Содержание

[**Список обозначений и сокращений** 3](#_Toc59374230)

[1 Техническое задание 4](#_Toc59374231)

[2 Определение параметров математической модели 6](#_Toc59374232)

[2.1 Выбор движитея 6](#_Toc59374233)

[2.2 Расчёт гидродинамической силы сопротивления при движении по маршу 9](#_Toc59374234)

[2.2 Расчёт гидродинамической силы сопротивления при повороте по курсу 13](#_Toc59374235)

[2.3 Определение присоединённых масс 13](#_Toc59374236)

[3 Математическая модель движения АНПА «МТ-2010» 15](#_Toc59374237)

[3.1 Передаточная функция АНПА при движении по маршу 17](#_Toc59374238)

[3.2 Передаточная функция АНПА при повороте по курсу 19](#_Toc59374239)

[СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 23](#_Toc59374240)

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.

# 1 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.

# 2 Определение параметров математической модели

## 2.1 Выбор движитея

Для построения математической модели движения АНПА необходимо выбрать движитель. Выберем винтомоторный агрегат 049-E 120-100 высокоэффективной серии, показанный на рисунке Рисунок 2, от китайского производителя Lian [1].

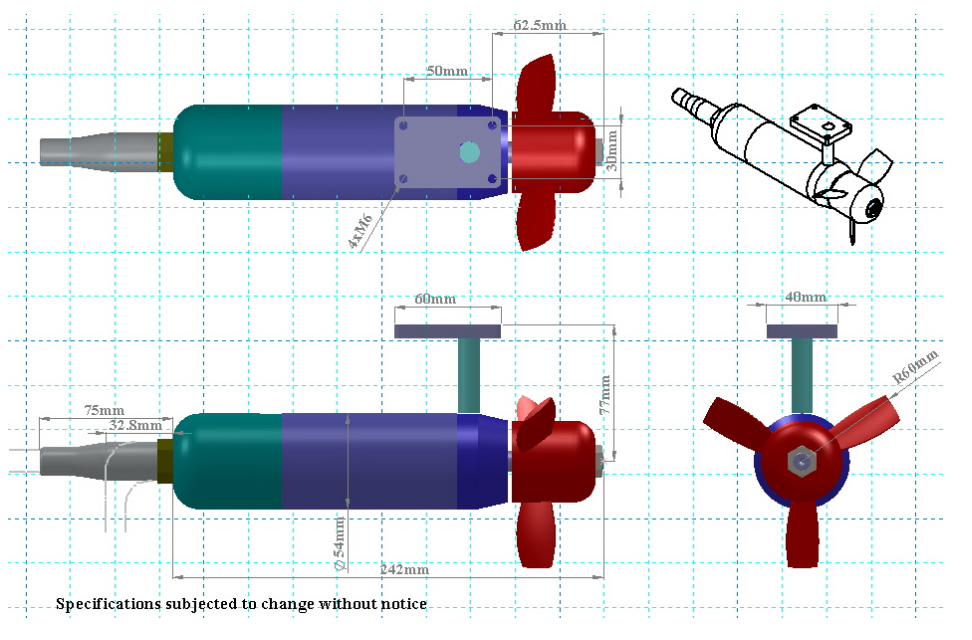


Рисунок 2 – Внешний вид винтомоторного агрегата 049-E 120-100

Параметры выбранного движителя представлены в таблице Таблица 2.

Таблица 2 – Параметры движителя 049-E 120-100

|  |  |
| --- | --- |
| Параметр | Значение |
| Тяга (при 2-х узлах), кгс | 60 |
| Вес, кг | 1,2 |
| Входное напряжение, В | 24-350 |
| Наибольший КПД (при 6 узлах), % | 63 |
| Максимальная мощность (при 6 узлах), Вт | 170 |

Уравнение, описывающее электрические процессы двигателя:

, где

U – напряжение, подаваемое на движитель, B;

i – ток движителя, А,

R – сопротивление обмоток движителя, Ом,

L – индуктивность обмоток движителя, Гн,

Ke – коэффициент противоЭДС, В,

 – угловая скорость вращения вала движителя с-1.

Уравнения момента могут быть представлены как:

,

где – коэффициент момента движителя, ;

|  |  |
| --- | --- |
| ,  – суммарный момент инерции движителя, кг ∙м2,  – коэффициент гребного винта, кг ∙м2. |  |

По приведённым выше уравнениям составим структурную схему движителя, показанную на рисунке Рисунок 3.

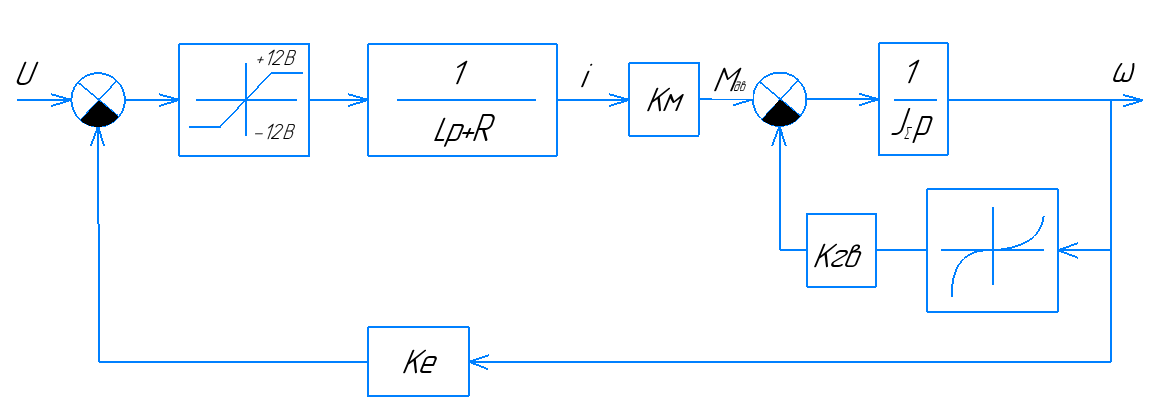


Рисунок 3 – Нелинейная структурная схема движителя

Движитель является покупным устройством и представляет собой совокупность электродвигателя и гребного винта. Передаточную функцию движителя представим апериодическим звеном с коэффициентом усиления Кдв, а постоянную времени примем равной 0,3 с, поскольку небольшой ВМА обладает малой инерцией.

Итоговое уравнение динамики движителя:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

а передаточная функция примет вид:

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

где

|  |  |
| --- | --- |
| − напряжение, В,  − тяга одного движителя, Н,  − постоянная времени движителя, с,  − коэффициент усиления движителя, Н/В. |  |

2.2 Определение компоновки

## 2.2 Расчёт гидродинамической силы сопротивления при движении по маршу

С помощью пакета Solidworks Flow Simulation 2019 [2] исследуем гидродинамические характеристики упрощённой модели ПА, показанной на рисунке Рисунок 4.

Параметры, указанные при создании проекта:

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

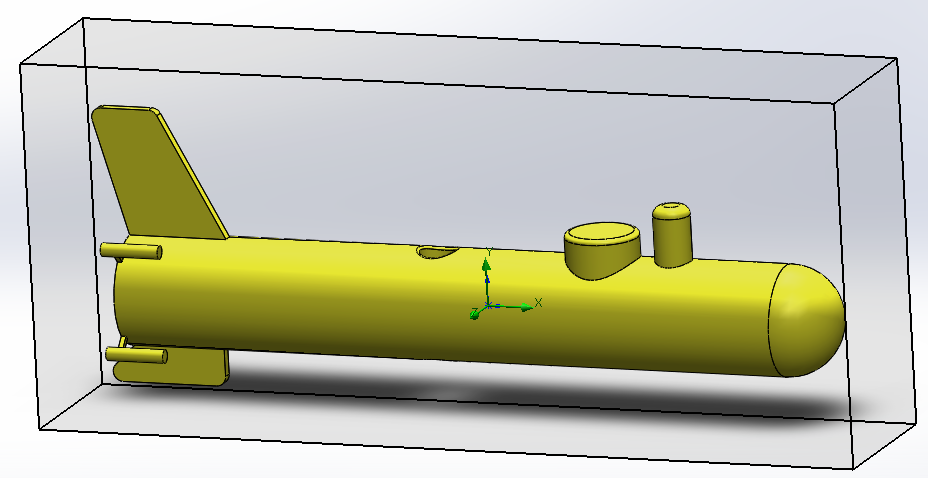


Рисунок 4 − Расчётная область

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 5.

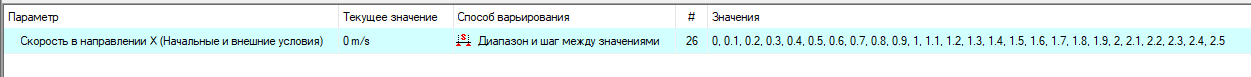


Рисунок 5 – Табличное задание параметра

В качестве выходного параметра указываем значение силы вдоль оси Х. Результаты расчёта представлены на рисунке Рисунок 6.

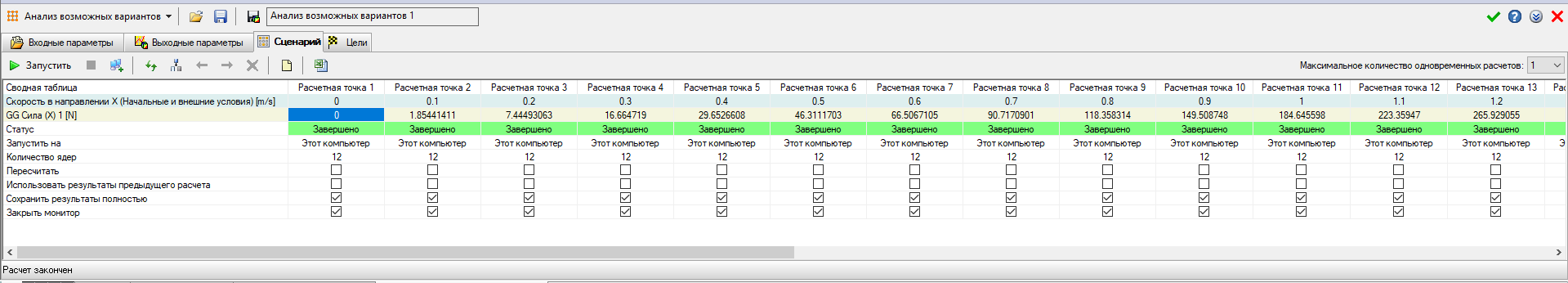


Рисунок 6 – Результаты параметрического исследования

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 7).



Рисунок 7 − 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:

.

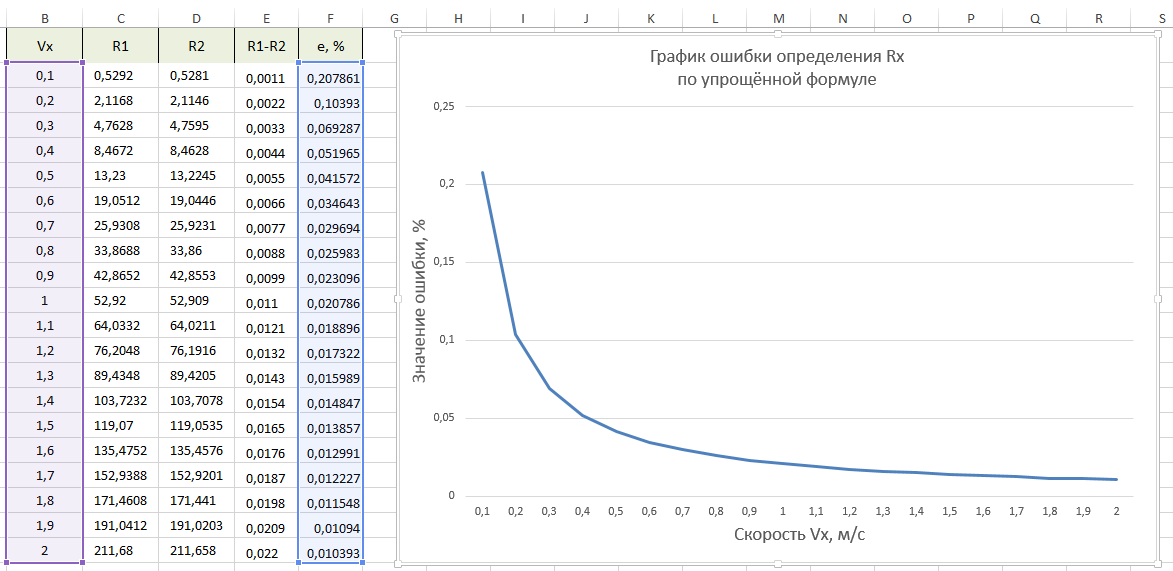


Рисунок 6 − График ошибки определения силы гидродинамического сопротивления в зависимости от скорости маршевого движения ПА

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 Расчёт гидродинамической силы сопротивления при повороте по курсу

## 2.3 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 [3]. Для начала необходимо определить полуоси *a, b* и *c* эквивалентного эллипсоида, показанные на рисунке Рисунок 8.

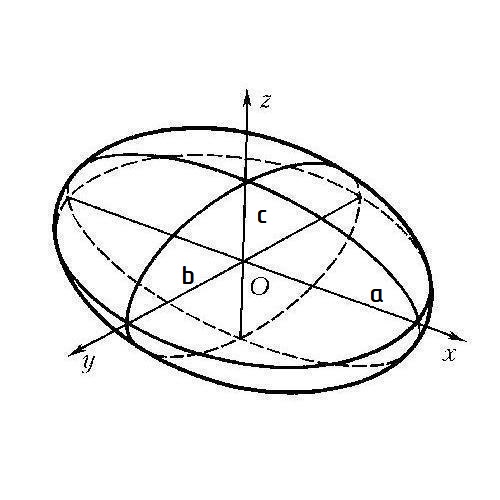


Рисунок 8 – Расположение полуосей эллипсоида



где

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

Отношение b/a = 0,15. Тогда по графикам на рисунке Рисунок 9 определим k11 = 0,04 и k55 = 0,8.

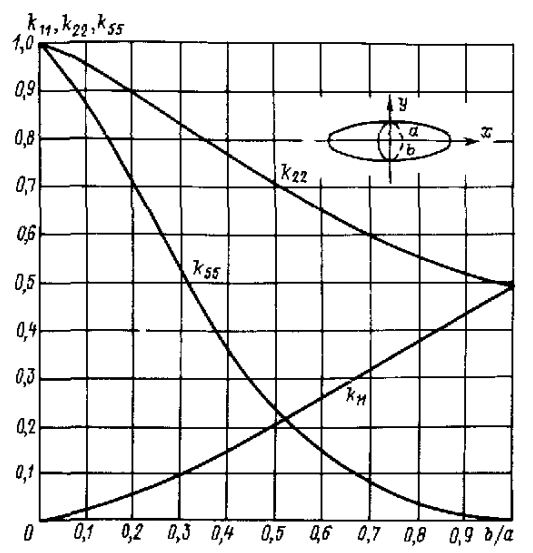


Рисунок 9 – Графики коэффициентов присоединённых масс

По формулам, указанным в [3, с. 76], посчитаем коэффициенты присоединённых масс:





# 3 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.

## 3.1 Передаточная функция АНПА при движении по маршу

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 РДРК – суммарная тяга ДРК АНПА, R – сила гидродинамического сопротивления, – возмущающая сила, Мy – суммарный момент, действующий на аппарат.  не известна, поэтому её направление условно принимаем положительным.

Итоговая математическая модель движения аппарата может быть сведена к рассмотрению первого выражения системы **Ошибка! Источник ссылки не найден.**. Конкретизируем полученные уравнения с учётом полученного ранее выражения **Ошибка! Источник ссылки не найден.**) для гидродинамической силы:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| D:\Университет\7 семестр\НИРС\Поправь\syst.png |  | (3) |

Представим первое уравнение системы (3) в виде структурной схемы как показано на рисунке Рисунок 10:

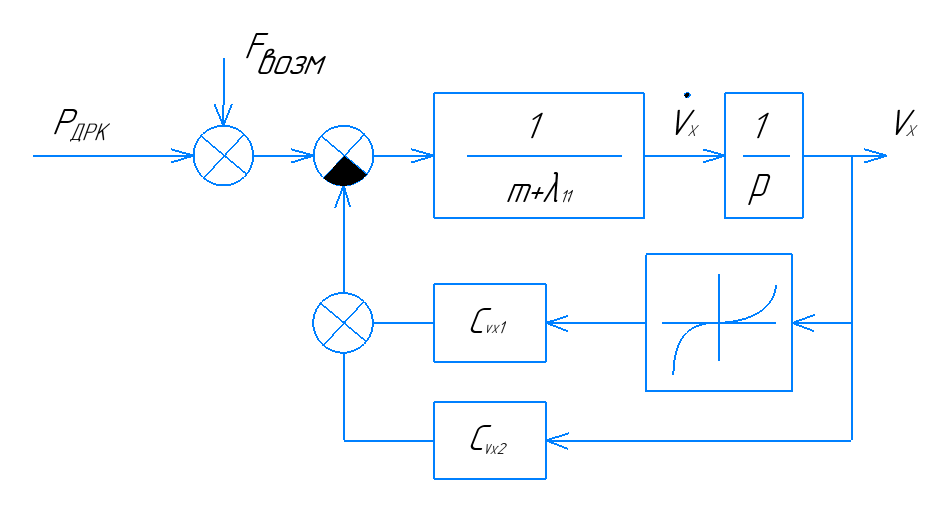
****

Рисунок 10 − Структурная схема управления маршевой скоростью АНПА с нелинейностью от сил гидродинамического сопротивления

Зададим скорость обхода донной зарядной станции во время стыковки Vx\* = 0,2 м/с и линеаризуем первое уравнение системы (3) разложением в ряд Тейлора с последующим отбрасыванием слагаемых со степенью два и выше [4] в окрестности этой скорости. Тогда

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

Получим передаточную функцию канала маршевой скорости.

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

где

|  |  |
| --- | --- |
| − коэффициент усиления канала марша, | (4) |
| − постоянная времени канала марша. | (5) |

## 3.2 Передаточная функция АНПА при повороте по курсу

Уравнение, описывающие движение АНПА по курсу, составленное на основе **Ошибка! Источник ссылки не найден.**:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  |  | (6) |

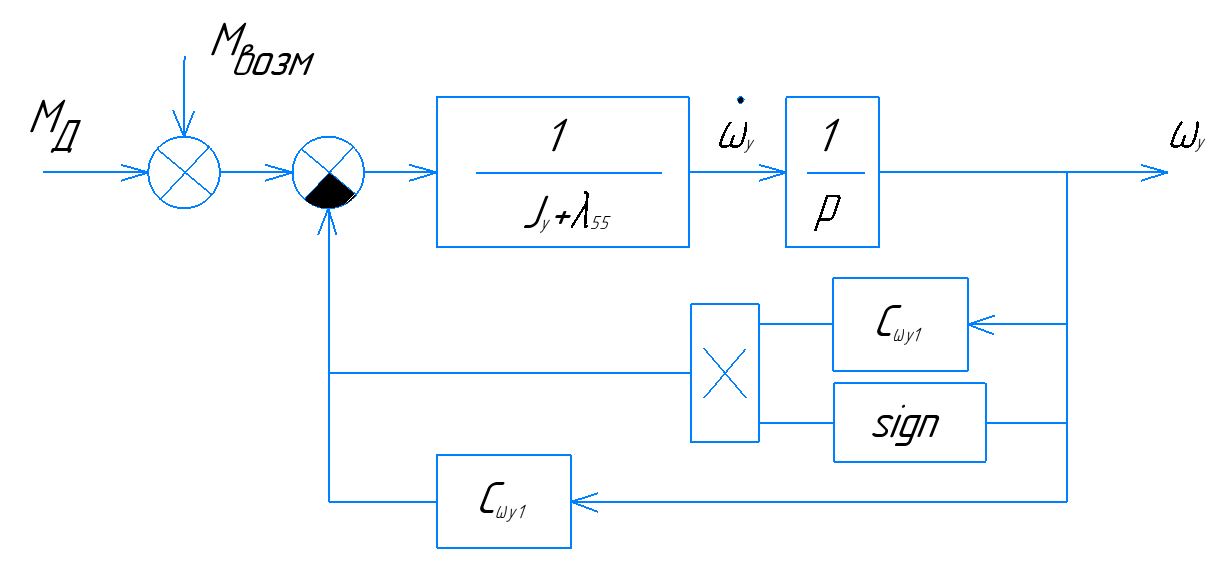
****

Рисунок 11 − Нелинейная структурная схема канала курса

Проведём линеаризацию разложением в ряд Тейлора с последующим отбрасыванием слагаемых со степенью два и выше в окрестности скорости  уравнения (6). В итоге получим:

 и



Структурная схема показана на рисунке Рисунок 12.

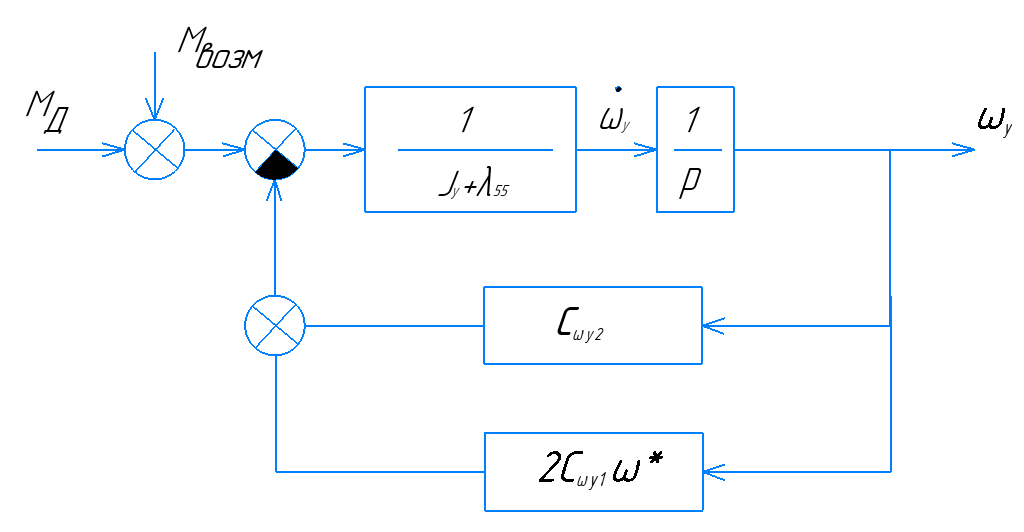


Рисунок 12 − Линеаризованная структурная схема курса

Получим передаточную функцию канала курса:



где

|  |  |
| --- | --- |
| − коэффициент усиления ПФ курсовой скорости; | (7) |
| − постоянная времени ПФ курсовой скорости; | (8) |

− передаточная функция АНПА канала скорости при повороте по курсу.

Тогда сама ПФ канала курса:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

# СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Официальный сайт производителя движителей [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://lianinno.com/underwater-thrusters/ (дата обращения: 26.10.2018, 12:00)
2. 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)
3. Короткин А.И. Присоединённые массы судна. Справочник. - Л: Судостроение, 1986. – 312с.
4. Егоров С.А., Гладкова О.И., Лекции по курсу «Управление роботами и робототехническими системами».