

$$x(t) = \int_0^t K(a(t-z))\xi_\lambda(z)dz + a^k \int_0^t K(a(t-z))S_z dz + S_t \quad (20)$$

Итак, получено решение (20) уравнения осциллятора (1) в виде линейного неоднородного оператора. Если задаться нулевыми начальными условиями, то решение будет иметь вид линейного од-

нородного оператора  $x(t) = \int_0^t K(a(t-z))\xi_\lambda(z)dz$ .

---

1. Турбин, А.Ф., Труфанов, В.А. Свойства  $R$ -гармонических случайных процессов // Дальневосточный математический сборник. – Владивосток: Дальнаука ДВО РАН, 1997. – Вып. 4. – С. 34-38.

2. Фихтенгольц, Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. – М.: Наука, 1970. – Т. III. – 656 с.

3. Бейтмен, Г. Высшие трансцендентные функции / Г. Бейтмен, А. Эрдейи. – М.: Наука, 1967. – Т. 3. – 300 с.

УДК 542

**А.В. Бушманов, Д.Г. Горюнов**

#### **РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЛАБОРАТОРИИ ДЛЯ СМЕШИВАНИЯ ЯДОХИМИКАТОВ**

*В настоящее время область разработки автоматизированных лабораторий мало освещена. В работе рассматривается разработка прототипа роботизированной лаборатории для смешивания ядохимикатов, алгоритмы передвижения, предназначенного для перемещения роботизированного манипулятора. Написан и оттестирован программный код для решения поставленных задач.*

*Ключевые слова: микроконтроллер, манипулятор, лаборатория, программное обеспечение.*

#### **DEVELOPMENT OF AN AUTOMATED LABORATORY FOR MIXING POISONOUS CHEMICALS**

*At present the area of development of automated laboratories is practically unexplored. In this paper we consider the development of a prototype of a robotic laboratory for mixing poisonous chemicals, movement algorithms designed to manipulate the robotic arm. A program code for solving these tasks has been developed and tested.*

*Key words: microcontroller, robotic arm, virtual realization, software.*

#### **Введение**

В настоящее время большую часть повторяющихся работ выполняют различные роботы-манипуляторы. Так, для смешивания химических соединений используют специализированных роботов, предназначенных для переливания определенного количества жидкостей в различные емкости. Главной

проблемой подобных устройств является то, что они не способны работать с летучими ядохимикатами, а также с дополнительным оборудованием. Имеющиеся аналоги не используют манипулятор в своей основе, который позволяет работать со специализированной посудой для ядохимикатов, перемещать объекты в поле досягаемости и взаимодействовать с дополнительным оборудованием.

Актуальность рассматриваемой работы заключается в том, что разработка бюджетного, широко функционального малогабаритного манипулятора – проблемная тематика строения манипуляторов. В настоящее время имеются прототипы, используемые в химических лабораториях, но их цена достаточно высока и аналоги не способны работать с летучими химическими веществами. Изучение этой области поможет расширить сферы использования данных технологий и сделать их доступными.

### Цель исследования

Основная цель работы – создание устройства, позволяющего выполнять следующие функции:  
 открытие/закрытие крышек химико-лабораторной посуды с жидкостями;  
 дозирование и перенос жидких соединений между химико-лабораторной посудой;  
 перемещение и установка химико-лабораторной посуды с жидкостями на дополнительное оборудование (магнитная мешалка, электронные весы и др.);  
 соблюдение временных интервалов между операциями;  
 избавление сотрудников химических/биологических лабораторий от взаимодействия с опасными соединениями;  
 получение более точных и легко воспроизводимых результатов;  
 быстрый старт – не требуется специализированного обучения, так как система обладает визуальным, дружественным программным интерфейсом.

На данный момент уже имеются готовые решения, способные дозировать различные жидкости, но пока нет решения, позволяющего работать с летучими ядохимикатами. Для работы с такими веществами используется специальная химическая посуда с различными крышками, благодаря которым вещество не испаряется и не попадает в окружающую среду; при этом необходимо иметь манипулятор с рабочим органом в виде клешни, способной захватывать предмет и открывать химические бутылки. Сейчас в автоматизированных химических лабораториях не используют подобное решение, поэтому они считаются узкоспециализированными. Разрабатываемое устройство будет иметь широкий спектр функций, что позволит применять его в различных отраслях.

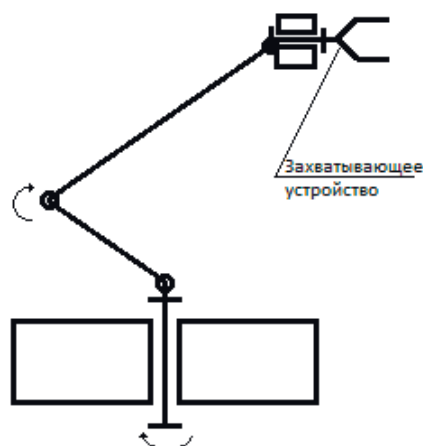


Рис. 1. Общая схема манипулятора.

### Реализация

В основе прототипа был использован манипулятор с шестью степенями свободы. Основным критерием выбора манипулятора является его грузоподъемность в горизонтальном состоянии. Изначальная модель не соответствовала характеристикам, но соответствовала размерам, конструкции и обширной рабочей зоне. На рис. 1 представлена общая схема манипулятора.

Чтобы данная модель имела необходимые характеристики, основные сервомоторы были заменены на более мощные. Мотор, который находится в основании конструкции, был заменен на усиленный, способный поднять 33 кг/см.

Для управления устройством была использована платформа Arduino, которая позволила управлять всеми степенями свобод, а также подключить дополнительные устройства. Для более

удобного использования был установлен Sensorshield, который давал возможность запитать все компоненты от одного источника.

Далее необходимо было подключить дозирующее устройство к платформе Arduino. Для этого был приобретен электронный дозатор, позволяющий сбрасывать наконечники и управлять им с помощью микроконтроллера. Для управления был выведен шлейф для подключения проводов. С целью экономии портов на Arduino и удобства использования нажатия кнопок были осуществлены через мультиплексоры.

Так как в данном проекте не используются датчики и камеры, была изготовлена специальная платформа, благодаря которой все элементы закреплены стационарно. В качестве основных сосудов использовалась химическая посуда со специальными крышками, мензурка и урна. Выбор посуды был согласован с лаборантами химических лабораторий, поэтому количество смешиваемых элементов равно четырем, поскольку случаи, когда смешивается более четырех элементов, редки. Схема расположения элементов продемонстрирована на рис. 2.

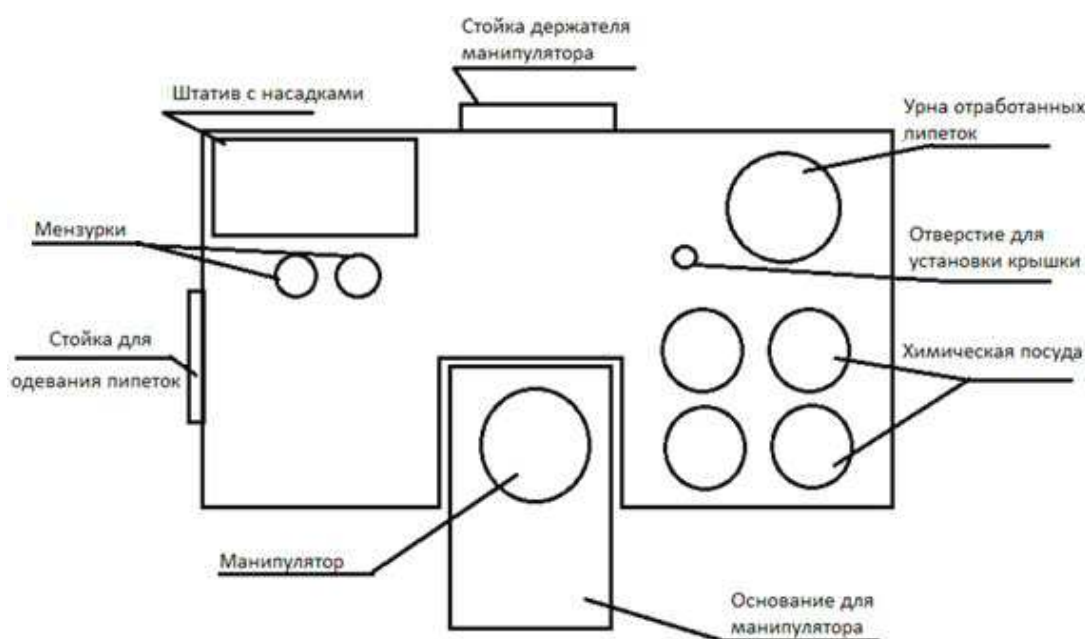


Рис. 2. Схема расположения элементов.

Далее было разработано программное обеспечение, которое позволяло создавать алгоритмы для движения манипулятора. С помощью данной программы были созданы библиотеки для закрытия и открытия крышки химической посуды, захвата дозатора и одевания пипетки, переноса и набора жидкости из колб, слива жидкости в мензурку, выброса использованного наконечника, установки дозатора на изначальное место, а также библиотека, позволяющая осуществить ввод количества жидкости на дозаторе.

Разработанное программное обеспечение для микроконтроллера позволяет принимать и обрабатывать данные, приводя в движение манипулятор и химический дозатор. Программа имеет модульную структуру, что дает возможность расширять и улучшать имеющиеся команды.

Для управления химическим дозатором использовались электронные ключи, которые подключаются непосредственно к самой вычислительной платформе и позволяют нажимать определенные кнопки. В проекте использовались два мультиплексора, которые управляются с помощью четырех входных сигналов. Благодаря этому есть возможность набирать жидкость, сливать, набирать требуемое количество жидкости и производить сброс использованной пипетки.

Программа для персонального компьютера разработана, чтобы создавать свои алгоритмы и воспроизводить их в будущем. Благодаря данному программному обеспечению было написано несколько библиотек, позволяющих производить ряд стандартных операций – таких как открытие химической посуды, захват дозатора и др.

Эта программа составляет также пакет для управления данными, которые передаются на микроконтроллер и отображаются в логге. Для удобства пользования имеется возможность редактировать, оставлять комментарии и сохранять написанные ранее алгоритмы.

В качестве источника питания был использован блок на 5 вольт, дававший питание для манипулятора, микроконтроллера и самого дозатора; имеется запас для подключения других устройств.

### Выводы

В процессе разработки были рассмотрены имеющиеся аналоги и проекты, находящиеся в разработке, были закуплены требуемые комплектующие, модифицирован манипулятор для выполнения требуемых действий, через мультиплексоры и микроконтроллеры подключен химический дозатор, изготовлена специальная форма для химической посуды и оборудования, написаны библиотеки для управления манипулятором.

В результате изучения данной области был реализован прототип роботизированной лаборатории для смешивания ядохимикатов. В дальнейшем предполагается улучшить прототип путем добавления дополнительного оборудования и написания дополнительных библиотек позволяющих расширить функции.

- 
1. Методы биомехатроники тренажера руки человека / А.К. Платонов, А.А. Фролов, Е.В. Бирюкова и др. // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. – 2012. – № 82. – С. 3 – 33.
  2. John Voxel Arduino Workshop – SF.: no starch press, 2013.
  3. 123 эксперимента по робототехнике / М. Предко; пер. с англ. В.П. Попова. – М.: НТ Пресс, 2007. – 544 с.
  4. Горюнов, Д.Г. Разработка программного обеспечения для автоматизации движения химического манипулятора // Молодежь XXI века: шаг в будущее: материалы XVII региональной научно-практической конференции с межрегиональным и международным участием: В 4 т. – Благовещенск: Изд-во БГПУ, 2016. – Т. 4: Технические науки. Секция 2 «Электротехника. Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами. Энергетика». – С. 68-69.
  5. Разработка прототипа роботизированной руки и программного обеспечения для реализации движения / А.В. Бушманов, С.А. Водопьян, Д.Г. Горюнов // Вестник Амурского гос. ун-та. – 2015. – № 71. – С. 13-19.
  6. Building The Builder Robot [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.instructables.com/id/Building-the-Builder-Robot/?ALLSTEPS>– 10.06.2016.
  7. DOF manipulator with tactile feed back made from styrene [Электронный ресурс]–Режим доступа: <http://letsmakerobots.com/node/18504>.–10.06.2016.
  8. Voxel, John. Arduino Workshop – SF.: nostarchpress, 2013.
  9. Arm Pi [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://github.com/RorschachUK/meArmPi>– 10.06.2016.
  10. PLEN Play ground – Forum [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://plen.jp/playground/forum/viewtopic.php?id=7>– 10.06.2016.
  11. ROBOTIC ARM Arduino Controlled [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.instructables.com/id/ROBOTIC-ARM-Arduino-Controlled/>– 10.06.2016.
  12. Vertical Pipetting Station [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.agilent.com/en-us/products/automation-solutions/automated-liquid-handling/vertical-pipetting-station> – 10.06.2016.