

ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ И УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

DOI 10.54398/20741707_2022_3_112
УДК 004.42:004.3'1

ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫХ СИСТЕМ В ИССЛЕДОВАНИЯХ (НА ПРИМЕРЕ МАШИНЫ АТВУДА)¹

Статья поступила в редакцию 15.06.2022, в окончательном варианте – 12.08.2022.

Сухомлинов Никита Михайлович, Волгоградский государственный технический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. Ленина, 28,
студент, ORCID: 0000-0001-7898-217X, e-mail: nikita-2015s@yandex.ru

Финогеев Алексей Германович, Пензенский государственный университет, 440026, Российская Федерация, г. Пенза, ул. Красная, 40,
доктор технических наук, профессор, ORCID: 0000-0002-4777-3364, e-mail: alexeyfinogeev@gmail.com

Смирнова Татьяна Владимировна, Волгоградский государственный социально-педагогический университет, 400005, Российская Федерация, г. Волгоград, пр. Ленина, 27,
доцент, ORCID: 0000-0003-2861-3119, e-mail: smirnova.tatiana.2013@yandex.ru

Ивашенко Владислав Дмитриевич, Волгоградский государственный технический университет, 400074, Российская Федерация, г. Волгоград, ул. Академическая, 1,
студент, ORCID: 0000-0001-6154-0703, e-mail: iwashenko.vlad@mail.ru

Парыгин Данила Сергеевич, Волгоградский государственный технический университет, 400074, Российская Федерация, г. Волгоград, ул. Академическая, 1,
кандидат технических наук, доцент, ORCID: 0000-0001-8834-5748, e-mail: dparygin@gmail.com

Микроконтроллеры сегодня являются неотъемлемой составной частью подавляющего числа электронного оборудования. Понимание принципов их применения важно для построения современных систем управления во всех сферах жизнедеятельности человека. Одной из таких сфер стала наука, где микроконтроллеры успешно используются для проведения опытов и экспериментов. В данной статье рассматриваются преимущества такого подхода и общие принципы разработки устройств под управлением микроконтроллеров. На примере микропроцессорного устройства с микроконтроллером STM32 продемонстрирован процесс реализации электронного блока управления установкой (машиной Атвуда) для проведения лабораторных работ и демонстрационного эксперимента по механике.

Ключевые слова: микроконтроллеры, машина Атвуда, блок управления, FreeRTOS, семисегментный индикатор, принцип динамической индикации

APPLICATION OF MICROCONTROLLER SYSTEMS IN RESEARCH (USING THE EXAMPLE OF THE ATWOOD MACHINE)

The article was received by the editorial board on 15.06.2022, in the final version – 12.08.2022.

Sukhomlinov Nikita M., Volgograd State Technical University, 28 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,
student, ORCID: 0000-0001-7898-217X, e-mail: nikita-2015s@yandex.ru

Finogeev Alexey G., Penza State University, 40 Krasnaya St., Penza, 440026, Russian Federation,
Doct. Sci. (Engineering), Professor, ORCID 0000-0002-4777-3364, e-mail: alexeyfinogeev@gmail.com

Smirnova Tatiana V., Volgograd State Pedagogical University, 27 Lenin Ave., Volgograd, 400005, Russian Federation,
Associate Professor, ORCID 0000-0003-2861-3119, e-mail: smirnova.tatiana.2013@yandex.ru

¹ Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда и Волгоградской области № 22-11-20024, <https://rscf.ru/project/22-11-20024/>. Результаты части 2 получены в рамках гранта Российского научного фонда № 20-71-10087.

Ivashchenko Vladislav D., Volgograd State Technical University, 1 Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation, student, ORCID: 0000-0001-6154-0703, e-mail: iwashenko.vlad@mail.ru

Parygin Danila S., Volgograd State Technical University, 1 Akademicheskaya St., Volgograd, 400074, Russian Federation,

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, ORCID 0000-0001-8834-5748, e-mail: dparygin@gmail.com

Microcontrollers today are an integral part of the vast majority of electronic equipment. Understanding the principles of their application is important for building modern control systems in all spheres of human life activity. One of these areas has become science, where microcontrollers are successfully used to conduct experiments. This article discusses the advantages of this approach and the general principles for the development of devices controlled by microcontrollers. The process of implementing an electronic control unit for an apparatus (Atwood machine) for laboratory work and a demonstration experiment in mechanics is demonstrated using the example of a microprocessor device with an STM32 microcontroller.

Keywords: microcontrollers, Atwood machine, control unit, FreeRTOS, seven-segment indicator, dynamic display principle

Graphical annotation (Графическая аннотация)



Введение. Датой появления первого микроконтроллера считается 1976 год, когда компания Intel представила микросхему i8048, состоящую из центрального микропроцессора, памяти объемом 1 Кбайт, двух восьмибитных таймеров, генератора часов и 27 портов ввода/вывода [12]. Но не все ученые разделяют это мнение, указывая на то, что еще в 1971 году был выдан первый патент на однокристалльную микро-ЭВМ инженерам М. Кочрену и Г. Буну из американской компании Texas Instruments. Но так или иначе изобретение микроконтроллеров справедливо признается прорывом в области вычислительной техники. Со временем с целью выигрыша в гибкости, производительности и стоимости стали появляться все новые модели этих устройств. А микроконтроллеры нашли свое применение в различных сферах науки, техники и быта [17]. Например, микроконтроллеры используются в вычислительной технике (материнские платы, дисководы, калькуляторы), бытовых устройствах (стиральные машины, микроволновые печи, телефоны, «домашние» роботы), автоматизации промышленного оборудования и др. [8, 19].

Не обошли стороной микроконтроллеры и сферу науки, где они используются, в том числе, для производства различных научных опытов и экспериментов в областях химии, физики и некоторых других [6]. Значение именно такого применения микроконтроллеров состоит в одновременном

решении двух ключевых проблем: проблемы обеспечения безопасности эксперимента и проблемы автоматизации экспериментальных исследований [2].

В качестве примера преодоления первой проблемы может служить применение микроконтроллеров в роли управляющих устройств на атомных и тепловых электрических станциях, позволяющих исследователям контролировать процессы, находясь на безопасной дистанции от воздействия вредных факторов (излучения) [22]. Во втором случае использование микроконтроллера не только облегчит труд экспериментатора, но и прежде всего уменьшит влияние на результаты экспериментов субъективного фактора. В итоге исследователь сможет сохранить такие характеристики эксперимента, как воспроизводимость и контролируемость, а также снизить до минимума показатели погрешности измерения [23].

С учетом вышеизложенного, в настоящем исследовании выполнена разработка электронного блока управления на базе микроконтроллера одной из классических установок, используемых в лабораторном практикуме по механике – машиной Атвуда [20]. Эта установка используется для изучения законов кинематики равноускоренного прямолинейного движения. Актуальность работы обусловлена современными тенденциями к миниатюризации электронных приборов, стремлением минимизации человеческого фактора и показателей погрешности при проведении эксперимента, а также обеспечения высокой наглядности за счет использования современных средств отображения информации.

1. Обзор объекта исследования. Машина Атвуда представляет собой укрепленную вертикальную стойку, на которую нанесена шкала, с двумя кронштейнами. Вверху стойки закреплен блок, через который переброшена нить с двумя грузами. А принцип ее работы можно описать следующим образом. Система находится в покое пока удерживается один из грузов. Благодаря наличию «противовеса» удастся контролировать вертикальное движение груза вниз. До начала опыта один из грузов закреплён, и вся система находится в состоянии покоя. При освобождении первого груза система приводится в движение [25].

Первая версия машины Атвуда обладала недостатком, заключавшимся во влиянии субъективного фактора на результаты измерений. Экспериментатор был вынужден самостоятельно приводить систему в движение, при этом запуская секундомер и останавливая его при ударе подвешенного груза о поверхность. Очевидно, что одновременное выполнение всех этих действий одним человеком или с помощником приведет к неточностям в измерении [21].

С учетом вышеназванных нюансов стали разрабатываться автоматизированные версии машины Атвуда, ключевым моментом которых является создание точного секундомера, сопряженного с устройством запуска движения (устройством включения электромагнита). Ниже на рисунках приведены классическая модель машины Атвуда (рис. 1а) и одна из усовершенствованных ее версий – модель ФМ-11 (рис. 1б) [15].

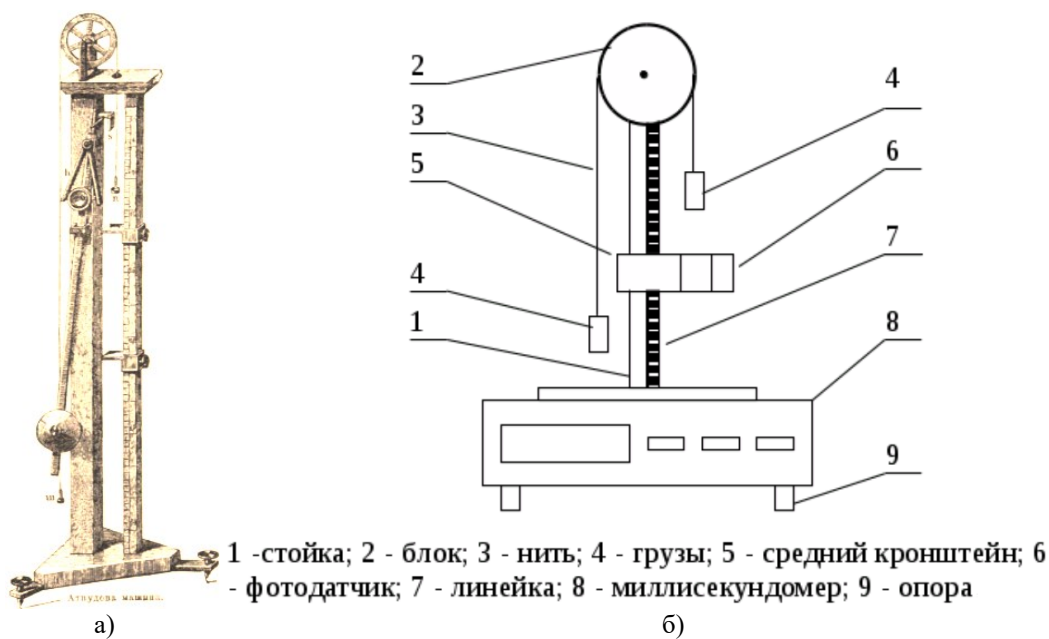


Рисунок 1 – Машина Атвуда: а) классическая модель [1]; б) усовершенствованная модель ФМ-11 [16]

В эксперименте с использованием установки ФМ-11 при нажатии кнопки отключается электромагнитная катушка, играющая роль тормоза, и система приходит в движение. В свою очередь в оба кронштейна встроены фотодатчики, и при начале движения груза вверх первый фотодатчик, подключенный к секундомеру, срабатывает, когда первый груз достигнет отметки, что инициирует начало отчета времени на секундомере. Когда же второй груз достигнет поверхности, то благодаря второму фотодатчику отсчет времени останавливается. Соответственно, время на дисплее секундомера и будет временным промежутком нахождения груза в движении.

В целом установка ФМ-11 по своим характеристикам и устройству максимально приближена к классической Атвудовой машине, которую представляли себе исследователи. С ее применением процесс проведения эксперимента практически полностью автоматизирован [13]. В то же время улучшенной альтернативой данной установки может служить устройство, разработанное на базе микроконтроллера, берущего на себя функцию не только отсчета временных промежутков, но и общего управления системой.

2. Выбор аппаратной части для разрабатываемой установки. Аппаратную часть было решено построить на основе микроконтроллера STM32F107VCT6, герконового датчика, семисегментного многоразрядного индикатора и электромагнита. Микроконтроллер STM32F107VCT6, представитель семейства 32-битных микроконтроллеров STM, включает в себя ядро (ARM Cortex-M3), статическую RAM-память, флеш-память, отладочные и различные периферийные интерфейсы [24].

Герконовый датчик, представляющий собой запаянную в стеклянной колбе пару ферромагнитных контактов (сердечников) с зазором между ними, служит для определения момента падения груза на поверхность (рис. 2а). Принцип его работы заключается в замыкании либо размыкании электрических контактов под влиянием магнитного поля [3].

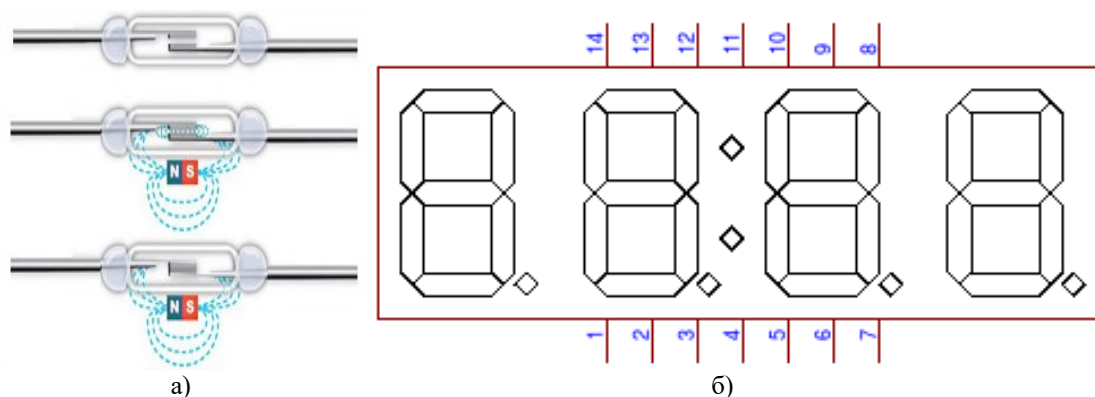


Рисунок 2 – Компоненты аппаратной части: а) герконовый датчик (внутреннее строение); б) семисегментный индикатор

Для удержания груза до момента начала эксперимента используется электромагнитная катушка, подключенная к источнику постоянного тока и создающая магнитное поле [5].

Отдельно стоит сказать о семисегментном индикаторе (рис. 2б), выполняющем функции секундомера в эксперименте. Его работа основывается на принципе динамической индикации, состоящем в поочередном включении цифр в разрядах путем циклической подачи тока через транзисторные ключи на общие катоды, что позволяет создать иллюзию одновременного свечения всех разрядов. Техническая реализация достигается за счет параллельного соединения анодов соответствующих сегментов всех разрядов и совместного соединения катодов различных сегментов одного разряда (либо, наоборот, общими для каждого разряда являются аноды, а катоды различных разрядов индикатора выводятся на шину данных) [7].

Соответственно, алгоритм работы создаваемого устройства будет состоять в следующем. По нажатию кнопки на микроконтроллере либо отправки соответствующей команды через интерфейс USART [4] отключается электромагнит и одновременно включается секундомер, реализованный на семисегментном индикаторе, начинается падение груза. Далее, при падении груза, срабатывает герконовый датчик, подключенный к микроконтроллеру, что является условием для выполнения команды приостановления отсчета на секундомере. Общая схема устройства изображена на рисунке 3.

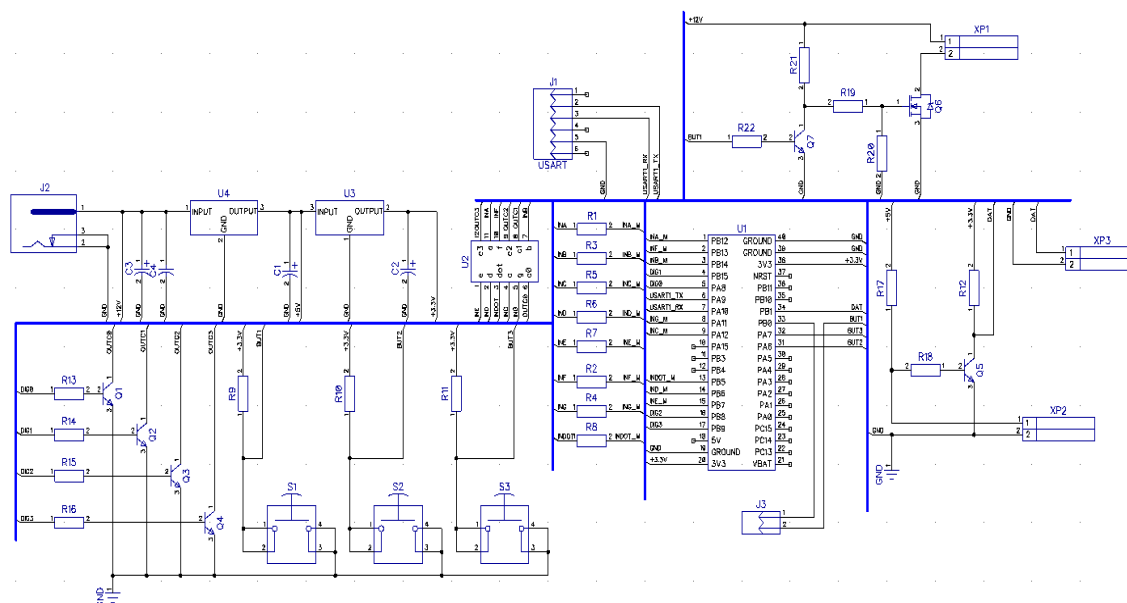


Рисунок 3 – Схема электрическая принципиальная

3. Разработка программного обеспечения для управления устройством. Разработка программы для микроконтроллера осуществлялась с помощью среды разработки Keil uVision 5 [14]. В сам проект включены файлы с настройками семисегментного индикатора, функциями запуска и остановки секундомера, вывода на дисплей заданной цифры в заданную позицию, включения/выключения магнита. Также присутствуют файлы, позволяющие скомпилировать операционную систему FreeRTOS [10]. Именно функция-задача FreeRTOS обеспечивает вывод строки из четырех символов на дисплей на основе принципа динамической индикации. Ниже приведен общий алгоритм работы программы (рис. 4а) и диаграмма последовательностей (рис. 5).

Настройка семисегментного индикатора начинается с его тактирования с помощью команды `RCC_APB2PeriphClockCmd(RCC_APB2Periph_GPIOA, ENABLE)`, где APB2 – это одна из периферийных шин данных [18]. Далее следует объявление инициализационной структуры для настройки портов, параметрами которой являются его частота (`GPIO_Speed`) и режим работы (`GPIO_Mode`). В данном случае выбран режим `GPIO_Mode_Out_PP`. Вывод заданной цифры (`digit`) в заданную позицию (`position`) на дисплее осуществляется в функции `onOffDigit()` [11]. С помощью конструкции `switch-case` устанавливается для каждой цифры от 0 до 9 комбинация входных сигналов на порты А и В микроконтроллера. Алгоритм работы индикатора представлен на рисунке 4б.

Как уже отмечалось выше, основным устройством разрабатываемого электронного блока управления машиной Атвуда является секундомер, запускающийся по нажатию кнопки и останавливающийся при срабатывании герконового датчика. Причем значение на дисплее после срабатывания датчика должно оставаться неизменным. При настройках по умолчанию тактовая частота микроконтроллера, установленного на плате STM32 Blue Pill [9], составляет 72 МГц, и такая же частота подается по шине тактирования на таймеры-счетчики. Если установить предделитель таймера равным 720, тактовая частота, на которой он будет работать, будет составлять 100 кГц, то есть период этого сигнала будет равен 0,01 мс. При установке периода таймера равным 1000 таймер-счетчик будет срабатывать каждые 10 мс, то есть каждые 0,01 с. Как раз через такой промежуток времени должны меняться значения младшего разряда на семисегментном индикаторе.

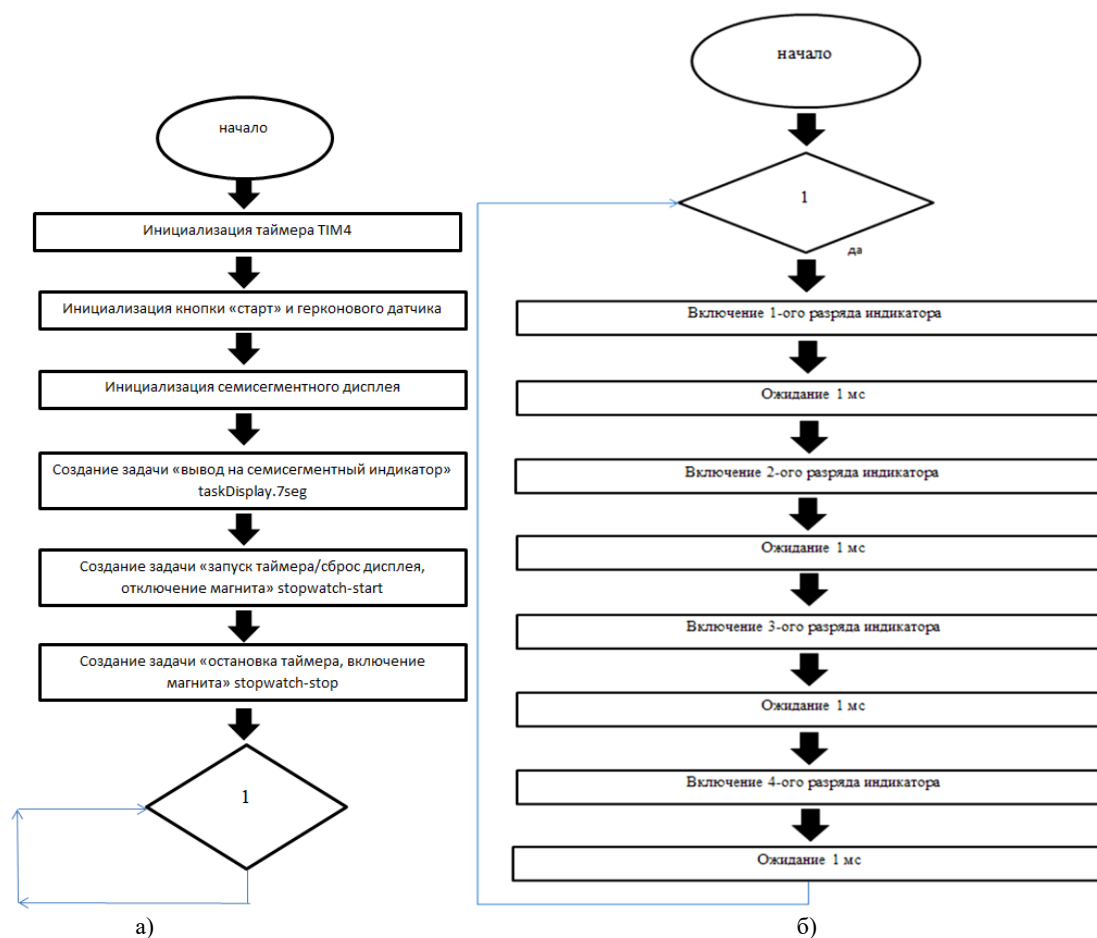


Рисунок 4 – Алгоритмы работы компонентов программы управления разрабатываемым устройством: а) начальная настройка устройства; б) переключение разрядов на четырехпозиционном семисегментном индикаторе

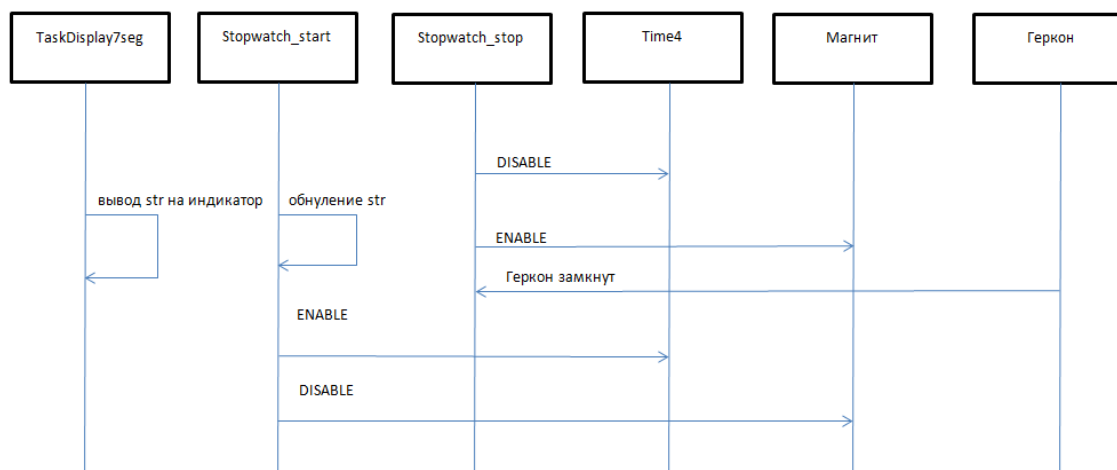


Рисунок 5 – Диаграмма последовательностей

Специальная функция-задача FreeRTOS, названная `stopwatch_start()`, активирует начало отсчета при поступлении соответствующего сигнала с линии 7 порта А (нажатие кнопки). При этом обнуляются значения переменных `millisecond`, `millisecondTwo`, `second`, `secondTwo` (соответственно, десятки секунд, секунды, десятые доли секунды, сотые доли секунды), а затем разрешается прерывание по переполнению от таймера TIM4. Схема описанного алгоритма представлена на рисунке 6а.

Здесь же второй функцией-задачей FreeRTOS является функция `stopwatch_stop()`, в которой выполняется остановка отсчета при срабатывании герконового датчика (ожидается сигнал логического нуля с 0-го пина порта В). Алгоритм, реализованный в функции `stopwatch_stop()`, представлен на рисунке 6б.

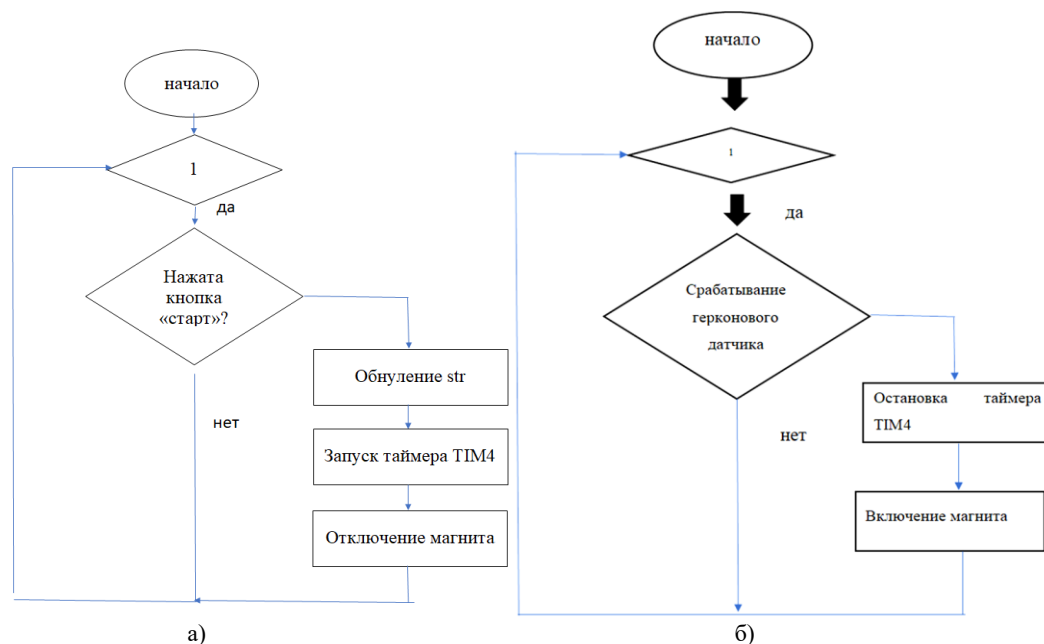


Рисунок 6 – Алгоритмы реализации функций программы управления: а) stopwatch_start(); б) FreeRTOS по остановке таймера при условии срабатывания герконового датчика

Работа программы испытывалась на имеющемся в распоряжении стенде, содержащем подключенный как дополнительный модуль плату BluePill STM32, четырехпозиционный семисегментный индикатор, светодиоды и кнопки, модуль USB-UART [26] (рис. 7).

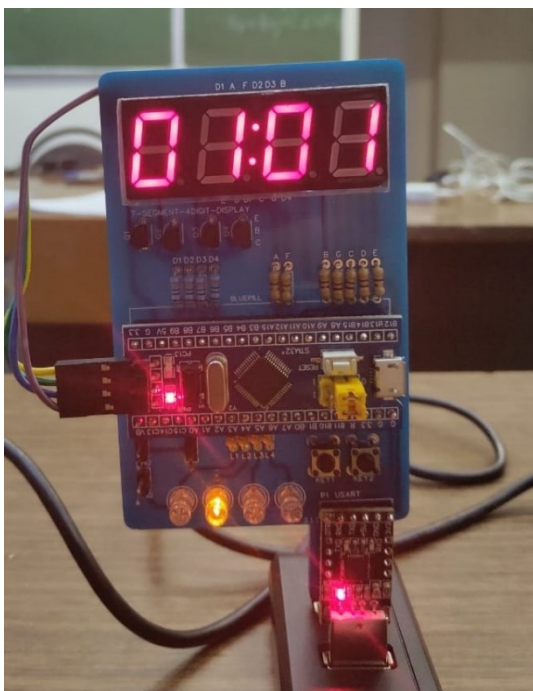


Рисунок 7 – Разработанный стенд для испытания работы программы

Для запуска секундомера использовалась правая кнопка, для имитации срабатывания герконового датчика – левая кнопка, для отображения состояния электромагнита – левый нижний светодиод. Принципиальная схема стенда и разрабатываемого устройства в части подключения семи-сегментного индикатора совпадают с точностью до переключения некоторые сегменты, что было сделано из соображений удобства разводки дорожек печатной платы. Программа показала свою работоспособность.

Заключение. Таким образом, подводя итог проведенному исследованию, можно сделать следующие выводы. В сконструированном устройстве в рамках данной работы, в отличие от модели ФМ-11 машины Атвуда, два фотодатчика были заменены на один герконовый, а управление машиной полностью «передано» микроконтроллеру. В качестве основных компонентов устройства использовались микроконтроллер STM32F107VCT6 для управления работой всего устройства, герконовый датчик для определения момента приземления груза на поверхность, электромагнитная катушка в качестве тормоза системы и компоненты «классической модели» Атвудовой машины (шtatив, грузы, нить). Цель исследования достигнута, поскольку подобный подход в создании новой модели машины Атвуда позволил максимально автоматизировать процесс проведения эксперимента по изучению движения тел в поле силы тяготения и избежать возникновения субъективных погрешностей.

Библиографический список

1. Атвудова машина. – 2022. – Режим доступа: <http://www.vchi.net/brokgauz/all/006/6245.shtml>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 02.02.2022).
2. Волосатова, Т. М. Анализ направлений применения принципа модульности при разработке и использовании учебных проектов по робототехнике в вузах / Т. М. Волосатова, Д. А. Барсуков, П. И. Тамков // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2020. – № 4. – С. 133–148.
3. Герконовые датчики – особенности применения. – 2022. – Режим доступа: <https://rusautomation.ru/articles/gerkonovye-datchiki-osobennosti-primeneniya/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 01.04.2022).
4. Интерфейс USART. – 2022. – Режим доступа: https://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/micros/avr/arh_xmega/20.htm, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 07.04.2022).
5. Котенёв, С. В. Расчет и оптимизация тороидальных трансформаторов и дросселей / С. В. Котенёв, А. Н. Евсеев. – Москва : Горячая линия – Телеком, 2013. – 360 с.
6. Кравченко, А. В. 10 практических устройств на AVR-микроконтроллерах / А. В. Кравченко. – Санкт-Петербург : Корона-Век, 2014. Кн. 2. – 320 с.
7. Максимально универсальный семисегментный дисплей. Часть первая – Hardware. – 2022. – Режим доступа: <https://habr.com/ru/post/485696/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 10.03.2022).
8. Мань, Н. С. Подсистема управления процессом формирования входных данных в системе интеллектуального управления зданием / Н. С. Мань, Г. А. Попов, И. Ю. Кучин // Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии. – 2015. – № 3. – С. 142–158.
9. Модуль разработки STM32F103C8T6 Blue pill. – 2022. – Режим доступа: <https://compacttool.ru/modul-razrabotki-stm32f103c8t6-blue-pill>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 25.03.2022).
10. Операционная система FreeRTOS. – 2022. – Режим доступа: https://robotclass.ru/articles/c_book_freertos/, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 15.03.2022).
11. Разработка таймера на STM32 и индикаторе SA56-11SRWA. – 2022. – Режим доступа: <http://engio.ru/vstraivaemye-sistemyi/podklyuchaem-k-stm32-.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 21.04.2022).
12. Ревич, Ю. В. Практическое программирование микроконтроллеров Atmel AVR на языке ассемблера / Ю. В. Ревич. – 2-е изд., испр. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2011. – 352 с.
13. Снежков, В. И. Физика: методические указания к лабораторной работе № 4а «Изучение второго закона Ньютона при помощи лабораторной установки ФМ-11 «Машина Атвуда» для обучающихся по всем направлениям подготовки и специальностям / В. И. Снежков, Е. Б. Русакова. – Ростов-на-Дону : Рост. гос. строит. ун-т, 2015. – 11 с.
14. Среда разработки Keil uVision 5 MDK-ARM. – 2022. – Режим доступа: <https://xemka.com/144-sreda-razrabotki-keil-uvision-5-mdk-arm-skachat.html>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 24.02.2022).
15. Установка лабораторная «Машина Атвуда». ФМ-11. – 2022. – Режим доступа: <https://www.учебнаятехника.рф/wps/ustanovka-laboratornaya-mashina-atvuda-fm-11/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 22.03.2022).
16. Установка лабораторная Машина Атвуда. – 2022. – Режим доступа: <http://uchcollector-spb.ru/item/ustanovka-laboratornaya-mashina-atvuda>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 12.02.2022).
17. Parygin, D. S. A convergent model for distributed processing of Big Sensor Data in urban engineering networks / D. S. Parygin, A. G. Finogeev, V. A. Kamaev, A. A. Finogeev, E. P. Gnedkova, A. P. Tyukov // Journal of Physics: Conference Series : Proceedings of the International Conference on Information Technologies in Business and Industry 2016, Tomsk, Russia, 21–23 September 2016. – IOP Publishing, 2017. – Vol. 803/012112. – P. 1–6. – DOI: 10.1088/1742-6596/803/1/012112.
18. АНВ/АРВ. – 2022. – Режим доступа: <https://russianblogs.com/article/8344537335/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 01.05.22).
19. Agarwal, A. K. Analysis of Environmental Factors for Smart Farming: An Internet of Things Based Approach / D. Ather, R. Astya, D. Parygin, A. Garg, D. Raj // SMART 2021 : Proceedings of the 2021 10th International

Conference on System Modeling and Advancement in Research Trends, Moradabad, India, 10–11 December 2021. – IEEE, 2022. – P. 210–214. – DOI: 10.1109/SMART52563.2021.9676305.

20. Atwood's Machine. – 2022. – Режим доступа: http://physics.kenyon.edu/EarlyApparatus/Mechanics/Atwoods_Machine/Atwoods_Machine.html, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. англ. (дата обращения: 12.03.2022).

21. Greenslade, T. B. Jr. Atwood's machine / T. B. Greenslade Jr. // *Physics Teaching*. – 1985. – № 29. – P. 24–28.

22. Parygin, D. Management of Information from Surveillance Cameras at the Infrastructure Facility / D. Parygin, A. Gurtyakov, A. Finogeev, A. Ignatyev, T. Yereshchenko // *Intelligent Systems Reference Library : New Trends and Applications in Internet of Things (IoT) and Big Data Analytics*. – Springer, Cham, 2022. – Vol. 221. – P. 173–186. – DOI: 10.1007/978-3-030-99329-0_12.

23. Parygin, D. Multi-agent approach to distributed processing big sensor data based on fog computing model for the monitoring of the urban infrastructure systems / D. Parygin, N. Nikitsky, V. Kamaev, A. Matokhina, A. Finogeev, A. Finogeev // *SMART 2016 : Proceedings of the 5th International Conference on System Modeling & Advancement in Research Trends, Moradabad, India, 25–27 November 2016*. – IEEE, 2017. – P. 305–310. – DOI: 10.1109/SYSMART.2016.7894540.

24. STM32F107VCT6. – 2022. – Режим доступа: <https://ru.farnell.com/stmicroelectronics/stm32f107vct6/mcu-32bit-cortex-m3-72mhz-lqfp/dp/1737141>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 15.03.2022).

25. Tipler, P. A. *Physics For Scientists and Engineers* / P. A. Tipler. – New York : Worth Publishers, 1991. – 160 p.

26. USB to TTL UART – Модули преобразования порта USB в порт UART. – 2022. – Режим доступа: <https://mirrobo.ru/micro/usb-to-uart/>, свободный. – Заглавие с экрана. – Яз. рус. (дата обращения: 11.04.2022).

References

1. *Atvudova mashina* [Atwood machine]. Available at: <http://www.vehi.net/brokgauz/all/006/6245.shtml> (accessed 02.02.2022).

2. Volosatova, T. M., Barsukov, D. A., Tamkov, P. I. Analiz napravleniy primeneniya printsipa modulnosti pri razrabotke i ispolzovanii uchebnykh proyektov po robototekhnike v vuzakh [Analysis of directions for applying the principle of modularity in the development and use of educational projects on robotics in universities]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2020., no. 4, pp. 133–148.

3. *Gerkonovyye datchiki – osobennosti primeneniya* [Reed sensors - application features]. Available at: <https://rusautomation.ru/articles/gerkonovye-datchiki-osobennosti-primeneniya/> (accessed 01.04.22).

4. *Interfeys USART* [USART interface]. Available at: https://www.gaw.ru/html.cgi/txt/doc/micros/avr/arh_xmega/20.htm (accessed 07.04.2022).

5. Kotenev, S. V., Evseev, A. N. *Raschet i optimizatsiya toroidalnykh transformatorov i drossелей* [Calculation and optimization of toroidal transformers and chokes]. Moscow, 2013. 360 p.

6. Kravchenko, A. V. *10 prakticheskikh ustroystv na AVR-mikrokontrollerakh* [10 practical devices on AVR microcontrollers]. St. Petersburg, 2014. Book 2. 320 p.

7. *Maksimalno universalnyy semisegmentnyy display. Chast pervaya – Hardware* [The most versatile seven-segment display. Part One – Hardware]. Available at: <https://habr.com/ru/post/485696/> (accessed 10.03.2022).

8. Man, N. S., Popov, G. A., Kuchin, I. Yu. Podsystema upravleniya protsessom formirovaniya vkhodnykh dannykh v sisteme intellektualnogo upravleniya zdaniyem [Subsystem for managing the process of generating input data in the intelligent building management system]. *Prikaspiyskiy zhurnal: upravlenie i vysokie tekhnologii* [Caspian Journal: Control and High Technologies], 2015, no. 3, pp. 142–158.

9. *Modul razrabotki STM32F103C8T6 Blue pill* [STM32F103C8T6 Blue pill development module]. Available at: <https://compacttool.ru/modul-razrabotki-stm32f103c8t6-blue-pill> (accessed 25.03.2022).

10. *Operatsionnaya sistema FreeRTOS* [FreeRTOS operating system]. Available at: https://robotclass.ru/articles/c_book_freertos/ (accessed 15.03.2022).

11. *Razrabotka taymera na STM32 i indikatore SA56-11SRWA* [Development of a timer on STM32 and the SA56-11SRWA indicator]. Available at: <http://engio.ru/vstraivaemye-sistemyi/podklyuchaem-k-stm32-.html> (accessed 21.04.2022).

12. Revich, Yu. V. *Prakticheskoye programmirovaniye mikrokontrollerov Atmel AVR na yazyke assemblera* [Practical programming of Atmel AVR microcontrollers in assembly language]. St. Petersburg, 2011. 352 p.

13. Snezhkov, V. I., Rusakova, E. B. *Fizika: metodicheskiye ukazaniya k laboratornoy rabote № 4a «Izuchenie vtorogo zakona Nyutona pri pomoshchi laboratornoy ustanovki FM-11 «Mashina Atvuda» dlya obuchayushchikhsya po vsem napravleniyam podgotovki i spetsialnostyam* [Physics: guidelines for laboratory work No. 4a "Studying Newton's second law using the laboratory installation FM-11 "Atwood Machine" for students in all areas of training and specialties]. Rostov-on-Don, 2015. 11 p.

14. *Sreda razrabotki Keil uVision 5 MDK-ARM* [Keil uVision 5 MDK-ARM Development Environment]. Available at: <https://cxemka.com/144-sreda-razrabotki-keil-uvision-5-mdk-arm-skachat.html> (accessed 24.02.2022).

15. *Ustanovka laboratornaya «Mashina Atvuda»*. FM-11 [Laboratory installation "Atwood Machine". FM-11]. Available at: <https://www.учебнаятехника.рф/wps/ustanovka-laboratornaya-mashina-atvuda-fm-11/> (accessed 22.03.2022).

16. *Ustanovka laboratornaya Mashina Atvuda* [Atwood Laboratory Machine]. Available at: <http://uchcollector-spb.ru/item/ustanovka-laboratornaya-mashina-atvuda> (accessed 12.02.2022).

17. Parygin, D. S., Finogeev, A. G., Kamaev, V. A., Finogeev, A. A., Gnedkova, E. P., Tyukov, A. P. A convergent model for distributed processing of Big Sensor Data in urban engineering networks. *Journal of Physics: Conference Series*, 2017, vol. 803/012112, pp. 1–6. DOI: 10.1088/1742-6596/803/1/012112.
18. *AHB/APB*. Available at: <https://russianblogs.com/article/8344537335/> (accessed 01.05.2022).
19. Agarwal, A. K., Ather, D., Astya, R., Parygin, D., Garg, A., Raj, D. Analysis of Environmental Factors for Smart Farming: An Internet of Things Based Approach. *Proceedings of the 2021 10th International Conference on System Modeling and Advancement in Research Trends*, 2022, pp. 210–214. DOI: 10.1109/SMART52563.2021.9676305.
20. *Atwood's Machine*. Available at: http://physics.kenyon.edu/EarlyApparatus/Mechanics/Atwoods_Machine/Atwoods_Machine.html (accessed 12.03.2022).
21. Greenslade, T. B. Jr. Atwood's machine. *Physics Teaching*, 1985, no. 29, pp. 24–28.
22. Parygin, D., Gurtyakov, A., Finogeev, A., Ignatyev, A., Yereshchenko, T. Management of Information from Surveillance Cameras at the Infrastructure Facility. *Intelligent Systems Reference Library. New Trends and Applications in Internet of Things (IoT) and Big Data Analytics*, 2022, vol. 221, pp. 173–186. DOI: 10.1007/978-3-030-99329-0_12.
23. Parygin, D., Nikitsky, N., Kamaev, V., Matokhina, A., Finogeev, A., Finogeev, A. Multi-agent approach to distributed processing big sensor data based on fog computing model for the monitoring of the urban infrastructure systems. *SMART 2016 : Proceedings of the 5th International Conference on System Modeling & Advancement in Research Trends, Moradabad, India, 25–27 November 2016*. 2017, pp. 305–310. DOI: 10.1109/SYSMART.2016.7894540.
24. *STM32F107VCT6*. Available at: <https://ru.farnell.com/stmicroelectronics/stm32f107vct6/mcu-32bit-cortex-m3-72mhz-lqfp/dp/1737141> (accessed 15.03.2022).
25. Tipler, P. A. *Physics For Scientists and Engineers*. New York, 1991, 160 p.
26. *USB to TTL UART – Модули преобразованија порта USB у порт UART* [USB to TTL UART – Modules for converting a USB port to a UART port], 2022. Available at: <https://mirrobo.ru/micro/usb-to-uart/> (accessed 11.04.2022).