

СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЛНЕНИЯ ДЛЯ ПОДВОДНЫХ АППАРАТОВ

Тимофеев В.Ю.

Томский политехнический университет

Научный руководитель: Юрченко А.В., д.т.н., профессор кафедры физических методов и приборов контроля качества

В настоящее время одним из перспективных направлений развития приборостроения в России является создание и модернизация роботизированных комплексов для морских работ и исследований. Освоение подводного пространства и морского дна является важной задачей в современном мире, в результате изучения которой открываются новые технологии, а также методы решения различных задач.

Автономные обитаемые подводные аппараты (АНПА) находят всё более широкое применение для выполнения длительных океанологических исследований или иных подводных технологических операций. При осуществлении таких работ крайне актуальна надёжность функционирования робота и его способность в максимальной степени выполнить предусмотренные задачи [1].

Одним из негативных факторов, влияющих на надёжность и работоспособность, является волнение на поверхности воды, вызванное ветром или другими факторами. Сильное волнение может повредить АНПА, если тот всплыл на поверхность по каким-то причинам. Для того, чтобы это предотвратить необходим специальный прибор, связанный с системой управления, определяющий уровень волнения, и находящийся непосредственно на подводном аппарате.

Для такой цели используются лазерные, эхо- и радиоприборы. Их основной принцип действия заключается в посылке сигнала и приеме отраженного с последующей обработкой и преобразованиями данных. Эти методы являются самыми распространенными для регистрации волнения, но существуют также и альтернативные. Используя микро электромеханический (МЭМС) датчик акселерометр можно также регистрировать уровень волнения, но без посылки сигналов во внешнюю среду.

Принцип действия данного прибора основан на теории, предложенной английским математиком Джорджем Бидделем Эйри о линейном распространении волн по поверхности однородных жидких сред [2]. Данная теория применяется в морской инженерии для аппроксимации характеристик волн.

При волновом движении частицы в воде совершают круговое движение. (рисунок 1)

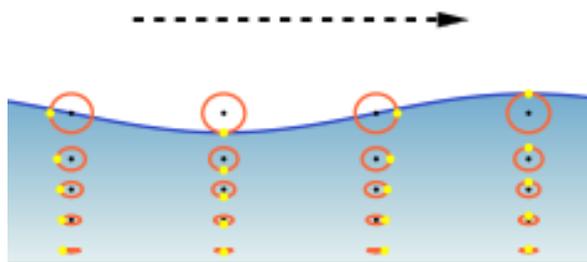


Рисунок 1 – Круговое движение частиц в волне. Стрелка показывает направление волны.

Такое движение имеет горизонтальную и вертикальную составляющую, которая уменьшается с увеличением глубины. Существует зависимость амплитуды вертикального движения частиц от глубины погружения, описываемая уравнением (1).

$$\xi(x, t) = A \cdot e^{k \cdot (-z)} \cdot \cos(\theta(x, t)) \quad (1)$$

где $\xi(x, t)$ - амплитуда вертикального движения (м), A - амплитуда волны на поверхности (м), $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ - волновое число, где λ - длина волны (м), z - глубина (м), $\theta(x, t) = 2\pi \cdot \left(\frac{x}{\lambda} - \frac{t}{T}\right)$ - фаза волны, с координатой начала движения x , временем t (с), периодом волны T (с).

Для нахождения максимальной амплитуды примем $\cos(\theta(x, t)) = 1$. МЭМС акселерометр измеряет величину ускорения, которое связано с амплитудой следующим выражением (уравнение 2) при гармонических колебаниях.

$$a = A \cdot \omega^2 \quad (2)$$

где a - ускорение (м/с^2), A - амплитуда колебаний (м), $\omega = \frac{2\pi}{T}$ - циклическая частота (рад/с).

Таким образом, существует практическая возможность оценить уровень волнения моря устройством, находящемся на некоторой глубине, измерительным преобразователем которого является МЭМС акселерометр.

Для проверки пригодности использования датчика такого рода для данной задачи провели следующий эксперимент. В емкость с водой, в которой формировали волнение, помещали на различную глубину акселерометр и снимали показания. Использовался датчик Colibrys MS9002.D с основными характеристиками [3]:

- Аналоговый интерфейс;
- Диапазон измерений $\pm 2g$;

- Чувствительность 1000 мВ/g;
- Напряжение питания 2.5 В – 5 В;

Датчик поместили в небольшую герметичную емкость с грузом, для придания нейтральной плавучести (конструкция на рисунке 2). Использовали эмалированный намоточный провод диаметра 0,1 мм, для уменьшения влияния провода на движение емкости в воде.

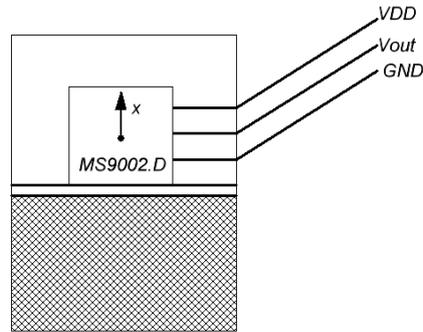


Рисунок 2 – схема крепления датчика для эксперимента

Получили следующие данные на рисунках 3 и 4 (снимки экрана осциллографа).

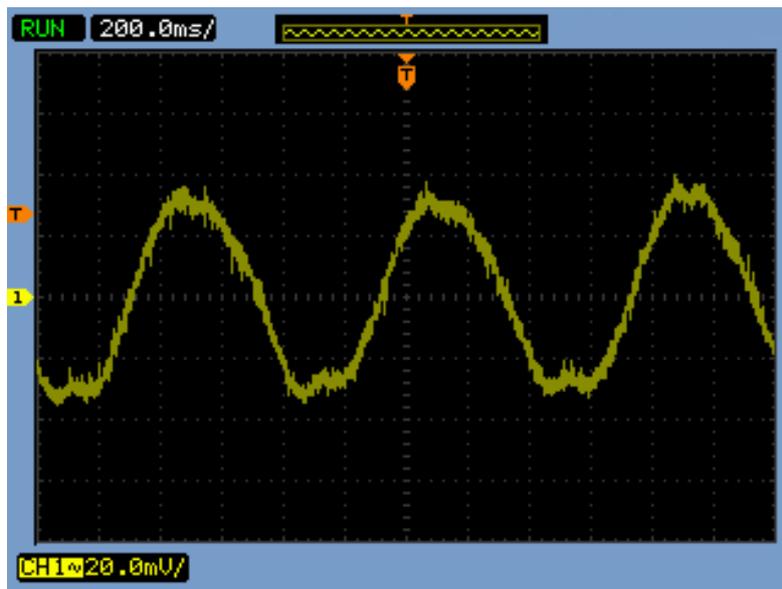


Рисунок 3 - Датчик на глубине 10 см

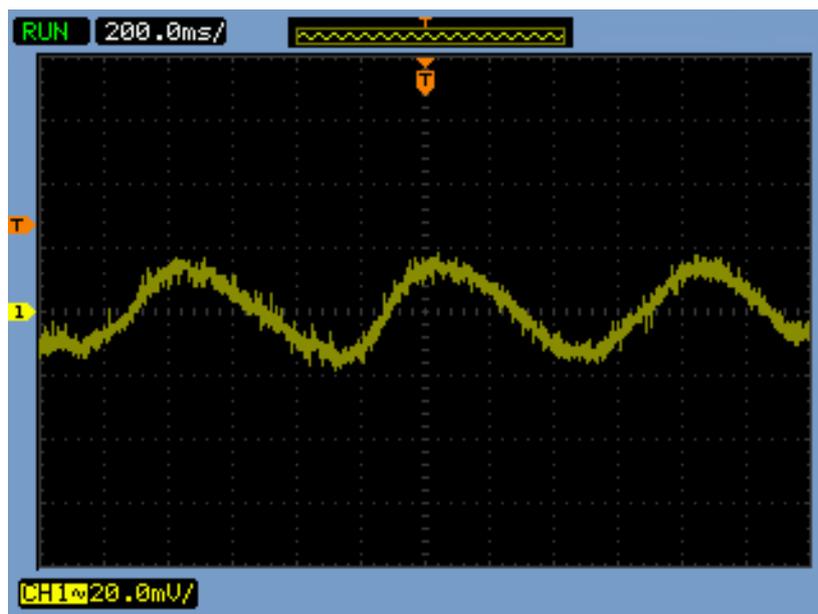


Рисунок 4 – Датчик на глубине 15 см

Результаты эксперимента подтверждают практическую возможность регистрации вертикальной составляющей волнового движения на глубине. Чувствительность датчика играет ключевую роль в этой задаче. Чем чувствительней датчик, тем больше глубина детектирования, и тем меньший уровень волнения поддается обработке. Данное исследование может являться прецедентом для создания макета прибора и дальнейших исследований в этом направлении.

Список информационных источников

1. Автономные подводные роботы: Системы и технологии / М.Д. Агеев, Л.В. Киселев, Ю.В. Матвиенко [и др.]. М.: Наука, 2005. 398 с.
2. Airy wave theory [Электронный ресурс]. – URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Airy_wave_theory - Загл. с экрана – Яз. англ. - Дата обращения: 29.04.2016.
3. MS9000 – datasheet. [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.colibrys.com/wp-content/uploads/2015/03/30S-MS9000.M.03.15-nod1.pdf> - Загл. с экрана – Яз. англ. - Дата обращения: 29.04.2016.