

## **ROBOR1kE – сегментированный робот с оптическим анализатором - прототип для манипулятора и автономного подводного робота**

### **Введение.**

### **Актуальность темы.**

Во многих технических приложениях требуется т.н. «мягкий робот» - полностью (или как можно более) гибкий манипулятор для передвижения и работы в ограниченном пространстве, как в природе (гроты, подводные пещеры), так и в технике – например, для анализа камер сгорания и турбин двигателей (1). Существует несколько подходов к конструированию мягких роботов- это либо полностью мягкий робот из бионических суставов, либо механический с жесткими связями, «мягкость» которого достигается большим количеством позвонков. Существующие модели с шарнирами и тросовыми актуаторами имеют серьезный недостаток – неустойчивость к кручению, что делает их непригодными к выполнению достаточно тяжелых механических перемещений, также в шарнирно – тросовых механизмах затруднена обратная связь по положению рабочего инструмента манипулятора. Некоторые решения со специальной конфигурацией позвонков частично решают проблему кручения, но проблема с неоднозначностью конфигурации робота остается. Мы разработали и создали прототип сегментарного робота с сервомашинами на каждом сегменте, с одной степенью свободы. Сервомшины уже имеют обратную связь по углу в своем составе, каждая сервомашинa управляется всего лишь по одному проводу (при общем для всех сервомашин питания – два провода), не требует концевых датчиков для запоминания положения при сбросе питания. В настоящее время у нас только одна плоскость передвижения, но мы в

дальнейшем планируем добавить еще одно измерение, добавив вертикальное перемещение на последнем (инструментальном) позвонке робота.

Для анализа веществ широко применяются оптические методы, как лабораторно, так и In Vivo. Спектр оптических исследований чрезвычайно широк, но как правило все эти методы технически состоят в облучении исследуемого вещества и анализе принимаемого (отраженного, пропущенного через вещество, переизлученного веществом) света. При этом с развитием технологии стало возможным создавать узкоспециальные датчики, например, для пропускания и отражения с одновременной регистрацией на нескольких длинах волн – многоканальные оптические сенсоры. Вот такой сенсор мы и предлагаем применить в качестве рабочего инструмента для анализа веществ, как в лаборатории (когда робот работает как манипулятор), так и In Vivo – при анализе в природных водоемах и содержащих жидкости (например, нефть или другие технические жидкости) объемах.

## **Цель проектной работы**

Мы сконструируем и построим прототип сегментарного робота, который можно будет использовать и как манипулятор, и как основу для глубоководного робота. Мы изучим существующие оптические датчики, которые можно использовать как для исследования отражения, так и для исследования пропускания, и сделаем анализатор отраженного и прошедшего сигнала. В качестве микроконтроллера мы используем плату Arduino Nano с Atmega328-16 на борту, а в качестве движителей робота – сервомашины форм- фактора MiniServo 9g.

## **Задачи проекта**

1. Провести анализ существующих решений по «мягким» и сегментарным роботам

2. Выбрать тип робота, реализация прототипа которого нам по силам и который можно будет использовать как модельный робот в дальнейших прикладных исследованиях
3. Провести анализ существующих решений дистанционного ( в том числе в ближнем поле) анализа веществ, в основном оптическими методами
4. Выбрать методику и приборы для оптического (либо другого типа, желательно неразрушающего и дистанционного) анализа веществ для реализации в нашем прототипе робота
5. Разработать механотронику робота, делая основной упор на использование готовых (из эконисши Lego и Arduino) деталей, а также деталей, разработанных ранее в нашем кружке Роботехники и НТИ.
6. Выбрать контроллер для управления роботом, желательно из среды Arduino или ESP с бесплатной средой разработки и свободно распространяемым программным обеспечением.
7. Провести лабораторные испытания нашего робота как по механическим параметрам (скорость, угловая скорость, точность), так и по параметрам оптического распознавания.
8. Провести поиск по методикам оптического анализа веществ и предложить, а по возможности и реализовать максимально информативные методики в нашем роботе
9. Разработать и сконструировать захват для нашего робота, чтобы можно было использовать и как непосредственно манипулятор вместе с анализатором, например, в задачах сбора железомарганцевых конкреций в океане или вредного мусора в нашей родной реке Яуза.

## **Разработки и рынок «гибких» и сегментированных роботов в настоящее время**

Мягкие и сегментированные роботы приобретают все большее значение в различных отраслях промышленности, при этом некоторые несовершенства этих типов роботов мешают широкому внедрению. Тем не менее рост объема рынка мягких роботов составляет (с 2019 года) более 37% в год, научно-исследовательскими работами заняты компании Empire Robotics, Inc., USA, Ekso Bionics Holdings Inc., USA, Soft Robotics, Inc., USA, а в производстве и развитии мягких роботов заняты Inc., Japan, FANUC Corporation, Japan, Franka Emika GmbH, Germany, GLI Technology Ltd., China, and F & P Personal Robotics, Switzerland (2). А сегментированные роботы – шаг (возможно, и самодостаточный) в развитии мягких роботов. И оптические неразрушающие методы отлично работают вместе с манипуляторами и мобильными «мягкими» и сегментированными роботами.

### **Методы работы**

Для разработки деталей робота мы используем 3Д-печать, разработка моделей- программа TinkerCad Autodesk, слайсер- Cura (или клон Cura Creality), разработка программного кода – интегрированная среда Arduino IDE, контроллеры- платы Arduino Nano на основе чипа Atmega328-16, передача данных – Blue Tooth HC-06 или WiFi Esp. В механотронике мы использовали детали Lego, сервомашины MG92S, для оптического анализа мы использовали плату 9-канального оптического анализатора на основе чипа AS7341 (3).

## Конструирование робота

### Механотроника

В конструкции нашего прототипа (далее – просто робота) мы использовали детали Lego из комплекта 51515 и разработанные ранее нашими коллегами (в проекте Seraphimus – экзоруки в количестве 6 штук) детали стыковки шестерен Lego с сервомашинами MG92S (Рис. 1). Для скрепления сегментов мы разработали в программе TinkerCad Autodesk совместимые с пинами Lego детали и распечатали на 3D принтере (Рис. 2). Для жёсткости конструкции (в основном против перекоса) мы ввели еще верхнюю и нижнюю фермы. Углы поворота сервомашин  $\pm 90^\circ$  с учетом редуктора дают угол поворота сегментов более  $100^\circ$ , а головы (первого сегмента) более  $45^\circ$ .

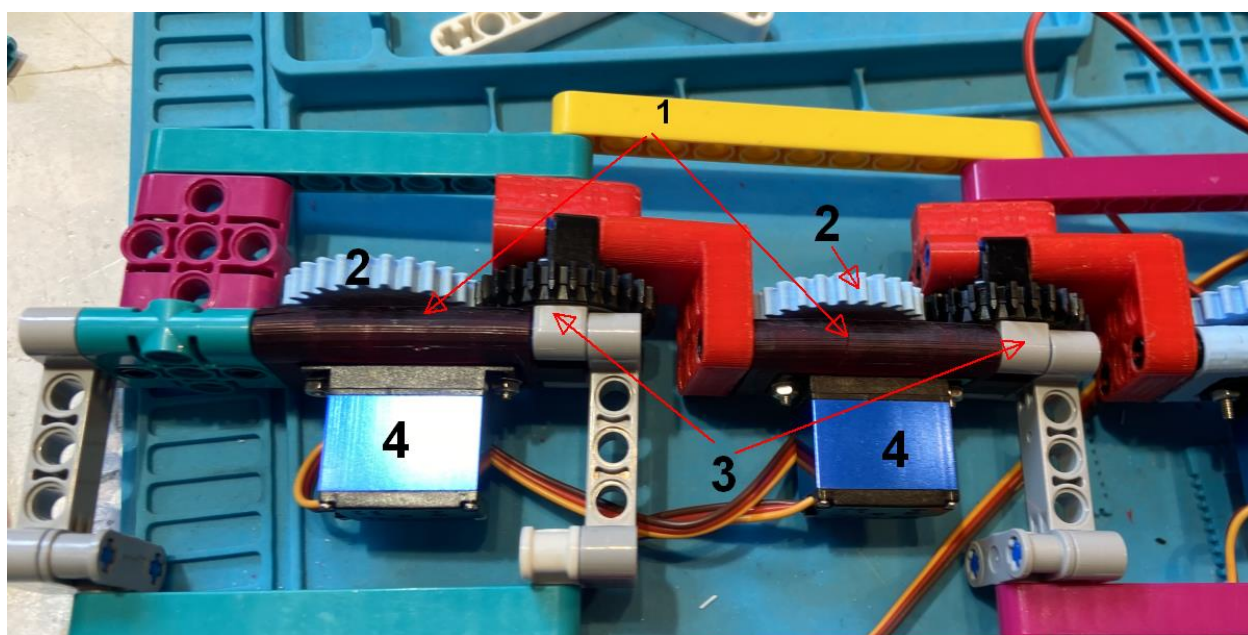


Рис. 1. Крепление сервомашин с деталями Lego. 1- отпечатанные на фотополимерном принтере крепления сервомашин 4, 2- отпечатанные на FDM принтере шестерни, 3 – детали Lego 99009/99010.

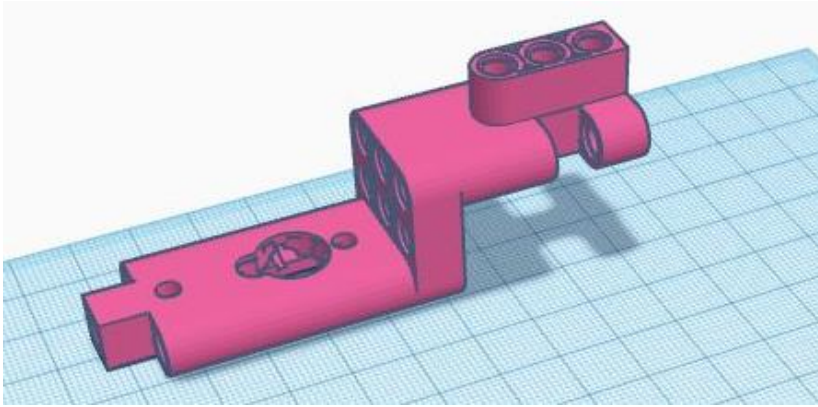


Рис. 2. Распечатанные на 3D принтере крепления сервомашин

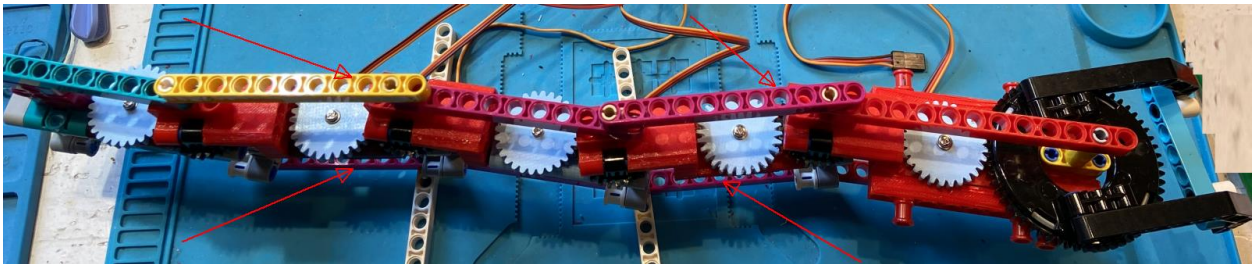


Рис. 3. Фермы из деталей Lego для придания устойчивости роботу. И сам робот в варианте 5 степеней свободы.

Такое крепление показало себя достаточно устойчивым, в том числе и при быстром (до 180 °/с) вращении сервомашин. Некоторые детали, сделанные для робота Seraphimus, пришлось переделать – так, например, детали из фотополимерного пластика (инженерного!) покоробились и стали хрупкими, так что мы их перепечатали из PLA (красные детали на рис. 3).

Угловой момент использованных сервомашин MG92B составляет до 3.5 кГ\*см при скорости (холостого хода) до 900 °/с, чего для нашего робота достаточно.

## Оптический модуль робота

В рамках школьного проекта мы, конечно, ограничены в выборе оптического модуля, так что мы особо тщательно выбирали наиболее информативный модуль из доступных по цене и остановились на модуле с широкополосным источником света и 16 фотоприемниками интерференционными фильтрами на разные длины волн – AS7341. Примерная диаграмма чувствительности сенсора показана на рис. 4. Для

решения более специальных задач (например, для определения состава нефти или бензина) мы должны будем использовать другие датчики, с зоной чувствительности в инфракрасной области.

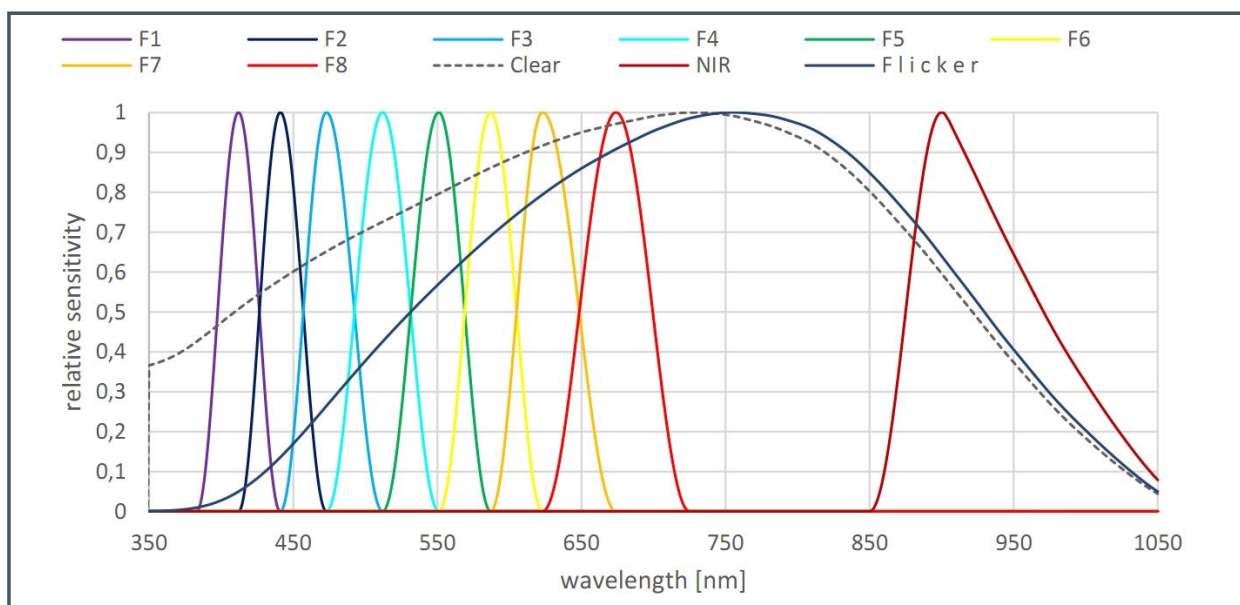


Рис. 4. Спектр чувствительности оптического сенсора AS7341.

Для задач оптического анализа с дискретными точками (не непрерывный спектр) всегда есть выбор – брать ряд (возможно, матрицу) светодиодов или полупроводниковых лазеров с рядом дискретных частот (как сделано в ряде промышленных приборов оптического анализа жидкостей и газов), либо брать чувствительные элементы с узкой полосой чувствительности, например, с помощью интерференционного фильтра. Мы попробовали оба метода, но метод с дискретным набором светодиодов показался нам не лучшим решением- у широко доступных светодиодов спектр, как правило, очень широк (Рис. 5), а лазеры на определенные полосы спектра труднодоступны, а также трудно конструировать оптическую схему с большим количеством дискретных источников излучения. Также технологически проще сделать матрицу фотодиодов с напыленными интерференционными фильтрами (из того же самого материала, только разной толщины) чем матрицу светодиодов или полупроводниковых лазеров, да в общем в одном технологическом цикле сделать в одном

технологическом цикле чип с источниками красного и синего цвета невозможно.

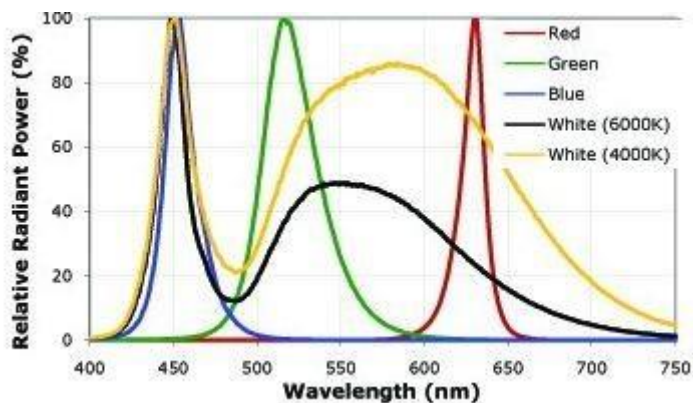


Рис. 5. Спектры излучения различных светодиодов

## Электронная схема робота

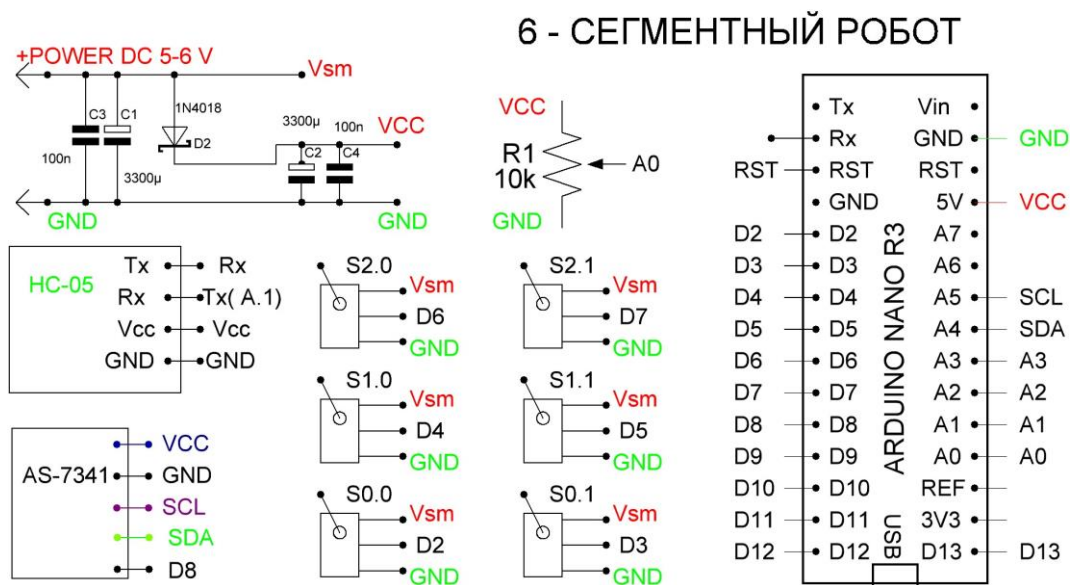


Рис. 6. Принципиальная схема робота.

Принципиальная схема робота приведена на рис. 6. В качестве контроллера мы использовали плату Arduino Nano с микроконтроллером Atmega328-16 (Память 32 килобайта, частота 16 МГц), в дальнейшем хотим перейти на плату Arduino Mini – она значительно меньше, так как не содержит USB-чипа и обвязки, а в перспективе нам связь с USB и не будет нужна- связь будет по Blue Tooth (модуль HC-05 на схеме) или через клон WiFi EspNow. Сейчас питание идет непосредственно от 5- Вольтового Power Bank, но мы в



дальнейшем реализуем питание от LiIon аккумуляторов через DCDC преобразователь, что частично и показано на схеме. Потенциометр R1 служит для выбора параметров робота – амплитуды колебаний. 6 сервомашин MG – 92 В с моментом 3 кГ\*см и скоростью до 900 ° / с. Для разделения линий питания микроконтроллера и сервомашин служит диод Шоттки D2 – он пропускает ток когда робот запитан от внешнего питания, но не пускает ток от внутреннего стабилизатора платы Arduino когда плата запитана от USB, чтобы не привести к выходу из строя внутреннего стабилизатора платы. Для связи с компьютером или монитором (например, на смартфоне) служит Blue Tooth модуль HC- 05 (пока робот на стадии разработки не установлен). В качестве оптического датчика использована плата на чипе AS-7341, в котором 16 фотодиодов (матрица 4x4) с интерференционными светофильтрами, выход – 8 каналов в оптическом диапазоне, инфракрасный, общий и общий очищенный от колебания 50 Гц выходы. Мы используем 8 каналов в видимом диапазоне.

### **Механика робота - сегменты**

Сконструированное в TinkerCad крепление сервомашин и шестеренка, совместимая с шестеренками Lego позволяет реализовать разные коэффициенты редукции с разными шестеренками Lego. На Рис. 7 показаны разные сектора с шестернями разного диаметра. Крепление пинами дополнено креплениями фермами выше и ниже сервомашин, так что достаточно (в нашем примере 6 сегментов) большие сегментарные роботы держат (более- менее) горизонт, что конечно обязательно для работы в качестве манипулятора (например, в вытяжных шкафах вместо резиновых «рук», рис. 8).

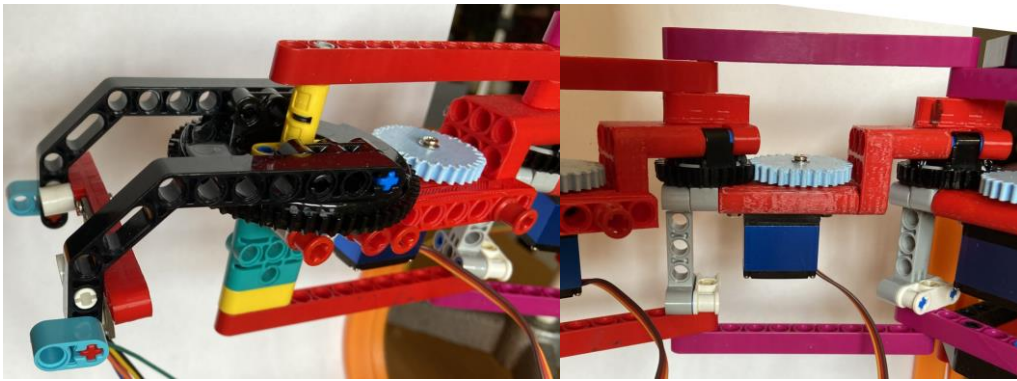


Рис. 7. Сегменты робота с различными шестеренками Lego.



Рис. 8. Манипулятор – «Перчатки»

## **Программное обеспечение**

Программы мы пишем в интегрированной среде Arduino IDE. Для работы с сервомашинами мы используем «родную» библиотеку программы Arduino, для работы с оптическим сенсором мы используем библиотеку Waveshare\_AS7341.

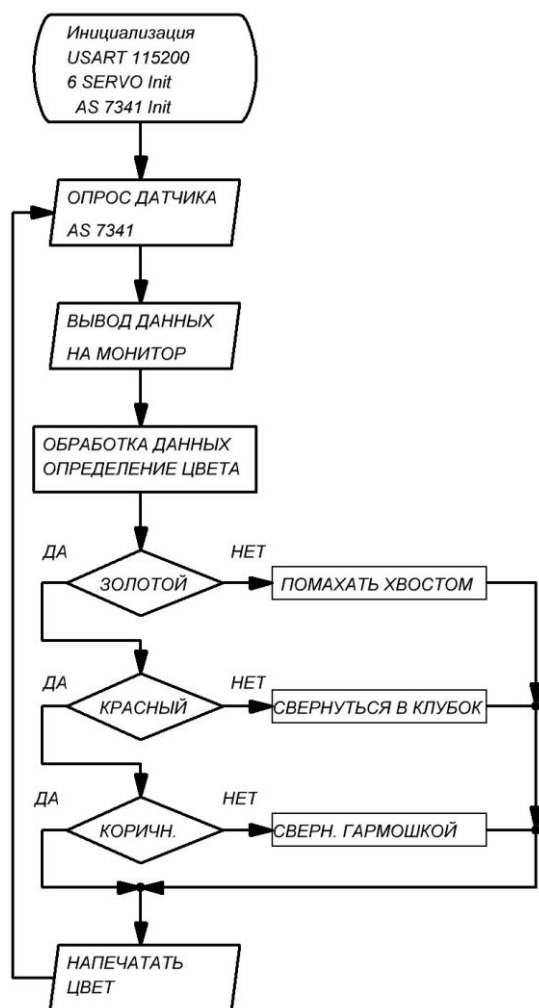


Рис. 9. Блок- схема работы программы.

В обработке данных есть сложный участок- определение цвета. Простое определение по методу суммы квадратов не работает, и мы использовали написанную в проекте наших старших коллег по хобби функцию определения цвета определителя для людей с проблемами по зрению, использующий сложные математические алгоритмы (вычисление коэффициента Пирсона).

## Возможные области применения работа

### *Исследование воды природных водоемов*

Мы провели изучение приборов определения состава и качества воды. Кроме приборов оптического анализа с непрерывным спектром, существуют и приборы с анализом на дискретных (до 16 и более) длинах волн света. Так

прибор спектрального анализа (фотоколориметр) «Экотест» (4) измеряет пропускание и поглощение на дискретных (от 1 до 4, выбор из 10 длин волн - 400, 430, 470, 502, 525, 565, 595, 620, 660, 850 нм) полосах спектра (шириной до 20 нм). Таким образом, мы можем использовать сенсор AS7341 как непосредственно во время движения робота (например, для измерения содержания хлорофилл содержащих водорослей на длинах волн поглощения 0,45 и 0,65 мкм), так и с использованием специальных тест – индикаторов.

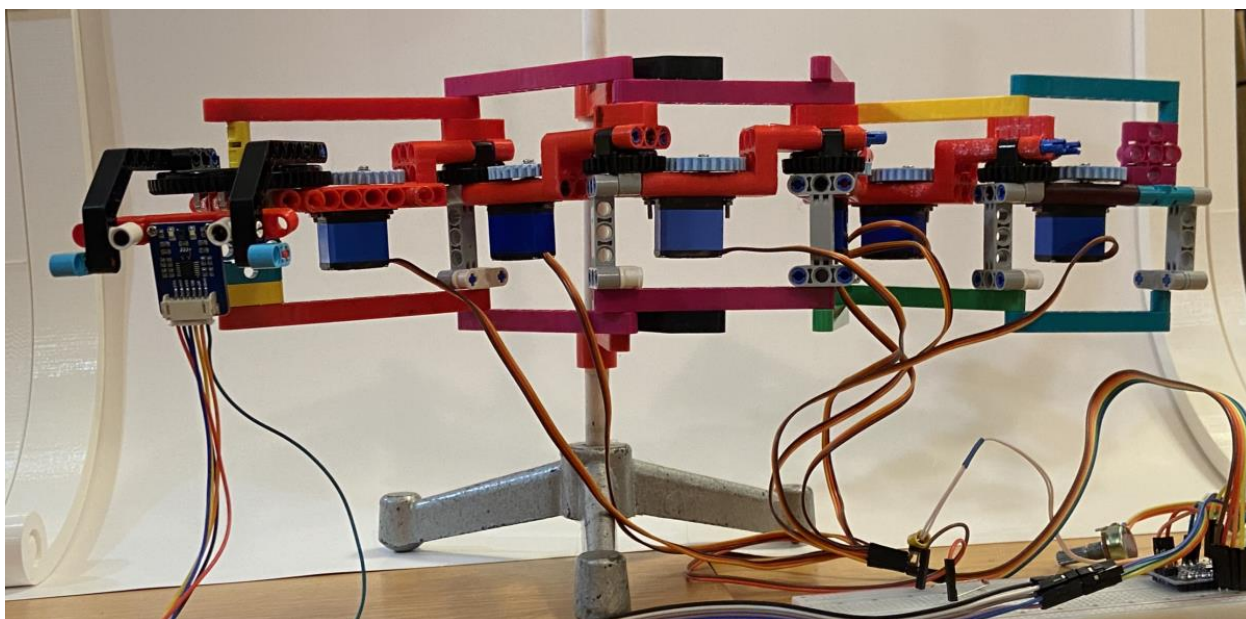


Рис. 10. Промышленные дискретные фотоколориметры Экотест (4) и Эксперт (5).

Исследование состава нефти и нефтесодержащих жидкостей в настоящее время проводится методом хроматографии, но этот метод не оперативен и пожароопасен, так что on-line анализ практически невозможен. С развитием технологии микроэлектроники появляется возможность оперативного анализа, в частности, мы можем анализировать состав, в том числе и содержание влаги, анализом пропускания на полосах поглощения воды в инфракрасной области. Состав нефти и нефтесодержащих жидкостей можно проанализировать методом нарушения полного внутреннего отражения, который тоже можно исследовать с помощью многоканальных сенсоров, аналогичных примененному нами в работе (6).

## Полученные результаты

В настоящий момент (на 29 апреля 2024 г.) мы реализовали сам механизм с минимумом электроники и получили следующие результаты:



1. Реализован механизм с 6 сервомашинами, с коэффициентами передачи 28/56 и 28/28, что соответствует поворотам сегментов на  $45^\circ$  и  $90^\circ$  в каждом направлении (по и против часовой стрелки)
2. Подключен датчик цвета AS7341 с 8 каналами в видимом диапазоне спектра
3. Написан код движения робота с распознаванием цветов, выводом данных на монитор (компьютер, смартфон) и разными реакциями на различные цвета
4. Предложены варианты использования робота как манипулятора и автономного подводного робота для исследование природных водоемов и резервуаров с нефтепродуктами и другими жидкостями.

## Использованная литература

1. **Basheer, Al Arsh.** Role of Soft Robots in the Industries. *Online Journal of.* 2022 г., Т. 1, 4.
2. *News provided by Reportlinker, Apr 09, 2020.*

3. AS7341 - 11 - Channel Spectra Color Sensor. [В Интернете]  
<https://ams.com/as7341>.

4. Производство лабораторного оборудования и приборов серии «Экотест». [В Интернете] <https://econix.com>.

5. ФОТОМЕТР Эксперт - 003. [В Интернете]  
<https://www.эксперт-фотометр.рф>.

6. *Оптоэлектронные методы измерения и контроля технологических параметров нефти и нефтепродуктов.*

**Н.Р.Рахимов, В.А. Жмудь, В.А.Трушин, И.Л. Рева, И.А.**

**Сатволдиев.** 12, 2015 г., АВТОМ АТИК А И ПРОГРАММ НАЯ  
ИНЖЕНЕРИЯ, Т. 2.