Общие координаты автономного подводного транспортного средства (AUV) определяются в геоцентрической системе координат по SNAME-нотации:

где определяет расположение при продольном, боковом и вертикальном перемещении, соответственно, а вектор определяет углы Эйлера: крен, тангаж и рыскание, соответственно.



Рисунок 1 – Схема подводного робота с углами Эйлера [2]

Вектор скоростей выражается в системе координат, связанной с телом. Скорости по объявленной выше нотации следует записывать как

При условии отсутствия гидродинамических эффектов, создаваемых водной средой, возможно записать выражение для динамики подводного аппарата в следующей форме

где – матрица инерции твердого тела,

– матрица присоединенных масс,

– матрица Кориолиса твердого тела ,

– матрица присоединенных масс Кориолиса,

– матрица диссипативных сил (сил рассеивания),

– вектор гравитационных сил и моментов,

– вектор (сил и моментов) управлений, приложенных телу,

– вектор (сил и моментов) внешних возмущений, приложенных телу

В реальных системах рассчитывается с учетом моделей движителей при помощи Thruster Allocation Matrix () как

,

где – вектор, описывающий нагрузку движителей ( – число движителей), а матрица связывает нагрузку движителей и вектор сил/моментов .

Уравнение кинематики, связующее (1) и (2), записывается в форме

где – матрица поворота, полученная из углов Эйлера,

– Якобиан, связующий угловые скорости мировой системы отсчета и системы тела.

Матрица поворота определяется следующему выражением

Принимая , возможно записать вектор состояния

Последнее уравнение может быть представлено в форме пространства состояний, зависящей от состояния (State-Dependent Coefficients (SDC форма))

,

, ,

, .

где – матрица динамики системы, – матрица управления, – вектор управляющих сигналов, включающий в себя вектор внешних возмущений .

Рассмотрим задачу построения фильтра для нелинейной динамической системы, получившего название обобщенного фильтра Калмана. Он позволяет оценивать состояние объекта управления, даже если размерность вектора состояния исследуемой системы превосходит количество измеряемых параметров. Для расчёта текущего состояния априорно известной динамической системы необходимо знать ее текущее измеренное состояние, а также состояние фильтра в момент предыдущего измерения. Задачей фильтра является минимизация суммы квадратов погрешностей оценки вектора состояния.

Запишем систему в SDC-форме с учетом белого шума системы и белого шума измерений :

,

Оценка вектора состояния для фильтра Калмана определяется как

,

где – это оценка ковариации состояния, – начальное значение оценки ковариации состояния, – это матрица усиления фильтра Калмана, и представляют собой матрицы штрафов уравнения Риккати.

Шумы и при этом должны удовлетворять условиям:

При рассмотрении дискретных случаев систем, модель должна быть представлена в дискретном виде:

где – вектор состояния динамической системы, – вектор управления, – вектор шума системы, – вектор измерений, – вектор шумов измерений. и – в общем случае нелинейные функции.

**Thruster allocation matrix definintion**

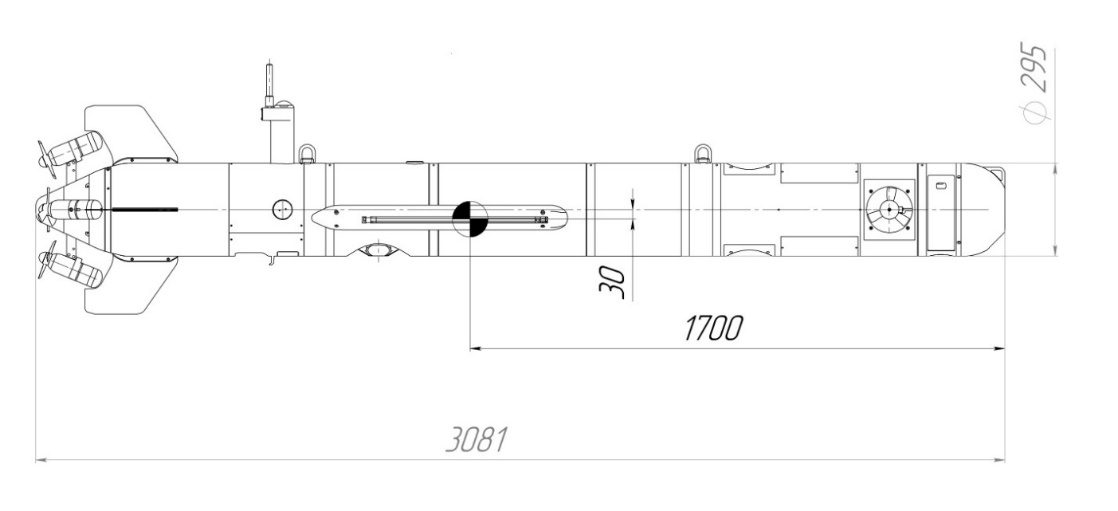
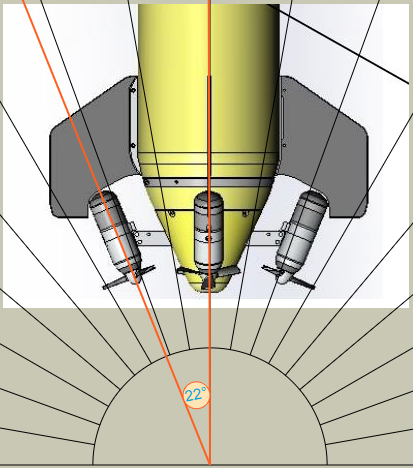
****

Table – Moment arms of 6 thruster of MMT-300

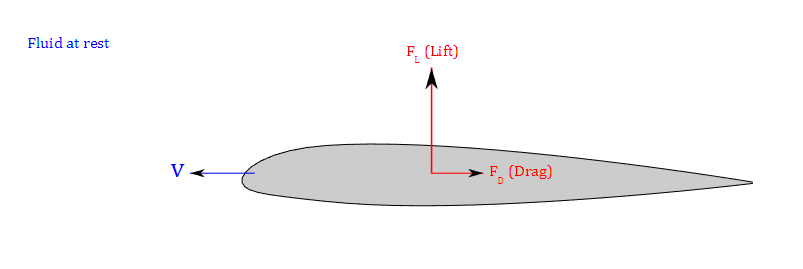
|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Thruster № | , (mm) | | |
| , (mm) | , (mm) | , (mm) |
| 1 | -1330 | 0 | 189 |
| 2 | -1330 | 159 | 30 |
| 3 | -1330 | 0 | -129 |
| 4 | -1330 | -159 | 30 |
| 5 | 1330 | 0 | 30 |
| 6 | 882 | 0 | 30 |



, , , ,

, .

Damping forces definition



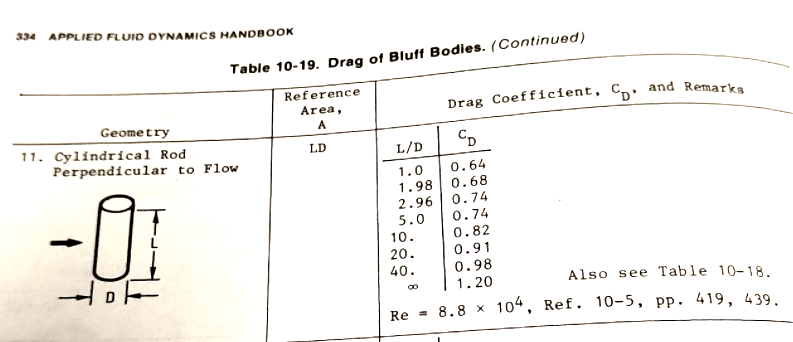
The drag/lift force is calculated using

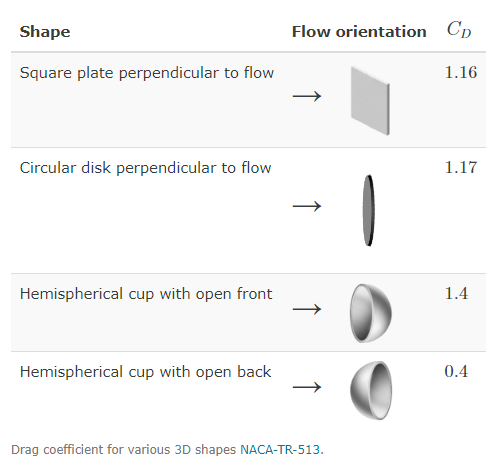
– is a dimensionless number known as the drag coefficient

– плотность жидкости,

– скорость тела в жидкости,

– площадь поверхности, относительно течения





Фронтальная площадь:

Боковая площадь:

*[https://kdusling.github.io/teaching/Applied-Fluids/Notes/DragAndLift]*