

Санкт-Петербургский Политехнический Университет Петра Великого
Физико-механический институт
Высшая школа теоретической механики и математической физики

Исследование зависимости управляемости подводного аппарата от расположения двигателей

Выполнил:

студент гр. 5040103/10301

В.С. Потехин

Научный руководитель:

доцент ВШТМиМФ, к.ф.-м.н

В.Р. Мешков

Консультант:

ассистент ВШТМиМФ

А.В. Киюц

Цель работы

Подбор угла наклона движителей к оси аппарата, при котором устройство будет одновременно быстрым и обладать достаточной манёвренностью для передвижения в водной среде.

Задачи работы

- Создание трёхмерной геометрической модели подводного аппарата на основе реально существующего прототипа.
- Построение и подбор характеристик винта движителя для достижения наибольшей тяговой силы.
- Моделирование и анализ прямолинейного и поворотного видов движения аппарата с различным расположением движителей в воде с помощью метода виртуальной продувки.

Выбор прототипа АНПА для моделирования

АНПА или автономный необитаемый подводный аппарат – это плавучий объект, подводный робот, напоминающий торпеду или подводную лодку, перемещающийся под водой с целью сбора информации о рельефе дна, о строении верхнего слоя осадков, о наличии на дне предметов и препятствий.



Рис. 1. АНПА «Витязь-Д»

Выбор прототипа АНПА для моделирования

Почему выбран именно данный подводный аппарат?

- 1) Расположение двигателей на задней части корпуса под 45 градусов, которое позволяет за счёт увеличения или снижения скорости каждого из винтов совершать как прямолинейное движение со скоростью 25 км/ч, так и поворотное.
- 2) Известность его габаритных размеров, массы, а также возможность получения сведений о количестве оборотов его винтов.

Габаритные размеры и масса подводного аппарата

Длина	5.7 м
Диаметр	1.3 м
Масса	5.7 т

Табл. 1. Основные параметры

ЦКБ МТ «Рубин»: https://ckb-rubin.ru/proekty/robototekhnika/kompleks_vitjaz_d/

Форма аппарата

$$r(x)_{head} = \frac{1}{2}d\sqrt{1 - \left(\frac{x-a}{a}\right)^2}, \quad 0 \leq x \leq a \quad (1)$$

$$r(x)_{stern} = \frac{1}{2}d - \left(\frac{3d}{2c^2} - \frac{\tan\delta}{c}\right)(x-a-b)^2 + \left(\frac{d}{c^3} - \frac{\tan\delta}{c^2}\right)(x-a-b)^3, \quad a+b \leq x \leq a+b+c \quad (2)$$



Рис. 2. Геометрическая форма

Erik Lind, Magnus Meijer. Simulation and Control of Submarines. Department of Automatic Control, 2014.

Построение корпуса

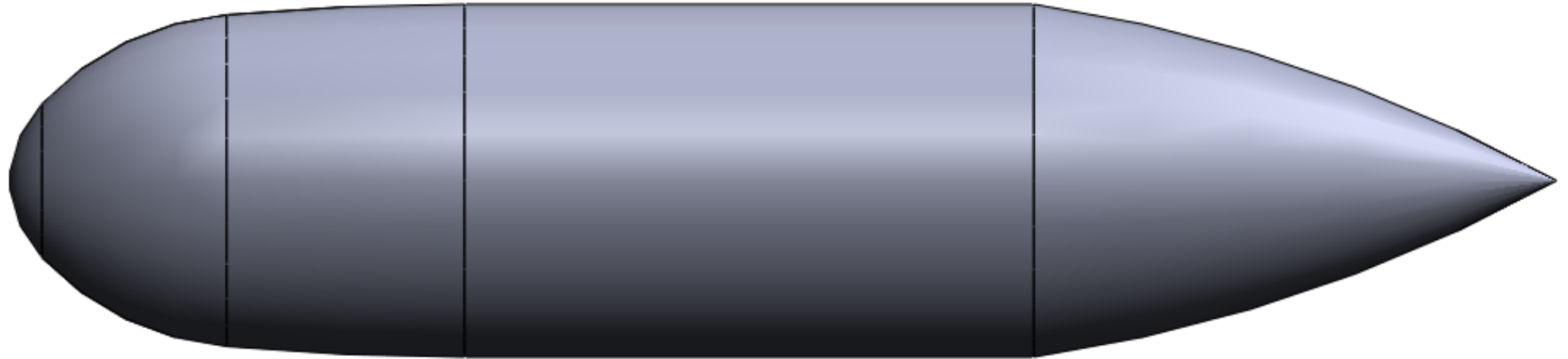


Рис. 3. Модель формы

Построение корпуса

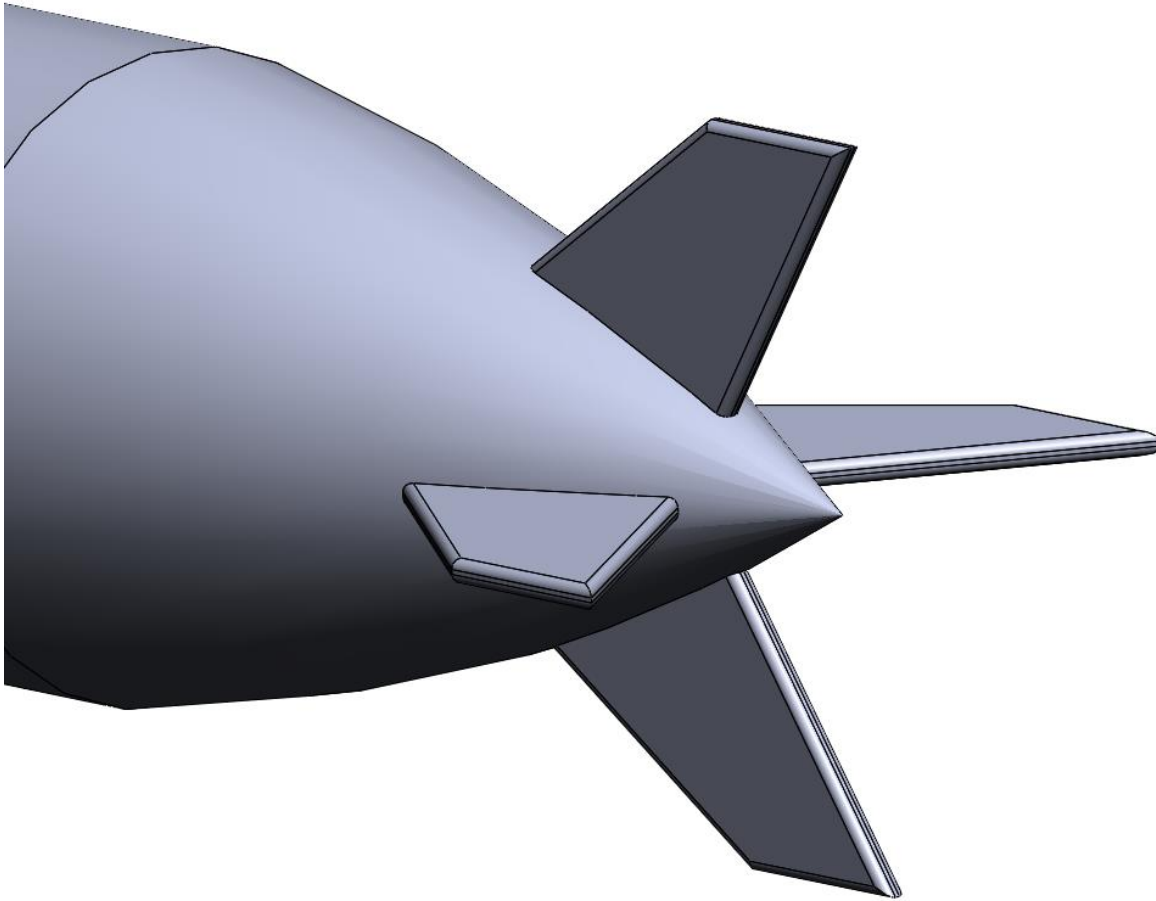


Рис. 4. Крылья кормовой части

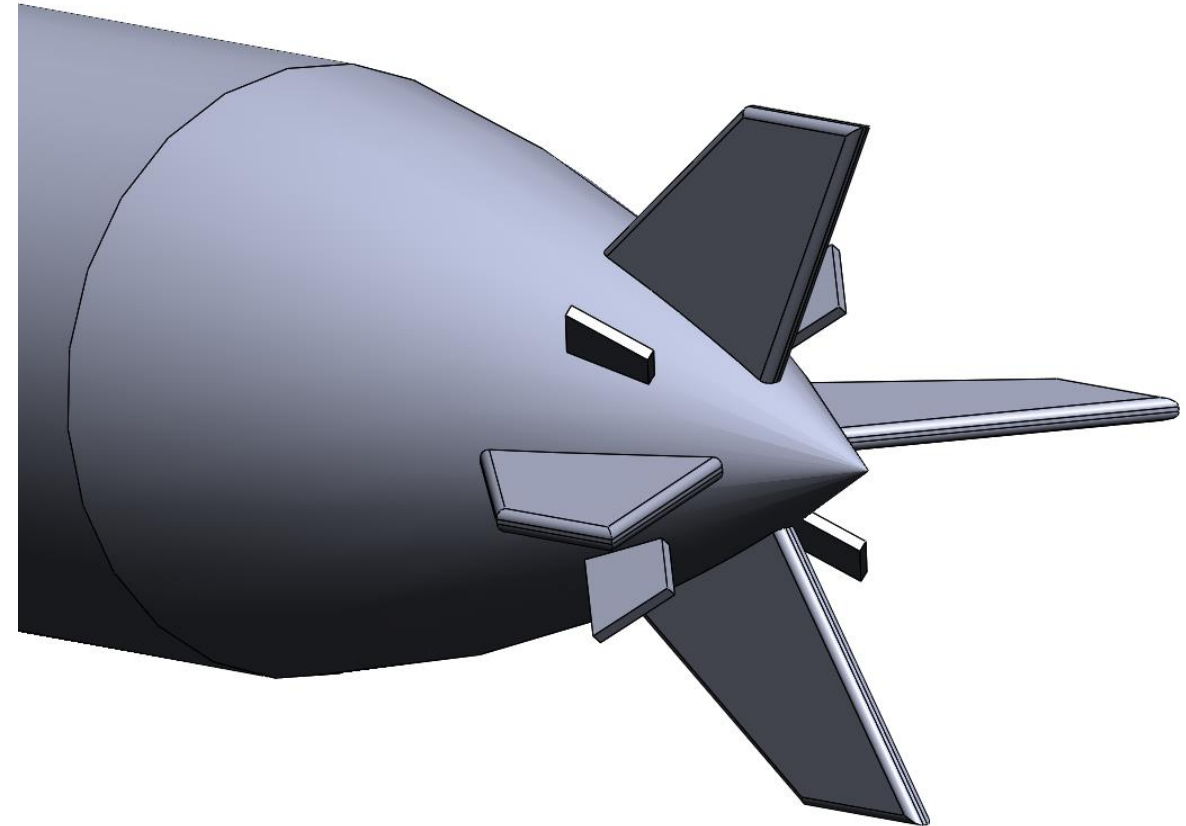


Рис. 5. Крепления двигателей

Определение движителя

Движитель — устройство, преобразующее энергию двигателя либо внешнего источника, через взаимодействие со средой, в полезную работу по перемещению транспортного средства или механизма. Является частью машин.

Создание винта

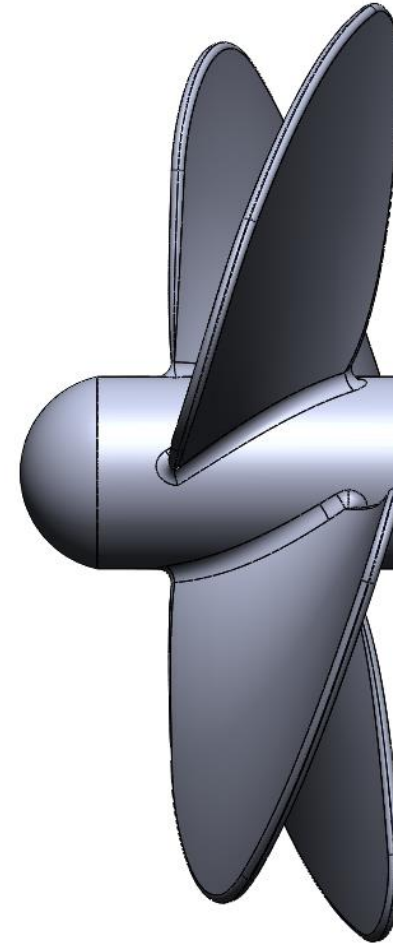
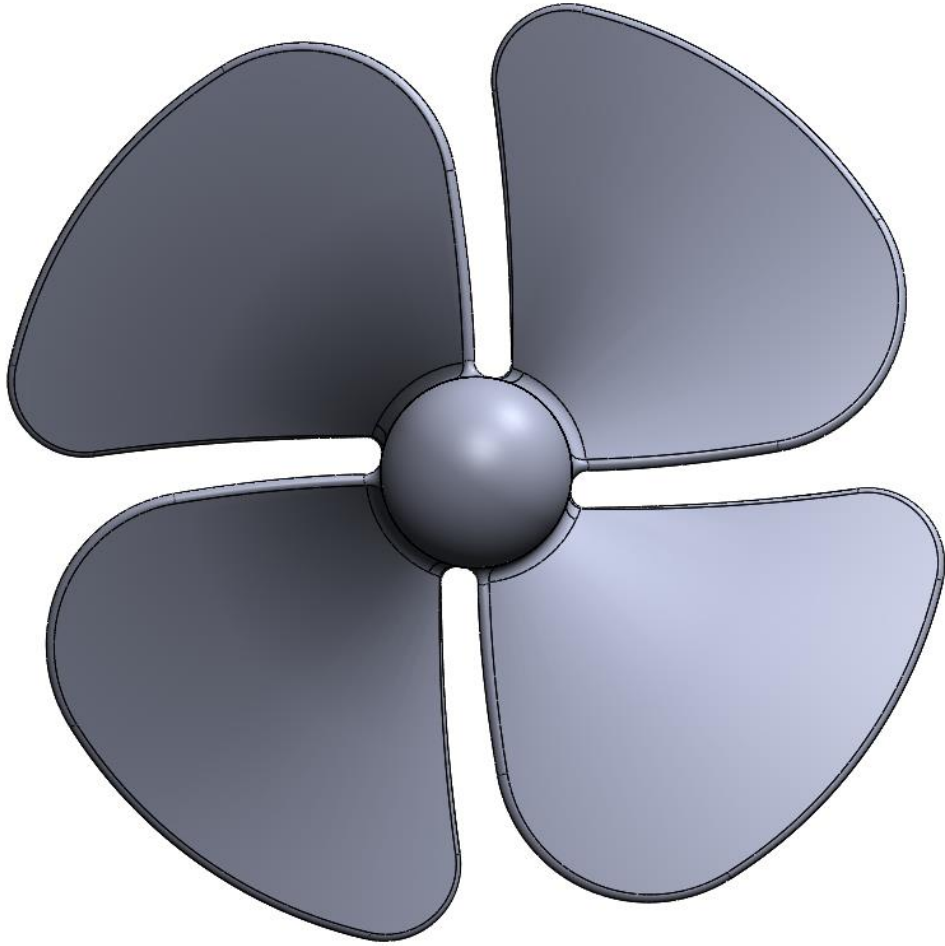


Рис. 6. Винт диаметром 250 с шагом 250

Локальный расчёт винта

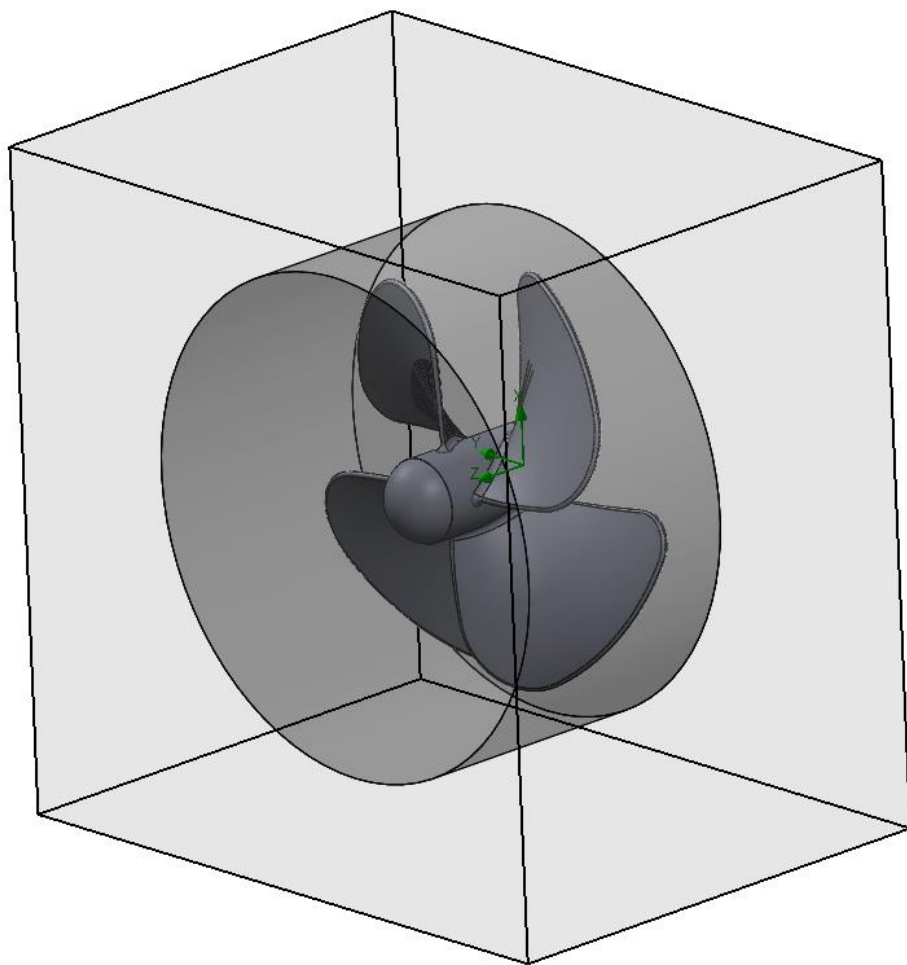


Рис. 7. Винт в расчётной области

Скорость вращения винта	50 рад/с
-------------------------	----------

Табл. 2. Начальные условия

Локальный расчёт винта

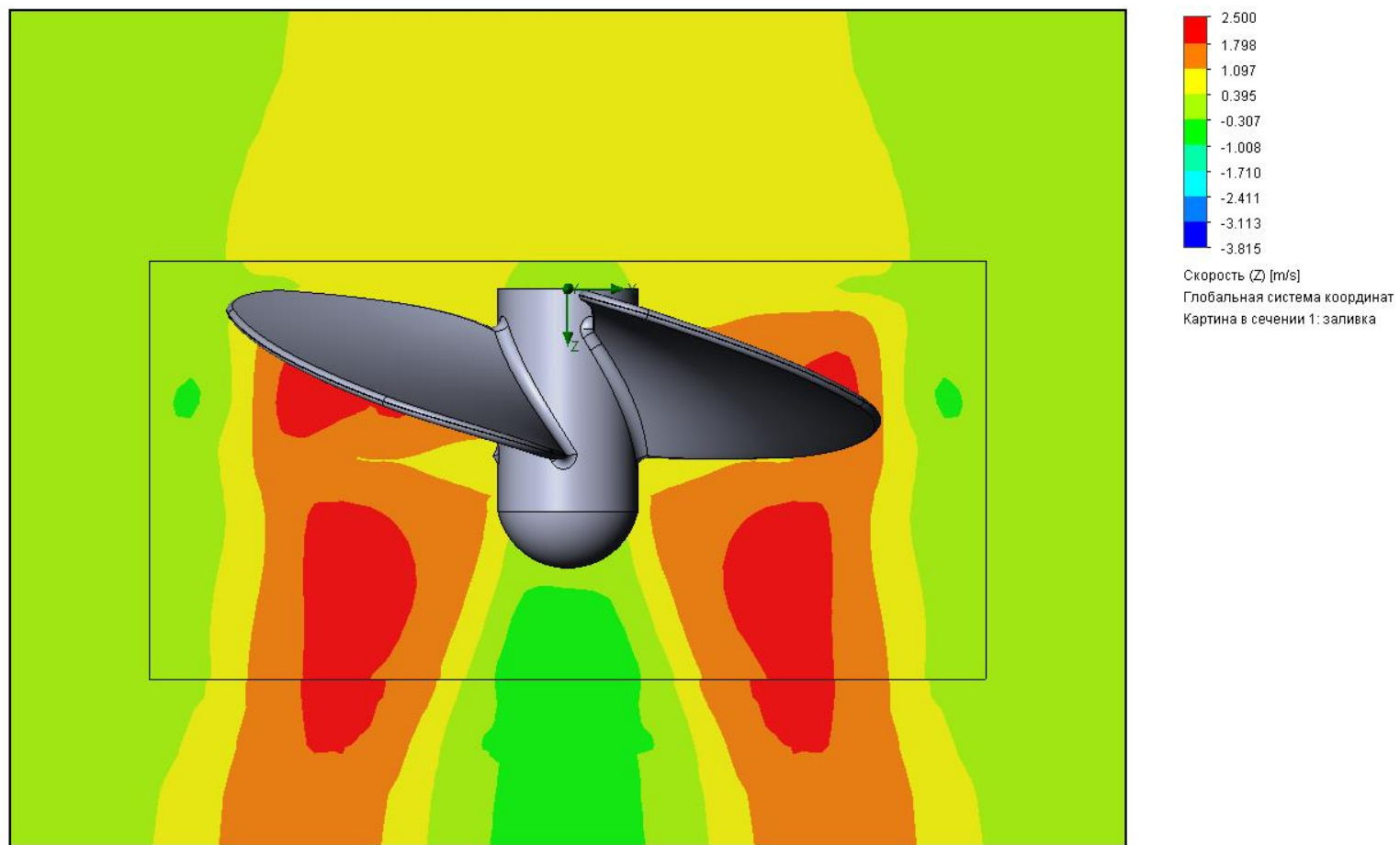


Рис. 8. Распределение скоростей потока, создаваемого винтом

Сборка двигателя

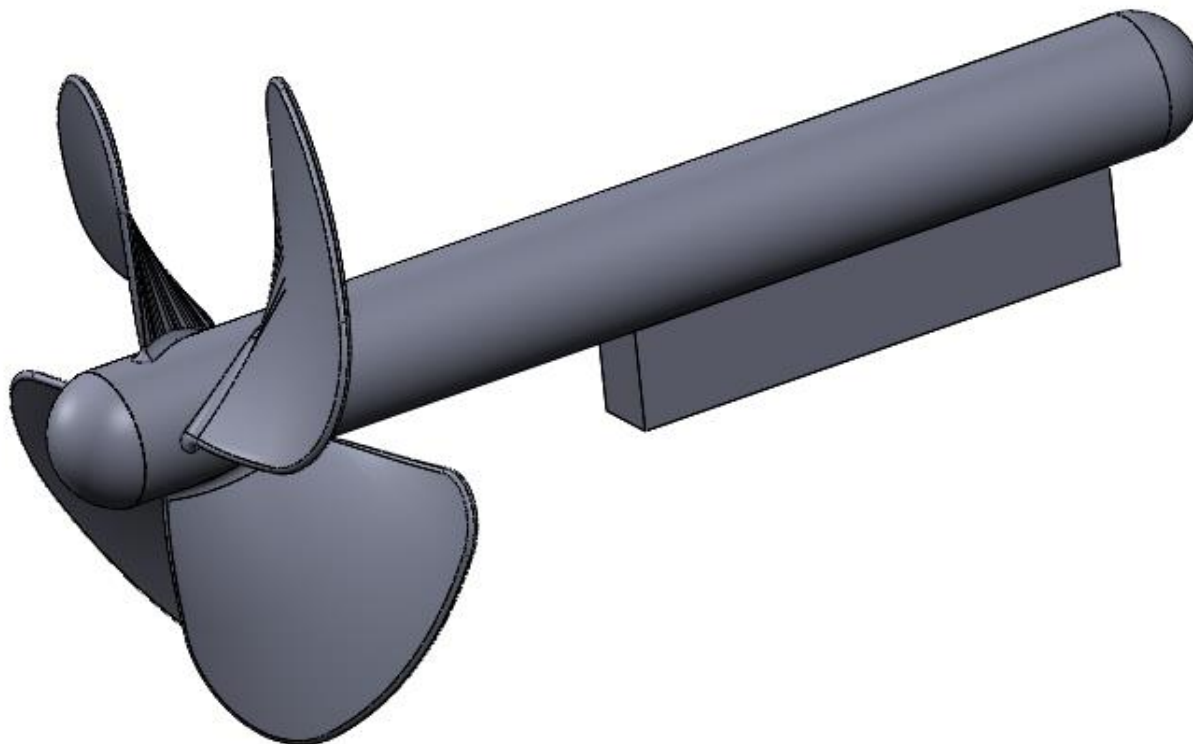


Рис. 9. Двигатель

Сборка модели аппарата

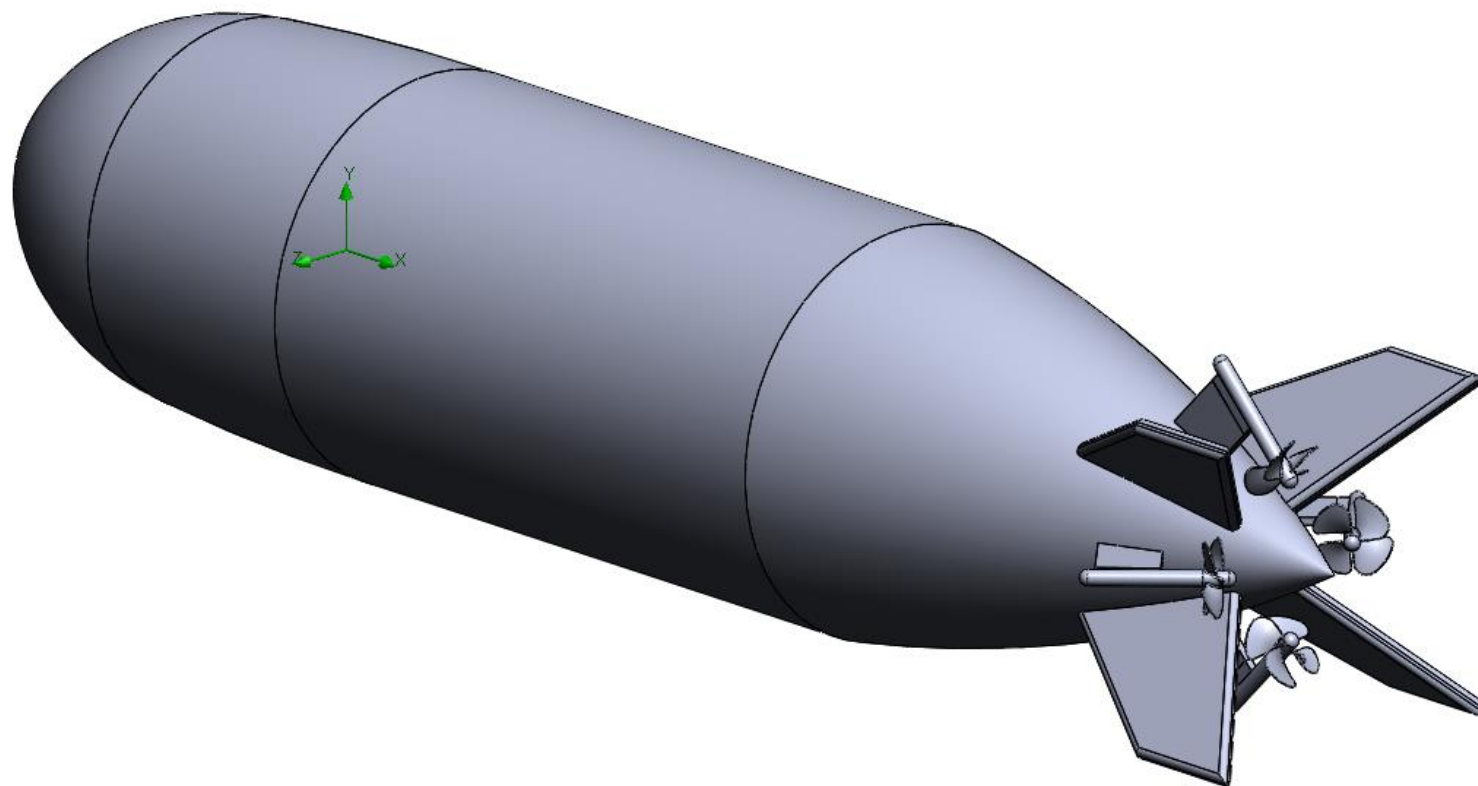


Рис. 10. Сборка АНПА

Рассматриваемые виды движения

- 1) Прямолинейное
- 2) Поворот вокруг вертикальной оси

Моделирование прямолинейного движения

Виртуальная продувка – пакетный метод, позволяющий определять численные значения позиционных гидродинамических сил и моментов, в наглядном виде строить диаграммы скоростей для различных режимов обтекания и графические зависимости сил сопротивления от скорости и углов атаки.

Конечно-элементная модель

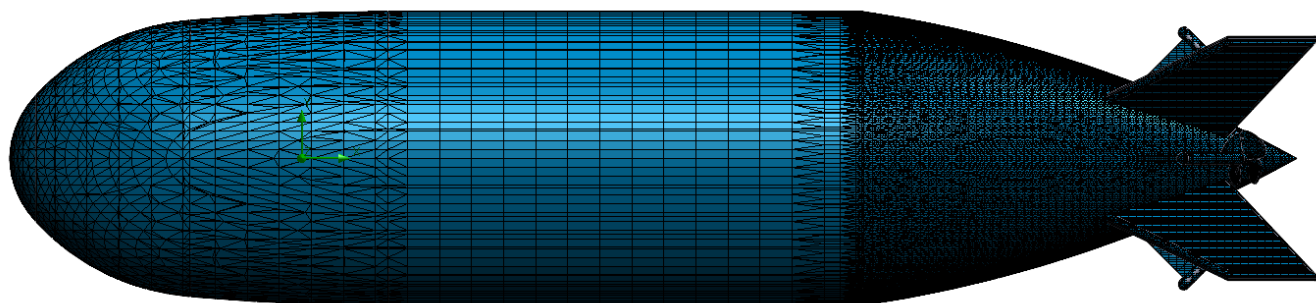
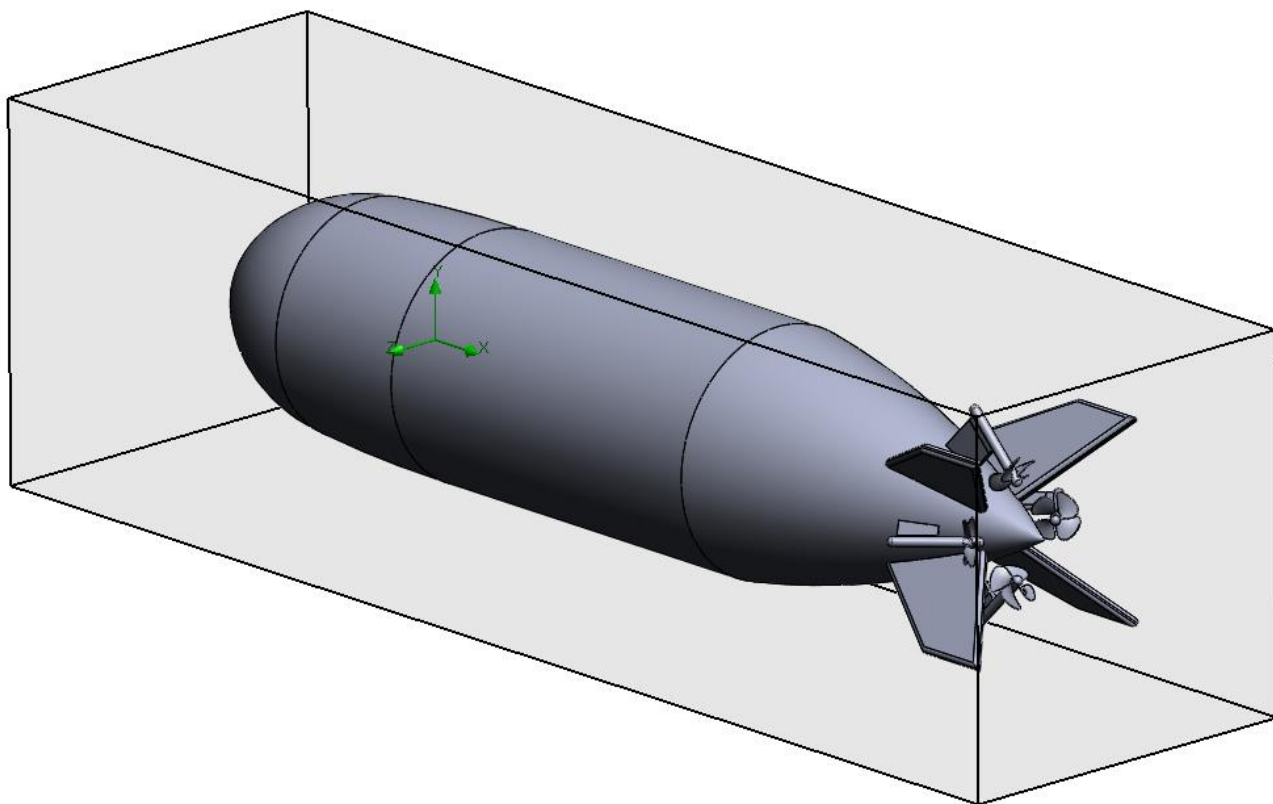


Рис. 11. Разбиение модели

Кол-во элементов	1890406
Уровень дробления базовой сетки	5
Уровень дробления локальной сетки	2

Табл. 4. Начальные условия

Начальные условия



Скорость вращения винтов	50 рад/с
Гравитация	-9.81 м/с ²
Давление	0.5 МПа

Табл. 3. Начальные условия

Рис. 12. Модель в расчётной области

Распределение скоростей для угла 45°

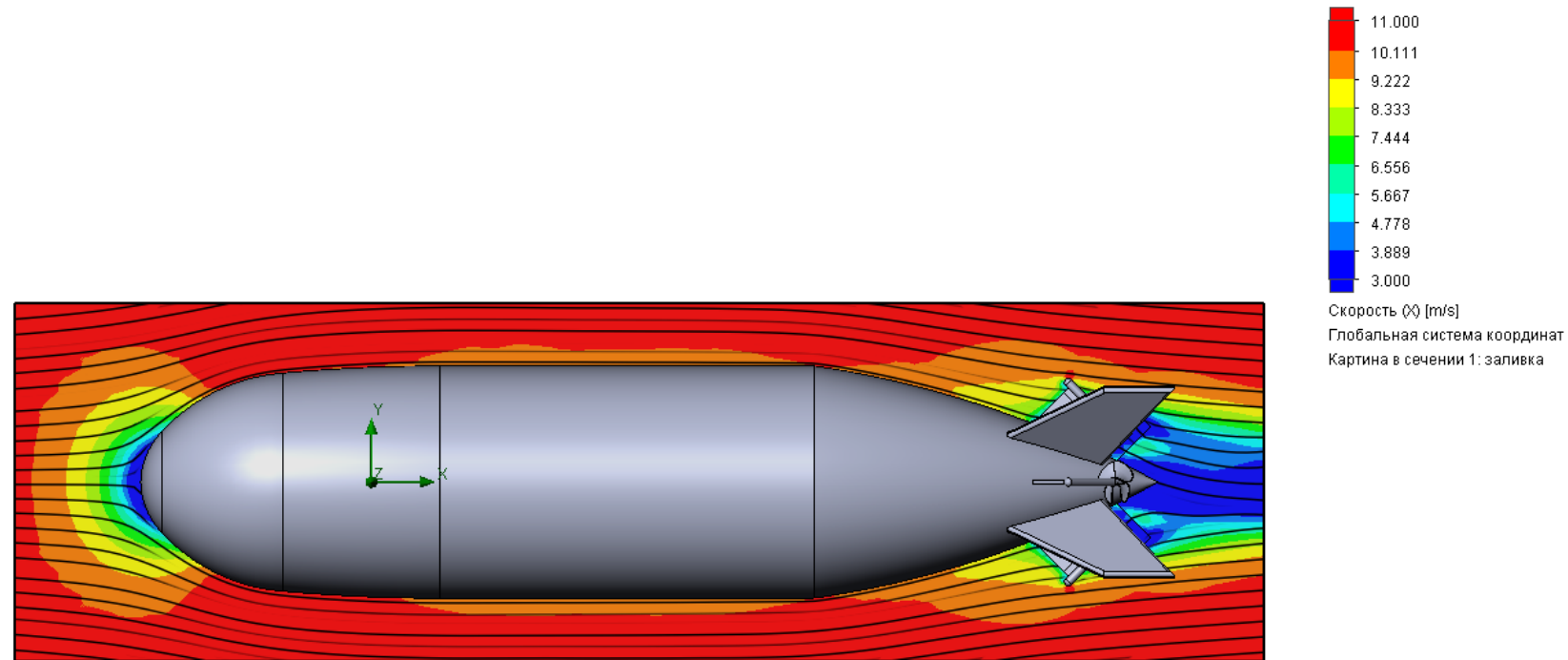


Рис. 13. Угол – 45°
Набегающий поток – 10.52 м/с

Распределение скоростей для угла 30°

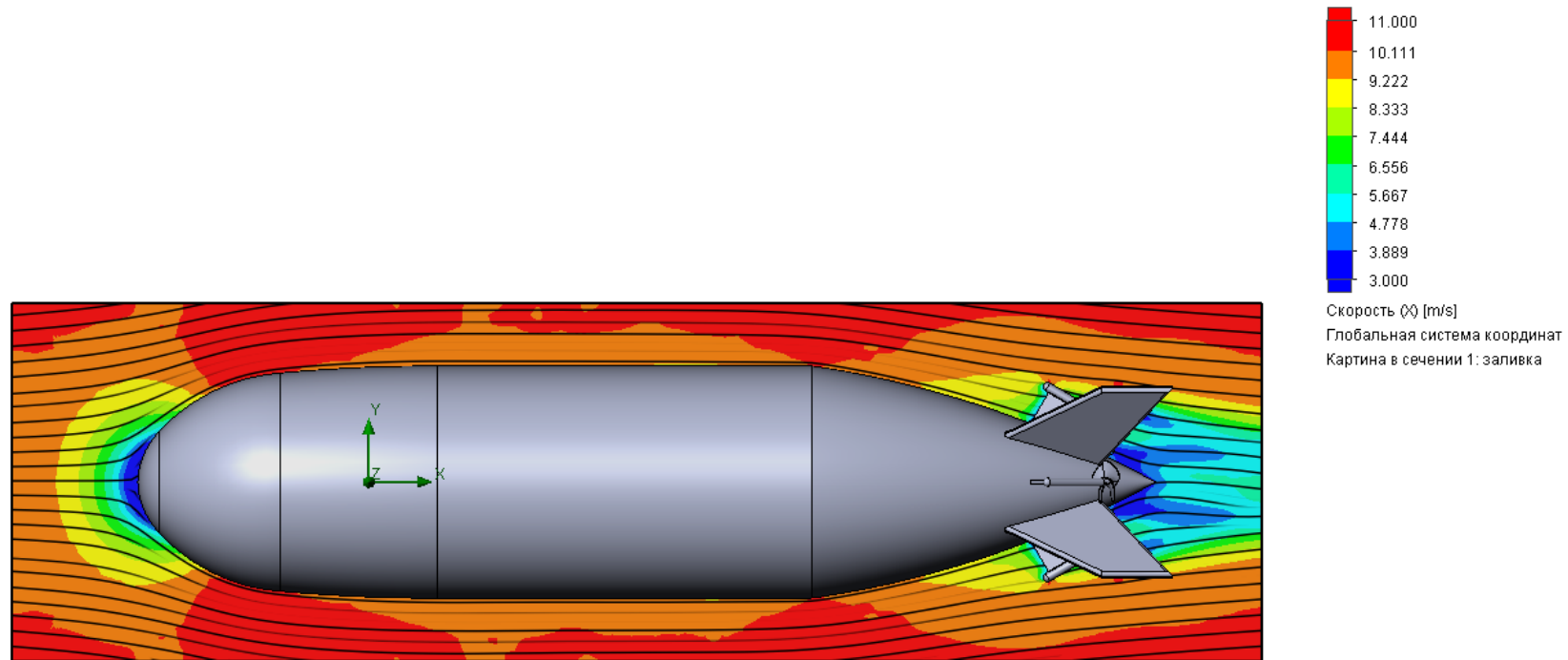


Рис. 14. Угол – 30°
Набегающий поток – 10.25 м/с

Распределение скоростей для угла 15°

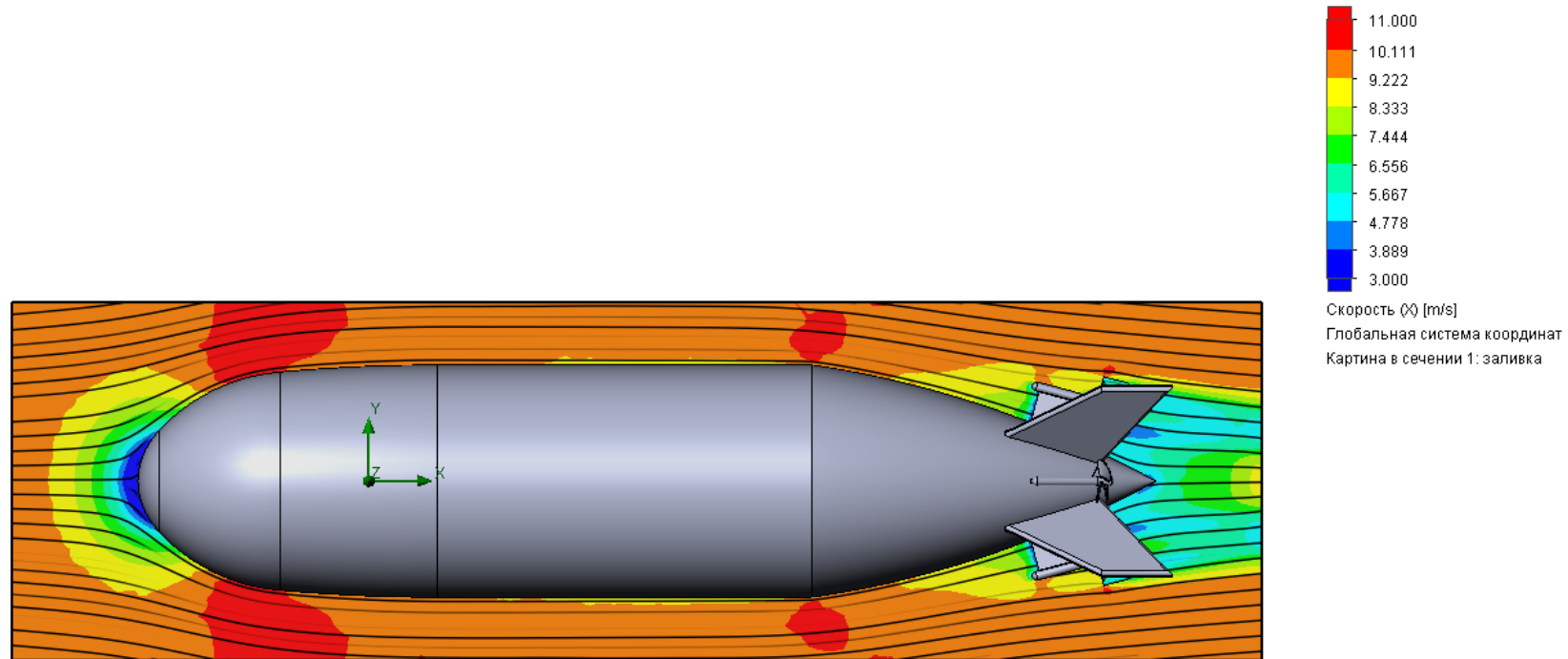


Рис. 15. Угол – 15°
Набегающий поток – 10 м/с

Распределение скоростей для угла 0°

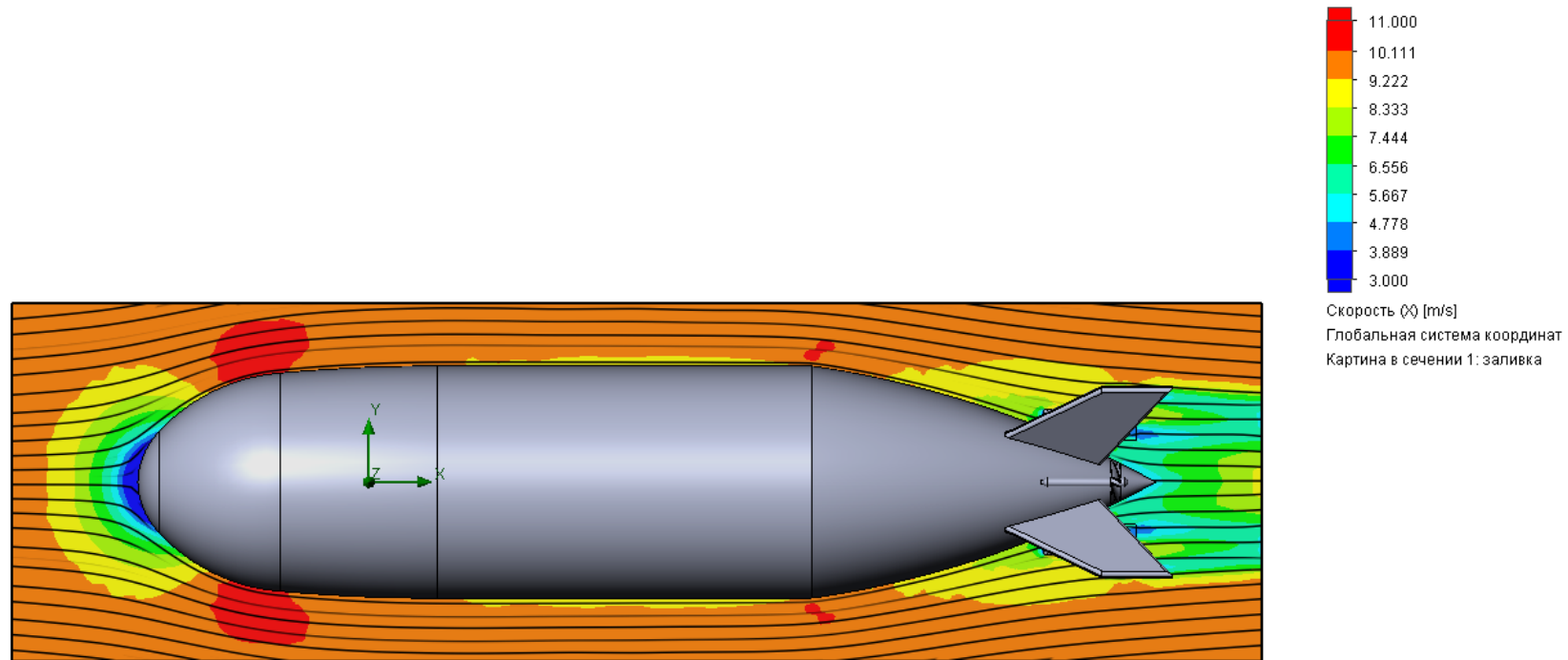


Рис. 16. Угол – 0°
Набегающий поток – 9.88 м/с

Моделирование поворотного движения

Ротативная установка – устройство, позволяющее осуществлять круговое движение модели относительно вертикальной оси и измерять силы и моменты, действующие на модель.



Рис. 17. Циркуляционный бассейн

Начальные условия

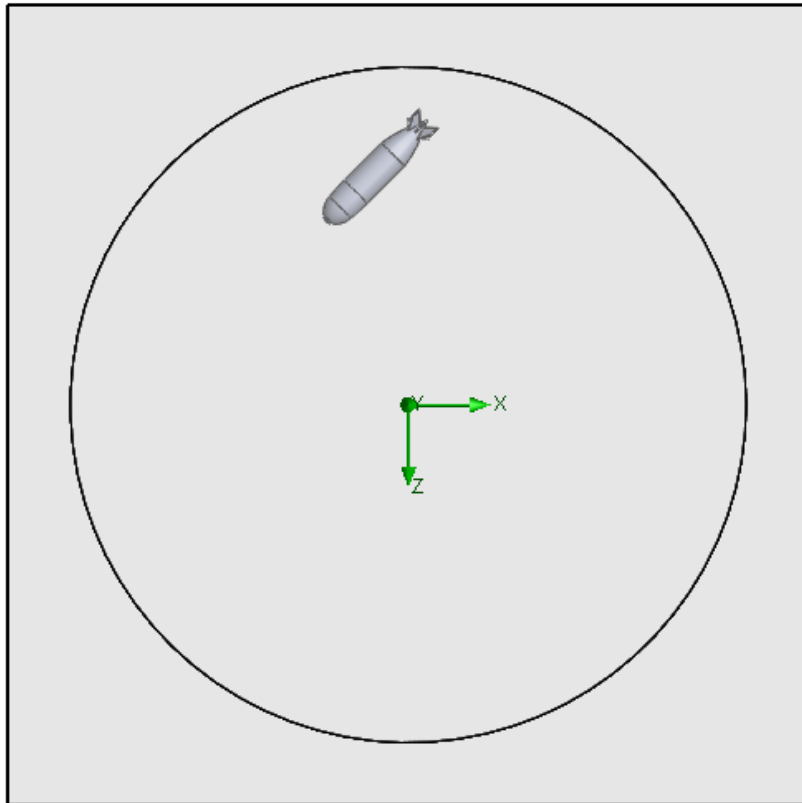


Рис. 18. Модель в расчётной области

Скорость вращения винта	50 рад/с
Гравитация	-9.81 м/с ²
Давление	0.5 МПа

Табл. 5. Начальные условия

Распределение скоростей для угла 45°

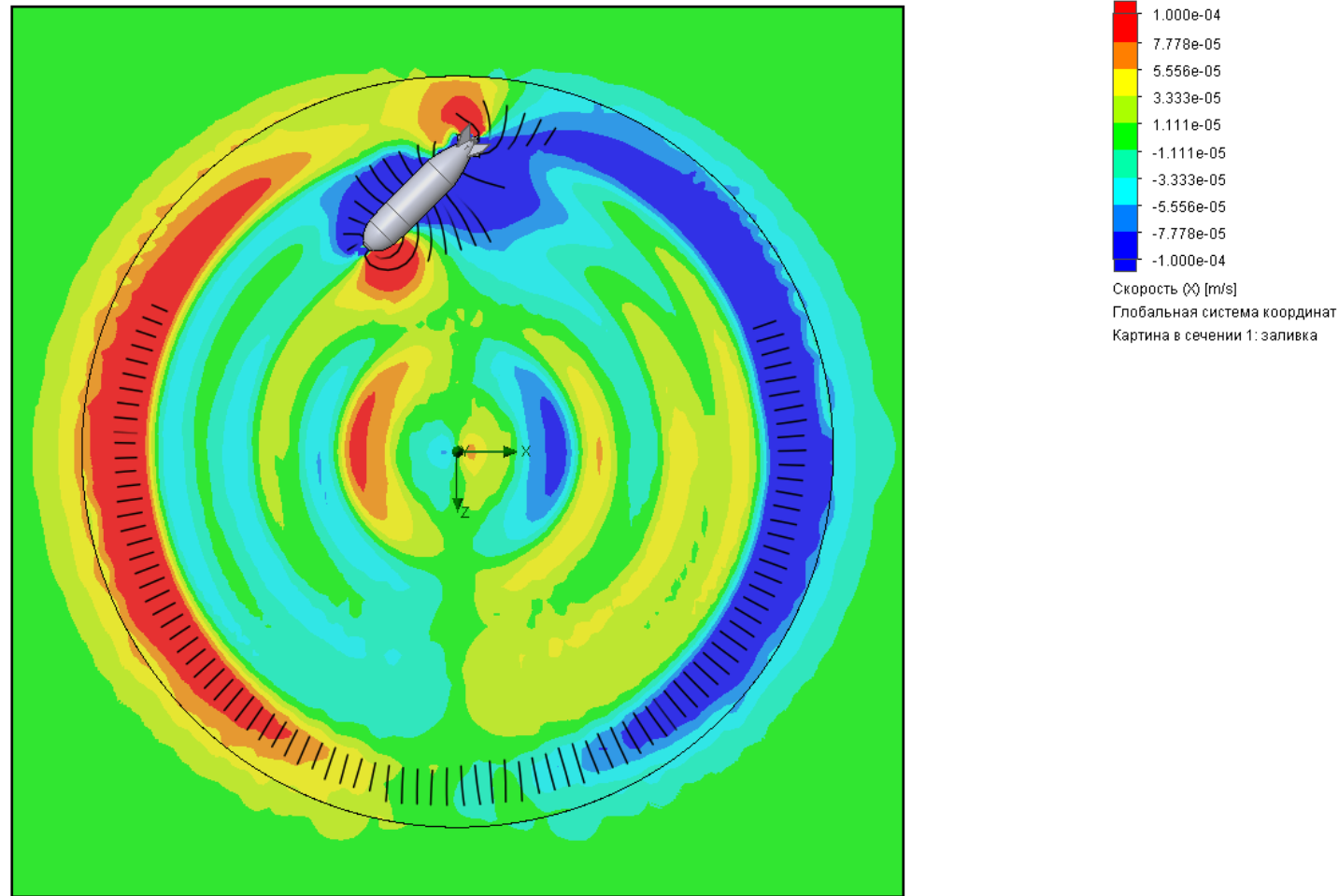


Рис. 19. Угол – 45°
Момент вращения – 61.78 Н*м

Распределение скоростей для угла 30°

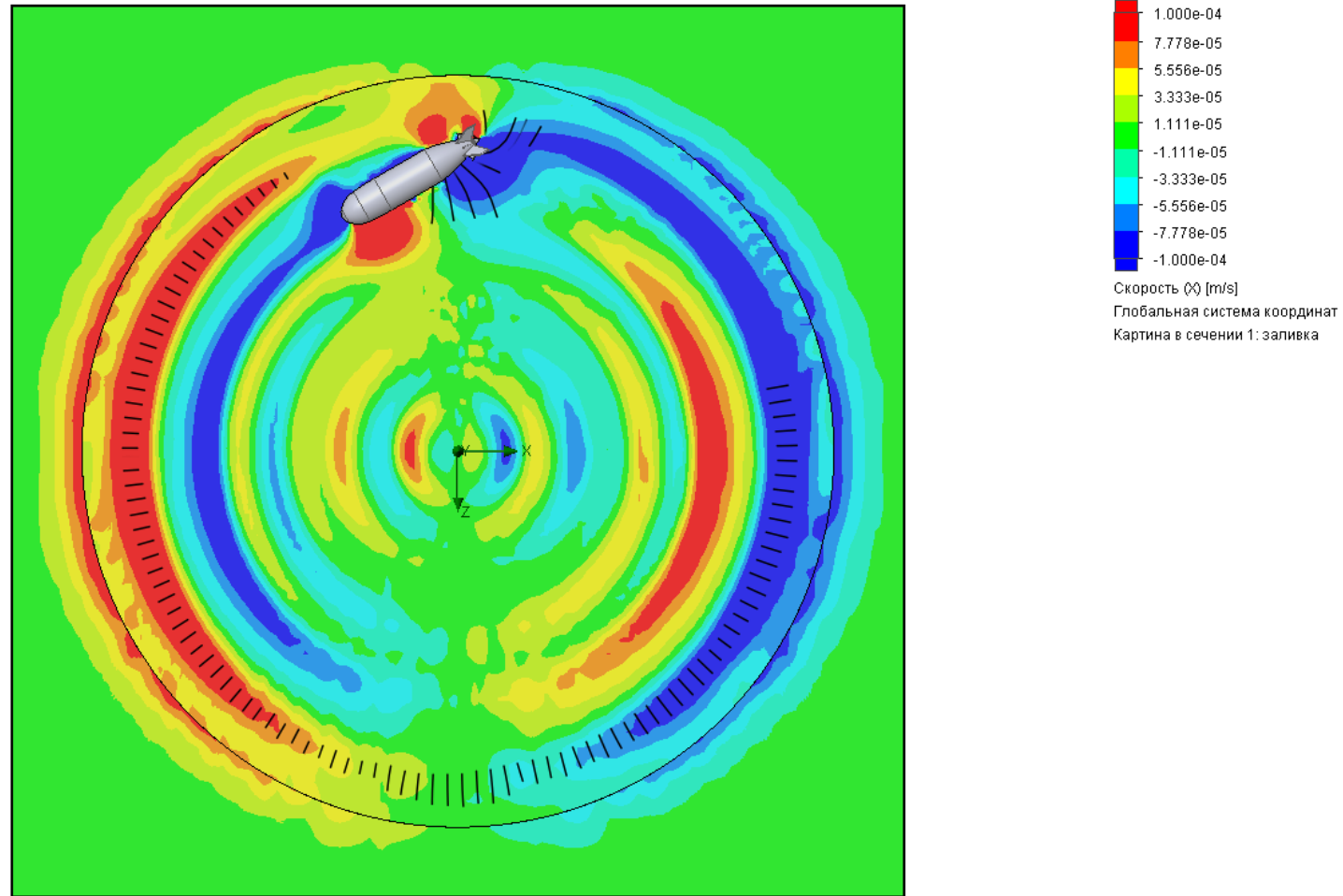


Рис. 20. Угол – 30°
Момент вращения – 33.07 Н*м

Распределение скоростей для угла 15°

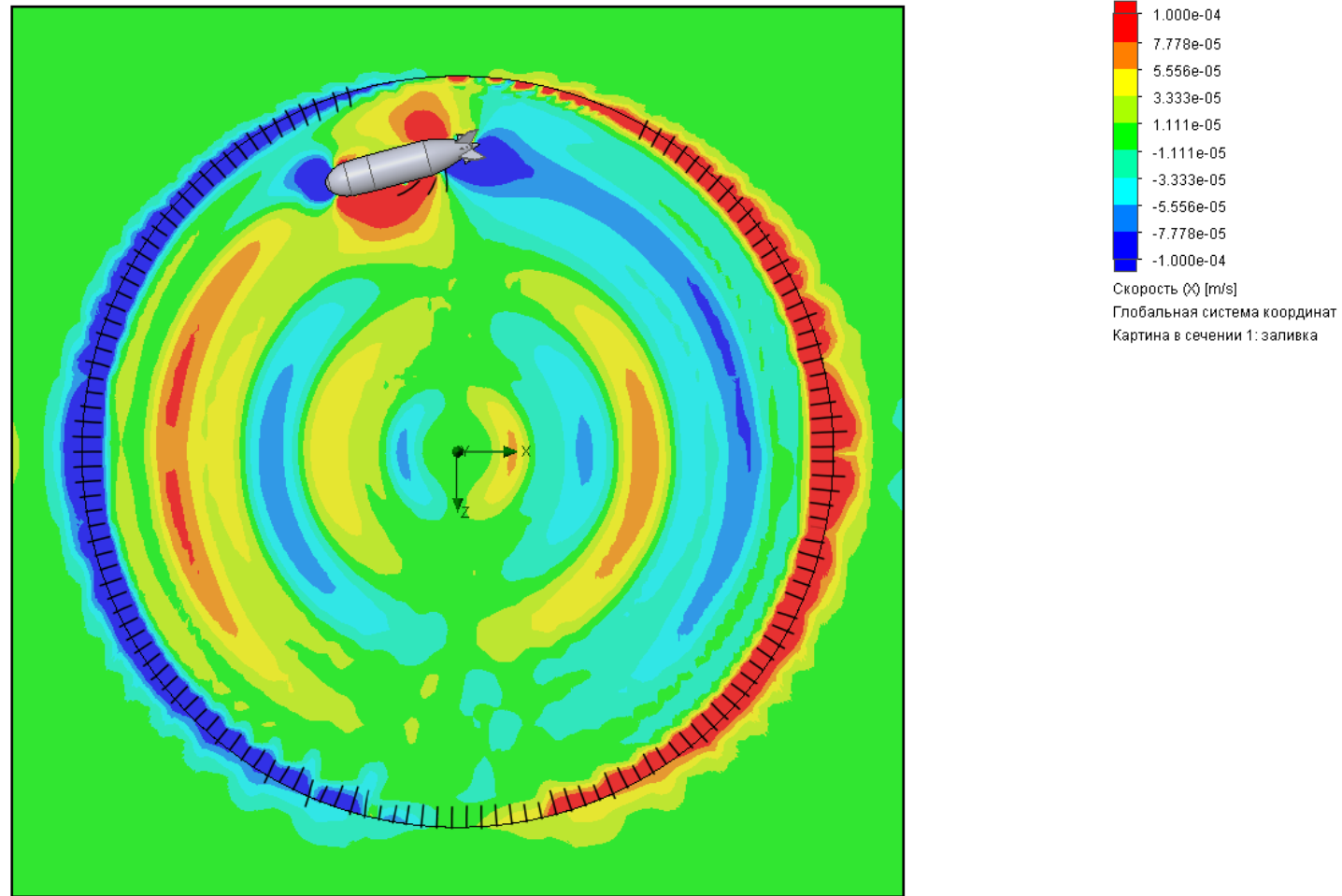


Рис. 21. Угол – 15°
Момент вращения – 19.89 Н*м

Промежуточные результаты

Угол, °	Линейная скорость, м/с	Вращающий момент, Н*м
45	10.52	61.78
30	10.25	33.08
15	10	19.89
0	9.88	-

Табл. 6. Результаты

Дополнительные расчёты

Ввиду явного преимущества угла 45 градусов были проведены дополнительные расчёты для углов близких к 45, а именно 35, 40 и 50.

Распределения скоростей для угла 35°

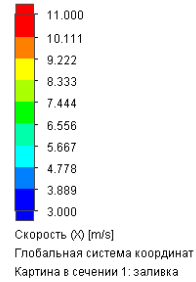
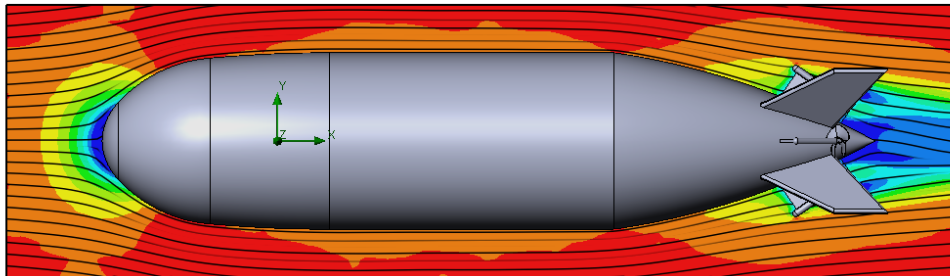


Рис. 22. Угол – 35°
Набегающий поток – 10.28 м/с

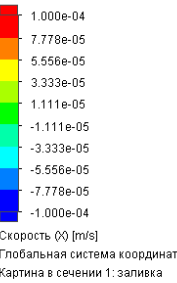
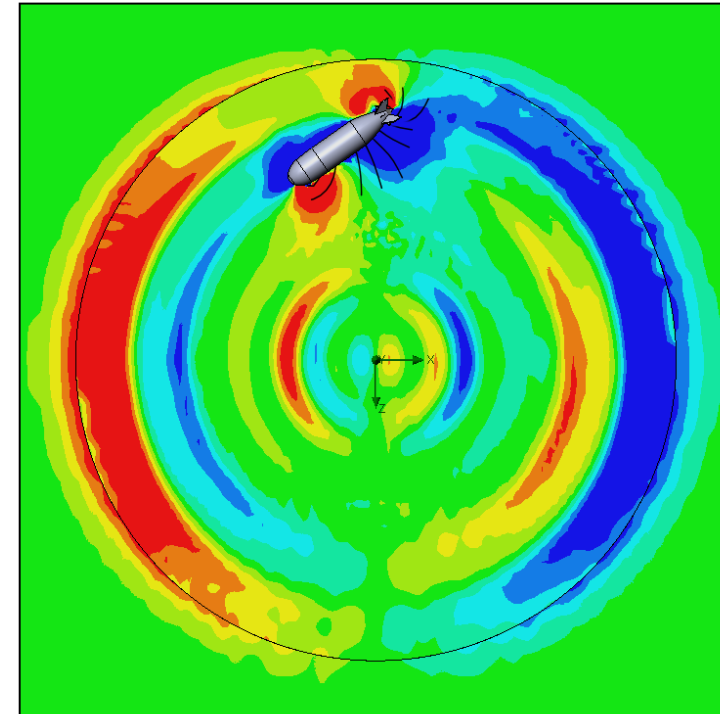


Рис. 23. Угол – 35°
Момент вращения – 42.03 Н*м

Распределения скоростей для угла 40°

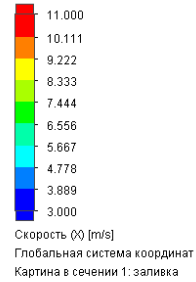
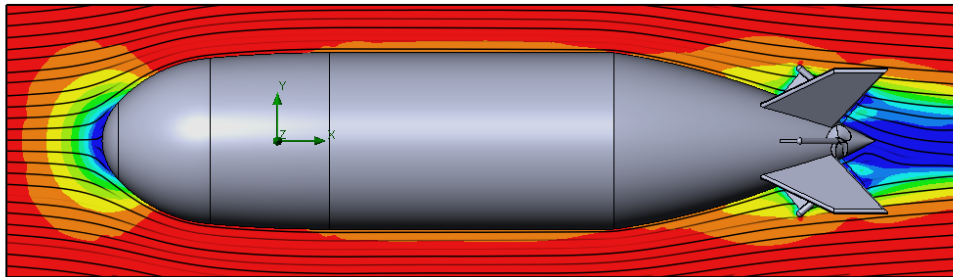


Рис. 24. Угол – 40°
Набегающий поток – 10.59 м/с

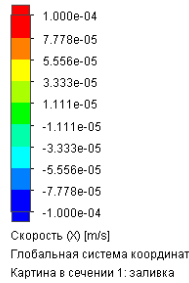
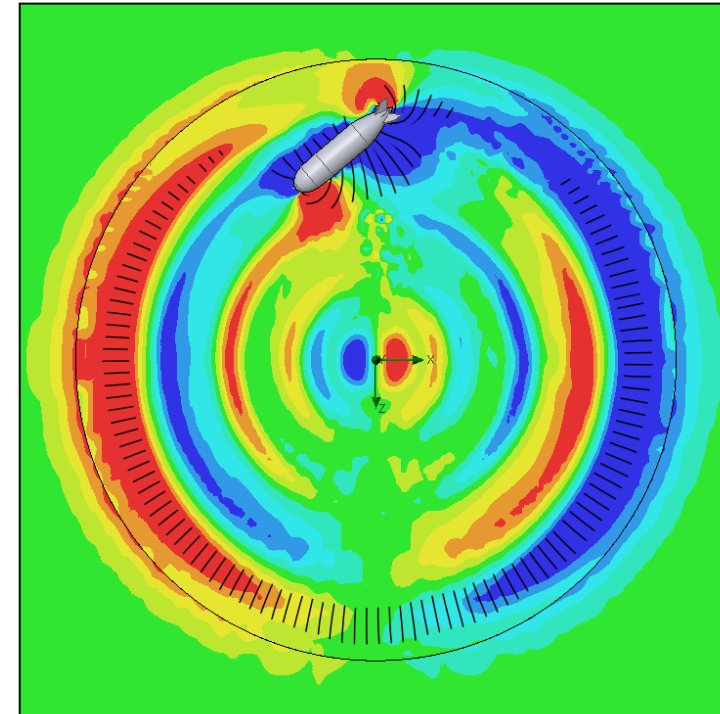


Рис. 25. Угол – 40°
Момент вращения – 52.53 Н*м

Распределения скоростей для угла 50°

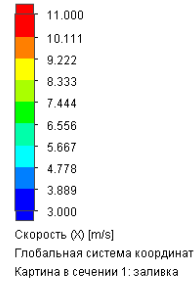
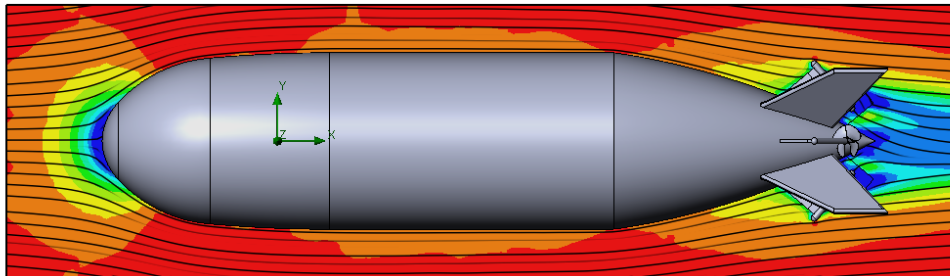


Рис. 26. Угол – 50°
Набегающий поток – 10.34 м/с

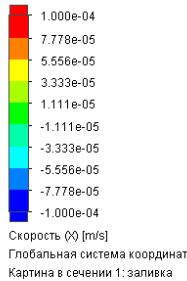
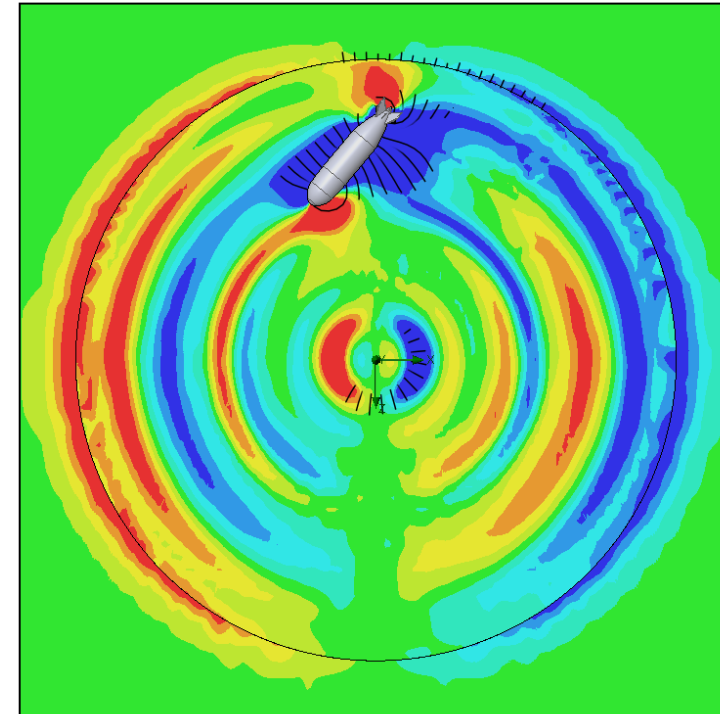


Рис. 27. Угол – 50°
Момент вращения – 73.31 Н*м

Результаты дополнительных расчётов

Угол, °	Линейная скорость, м/с	Вращающий момент, Н*м
45	10.52	61.78
35	10.28	42.03
40	10.59	52.53
50	10.34	73.31

Табл. 7. Результаты

ИТОГИ

- Создана трёхмерная геометрическая модель подводного аппарата на основе реально существующего прототипа.
- Построен винт движителя с подобранными характеристиками для достижения наибольшей тяговой силы.
- Произведено моделирование прямолинейного движения аппарата с различным расположением движителей в воде с помощью метода виртуальной продувки и получены результаты для скорости аппарата.
- На основе ротативной установки проведено моделирование для поворотного движения и получены результаты для вращательного момента.
- Подобран оптимальный угол для каждого из рассмотренных видов движения аппарата, который равен 50° .