|  |  |
| --- | --- |
| *voenmeh* | МИНОБРНАУКИ РОССИИ  федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  высшего образования  **«Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»**  **(БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова»)** |
| БГТУ.СМК-Ф-4.2-К5-01 |

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Факультет |  | А |  | Ракетно-космической техники |
|  |  | шифр |  | наименование |
| Кафедра |  | А9 |  | Плазмогазодинамика и теплотехника |
|  |  | шифр |  | наименование |
| Дисциплина |  | Энергетические установки | | |

КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

на тему

|  |
| --- |
| Гидродинамика подводных объектов |
|  |

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Выполнил магистрант группы | | | |  | А9М41 |
| Гутнев А.Р. | | | | | |
| Фамилия И.О. | | | | | |
| Научный руководитель | | | | | |
| Яковчук М.С. | |  |  | | |
| Фамилия И.О. Подпись | | | | | |
| Оценка |  | | | |  |
| «\_\_\_\_\_» |  | | | | 2018г. |

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ

2018 г.

Содержание

[Нормативные ссылки 2](#_Toc533115350)

[Список условных обозначений 2](#_Toc533115351)

[1 Введение 2](#_Toc533115352)

[2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ 2](#_Toc533115353)

[3 Геометрия 2](#_Toc533115354)

[4 Расчётная область и сетка 2](#_Toc533115355)

[5 Граничные условия 2](#_Toc533115356)

[6 Решёные задачи 2](#_Toc533115357)

[Выводы 24](#_Toc533115358)

[Список используемой литературы 24](#_Toc533115359)

**Реферат**

Пояснительная записка курсового проекта содержит 28 страниц, 15 иллюстраций, 6 таблиц, 4 источника литературы.

В первой главе представлены типы механизации крыла и их описание.

Во второй главе представлены особенности крыла бесконечного размаха с механизацией.

В третьей главе представлено описание тангенциального вдува выполнено моделирование обтекания сегмента крыла с механизацией.

В четвертой главе выполнено моделирование обтекания сегмента крыла с механизацией и с тангенциальным вдувом.

МЕХАНИЗАЦИЯ КРЫЛА, ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ, ПОДЪЕМНАЯ СИЛА.

Нормативные ссылки

В настоящей пояснительной записке использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 7.1 84 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Библиографическое описание документа. Общие требования и правила составления.

ГОСТ 8.417 81 Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы физических величин.

ГОСТ 7.32 2001 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Отчет о научно-исследовательской работе. Структура и правила оформления.

ГОСТ 7.54 Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Представление численных данных о свойствах веществ и материалов в научно-технических документах. Общие требования.

Список условных обозначений

ρ- плотность

*V*- скорость

t- время

p- давление

ν- кинематическая вязкость

µ- динамическая вязкость

k- показатель адиабаты

K- турбулентная кинетическая энергия

E, U- внутренняя энергия

R- газовая постоянная

µт- коэффициент турбулентной вязкости

ω- угловая скорость

ε- скорость диссипации

1 Введение

Создание подводных аппаратов, как военных, так и научных рассматривается, как имеющая важное государственное значение задача. Для решения данной задачи необходимо решить комплекс проблем, основной задачей которого является устойчивость и манёвренность подводных аппаратов. То есть необходимо обеспечить сохранение заданного курса, или изменение его согласно командам автопилота или оператора, что тесно связано с эффективностью работы, безаварийностью и безопасностью плавания.

Задача прогнозирования и совершенствования гидродинамических и манёвренных качеств решается с помощью численного моделирования неустановившегося движения подводного аппарата. Для прогнозирования гидродинамических и манёвренных качеств необходимо реализовать математическую модель, основанную на решении дифференциальных уравнений движения подводного аппарата, связывающих изменение кинематики подводного аппарата и силами и моментами, действующими на него со стороны потока. В связи с этим появляется необходимость совершенствования математических моделей.

Таким образом, возникают 2 взаимосвязанные задачи – составление и интегрирования уравнений движения и силового воздействия, действующего со стороны потока на подводный аппарат, представляющего собой силы и моменты, обусловленные вязкостью среды и работой движительно-рулевого комплекса подводного аппарата. Интегрирование системы уравнений движения с достаточной точностью на данном этапе технического прогресса не представляет трудности. Решение задачи силового воздействия в настоящее время вызывает трудности, связанные с определением гидродинамических сил и моментов с высокой степенью точности. Трудности связаны с тем, что необходимо учитывать свойства среды, в которой движется аппарат, при том, что движение может иметь сложный характер, например, движение вблизи других объектов или дна. При этом моделирование турбулентного потока, как задача, пока до конца не решена.

Для определения гидродинамических характеристик подводного аппарата существует 2 основных метода. Первый – экспериментальный, основанный на проведении физического эксперимента. Особенности этого метода сопряжены с рядом трудностей: дороговизна, большие временные затраты и информация, получаемая в результате эксперимента ограничена. Второй – численный эксперимент, основанный на использовании подходов вычислительной гидромеханики. Данный метод на данном этапе развития технологий требует некоторых упрощений, но развитие техники всё больше расширяет область применения данного метода. Основные требования к численному эксперименту – это точность расчёта, время, затраченное на расчёт и удобство его использования.

Современные методы расчёта обтекания исследуемого объекта вязкой жидкостью предъявляют серьёзные требования как к квалификации пользователя, так и к мощности используемой вычислительной техники. Поэтому, не смотря на то, что существуют различные программы для расчёта газо и гидродинамики, их практическое применение в промышленности в настоящее время ограничено.

Таким образом, **актуальность работы** определяется потребностью создания и совершенствования математических моделей движения подводных аппаратов, позволяющих определять параметры их движения, что позволит увеличить эффективность их использования.

**Целью работы** является создание пользовательского программного кода, представляющего собой математическую модель, решающую систему дифференциальных уравнений движения исследуемого аппарата и сравнение этой модели с одной из имеющихся моделей – моделью, заложенной в шести степенной решатель, встроенный во Fluent.

Требования к создаваемой математической модели: 1 – универсальность. При необходимости должна быть возможность решения задачи движения на любом языке программирования и для любого исследуемого объекта (подводный и летательный аппараты). 2: необходимо реализовать способ, при котором исследуемый аппарат, представленный в виде фюзеляжа и двигательно-рулевой системы будет двигаться как единое целое. При этом необходимо иметь возможность изменять условия задачи в процессе решения, например, реагирование системы управления на внешние воздействия с целью сохранения устойчивости исследуемого объекта.

2 МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

При малой скорости набегающего потока (по условии задачи число Маха меньше значения 0,3) сжимаемость не оказывает заметного влияния на распределение давления по поверхности судна. Следовательно, можно принять течение несжимаемым. Запишем уравнения для вязкого несжимаемого течения:

• Уравнение неразрывности:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

• Уравнение изменения количества движения:

(2)

Дополнительно подключалась модель турбулентности k-epsilon (2 eqn). С точки зрения теории размерностей можно предположить, что отношение K/ε и есть то время, за которое энергия движения крупных вихрей, полученная от осредненного движения, проходит весь спектр масштабов размеров - от наиболее крупных до самых мелких, при которых происходит диссипация турбулентной энергии, т.е. τ определяется как:

Отсюда следует, что коэффициент турбулентной вязкости определяется по формуле:

Кроме того, в модель входят следующие уравнения:

Стандартная k-epsilon модель, представленная во FLUENT, получила широкое применение в решении практических инженерных задач. Постоянные коэффициенты для этой модели турбулентности получены опытным путем и поэтому она является полуэмпирической. В классической k-epsilon модели используются следующие числовые константы:

Эта модель широко используется для свободных течений (струи, слой смешения и т.п.), но плохо описывает пристеночные течения. Дело в том, что при выводе основных уравнений, относящихся к скорости диссипации ε, использовалось допущение о больших значениях локального числа Рейнольдса. Возле стенки это допущение нарушается – локальное число Рейнольдса стремится к нулю.

Для решения задачи движения было подключено средство пользовательского программирования в виде макроса. Макросу, как и решателю необходимо задать начальные условия: Массу системы тел, представляющих полноценный аппарат, присвоить каждой подвижной части аппарата свой идентификатор и задать параметры и условия движения отдельных частей исследуемого аппарата.

Суть макроса заключается в следующем (Рисунок 1): на каждом временном шаге решатель расчитывает силы и моменты, действующие на аппарат. Далее эти данные используются, как начальные условия для решения дифференциальных уравнений, описывающих движение подводного аппарата. В конце каждого временного шага с помощью стандартных операций скоростям подводного аппарата присваиваются значения, вычесленные с помощью дифференциальных уравнений. Перемещения и углы, на которые отклонился подводный аппарат вычисляются решателем.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 1 – Схема работы макроса |

Функции, выполняемые макросом: суммирование всех сил и моментов с каждого отдельного элемента аппарата, решение дифференциальных уравнений движения аппарата, как единого целого.

Допущения: исследуемый аппарат осесимметричен, задача решается в двухмерной постановке.

Расчёт уравнений движения происходит в системе координат, связанной с исследуемым аппаратом.

Уравнения, решаемые в макросе:

Для более точного определения линейных и угловых скоростей был использован метод Рунге-Кутта, который позволяет определить искомые параметры с четвёртым порядком точности:

Для перехода в систему координат, связанную с телом используется следующие операции:

,

где – момент, действующий в связанной системе координат, – момент, действующий на тело в нормальной системе координат, R – матрица перехода, и – силы, действующие на аппарат вдоль осей X и Y соответственно.

– синусы углов крена, рысканья и дифферента соответственно.

– косинусы углов крена, рысканья и дифферента соответственно.

3 Геометрия

Для проведения тестовых расчётов было создана упрощённая модель подводной лодки (Рисунок 2).

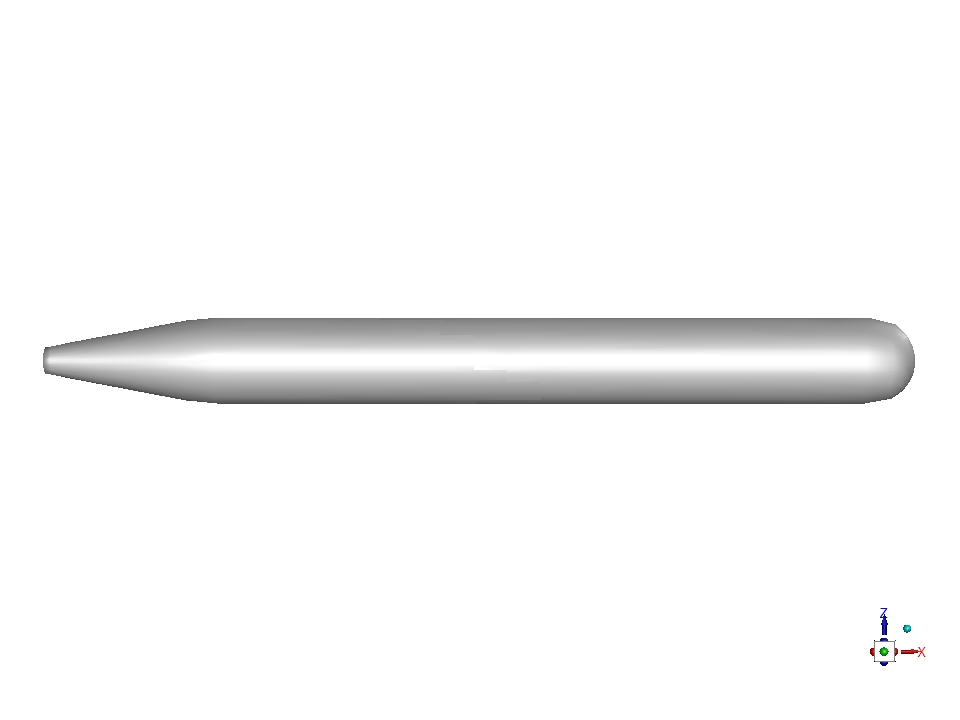


Рисунок 2 - Геометрия

Длина аппарата – 20м;

Максимальный диаметр – 2м;

Масса – 56934кг;

Моменты инерции - 29179, 1.529\*106, 1.529\*106 кг/м2 относительно осей X, Y и Z соответственно.

4 Расчётная область и сетка

Для решения задач была построена расчётная область в виде сферы, диаметр которой составил 200м. Для дискретизации расчётной области была построена структурированная сетка, количество ячеек в сетке – 50 000 (Рисунок 3).

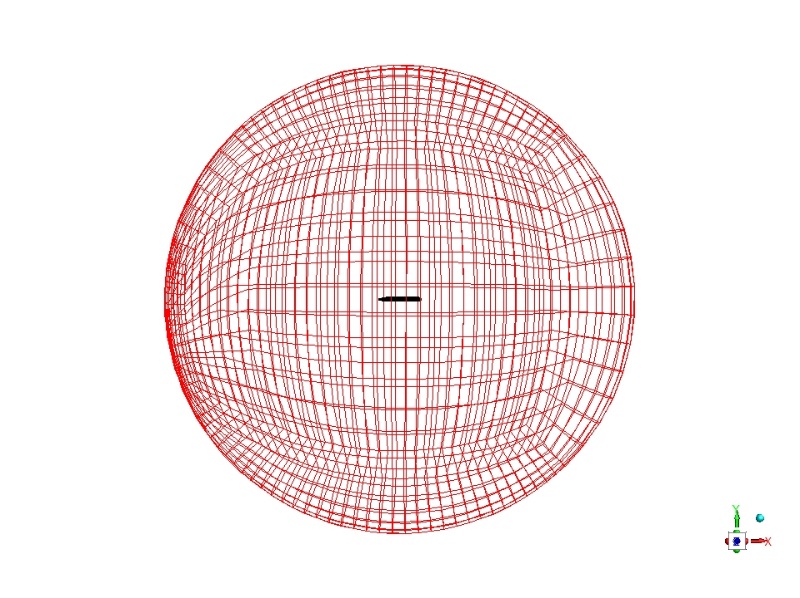
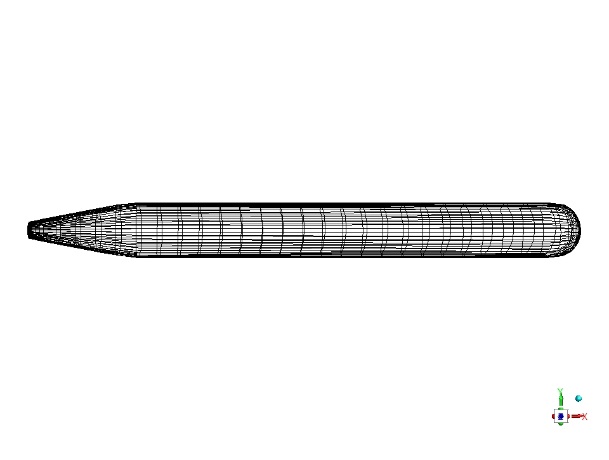


Рисунок 3 – Сетка и расчётная область

5 Граничные условия

На стенках подводного аппарата заданы условия прилипания и непротекания, на границе расчётной области установлено условие равенства нолю избыточного давления.

6 Решёные задачи

Первая задача

Начальные условия:

В начальный момент времени на аппарат начинает действовать момент относительно оси Z, опрокидывающий подводный аппарат. Этот момент прекращает своё воздействие спустя 10 секунд расчётного времени. Величина момента – 10 000Н/м.

С десятой секунды расчётного времени начинает действовать момент, имитирующий стабилизирующую пару: момент, созданный силой тяжести и Архимедовой силой. Стабилизирующий момент зависит от угла наклона подводной лодки. Величина момента зависит от массы подводной лодки и расстояния между силой Архимеда и силой тяжести. Для подводной лодки в данной задачи величина стабилизирующей силы составила

,

где – угол дифферента.

Для оценки правильности расчётов была аналитически решена задача о нахождении периода колебаний подводной лодки с учётом присоединённых масс. Задача была решена по следующим формулам:

По графику из Рисунок 4 был рассчитан момент инерции с учётом присоединённых масс для эллипсоида с параметрами габаритов, как у исследуемой подводной лодки.

Для подводной лодки, исследуемой в данной задаче, период колебаний составил 10.3 секунды.



Рисунок 4 – Значения коэффицента присоединённой массы трёхосного эллипсоида.

Результаты численного расчёта:

На Рисунок 5 предоставлены графики изменения угла дифферента со временем для задачи, решённой с помощью моего макроса и с помощью шести степенного решателя, встроенного во Fluent

Угол, С

Рисунок 5 - Дифферент

Как видно из графиков, оба численных решения достаточно близки к аналитическому решению периода колебаний. Так же видно, что до 25 секунды угол наклона подводной лодки практически одинаков для обоих расчётов. Данный результат показывает, что уравнения для решения угловых скоростей в макросе подобраны достаточно точно.

Далее на рисунках представлены поля давлений на подводной лодке в начальный момент времени (Рисунок 6), при t=10 (Рисунок 7), t=12.9 (Рисунок 8), t=14.5 (Рисунок 9), и t=15.4 (Рисунок 10).

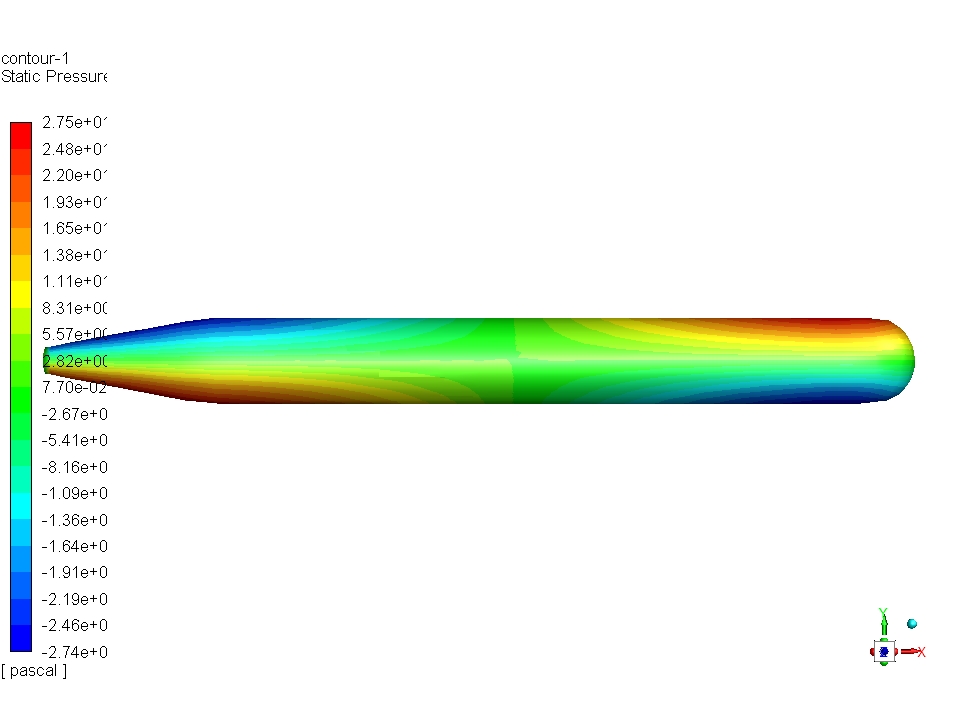


Рисунок 6 – Поле давлений при t=0

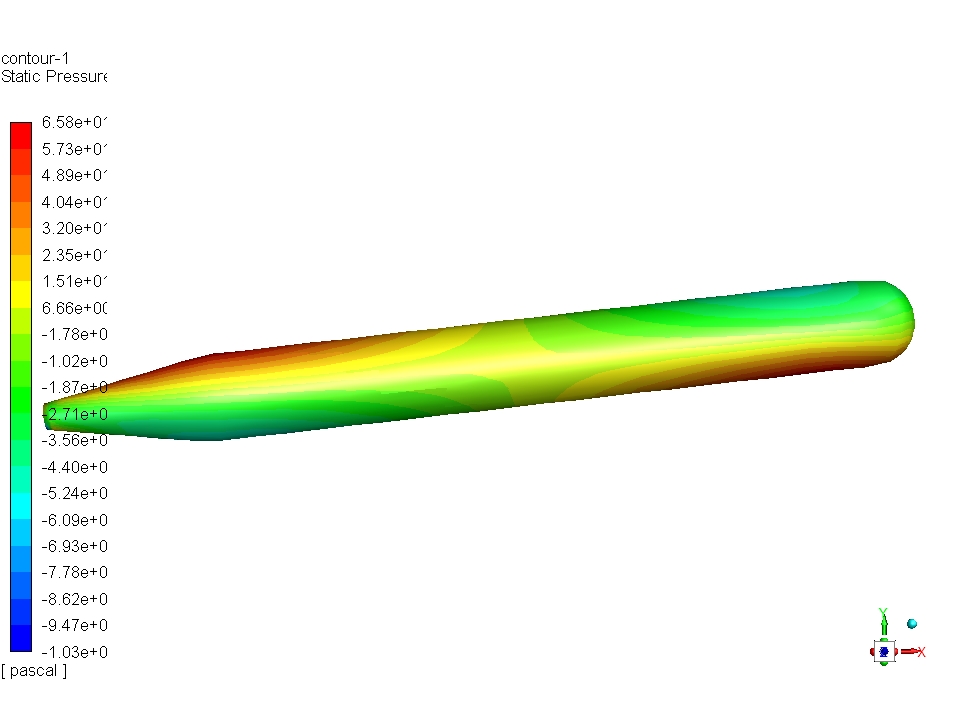


Рисунок 7 – Поле давлений при t=10

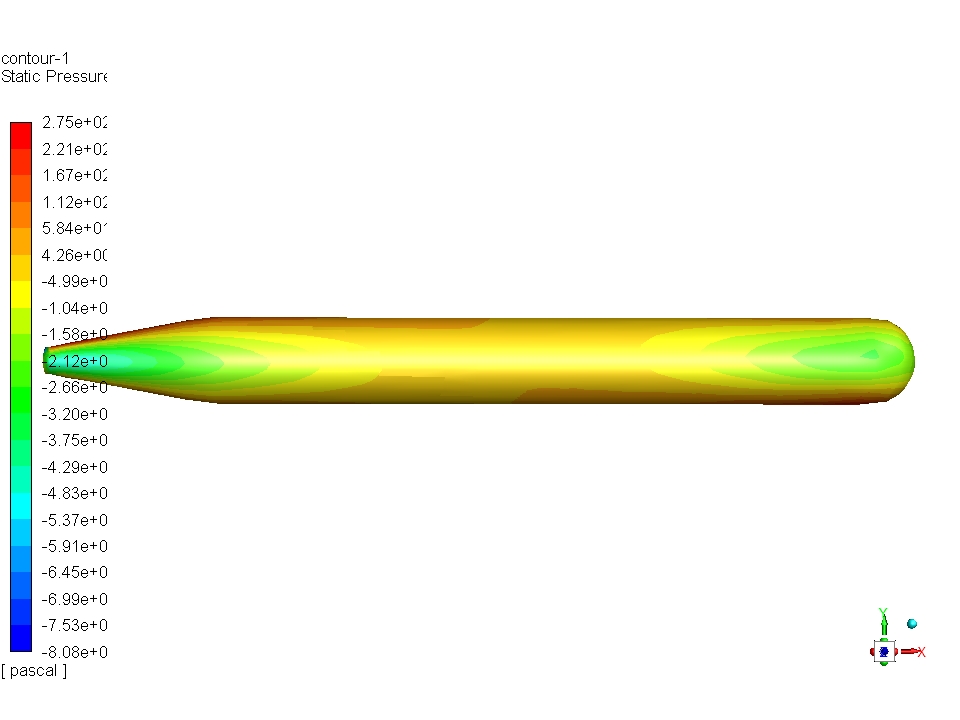


Рисунок 8 – Поле давлений при t=12.9

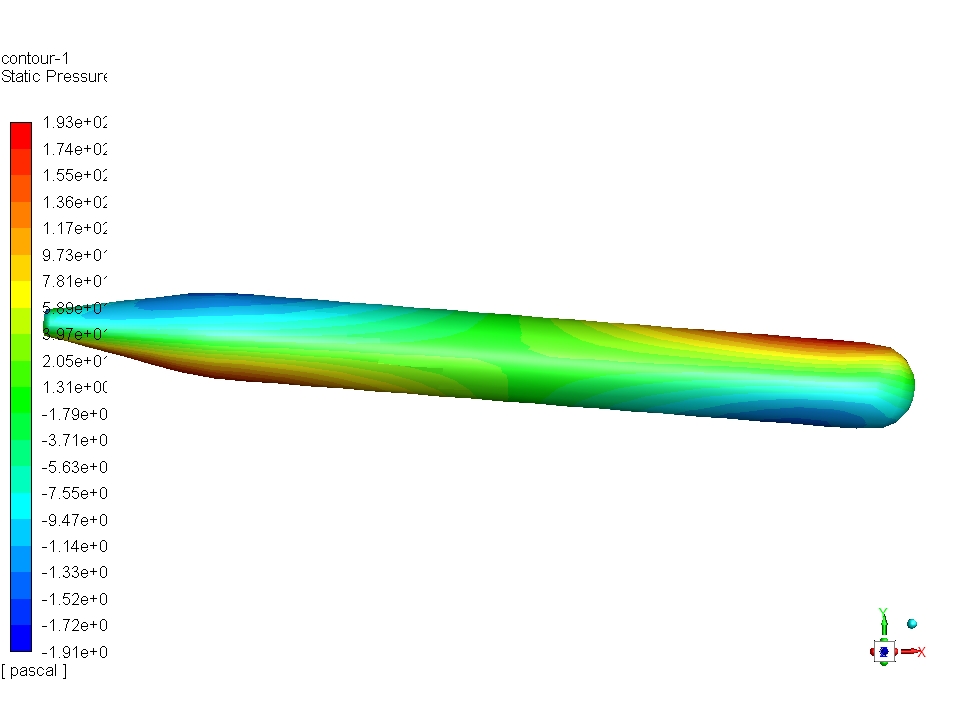


Рисунок 9 – Поле давлений при t=14.5

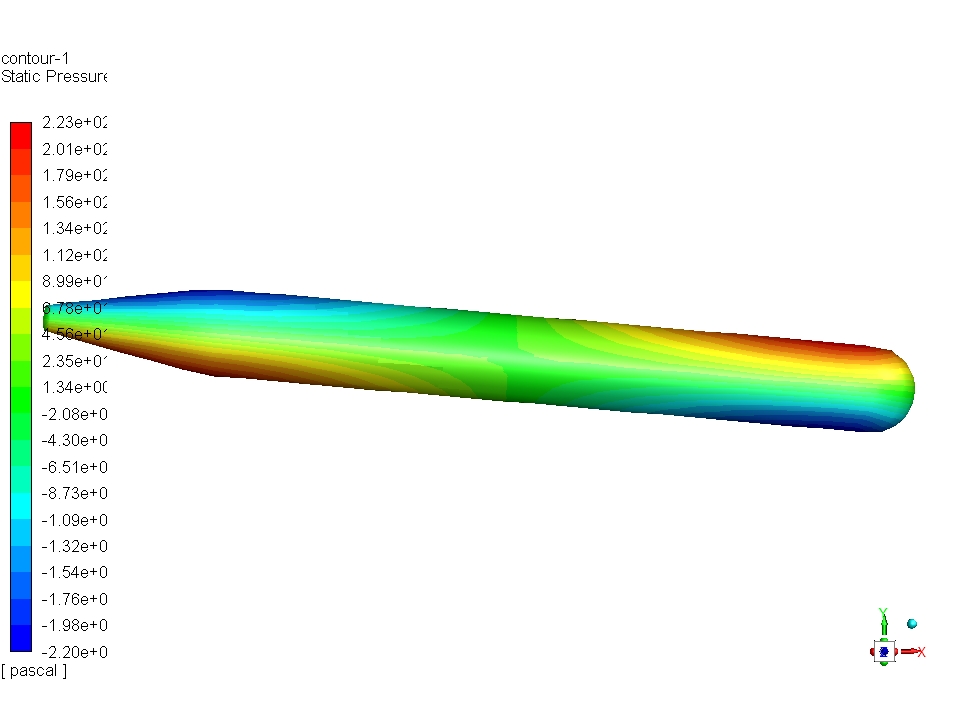


Рисунок 10 – Поле давлений при t=15.4

Следует выделить рисунок, демонстрирующий поле давлений на подводном аппарате на 14.5 секунде. Зоны повышенного давления образуются на аппарате лева внизу и справа вверху. Из этого можно сделать вывод о том, что подводный аппарат вращается против часовой стрелки. На самом же деле, аппарат начинает вращаться против часовой стрелки после 15,4 секунды. Аналогичная ситуация возникает и при последующем вращении аппарата, когда угол дифферента стремится к наибольшему значению на двадцатой секунде. Этот эффект связан с инертностью среды, в которой вращается аппарат. Аппарат, после того, как пересечёт линию горизонтального положения, тормозит под действием стабилизирующего момента. Вязкостных сил в жидкости не хватает, чтобы затормозить так же быстро, как подводная лодка, поэтому среда продолжает своё движение, с большей скоростью, чем аппарат, от чего и встречает сопротивление со стороны этого аппарата.

Вторая задача.

Начальные условия:

В начальный момент времени задаётся сила, действующая на подводную лодку вдоль оси Х и имитирующая упор от винта. Так же в начальный момент времени задаётся стабилизирующий момент. Величина силы: 10 000Н, величина стабилизирующего момента:

.

Результаты расчёта:

Угол, С

Рисунок 11 – Дифферент

Рисунок 12 - Суммарный момент относительно оси Z

Рисунок 13 - Перемещение по оси Х

t, сек

У, м

Рисунок 14 - Перемещение по оси У

Vx, H

t, сек

Рисунок 15 - Скорость по оси Х

t, сек

Рисунок 16 - Скорость по оси У

Fx, H

t, сек

Рисунок 17 - Сумма всех сил вдоль оси Х

Fy, H

t, сек

Рисунок 18 - Сумма всех сил вдоль оси У

Как видно из графиков, первые 60 секунд подводная лодка перемещалась вдоль оси Х, ускоряясь, не теряя устойчивости. После шестидесятой секунды, при достижении скорости в 5.5 м/с стабилизирующий момент перестал обеспечивать устойчивое движение подводного аппарата. На восьмидесятой секунде виден кивок, который совершила подводная лодка. После кивка стабилизирующий момент, стремясь вернуть лодку в равновесное положение, придал аппарату слишком большое ускорение. Из-за этого и большой поступательной скорости аппарат потерял устойчивость. Не смотря на это, после 120 секунды на графиках можно наблюдать гармонические колебания, которые имеют определённый период и амплитуду, а колебания совершаются относительно некоторого осреднённого значения параметра. Можно сказать, что подводная лодка вышла на рабочий режим движения.

Для сравнения был произведён расчёт с такими же начальными условиями при помощи шести степенного решателя.

Результаты расчёта:

Рисунок 19 - Дифферент

Рисунок 20 - Перемещение по оси Х

Рисунок 21 - Перемещение по оси У

В данном случае по графиком можно наблюдать, что после сороковой секунды подводный аппарат так же, как и при решении макросом, совершает нырок, после которого подводная лодка начинает терять устойчивость. Однако характер потери устойчивости совершенно разный. В данном случае нет рывка, систему начинает постепенно раскачивать. Что бы однозначно сказать выйдет ли подводная лодка на режим, которой был чётко заметен при решении макроса нельзя, необходим дальнейший расчёт. Стоит отметить, что потеря устойчивости идёт очень медленно: расчётное время составило 250 секунд, а максимальный угол, на который наклонилась лодка – чуть больше одного градуса.

Выводы

Разработка математической модели, позволяющей решить задачу движения системы тел в виде полноценного исследуемого аппарата, практически завершена. Необходимо сравнение полученных результатов с экспериментом из-за расхождения результатов расчётов со шестистепенным решателем и при необходимости доработать макрос. Так же необходимо рассмотреть более сложные задачи и оценить их физичность.

Список используемой литературы

* Динамика подводной лодки – Рожденственский В.В.
* Математическое моделирование движения подводного объекта на основе методов вычислительной гидродинамики – Никущенко Д.В.
* Transonic Store separation Using Unstructured CFD with Dynamic Meshing – Deryl O.S., Evangelos K.K., John S.R.
* Spacecraft and Aircraft Dynamics – Matthew M.P.
* Ansys Help