Содержание

[**Список обозначений и сокращений** 3](#_Toc59367269)

[1. Техническое задание 4](#_Toc59367270)

[1 Математическая модель движения АНПА «МТ-2010» 6](#_Toc59367271)

[2 Определение гидродинамической силы сопротивления 10](#_Toc59367272)

[2.1 Движение по маршу 10](#_Toc59367273)

[2.2 Поворот на угол курса 14](#_Toc59367274)

[3 Определение присоединённых масс 15](#_Toc59367275)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 17](#_Toc59367276)

1. **Список обозначений и сокращений**

АКБ – аккумуляторная батарея;

ПА – подводный аппарат;

АНПА – автономный необитаемый подводный аппарат;

ВМА – винтомоторный агрегат;

ДРК – движительно-рулевой комплекс;

СКУ – система контроля и управления.

# Техническое задание

В данном курсовом проекте будет рассмотрено построение системы управления (СУ) движением автономного необитаемого подводного аппарата (АНПА) МТ-2010 по маршу и курсу. Внешний вид аппарата показан на рисунке Рисунок 1.



Рисунок 1 – АНПА МТ-2010

Тактико-технические характеристики приведены в таблице Таблица 1.

Таблица 1 – Тактико-технические характеристики МТ-2010

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Значение |
| Максимальная рабочая глубина, м | 3000 |
| Вес, кг | 300 |
| Габариты, м | ∅0,45 × 3,0 |
| Скорость, м/с | 0-2,5 |
| Автономность, ч (пробег ~ 100 км); | 20 |
| Энергетика: емкость батареи литий-ионных аккумуляторов, кВт·ч | 2,6 |

1. Составить математическую модель движения АНПА по маршу и курсу;

2. Определить все недостающие параметры для синтеза СУ

3. Промоделировать полученные контуры управления;

4. Ввести корректирующие устройства.

# 1 Математическая модель движения АНПА «МТ-2010»

Для достижения поставленных целей необходимо составить математическую модель ПА. В векторной форме уравнения движения аппарата могут быть представлены системой двух уравнений следующего вида [2]:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| D:\Университет\7 семестр\НИРС\Поправь\syst.png |  | (1) |

где векторы количества движения тела и жидкости, вовлекаемой в движение, соответственно; - векторы моментов количества движения тела и жидкости относительно начала координат связанной системы соответственно; - вектор угловой скорости тела; - вектор скорости начала связанной системы координат; - главный вектор и главный момент относительно начала координат внешних сил, действующих на аппарат.

Уравнения движения АНПА в проекциях на связанные оси координат (см. рисунок 1), с учётом того, что плоскость Оху является плоскостью симметрии аппарата, и присоединённые массы и равны нулю, принимают вид:













где , , - присоединённые массы аппарата [3],

- проекции вектора на связанные оси, - проекции вектора на связанные оси, - осевые моменты инерции аппарата,

- центробежный момент инерции аппарата, - координаты центра тяжести аппарата.

Для дальнейшей проработки математической модели ПА примем следующие допущения:

1. Приоритетными контурами являются контуры марша и курса, в то время как контур глубины настроен на автоматическое поддержание заданного значения, лаговое движение не осуществляется;

2. Углы дифферента и крена пренебрежимо малы, скорости поворота ПА по дифференты и крену равны нулю ();

3. Осуществляем сепаратное управления контурами марша и курса, поэтому взаимовлиянием каналов можем пренебречь.

Будем рассматривать движение аппарата по маршу и поворот по курсу.

Таким образом, приведённая выше система уравнений примет вид:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| D:\Университет\7 семестр\НИРС\Поправь\syst.png |  | (2) |

где , *Р* – суммарная тяга ДРК ПА, *R* – сила гидродинамического сопротивления,  - возмущающая сила.

Поскольку превалирующим движением в рамках выполнения миссий соревнований является движение по маршу, то в данной работе будем рассматривать движение по маршу в установившемся режиме, то  и . Таким образом, итоговая математическая модель движения аппарата может быть сведена к рассмотрению первого выражения системы 2. В дальнейшем требуется найти гидродинамическую силу сопротивления и рассчитать суммарную силу тяги ДРК АНПА.

# 2 Определение гидродинамической силы сопротивления

## 2.1 Движение по маршу

С помощью пакета Solidworks Flow Simulation 2019 [5] исследуем гидродинамические характеристики упрощённой модели ПА, показанной на рисунке Рисунок 2.

Параметры, указанные при создании проекта:

1. базовая ось – Х;
2. тип задачи – внешняя;
3. текучая среда – жидкость (вода);
4. тип течения – ламинарное и турбулентное.

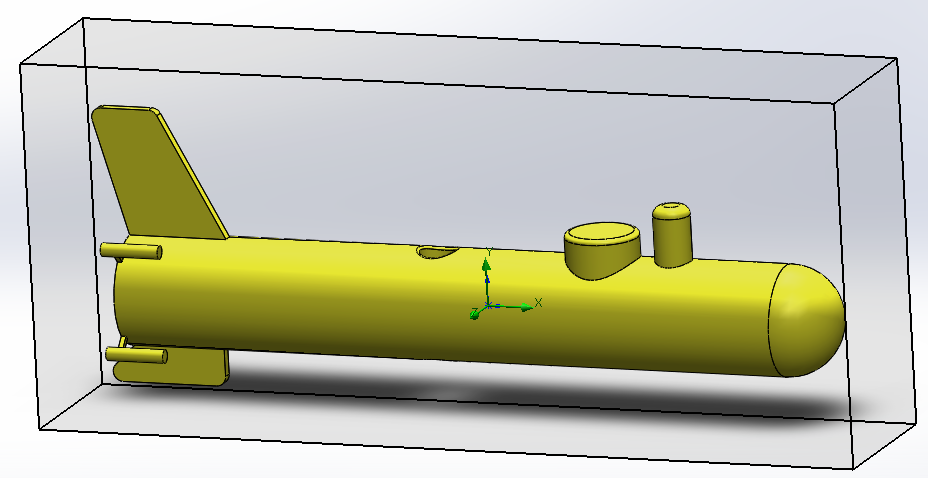


Рисунок 2 − Расчётная область

В созданном проекте в разделе «Новое параметрическое исследование» в качестве параметра указываем значения скорости вдоль базовой оси Х в виде таблицы как на рисунке Рисунок 3.

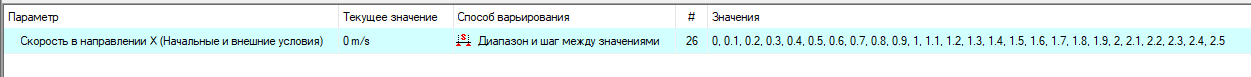


Рисунок 3 – Табличное задание параметра

В качестве выходного параметра указываем значение силы вдоль оси Х. Результаты расчёта представлены на рисунке Рисунок 4.

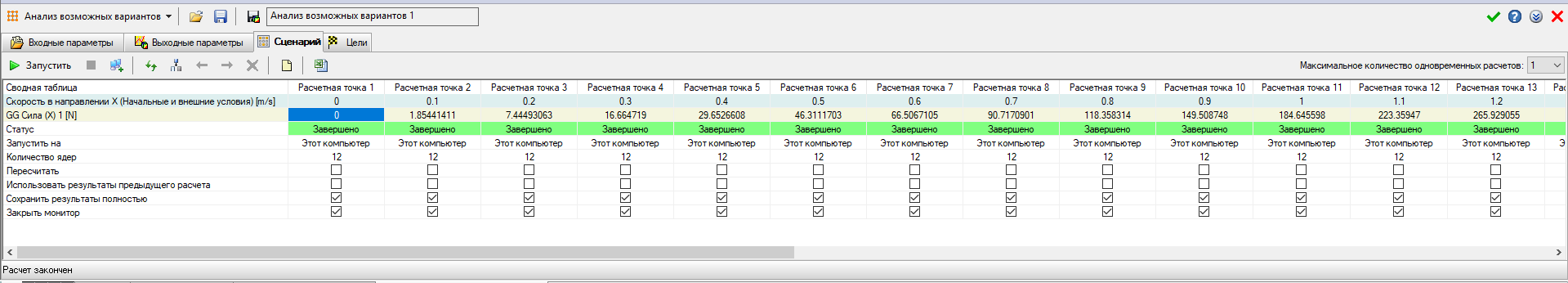


Рисунок 4 – Результаты параметрического исследования

Экспортируем данные в Excel и построим график (рисунок 5). По полученному в результате моделирования графику можем вывести аналитическую зависимость [6] силы сопротивления R от скорости набегающего потока Vx (рисунок Рисунок 5).



Рисунок 5 − Аналитическая зависимость силы гидродинамического сопротивления от скорости набегающего потока

Таким образом, выявленная зависимость имеет вид:

.

Проанализируем полученную зависимость. Последнее слагаемое говорит о наличии силы сопротивления в отсутствие скорости, что не является верным. Следовательно, его можно отнести к погрешности численного моделирования.

Определим вклад, вносимый вторым слагаемым, по сравнению с первым. Для этого определим разность двух выражений R1 и R2, где

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

.

Отметим, что коэффициент при *V2* имеет размерность [кг/м]. Построим график ошибки определения гидродинамического сопротивления Rx по упрощённой формуле R1 по сравнению с выражением для R2 (рис. 6).

Ошибка определяется как:

.

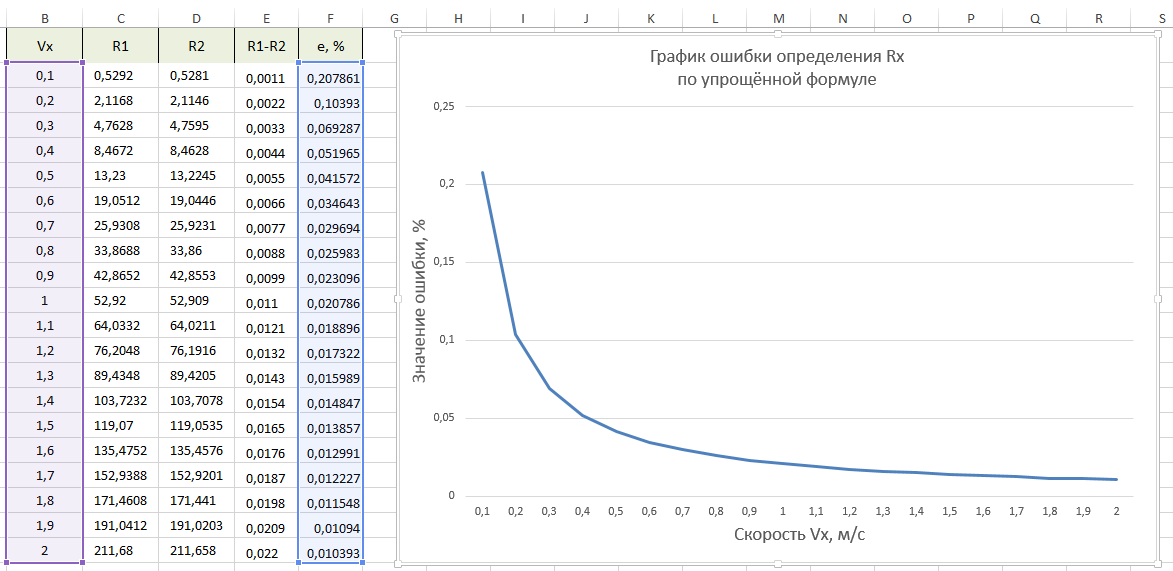


Рисунок 6 − График ошибки определения силы гидродинамического сопротивления в зависимости от скорости маршевого движения ПА

Из графика видно, что даже максимальное значение ошибки составляет меньше четверти процента, а значит, силу сопротивления вполне можно определять по формуле для R1 (1).

## 2.2 Поворот на угол курса

# 3 Определение присоединённых масс

Для составления математической модели АНПА при движении по маршу определим коэффициент присоединённых масс . Для его нахождения воспользуемся методом эквивалентного эллипсоида, описанным в [2]. Для начала необходимо определить полуоси *a, b* и *c* эквивалентного эллипсоида, показанные на рисунке Рисунок 6.

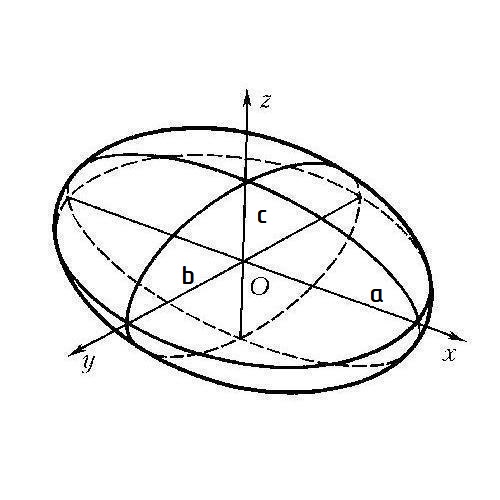


Рисунок 6 – Расположение полуосей эллипсоида



где

L и D – длина и диаметр АНПА согласно таблице Таблица 1.

Отношение b/a = 0,15. Тогда по графикам на рисунке Рисунок 7 определим k11 = 0,04 и k55 = 0,8.

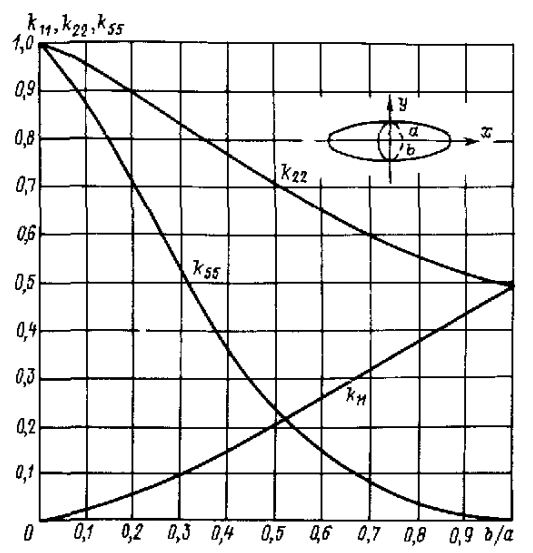


Рисунок 7 – Графики коэффициентов присоединённых масс

По формулам, указанным в [2, с. 76], посчитаем коэффициенты присоединённых масс:





# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Определение гидродинамического сопротивления в пакете Solidworks Flow Simulation [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.webpages.uidaho.edu/mindworks/Adv%20Solidworks/CFD/Drag%20coefficient%20of%20sphere%20-%20Final.pdf (дата обращения: 26.10.2018, 12:00)
2. Короткин А.И. Присоединённые массы судна. Справочник. - Л: Судостроение, 1986. – 312с.