

РАЗРАБОТКА ПОДВОДНОГО РОБОТА «ODYSSEY»

Федоров Е. А., Булуев И. И.

Научный руководитель: д.т.н., профессор кафедры ИКСУ, Гончаров В.И.
Национальный исследовательский Томский политехнический университет
evgeni.f.94@gmail.com, buluev.ilia@gmail.com

Введение

Подводная робототехника является одной из новейших областей науки и техники. Развитие автоматических подводных аппаратов может избавить людей от риска, которому они подвергаются при работе под водой, а также помочь в изучении и освоении подводного мира. Первоначально подводные аппараты нашли применение в военной сфере, однако на сегодняшний день можно констатировать их использование для широкого круга научных, исследовательских и прикладных задач, связанных с освоением Мирового океана [1].

Целью нашего проекта является создание подводного робота, предназначенного для тестирования оборудования в реальных условиях эксплуатации – водной среде.

Концепция подводного робота

Основной целью при создании первого прототипа подводного робота является его точное позиционирование под водой. Однако, уже на создаваемом прототипе конструктив робота должен иметь возможность встраивания дополнительного оборудования. Данная функция необходима для тестирования последнего в реальных условиях. Помимо этого, на роботе должна быть размещена система видеонаблюдения для визуального контроля среды, в которой находится аппарат.

Для выполнения роботом поставленных задач выбрана конструкция каркаса в виде прямоугольного параллелепипеда – рамы (рисунок 1). Такая форма имеет ряд преимуществ, среди которых наиболее важным является малое сопротивление воды при движении робота.

Каркас робота изготовлен из профильных алюминиевых труб с прямоугольным сечением 50 х 40 мм. Для погружения на глубины до 15-20 м данный каркас имеет достаточный запас прочности. Положительная плавучесть данного корпуса обеспечивается тем, что алюминиевые трубы полые (толщина стенок этих труб составляет 1,5мм) и заварены по торцам. Во внутренней части каркаса робота крепятся четыре двигателя, отвечающие за погружение и стабилизацию робота. На внешней части каркаса устанавливаются маршевые двигатели, которые будут отвечать за движение робота вперёд/назад и повороты влево/вправо. Система управления роботом располагается внутри рамной конструкции на равноудалённом расстоянии от всех двигателей, используемых для погружения.

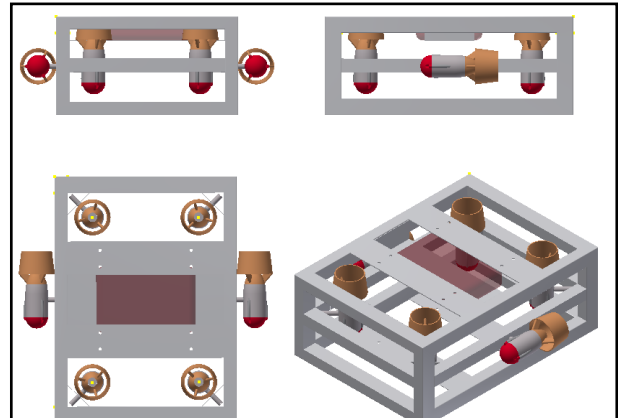


Рис. 1. Конструкция подводного робота «Odyssey»

Разработка и моделирование системы управления

Общая структура математической модели системы управления глубиной погружения робота представлена на рисунке 2.

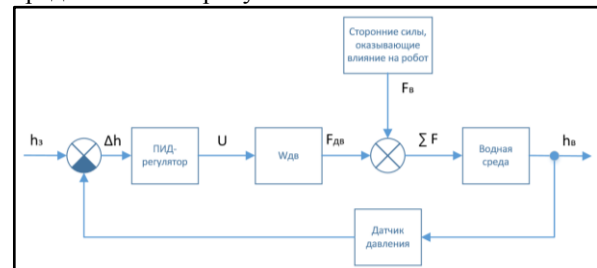


Рис. 2. Общая структура математической модели системы управления глубиной погружения робота

Рассмотрим составляющие математической модели: h_z – входной сигнал, представляющий собой глубину погружения робота (задаётся и измеряется в метрах); h_v – выходной сигнал, представляющий действительное (реальное) значение глубины в текущий момент времени. Погружение робота осуществляется с помощью четырех движителей, расположенных вертикально в одной плоскости (в математической модели это блок W_{DB}). В обратной связи модели представлен датчик глубины (sensor), при помощи которого будет осуществляться регулирование значения глубины погружения робота.

Рассмотрим каждый блок операторно-структурной схемы подробнее. Как видно из рисунка 2, ПИД-регулятор формирует управляющий сигнал, поступающий на движители, которые, в свою очередь, производят погружение робота. Применительно к проектируемой модели робота, рассматривая

разницу между заданной глубиной погружения и её значением в текущий момент времени, умножая ее на некоторый коэффициент и подавая полученный сигнал на движители, на выходе имеем силу (тягу), которую необходимо обеспечить. В реальных условиях эффект от воздействия проявляется с запаздыванием, а на объект управления воздействует не только оператор, но еще и окружающая среда: сила притяжения земли, сила Архимеда, сила сопротивления воды [2].

Рассчитаем остальные силы, действующие на робота. Вязкое трение воды (на математической модели $F_{тр}$, см. рисунок 3) напрямую зависит от скорости движения робота. При небольших скоростях, которые не вызывают турбулентных течений воды, сила сопротивления имеет линейную зависимость от скорости робота.

Сложив вектора сил, получим равнодействующую всех сил в текущий момент времени. Воспользовавшись 3-м законом Ньютона, найдем скорость движения робота:

$$F(t) = ma(t);$$

$$F(t) = m \frac{dv(t)}{dt};$$

$$dv(t) = \frac{1}{m} \cdot F(t) \cdot dt;$$

$$v(t) = \frac{1}{m} \int_0^t F(t) \cdot dt.$$

Зная скорость, найдём перемещение:

$$v(t) = \frac{ds(t)}{dt};$$

$$s(t) = \int_0^t v(t) \cdot dt.$$

Таким образом, получаем глубину, на которую погрузится/всплывёт робот за определенный промежуток времени.

Рассмотрим подробно рисунок 3.

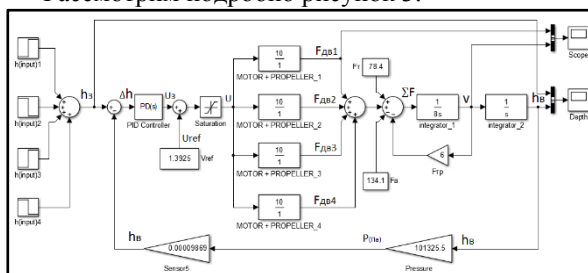


Рис. 3. Математическая модель системы управления глубиной погружения робота

В схеме имеется четыре блока $h(\text{input})$, при помощи которых задаётся глубина погружения робота. В момент времени $t_1=1$ с задаем глубину погружения 6 м, при $t_2=6$ с глубину 3 м, при $t_3=17$ с глубину 10 м, при $t_4=22$ с глубину 1 м. В итоге на выходе с первого сумматора имеем сигнал, задающий глубину погружения робота в определённые моменты времени.

Блок PID Controller представляет собой ПИД-регулятор, настройка которого производится

после составления модели управления глубиной погружения робота.

Блок V_{ref} задает начальное значение тяги движителям, чтобы придать роботу нейтральную плавучесть. Его значение получено путем векторной суммы сил внешней среды, действующих на робота в воде и представлено в виде постоянного значения (в вольтах) управляющего сигнала для движителей. Таким образом, управляющий сигнал на движителях формируется путем суммы сигнала блоков V_{ref} и PID Controller. Передаточная функция движителя и винта представлена коэффициентом, равным 10. Далее, суммарная тяга со всех движителей $\sum F_{ДВ}$ складывается с внешними силами, действующими на робота: F_T – сила тяжести, F_A – сила Архимеда, $F_{ТР}$ – сила трения/сопротивления воды. На выходе имеем вектор результирующей силы. Проинтегрировав его, получим скорость, значение которой поступает через обратную связь на сумматор. Проинтегрировав еще раз, получим перемещение – глубину – выходной сигнал (реальное значение глубины, на которой находится робот в текущий момент времени). Выходное значение глубины фиксируется, пересчитывается в давление, значение которого поступает на датчик глубины (блок Sensor), и через обратную связь поступает на сумматор, на выходе которого формируется ошибка – отклонение выходного сигнала от заданного значения. На схеме представлено два блока Gain, потому что датчик фиксирует значение давления и, затем, программно переводит его в глубину (10 м = 101325,5 Па). Коэффициенты ПИД-регулятора получены с помощью встроенной функции автоматической настройки в MATLAB Simulink.

Заключение

Конечным результатом проекта предполагается создание прототипа телеуправляемого подводного робота «Odyssey», при помощи которого будет проводиться тестирование специализированного оборудования, эксплуатируемого в водной среде и создаваемого в лаборатории «Телекоммуникации, приборостроения и морской геологии» Института кибернетики Томского политехнического университета.

Список использованных источников

1. И.В. Кожемякин Разработка автономных необитаемых подводных глайдеров / И.В. Кожемякин, К.В. Рождественский, В.А. Рыжов, А.В. Смольников, Известия ЮФУ. Технические науки. Раздел 1. Робототехника, 2013 – с. 31-39.
2. ПИД-регулятор [Электронный ресурс] URL: <http://habrahabr.ru/post/145991/>, свободный. – Загл. с экрана. – Язык русс. Дата обращения: 02.04.2016 г.