

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ
Н.Г. ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра динамического моделирования и биомедицинской инженерии

Дозатор медицинских жидкостей с цифровым управлением для устройства
с ЧПУ

наименование темы выпускной квалификационной работы

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 4081 группы

направления 12.03.04 «Биотехнические системы и технологии»

профиль подготовки «Методы и устройства обработки биосигналов»

институт физики

Рыженков Егор Алексеевич

фамилия, имя, отчество

Научный руководитель:

Зав. кафедрой динамического
моделирования и
биомедицинской инженерии,
д.ф.-м.н., профессор

подпись, дата

20.06.25.

ПОСТАВЧНО

А.С. Караваев

Зав. кафедрой динамического
моделирования и
биомедицинской инженерии,
д.ф.-м.н., профессор

подпись, дата

20.06.25.

А.С. Караваев

Саратов 2025

Введение. Лечение и профилактика заболеваний проводятся различными методами, в том числе посредством медикаментозного лечения. Правильно подобранная и принятая дозировка лекарственного препарата положительно влияет на процесс выздоровления, в то время как некорректная дозировка может привести к пагубным последствиям. В настоящее время для точной дозировки медицинских препаратов в жидком виде используют механические или электромеханические дозаторы, управляемые руками человека. Однако, стремительное развитие робототехники открывает новые возможности во многих областях, в том числе и в медицине [1], [2]. Возможно проведение автоматизации процесса дозировки медицинских жидкостей при помощи разработки специализированно устройства – дозатора с цифровым управлением для его установки на станки с ЧПУ. Применение автоматизированного дозатора позволит увеличить точность дозировки, безопасности, а также скорость выполнения процесса [3].

Целью работы является разработка устройства дозирования медицинских жидкостей с цифровым управлением для ЧПУ. В соответствии с целью работы были сформулированы следующие задачи:

- Обзор современных решений для дозирования медицинских жидкостей;
- Обзор методов регистрации потока жидкости;
- Разработка блок-схемы дозатора медицинских жидкостей;
- Разработка электрической принципиальной схемы дозатора;
- Макетный образец дозатора медицинских жидкостей;
- Тестирование разработанного устройства.

Объектом исследования является устройство дозирования медицинских жидкостей с цифровым управлением, предназначенное для интеграции в станки с ЧПУ. Материалы исследования включают современные решения для дозирования медицинских жидкостей, а также методы регистрации потока жидкости. Для разработки устройства использовались электронные компоненты, программное обеспечение для управления и тестирования, а также вода в качестве модельной жидкости для проведения испытаний. В ходе работы

применялись методы системного анализа, схмотехнического проектирования, прототипирования и экспериментального тестирования.

Структура выпускной квалификационной работы состоит из введения, заключения, списка использованных источников и основного содержания работы. Основное содержание работы состоит из 6 пунктов, а именно:

1. Обзор современных решений для дозирования медицинских жидкостей;
2. Обзор методов регистрации потока жидкости;
3. Разработка блок схемы дозатора медицинских жидкостей;
4. Разработка электрической принципиальной схемы дозатора;
5. Макетный образец дозатора медицинских жидкостей;
6. Тестирование разработанного устройства.

Основное содержание работы. Современные решения для дозирования медицинских жидкостей включают в себя использование автоматизированных систем и роботизированных платформ, микрофлюидных, акустических технологий. Автоматизация процессов дозирования медицинских жидкостей позволяет повысить точность, воспроизводимость и снизить риск человеческой ошибки. Такие системы часто используются в клинических лабораториях и производстве лекарств.

На рисунке 1 представлена система автоматизации для подготовки ПЦР Biomek i-Series (Beckman Coulter).



Рисунок 1 - Роботизированная платформа Biomek i-Series

Устройство автоматизирует дозирование, смешивание, перенос жидкостей и другие задачи, минимизируя человеческий фактор и повышая воспроизводимость [4]. Применяется в геномике и клинической диагностике. Оснащена многоканальными пипетками, дозирует объемы от 0,5 микролитров до 5 миллилитров с точностью $\pm 1\%$. Используется для подготовки проб ПЦР, сокращая время процессов с 8 до 2 часов [5].

Акустическое дозирование — это инновационная технология бесконтактного переноса жидкостей, которая использует звуковые волны для точного дозирования микроскопических объемов. Применяется в скрининге лекарств и персонализированной медицине [6]. Одним из примеров приборов акустического дозирования является лабораторная станции акустического дозирования жидкостей Echo 525, представленная на рисунке 2.



Рисунок 2 - Лабораторная станции акустического дозирования жидкостей
Echo 525

Echo 525 предназначена для дозирования малых объемов жидкостей: от 25 нанолитров до 5 микролитров [7], [8].

Существует несколько методов регистрации потока жидкости, которые применяются в зависимости от целей исследования, характеристик жидкости и условий эксперимента. Среди них можно выделить:

1. Механические;
2. Электромагнитные;
3. Ультразвуковые.

Механические методы регистрации потока жидкости основаны на взаимодействии движущейся жидкости с физическими элементами прибора. На рисунке 3 представлен пример механического расходомера.



Рисунок 3 - Турбинный расходомер

Электромагнитные методы регистрации потока жидкости основаны на законе электромагнитной индукции Фарадея. На рисунке 4 представлен электромагнитный расходомер.



Рисунок 4 - Электромагнитный расходомер

Ультразвуковые методы регистрации потока жидкости основаны на использовании звуковых волн высокой частоты, обычно в диапазоне от 20 кГц до нескольких МГц) для измерения скорости и расхода жидкости. На рисунке 5 представлен ультразвуковой расходомер.



Рисунок 5 - Ультразвуковой расходомер

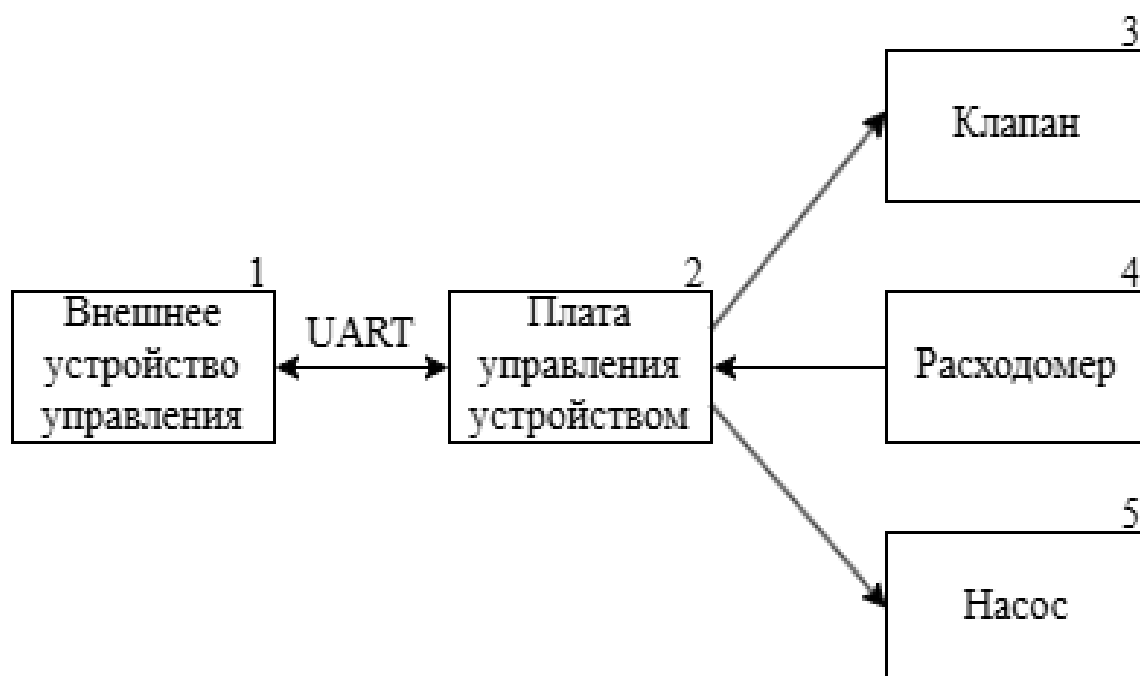


Рисунок 6 - Блок схема устройства

На рисунке 6 изображена блок-схема устройства, состоящая из 5 блоков.

Блок 1 - это внешнее устройство управления. Оно подаёт команды на плату управления и принимает от неё данные. Обмен данными происходит по протоколу UART. Блок 2 - плата управления устройством, отвечает за работу отдельных элементов дозатора, таких как клапан и насос, а также за приём сигнала от расходомера. Блок 3 - клапан, открывается при приёме соответствующего сигнала от платы, и закрывается, чтобы устранить нежелательное протекание жидкости. Блок 4 - расходомер, ответственен за точное измерение потока жидкости, прошедшего до него. Блок 5 - насос, перегоняет жидкость из резервуара в необходимую ёмкость.

На рисунке 7 представлена электронная принципиальная схема устройства.

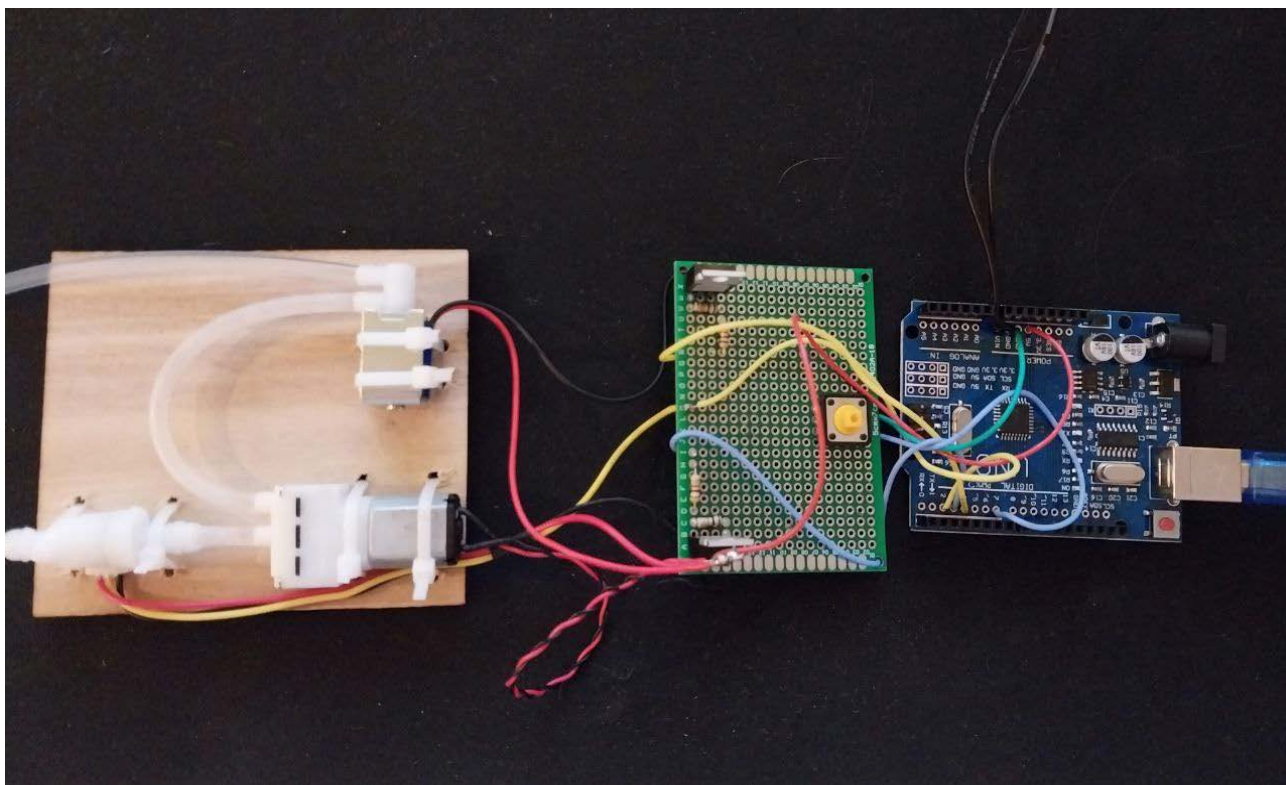


Рисунок 8 - Макетный образец устройства

Образец состоит из двух основных частей: механической и электрической. Механическая часть, в свою очередь, отвечает за подачу жидкости, и состоит из насоса, электромагнитного клапана и расходомера. Электрическая часть отвечает за подачу команд на элементы механической части, приём сигнала от расходомера и приём команд от внешнего устройства управления. Состоит из платы Arduino Uno, кнопки и электронных ключей на полевых транзисторах.

Тестирование макетного образа производилось следующим образом таблица 1. В тестах используемой жидкостью являлась вода. Перед её подачей задавался желаемый объём 25, 50 и 100 миллилитров. Из резервуара в ёмкость жидкость прогонялась 10 раз, после завершения каждого наполнения ёмкости, измерялся объём налитой жидкости.

Таблица 1 - Результаты тестирования разработанного устройства с ёмкостями разного объёма

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V, мл										
25	24	25	24	25	25	24	25	25	25	24
50	50	50	51	51	51	51	50	50	50	50
100	102	103	103	101	101	100	101	98	98	99

$$\frac{\frac{\sum_{i=1}^n |x_i - l|}{n}}{l} * 100, \quad (1)$$

где x_i - налитый объём жидкости,

l - желаемый объём жидкости,

n - число тестов.

Рассчитав относительную погрешность с помощью формулы (1) были получены следующие результаты:

- Относительная погрешность для 25 мл: 1.6%;
- Относительная погрешность для 50 мл: 0.8%;
- Относительная погрешность для 100 мл: 1.6%.

Заключение. По итогам работы был проведён обзор современных решений для дозирования медицинских жидкостей. В работе были представлены имеющиеся на рынке решения, их характеристики. Проведён обзор методов регистрации потока жидкости. Были разобраны методы, использующиеся в серийных образцах. Также в соответствии с задачами была разработана блок схема дозатора медицинских жидкостей. На основе блок схемы разработана электрическая принципиальная схема дозатора. Был собран макетный образец дозатора медицинских жидкостей и проведено его тестирование.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Саврасов Г. В. Тенденции развития медицинской робототехники: журнал // Биомедицинская радиоэлектроника. — 2007. — № 10. — С. 42—46.
2. Босинзон М. А. Современные системы ЧПУ и их эксплуатация. Учебник для нач. проф. образования Изд. Academia, 2009 г. — С. 6.
3. М.А. Зленко, А.А. Попович, И.Н. Мутылина. АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАШИНОСТРОЕНИИ — Издательство политехнического университета, Санкт-Петербург, 2013. — С. 4.
4. Smith A. et al., "Automated Liquid Handling Systems in Bioprocessing," Biotechnology Advances, 2020. — С. 5—6.
5. Lee S. J. et al., "Automation in Genomic Sample Preparation: Enhancing Throughput and Reproducibility," Journal of Laboratory Automation, 2015. — С. 3—4.
6. Gao Y. et al., "Advances in Liquid Handling Technologies for Pharmaceutical Applications," International Journal of Pharmaceutics, 2021. — С. 5—6.
7. Echo 525, Лабораторные станции акустического дозирования. Электронный ресурс. URL: <https://www.beckman.co.il/ru/liquid-handlers/echo-525> (Дата обращения 14.05.25).
8. Hilton J. P. et al., "Acoustic Dispensing for High-Throughput Screening," SLAS Technology, 2019. — С. 3—4.

20.06.25

П

Романов Е.А.