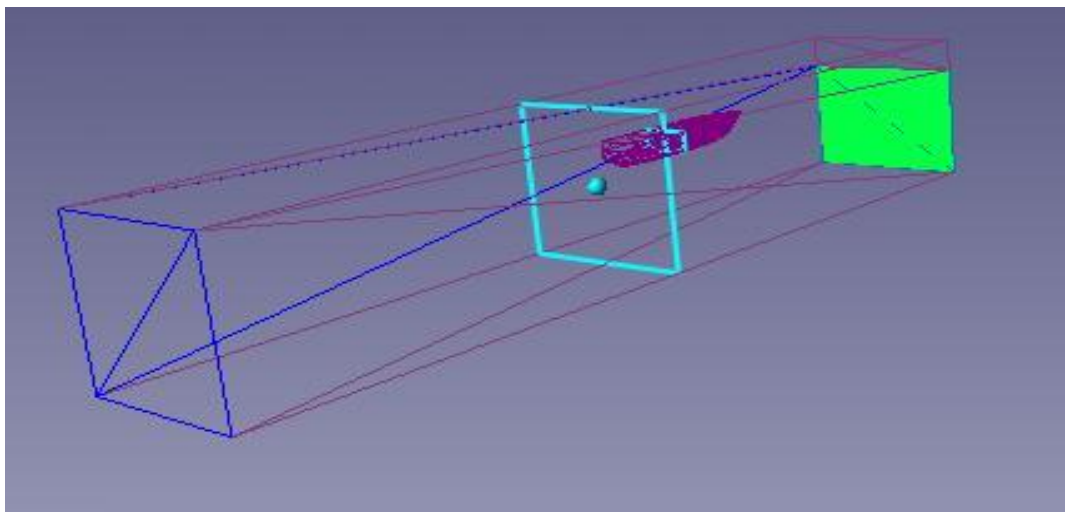


Рисунок 19 – Граничное условие “Вход”

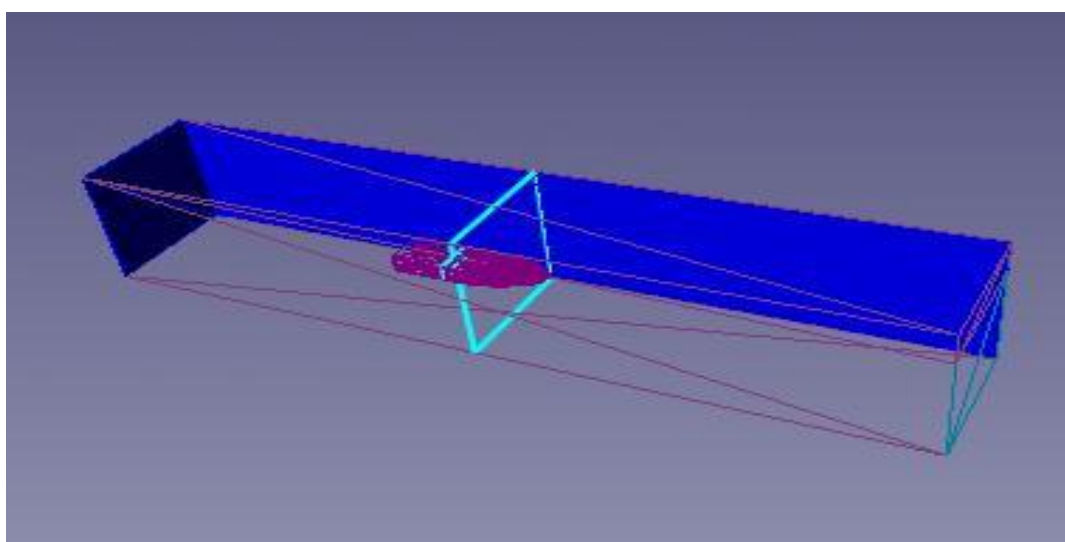


Рисунок 20 – Граничное условие “Выход”

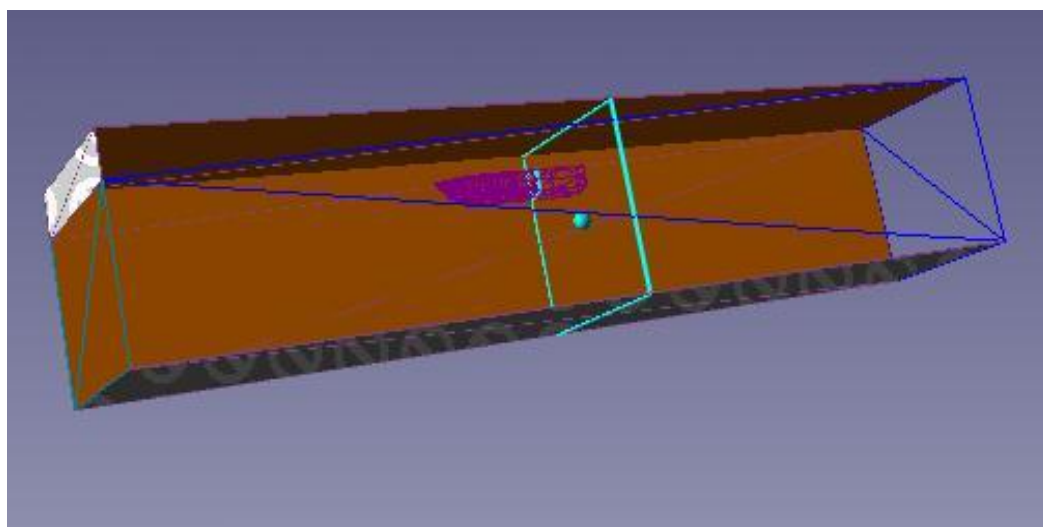


Рисунок 21 – Граничное условие “Симметрия”

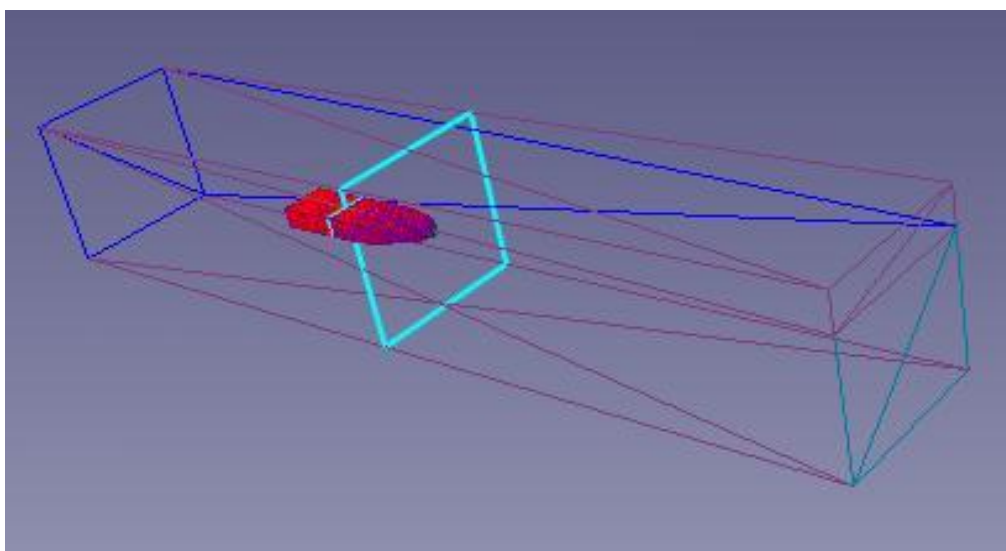
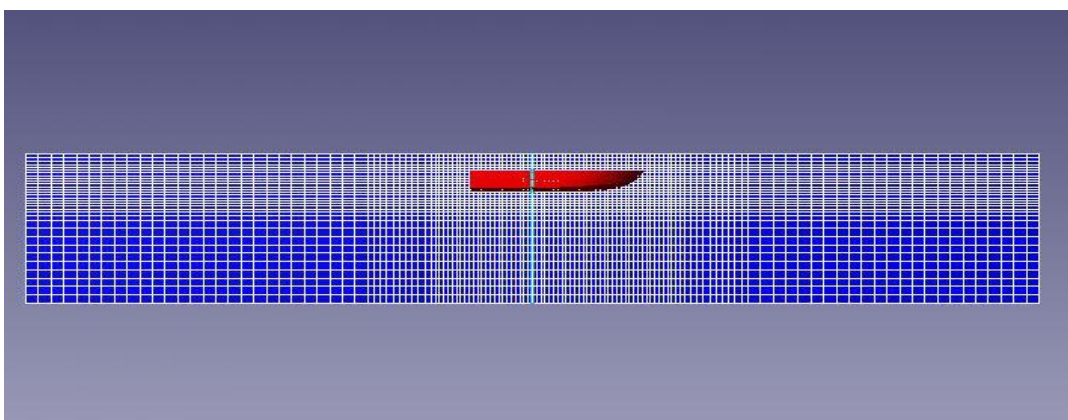


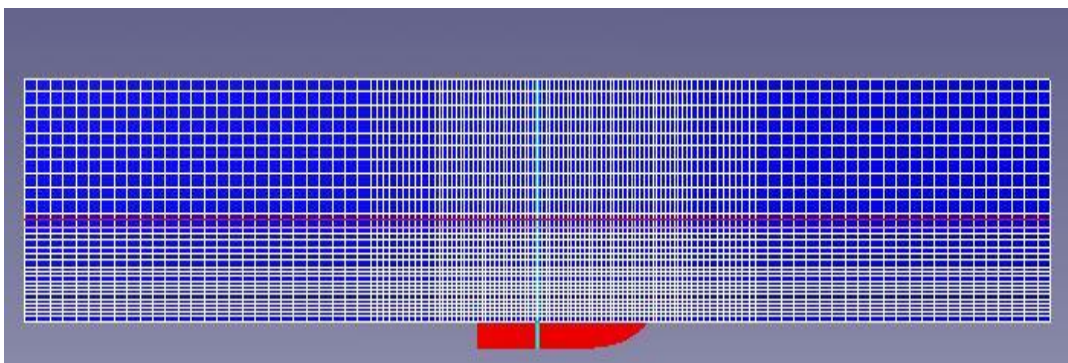
Рисунок 22 – Граничное условие “Корпус”

### 5.3.5 Задание начальной сетки

В дереве конструирования в поле “Начальная сетка” задать сетку. Вблизи корпуса сетка должна быть густой, для увеличения точности расчета. Переход от крупной сетки к мелкой должен быть плавным, для получения лучшей картины волнообразования. Сетка показана на рис.23.



а)



б)

Рисунок 23 – а) Начальная сетка вид боку; б) Начальная сетка вид сверху

### 5.3.6 Использование постпроцессора

В Препроцессоре все выполнено. Перейти в Постпроцесс. В дереве конструирования “Лаб2 → Объекты → Шаблон плоскости → Свойства” ввести: точка на плоскости  $X_0 = 50.0005$  м,  $Y_0 = 0$  м,  $Z_0 = 14$  м; нормальный вектор  $Z_n = 1$  (см. на рисунке 24).

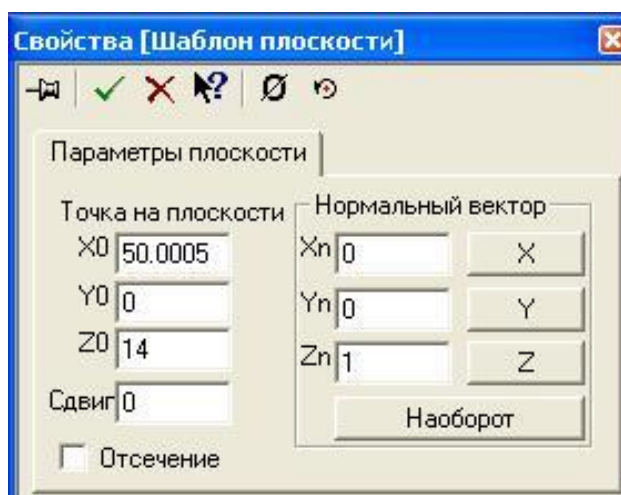


Рисунок 24 – Свойства Шаблона плоскости

В дереве конструирования “Слои – Расчетная сетка – Свойства – НЕ показать линии сетки”.

В дереве конструирования создать новый объект «Корпус группы», затем “Объекты – От корпусГруппы - Создать слой ” ввести: объект – от корпусГруппы; переменная – давление; метод – заливка(см. на рисунке 25).

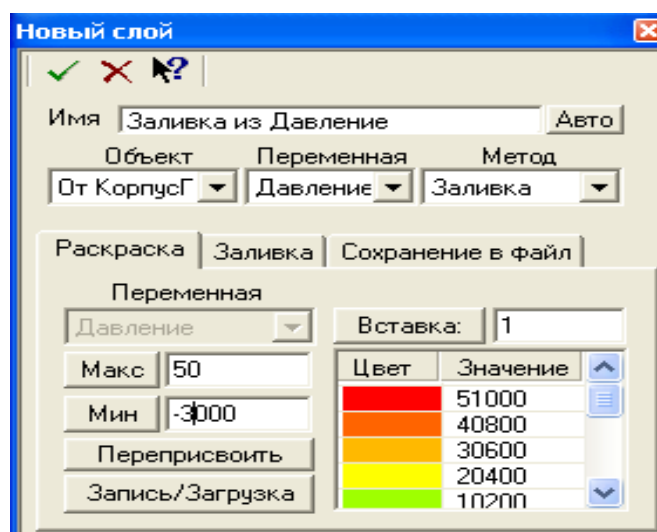


Рисунок 25 – Создание слоя заливки давления



В дереве конструирования “Объекты – От корпусГруппы - Создать слой” ввести: объект – от корпусГруппы; переменная – давление; метод – характеристики из давления. Принять записывать данных в файл 5.glo и период сохранения 1 итераций (см. на рисунке 26).

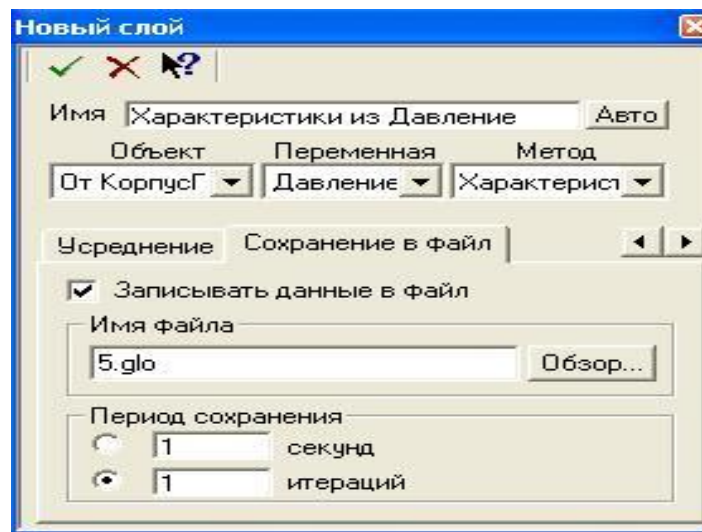


Рисунок 26 – Создание слоя характеристик давления

В дереве конструирования “Слои - Создать слой” ввести: объект – все пространство; переменная – относительный объем жидкости в ячейке; метод – изоповерхность (см. на рисунке 27).

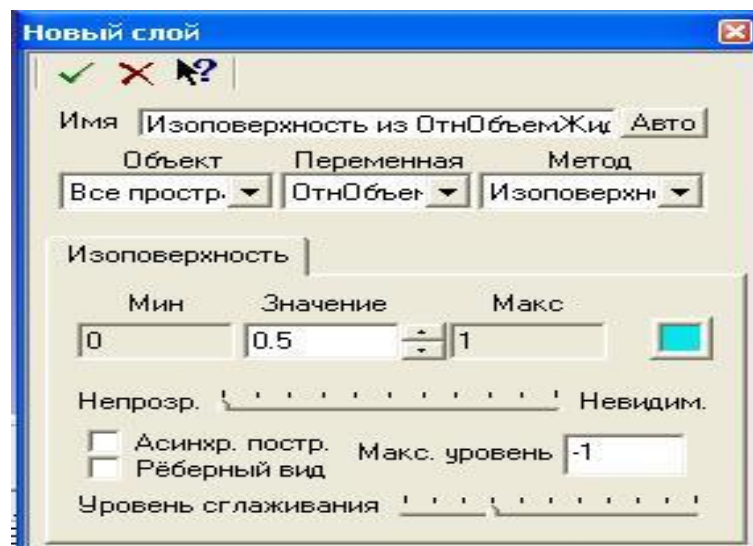


Рисунок 27 – Создание волновой поверхности

В дереве конструирования “Твердые тела – Свойства – Только подвижные тела”.

Запуск задачи и сохранение результатов расчета.

В панели инструментов выбрать команду “Построить начальную сетку и начать процесс расчета”.

Расчет выполнять, пока не появится картина волновой поверхности и невязки приблизятся к нулю.

В панели инструментов выбрать команду “Остановить вычисление после текущей итерации”.

Просмотр результатов через программу Excel.

В результате расчетов получена картина волнообразования при движении накатного судна с скоростью 5 узлов, волновая поверхность изображена на рисунке 28.

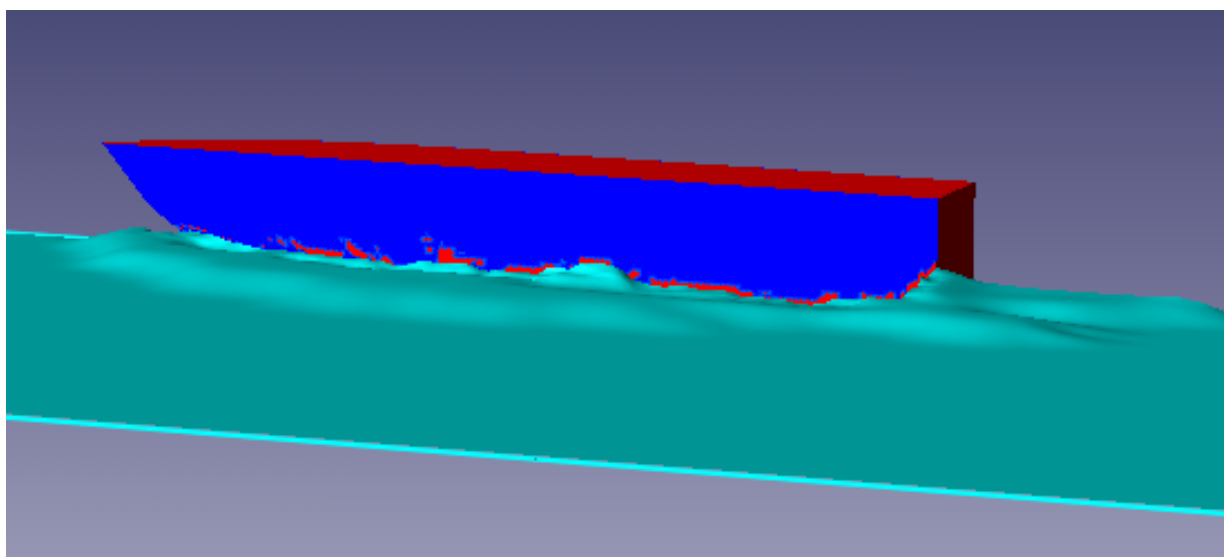


Рисунок 28 - Визуальный результат исследования обтекания корпуса судна  
— волновая поверхность

Значение буксировочного сопротивления можно получить из результатов расчета в файле 5.GLO в колонке СилаСТрениемХ. Определить буксировочное сопротивление при заданных скоростях 10, 15 уз выполняем аналогично.

Полученные результаты, оформить в виде таблицы 1.



## 6. Обработка и анализ результатов

### 6.1 Построение графиков зависимости буксировочного сопротивления

В результате выполненного моделирования, необходимо построить графики зависимости буксировочного сопротивления от итерации расчета (рис.29-30), используя соответствующую функцию в программе. Выбрать при этом несколько вариантов скорости, например: 5, 10, 15 узлов.

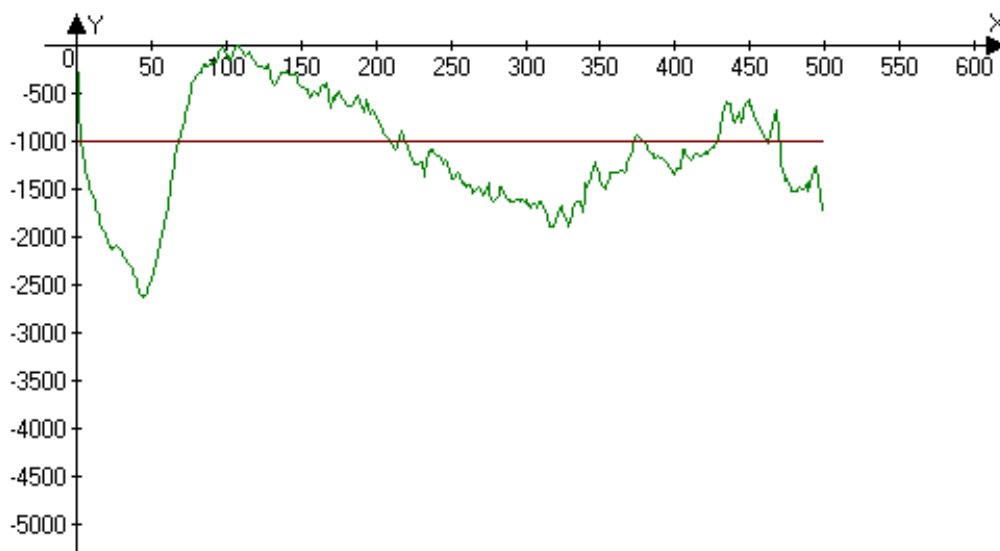


Рисунок 29 – График зависимости буксировочного сопротивления от итерации расчета при скорости 5 уз.

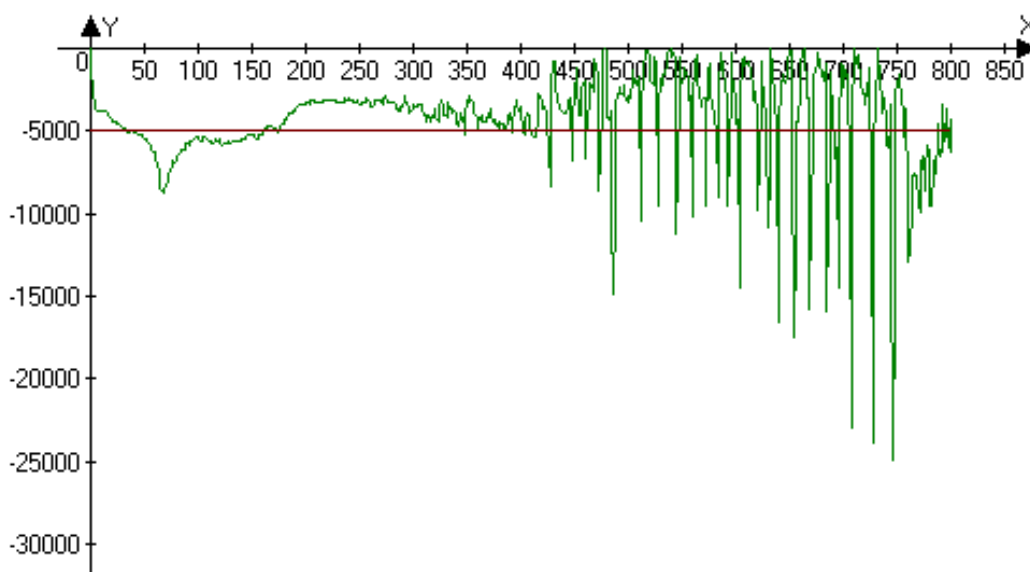


Рисунок 30 – График зависимости буксировочного сопротивления от итерации расчета при скорости 10 уз.

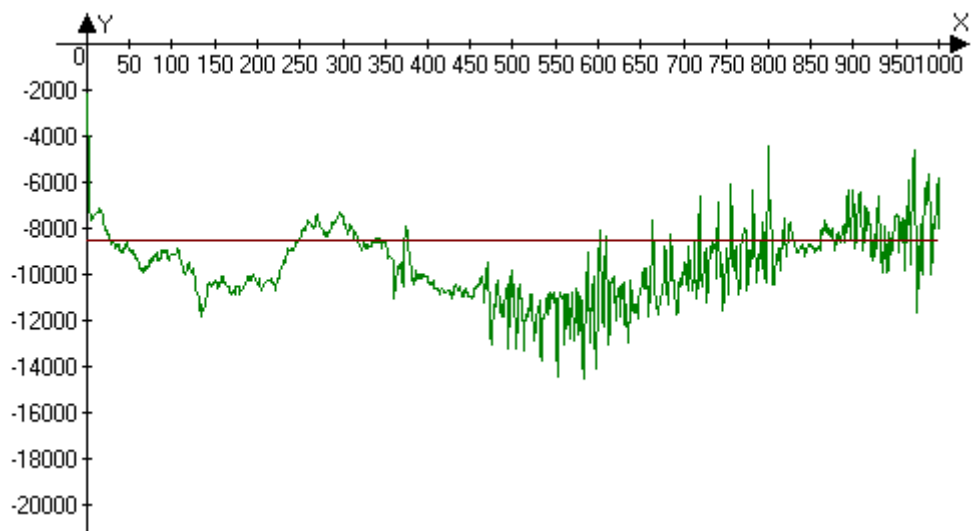


Рисунок 30 – График зависимости буксировочного сопротивления от итерации расчета при скорости 15 уз.

## 6.2 Определение буксировочного сопротивления и построение графика $R=f(v)$

Определение буксировочного сопротивления выполняется с помощью файлов характеристики давления 5.GLO, 10.GLO, 15.GLO и графики зависимости буксировочного сопротивления от итерации расчета. Полученные результаты, ввести в таблицу 1 (пример заполнения).

Таблица 1 – Результаты измерений среднего значения сопротивления

№, пп	Скорость, уз.	Сопротивление, кН
1	5	2
2	10	10
3	15	17

Далее построим график зависимости буксировочного сопротивления от скоростей судна в программе Advanced Grapher, после чего аппроксимировать функцию (использовать программу MS Excel) с целью получить закон изменения сопротивления корпуса судна от скорости.

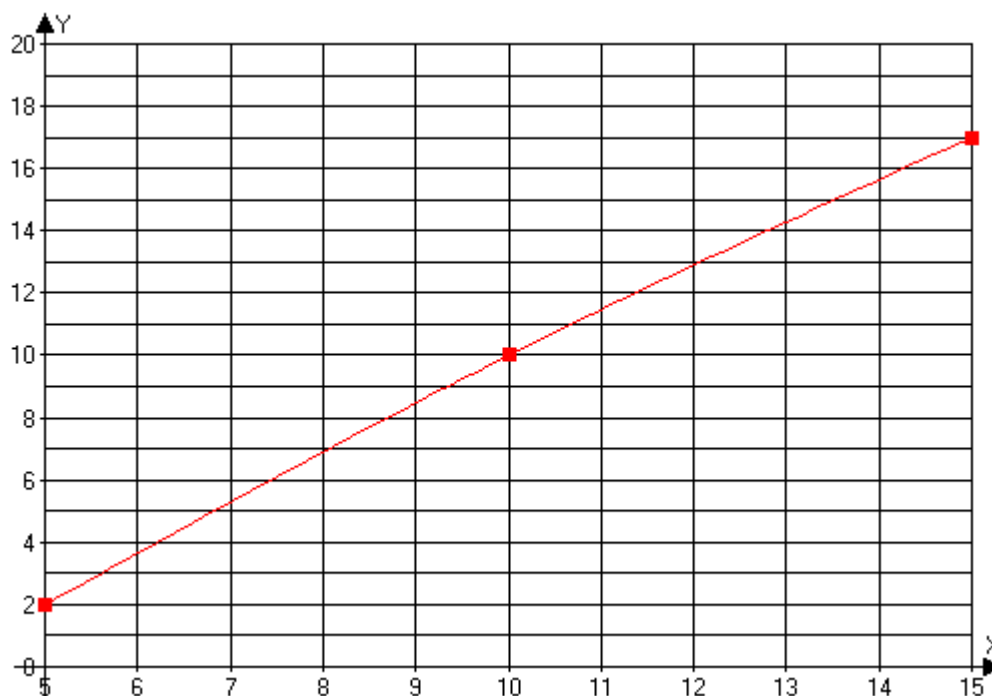


Рисунок 31 – График зависимости буксировочного сопротивления от судна

### 6.3 Выводы по работе

На основании полученных результатов по исследованию обтекания корпуса судна при помощи программы FlowVision, сделать выводы:

- о полученном изображении волновой поверхности при движении судна с заданной скоростью;
- о полученной картине волнообразования, насколько она приближена к реальной;
- о результатах в виде графика зависимости буксировочного сопротивления от судна на водоизмещающих режимах.

Оформить работу в соответствии с п.3, данного учебно-методического пособия и защитить преподавателю.

## Приложение 1. Варианты заданий и исходные данные

Номер задания				Темп. мин., $K$	Темп. макс., $K$	Скорость макс., $m/c$
	Плотность жидкости, $kg/m^3$	Давление мин., $kPa$	Давление макс., $kPa$			
1	850	40	150	90	40000	20
2	860	41	151	100		25
3	870	42	152	110		30
4	880	43	153	120		35
5	890	44	154	90		20
6	900	45	155	100		25
7	910	46	156	110		30
8	920	47	157	120	50000	35
9	930	48	158	90		20
10	940	49	159	100		25
11	950	50	160	110		30
12	960	40	150	120		35
13	970	41	151	90		20
14	980	42	152	100		25
15	990	43	153	110	40000	30
16	1000	44	154	120		35
17	1010	45	155	90		20
18	1020	46	156	100		25
19	1030	47	157	110		30
20	1040	48	158	120		35
21	1050	49	159	90	50000	20
22	1060	50	160	100		25
23	1070	40	150	110		30
24	1080	41	151	120		35
25	1090	42	152	100		30

*Вариант задания, выбирается студентом исходя из порядкового номера в журнале группы.*

## Перечень информационных ресурсов

1. Гиргидов А. Д. Механика жидкости и газа (гидравлика) : учебник / А. Д. Гиргидов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : ИНФРА-М, 2021. — 704 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-013367-6. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1136795>

2. Попов Д. Н. Гидромеханика : учебное пособие / Д. Н. Попов, С. С. Панаиотти, М. В. Рябинин. — 3-е изд., испр. — Москва : МГТУ им. Баумана, 2014. — 317 с. — ISBN 978-5-7038-3920-1. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. URL: <https://e.lanbook.com/book/106280>

3. Благовещенский С.Н., Холодилин А. Н. Справочник по статике и динамике корабля : [В 2 т.] / С.Н. Благовещенский, А.Н. Холодилин. - [2-е изд., перераб. и доп.]. - Ленинград : Судостроение, 1975.

4. Справочник по теории корабля : В 3-х т. / Под ред. Я. И. Войткунского. - Л. : Судостроение, 1985-. - 22 см. Т. 1. Гидромеханика. Сопротивление движению судов. Судовые движители / [Я. И. Войткунский, А. Н. Иванов, В. В. Луговский и др.]: - Л. : Судостроение, 1985. - 764 с.

5. Готман А.Ш. Теоретические и экспериментальные основы гидродинамики водоизмещающих судов: монография : /А.Ш. Готман. - Новосибирск. Изд-во СГУВТ, 2018 – 613 с.

6. Никущенко Д.В. Математическое моделирование движения подводного объекта на основе методов вычислительной гидродинамики // Дисс. на соиск. учен. степ. докт. техн. наук., СПбГМТУ, 2011, — 354 с.

7. Онлайн учебник FlowVision // FlowVision Help URL: [https://flowvision.ru/webhelp/fvru\\_31204/](https://flowvision.ru/webhelp/fvru_31204/) (дата обращения: 05.10.2023).

8. FlowVision. URL: <https://flowvision.ru/ru> (дата обращения: 12.02.2023).

9. Чижиумов, С. Д. Проблемы гидродинамики корабля (численное моделирование): учеб. пособие / С. Д. Чижиумов, И.В. Каменских, А.Д. Бурменский. – Комсомольск-на-Амуре : ФГБОУ ВО «КнАГТУ», 2016. – 122 с.

## Содержание

Введение.....	4
1. Цель и задачи расчетной работы.....	4
2. Состав и тематика расчетной работы.....	4
3. Структура и оформление работы.....	4
4. Краткие теоретические сведения.....	5
5. Методика выполнения работы.....	7
5.1 Создание трехмерной модели корпуса судна.....	7
5.2 Создание бокса .....	10
5.3 Расчет поставленной задачи в программе FlowVision .....	13
5.3.1 Задание математической модели .....	13
5.3.2 Задание физических параметров .....	13
5.3.3 Задание граничных условий .....	13
5.3.4 Задание геометрии .....	13
5.3.5 Задание начальной сетки.....	13
5.3.6 Использование постпроцессора .....	13
6. Обработка и анализ результатов .....	25
6.1 Построение графиков зависимости буксировочного сопротивления .....	25
6.2 Определение буксировочного сопротивления и построение графика $R=f(v)$ .....	26
6.3 Выводы по работе .....	27
Приложение 1. Варианты заданий и исходные данные.....	28
Перечень информационных ресурсов .....	29