

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ГИДРОПОНИКИ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ВЫБОРА РЕЖИМА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ КУЛЬТУР

Александр ЯРОШЕВИЧ

Департамент Микроэлектроники и Биомедицинской Инженерии, MN-201, Технический университет Молдовы, Факультет Вычислительной Техники, Информатики и Микроэлектроники, Кишинёв, Молдова

Автор корреспонденции: Александр Ярошевич, alexandr.iarosevici@iis.utm.md

Научный руководитель, **КРЕЦУ Василий**, унив. конференциар, доктор

Аннотация. *Мировое население выросло более чем в 5 раз за последние 100 лет, что привело к снижению объема открытой земли, необходимой для выращивания растений и продовольствия. Гидропоника, безземельный метод посадки, использует питательный раствор вместо почвы и воды. Преимущества включают меньшее занимаемое пространство, профилактику заболеваний почвы, борьбу с патогенами, независимый рост и урожайность растений, целевое снабжение питательными веществами и возможность повторного использования питательного раствора. Современные автоматические гидропонические системы имеют недостатки, такие как разработка для конкретных типов растений и использование гистерезиса для регулирования. Эта проблема решается системой, регулируемой ПИД, которая делает управление более точным и плавным. Предложенное устройство имеет более сложную систему, позволяющую использовать разные режимы для различных типов растений. Гидропонная система состоит из трёх частей: датчиков, измеряющих температуру и влажность воздуха, температура, pH и электропроводность питательного раствора и уровень жидкости, пользовательского интерфейса и системы управления, используется для контроля этих параметров. Система использует плату на основе микроконтроллера STM32, энкодеры для настройки параметров и дисплей с набором меню для легкого доступа. Система будет полезна, как профессиональным фермерам, так и людям, которые не имеют обширных познаний в области сельского хозяйства, обеспечивая более высокие урожаи при рациональном использовании пространства.*

Ключевые слова: гидропоника, питательный раствор, PID регулятор, STM32

Введение

Население Земли увеличилось с 1.5 миллиардов (1900 год) до 8 миллиардов (2023 год) [1]. Особенно население выросло в городах, в частности в крупных мегаполисах [2].

Постоянный рост населения приводит к уменьшению доступных земельных угодий, необходимых для сельского хозяйства и обеспечения продовольственной безопасности всего мира. В связи с этим возникает необходимость в безземельных методах выращивания растений. Одним из таких решений является гидропоника. Данный метод растениеводства использует питательный раствор для культур вместо почвы которая необходима в качестве посадочной среды и воды которая является питательной средой [3].

Рассмотрим основные преимущества гидропоники:

- Предотвращение заболеваний, которые передаются через почву, что почти всегда являлось проблемой почвенного способа посадки растений
- Начало без патогенов с использованием субстратов, отличных от почвы,
- Рост растений и урожайность не зависят от типа и качества почвы обрабатываемой площади.

- Лучший контроль роста за счет целенаправленной подачи питательного раствора.
- Питательный раствор можно использовать повторно, минимизация использования ресурсов.
- Повышение качества продукции достигается за счет лучшего контроля других параметров окружающей среды (температуры, относительной влажности) и вредителей [4].

Для контроля параметров гидропонной системы можно использовать как ручные методы, такие как измерение кислотность (pH), содержание твердых веществ (TDS), электропроводность (EC) и температуры питательного раствора, так и автоматизированные системы на базе микроконтроллеров [5]. Микроконтроллеры обеспечивают более надежный и эффективный способ отслеживания и регулирования параметров системы в зависимости от нужд растения [5], что способствует ускорению роста растений и снижению затрат на обслуживание [6].

Современные системы гидропоники

Однако даже данные современные системы автоматические гидропонные системы имеют некоторые недостатки, они рассчитаны конкретный тип растений, а также регулирование в них осуществляется методом гистерезиса. Суть данного метода заключается в том, что устройство управление параметром включается только тогда, когда параметр (температура, освещение) вышел за пределы порогового значения [7]. Данный метод просто в реализации, однако обладает существенным недостатком – невозможностью настроить систему на определенное значение [7]. Данный недостаток устраняется в ПИД – регуляторе [8]. Он состоит из трех составляющих пропорциональная, интегральная и дифференциальная, благодаря чему управление более точное и плавное [8], как показано на рис. 1.

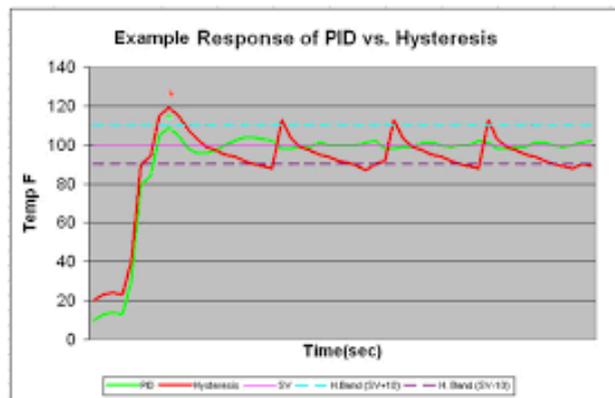


Рис. 1. Переходные процессы при изменении температуры. Красным отмечено регулирование через гистерезис, зеленым - ПИД

Таким образом, в системе представленной в данной научной работе будет более совершенной по следующим причинам:

- Возможность выбора режима для различных типов растений
- ПИД - регулирование

Архитектура системы

На рисунке 2 представлена блок схема системы гидропоники состоящей из трех блоков:

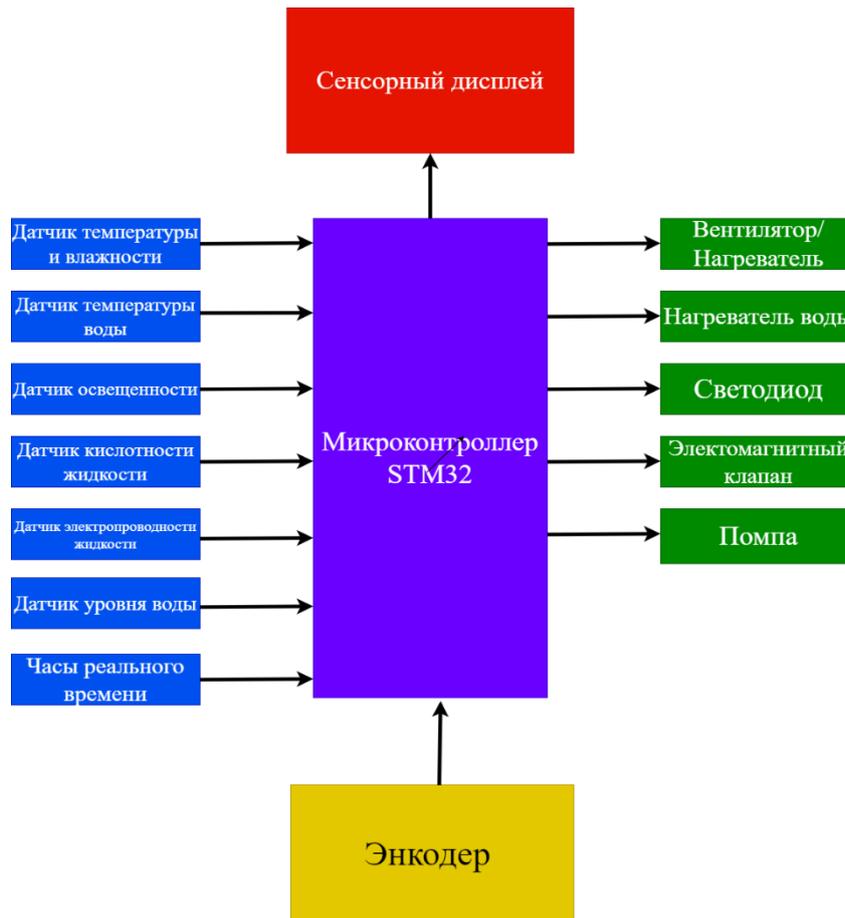


Рис. 2 Блок схема устройства

- Блок датчиков включает в себя датчики, благодаря которым можно измерить температуру воздуха, влажность, pH, электропроводность (ЕС), температуру воды, расход воды.
- Блок управления описывает систему управления, которой можно манипулировать для регулирования системы путем мониторинга значений, поступающих от датчиков.
- Силовой блок, который регулирует температуру воздуха и питательного раствора, освещенность, кислотность и электропроводность раствора. Все эти параметры можно контролировать так, чтобы они находились в определенном значении, установленным пользователем.

Перечень компонентов

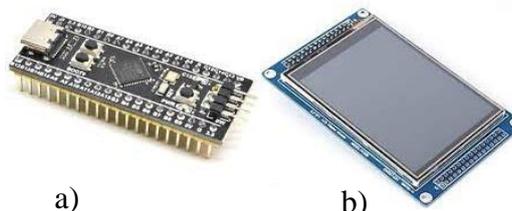


Рис. 3 Основные компоненты: а) Плата STM32, б) Дисплей ILI9341

За основу берется плата на базе микроконтроллера STM32F411CEU6, максимальная частота 100 МГц [9], данная плата является очень распространенной, легко программируемой и дешевой. Также было использовано дисплей ILI9341, отображающий параметры системы, и через него осуществляется управление параметрами [10], очень распространённый относительно недорогой сенсорный дисплей.

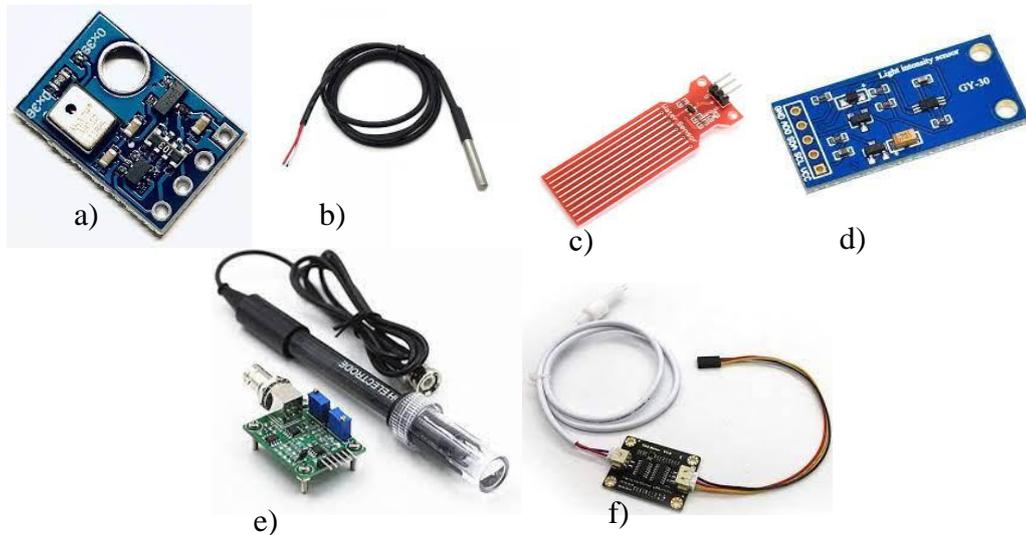


Рис. 4. Датчики, измеряющие различные параметры а) температура системы, б) температура жидкости, с) уровень жидкости, d) освещенность, е) кислотность жидкости, f) электропроводность жидкости

Датчик температуры и влажности системы (рис. 4а) АНТ10. Имеет следующие характеристики:

- Интерфейс взаимодействия: I2C;
- Диапазон температур: $-40^{\circ}\text{C} \dots +85^{\circ}\text{C} \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ (Разрешение: 0.01°C)
- Диапазон влажности: $0 \dots 100\% \pm 2\%$ (Разрешение: 0.024%)
- Напряжение питания модуля: $1.8\text{V} - 5.5\text{V}$ [11]

Датчик температуры жидкости (рис. 4б) DS18B20. Обладает следующими характеристиками:

- Длина кабеля: 5м
- Диапазон напряжения питания: 3.0V до 5.5
- Диапазон рабочих температур: от -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$ (-67°F до $+257^{\circ}\text{F}$)
- Диапазон температур хранения: -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$ (-67°F до $+257^{\circ}\text{F}$)

Точность в диапазоне от -10°C до $+85^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ [12].

Датчик уровня жидкости (рис. 4с). Его характеристики:

- Напряжение питания: 3.3-5 В;
- Ток потребления 20 мА;
- Выход: аналоговый; [13]

Датчик освещенности (рис. 4d) VH1750. Параметры датчика следующие:

- Напряжение питания - 5 В;
- Интерфейс: I2C;
- Точность: 1 люкс;
- Чувствительность: 65536 градаций;
- Калибровка: не требуется; [14]

Датчик кислотности жидкости (рис. 4е). Параметры данного датчика:

- Напряжение питания модуля: 5 В постоянного тока.
- Диапазон измерений: $0 \dots 14 \text{ pH}$.
- Зависимость напряжения на выходе модуля от pH растворов: $1 \text{ pH} = 2/7 \text{ В}$.
- Температура измеряемых растворов: $0 \dots 60^{\circ}\text{C}$.
- Точность измерений: $\pm 0.1 \text{ pH}$ (при температуре 25°C) [15].

Датчик электропроводности жидкости (рис 4е). Свойства датчика:

- Напряжение питания: 3,3–5 В
- Потребляемый ток: до 6 мА

- Интерфейс: аналоговый сигнал
- Диапазон выходного сигнала: 0–2,5 В / 0–1250 ppm [16].

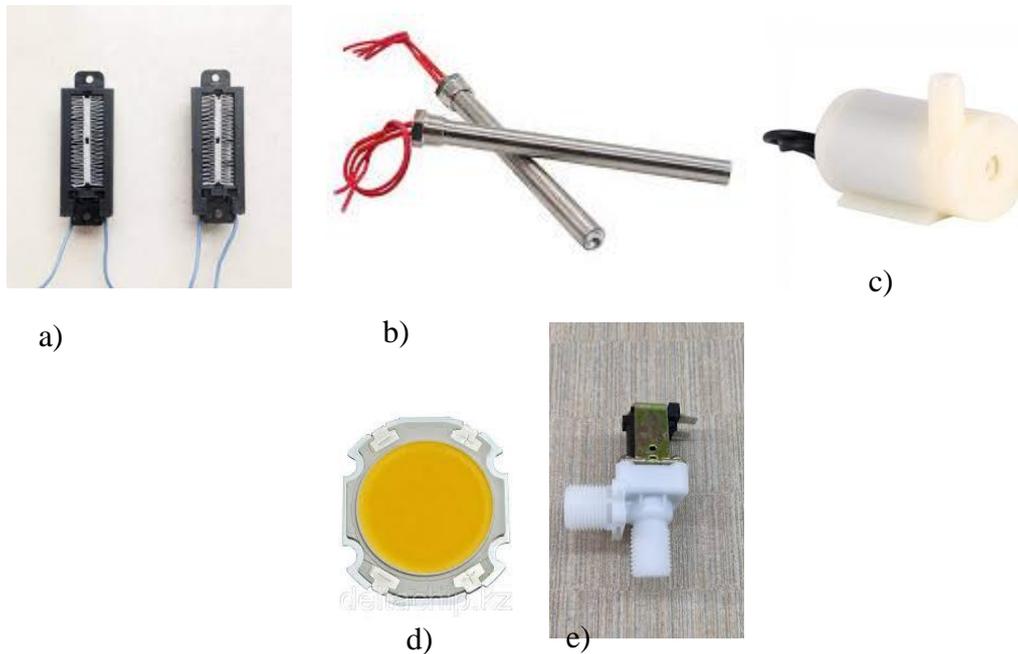


Рис. 5. Устройства силового блока а) нагреватель воздуха, б) нагревательная трубка, в) водяная помпа, д) светодиод, е) электромагнитный клапан

Нагреватель воздуха (рис. 5а) регулирует температуру системы. Данный нагреватель имеет напряжение питания 12 В при максимальной мощности 50 Вт [17]. Нагревательная трубка (рис. 5б) регулирует температуру жидкости. Ее напряжение питания низкое 12 В при высокой максимальной мощности 100 Вт [18]. Водяная помпа (рис. 5с) регулирует электропроводность питательного раствора. Напряжение помпы 3-5 В, ток потребления до 150 мА, скорость полива 120 л/час [19]. Светодиод (рис. 5д) регулирует освещенность. Падение напряжение светодиода – 9 В при мощности 3 Вт [20]. Электромагнитный клапан (рис. 5е) регулирует кислотность раствора. Напряжение питания – 12 В [21].

Принцип работы системы

Система начинает свою работу со считывания всех данных с датчиков. Параметры, от датчиков температура и влажность внутри системы, температуры питательного раствора, освещенность, уровень жидкости (питательного вещества), водородный показатель (рН) и электропроводность жидкости

Температура и влажности системы. Измеряется с помощью датчика температуры и влажности. Регулируется через дисплейное меню с помощью энкодера. Для изменения температуры используется нагреватель воздуха.

Температура питательного раствора будет регулироваться пользователем через меню дисплея с помощью энкодера. Для управления есть нагревательная трубка, на которую подается определенное напряжение. Электрическая энергия трубки преобразуется в тепловую таким образом обеспечивая необходимую температуру.

Освещенность системы также будет управляться пользователем через дисплейное меню ручкой потенциометра. Для регулировки имеется светодиоды, каждый максимальной мощностью 3 Ватта. В зависимости от потребностей растений, светодиоды включаются на мощность, которая прямо пропорциональна необходимой освещенности.

Уровень жидкости. Его будет измерять датчик уровня жидкости. Этот показатель нужен для того, чтобы знать если корневая система растений находится в жидкости. Питательный раствор подается пока уровень не достигнет конкретного значения.

Водородный показатель жидкости (рН), управление которым осуществляется путем считывания данных с датчика рН. Управление будет осуществлять пользователь и дисплея путем нажатия кнопки + при увеличении рН или – при его уменьшении. После выбора необходимо нажать кнопку подтверждения. Далее в зависимости от выбора рН, электромагнитный клапан выпустит вещества, которые увеличат кислотность/щелочность питательного раствора.

Электропроводность жидкости. За показания электропроводности отвечает датчик электропроводности. Механизм регулировки аналогичен рН, через дисплейное меню нужно нажать + или – для увеличения или уменьшения желаемой электропроводности, после выбора нажать кнопку подтверждения. Помпа высвободит питательные вещества, если электропроводность., установленная пользователем в данный момент, выше ранее установленной. Если же она будет ниже, то помпа добавит воды.

Тестирование системы

Тестирование состояло из двух этапов:

- Тестирование датчиков
- Тестирование силовых устройств

В таблицах 4-9 приведены измерения показаний датчиков. Видно, что теоретические и практические данные различаются из-за погрешности самих датчиков. Однако практические находятся в пределах допустимой ошибки сенсоров.

Таблица 4

Температура системы (°C)

Теоретические результаты (°C)	Практические результаты (°C)
10	11
20	19
30	31

Таблица 5

Влажность системы (%)

Теоретические результаты (%)	Практические результаты (%)
40	42
60	59
80	78

Таблица 6

Температура жидкости

Теоретические результаты (°C)	Практические результаты (°C)
10	11
25	24
50	49

Таблица 7

Освещенность (лк)

Теоретические результаты (лк)	Практические результаты (лк)
250	265
500	480
1100	1115

Таблица 8

Кислотность

Теоретические результаты	Практические результаты
3	2,9
7,5	7,6
10	10

Таблица 9

Электропроводность (uS/m)

Теоретические результаты (uS/m)	Практические результаты (uS/m)
20	19,8
30	30,1
40	40,2

Вентилятор/нагреватель. Через меню дисплея с помощью энкодера были поставлены минимальная температура – 10 °С и максимальная – 40 °С. В результате через некоторое время под действием нагревателя температура стала 9 °С и 39 °С (данные с датчика).

Нагревательная трубка. С помощью ручки потенциометра мы пытались регулировать температуру. Был взят максимальный диапазон – от 10 до 50 °С. Нагревательная спираль нагревалась или охлаждалась до необходимой температуры, а сам датчик температуры показывал 10 °С и 49 °С соответственно.

Электромагнитный клапан регулирует кислотность. Изначальная кислотность раствора была 5,2. Через дисплейное меню она была увеличена до 9,5. Электромагнитный клапан добавлял в питательный раствор вещества, увеличивающие щелочность, а датчик показал 9,3. Затем был уменьшен до 4,5 клапан добавил вещества увеличивающие кислотность, показания датчика – 4,6.

Светодиод. С помощи энкодера менялась яркость светодиодов. Были установлены освещенности 100 и 500 люкс, яркость светодиода была равна требуемой яркости, показания датчика были 95 и 503 соответственно.

Помпа изменяла электропроводность жидкости. Изначально электропроводность была равна 20 us/m. Далее через дисплей она была увеличена до 30 us/m, и помпа добавила еще питательного раствора для увеличения электропроводности. В итоге показания датчика электропроводности стали 29,8 us/m.

Выводы

По результатам данной научной работы была создана автоматическая система гидропоники, которая имеет следующие характеристики:

- Режимы для разных растений
- Простое интуитивно понятное управление
- Возможность работы как в автоматическом, так и в ручном режиме

Данное устройство будет найдёт применение не только для опытных фермеров, но и для людей, не имеющих широких познаний в сферах растениеводства и сельского хозяйства. В перспективе развития системы гидропоники будет создано телефонное приложение, которое позволит управлять устройством удаленно.

Библиография

- [1] M. Roser, R. Hannah, and E. Ortiz-Ospina, “World Population Growth,” Our World in Data, 2019. [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/world-population-growth>.
- [2] H. Ritxchie and M. Roser, “Urbanization,” Our World in Data, 2018. [Online]. Available: <https://ourworldindata.org/urbanization>.

- [3] K. Roberto, How-To Hydroponics, Third. New York: FutureGarden, Inc., 2000.
- [4] D. Komaludin, “Penerapan Teknologi Internet of Thing (IoT) pada bisnis budidaya tanaman Hidroponik sebagai langkah efisiensi biaya perawatan .,” pp. 682–690, 2018.
- [5] P. Ahmad and W. S. Pambudi, “Sistem Kontrol Otomatis PH larutan nutrisi tanaman bayam pada hidroponik NFT (Nutrient Film Technique),” J. Ilm. Mikrotek, vol. 2, no. 4, 2018.
- [6] J. R. N. Felizardo, A. D. B. Haili, and J. N. S. Payuyao, “Automated Hydroponics System with pH and Temperature Control,” 2nd Reg. Conf. Campus Sustain. Capacit. Build. Enhancing Campus Sustain., no. April, pp. 379–386, 2015.
- [7] K. Kularbphetpong, U. Ampant, and N. Kongrodj, “An Automated Hydroponics System Based on Mobile Application,” Int. J. Inf. Educ. Technol., vol. 9, no. 8, pp. 548–552, 2019.
- [8] M. Mehra, S. Saxena, S. Sankaranarayanan, R. J. Tom, and M. Veeramanikandan, “IoT based hydroponics system using Deep Neural Networks,” Comput. Electron. Agric., vol. 155, no. November, pp. 473–486, 2018.
- [9] STM32F411CEU6 datasheet [Online]. Available: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/929999/STMICROELECTRONICS/STM32F411CEU6.html>
- [10] Display ILI9341 datasheet [Online]. Available: <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/1131760/ETC2/ILI9341.html>
- [11] Temperature sensor AHT10 datasheet [Online]. Available: https://server4.eca.ir/eshop/AHT10/Aosong_AHT10_en_draft_0c.pdf
- [12] Temperature sensor DS18B20 datasheet [Online]. Available: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/58557/DALLAS/DS18B20.html>
- [13] Water level sensor datasheet [Online]. Available: <https://lastminuteengineers.com/water-level-sensor-arduino-tutorial/>
- [14] Light sensor BH1750 datasheet [Online]. Available: <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/338083/ROHM/BH1750FVI.html>
- [15] pH sensor datasheet [Online]. Available: <https://www.rapidonline.com/dfrobot-sen0161-gravity-analog-ph-sensor-meter-kit-for-arduino-75-0249>
- [16] TDS sensor datasheet [Online]. Available: <https://randomnerdtutorials.com/arduino-tds-water-quality-sensor/>
- [17] Air heater datasheet [Online]. Available: <https://aliexpress.ru/item/32236833293.html>
- [18] Liquid heater datasheet [Online]. Available: <https://ru.superb-heater.com/heaters/cartridge-heaters/high-power-threaded-cartridge-heater-electric.html>
- [19] Pump datasheet [Online]. Available: <https://robotica.md/ru/pompa-apa-3-6V>
- [20] Led datasheet [Online]. Available: <https://deltachip.kz/p97741976-svetodiod-moschnyj-ruichi.html>
- [21] Electromagnetic valve datasheet [Online]. Available: <https://greenchip.com.ua/0-0-501-0.html>