

**Елисеев Михаил Семенович**, д-р техн. наук, проф. кафедры «Механика и инженерная графика», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

**Рыбалкин Дмитрий Алексеевич**, аспирант кафедры «Механика и инженерная графика», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

**Перетягко Андрей Владимирович**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Механика и инженерная графика», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

410056, г. Саратов, ул. Советская, 60.  
Тел.: (8452) 74-96-51.

**Ключевые слова:** питающее устройство, неравномерность подачи, молоток, энергоёмкость процесса.

## RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF THE WORK PROCESS OF HAMMER SHREDDER

**Eliseev Mikhail Semenovich**, Doctor of Technical Sciences, Professor of the chair "Mechanics and Engineering Graphics", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

**Rybalkin Dmitry Alexeyevich**, Post-graduate Student of the chair "Mechanics and Engineering Graphics", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

**Peretyatko Andrey Vladimirovich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair "Mechanics and Engineering Graphics", Saratov State Agrarian University named after N.I. Vavilov. Russia.

**Keywords:** feeding device; uneven feeding; hammer; energy intensity of the process.

Ensuring the uniformity of the flow of the mill feed material to the working parts of the hammer shredder allows increasing its productivity, as well as reducing the energy intensity of the grinding process. To ensure a uniform flow, we produced a drum-type feeder with four troughs, the opposite sides of which are rotated relative to each other. When examining the influence of the arrangement of the feeder relative to the rotor shaft of the shredder, it is revealed that with the longitudinal arrange-

ment the productivity increases by 5...7%, and the process energy consumption reduces by 5...6%. It has been experimentally confirmed that the proposed design of the feeding device provides the most uniform flow of material to the working organs of the shredder in comparison with the commercially available. In order to determine the influence of the amount of in-feed to the working parts of the hammer shredder, investigations were carried out with various design and operating parameters of the feeding device. The analysis of the results made it possible to determine the optimal diameter of the drum of the feeder 0.07 m, and the rotational speed 70 ... 80 min<sup>-1</sup> at which the in-feed is 240..280 kg/h. The main working bodies-hammers have a significant influence on the productivity of the hammer shredder. Analysis of the effect of hammer circumferential velocity equal to 30...40 m/s made it possible to determine the operating parameters of the hammer rotor. Thus, as a result of the experimental studies, the optimum design and operating parameters of the hammer shredder were established, at which the maximum productivity is 250...300 kg/h, energy consumption of the process is 0.8...1.0 kW-h/kg-unit of measure.

УДК 630.386:626

## К ВОПРОСУ ОБ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ ПОЛИВА ДЕКОРАТИВНЫХ РАСТЕНИЙ В ЗАКРЫТОМ ГРУНТЕ

**ПОРТНОВ Сергей Алексеевич**, Физико-технический лицей № 1

**МИХЕЕВА Ольга Валентиновна**, Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова

Для решения задачи управления пространственным распределением влажности почвы необходимо осуществлять полив и контролировать электропроводность почвы в нескольких точках. В работе представлена система, состоящая из нескольких датчиков и нескольких исполнительных устройств. Созданный макет системы полива растений способен по команде микроконтроллера открывать и закрывать клапаны подачи воды, а также измерять напряжение на нижнем плече резистивного делителя, связанное с влажностью почвы. Описанный набор функций программы управления системой, загружаемой в микроконтроллер, позволяет определять (после соответствующей калибровки) уровень влажности почвы, а также управлять влажностью в точках, прилегающих к датчику влажности.

Для решения задачи управления пространственным распределением влажности почвы необходимо осуществлять полив и контролировать электропроводность почвы в нескольких точках. Для этого необходимо создать систему, состоящую из нескольких датчиков и нескольких исполнительных устройств. Микроконтроллеры AtMega328 имеют аналого-цифровой преобразователь, мультиплексированный на 8 входов, и дополнительно 2 порта разрядностью 8 бит каждый для под-

ключения исполнительных устройств. Таким образом, схема, использующая в качестве устройства управления контроллер AtMega328, может содержать до 8 датчиков влажности и исполнительных устройств. Для сокращения времени разработки, уменьшения габаритных размеров и обеспечения возможности повторения устройства вне масштабов электронного предприятия целесообразно использовать микроконтроллер, распаянный на плате Arduino Nano, поскольку эта плата имеет в





составе стабилизатор напряжения 5 В, кварцевый резонатор и преобразователь USB-RS-232, позволяющий легко подключать создаваемое устройство к компьютеру для отладки и перепрограммирования.

Добавочные резисторы датчиков и аналоговые ключи были собраны на одной печатной плате, содержащей также разъемы для подключения модуля Arduino Nano, вместе с которым плата представляет собой, по сути, блок управления системой полива. Принципиальная схема разработанного устройства представлена на рис. 1.

К разъему P1 подключаются датчики влажности, резисторы R1-R8 служат вторым плечом делителя напряжения [1]. На вход опорного напряжения аналого-цифрового преобразователя подано напряжение +5 В с выхода интегрального стабилизатора, распаянного на плате Arduino Nano. Для фильтрации высокочастотных импульсных помех установлен дроссель FB1 индуктивностью 500 мкГн. К разъему P5 подключены исполнительные механизмы, в качестве которых было решено использовать электромагнитные клапаны 2802.3741, применяемые в системе очистителей стекол автомобилям ВАЗ-2108 и ВАЗ-2109. Ключевые транзисторы выбирали исходя из следующих соображений: они должны выдерживать рабочий ток электромагнитных клапанов (не более 300 мА) и должны полностью открываться при напряжении затвор-исток не более 5 В [2]. Заданным требованиям вполне соответствуют приборы IRLML2502 производства фирмы International Rectifier (в настоящее время — подразделение Infineon Technologies). Резисторы R9-R16 нужны для рассасывания заряда затвора при подаче на него напряжения логического нуля, диоды D1-D8 шунтируют обмотки электромагнитных клапанов при выключении [10]. К разъемам P3 и P4 подключается плата Arduino Nano, разъем P2 служит для подачи напряжения питания, P6 — для подключения Bluetooth-модуля или иного транслятора среды передачи данных, осуществляющего связь с устройством, задающим верхний и нижний пределы влажности для каждого из датчиков.

Функционально транзисторные ключи оказываются подключены к выводам D4-D11 платы

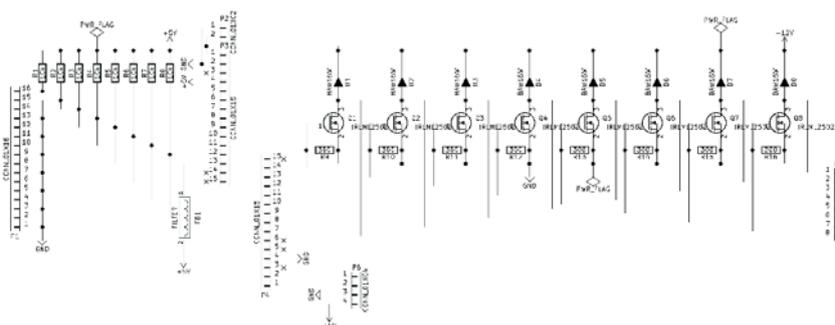


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная блока управления системы полива с 8 датчиками влажности. Лицензия CC-BY-SA 2.0

Arduino Nano, которые необходимо настроить для работы на выход, а датчики влажности почвы — к выводам A0-A7, являющимися входами АЦП.

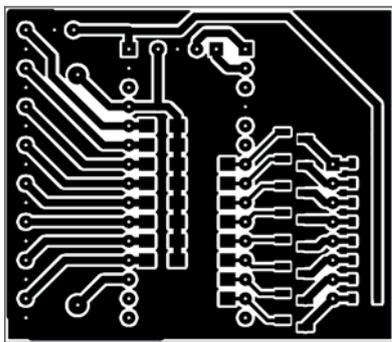
По приведенной принципиальной схеме в среде KiCAD нами был разработан чертеж печатной платы блока управления, приведенный на рис. 2. Чертеж печатной платы, как и электрическая принципиальная схема, распространяется под лицензией Creative Commons - «Attribution-ShareAlike» (CC-BY-SA 2.0). Плата была создана методом травления незащищенных участков медной фольги фольгированного стеклотекстолита. Маска создавалась на поверхности фольги методом термопереноса полимерного красителя со смываемой бумажной основы с последующим ретушированием [3]. Травление осуществляли в ненасыщенном растворе трехвалентного хлорида железа при постоянном визуальном контроле подтравливания дорожек.

Монтаж печатной платы особенностей не имеет. Внешний вид платы представлен на рис. 3.

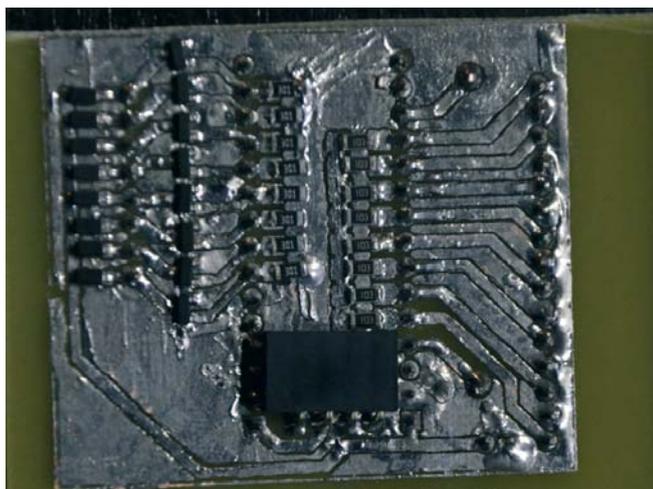
Для проведения дальнейших экспериментов блок управления и клапаны системы полива были смонтированы на массивном шасси, обеспечивающем беспрепятственный доступ ко всем электрическим контактам, механическим соединениям и гидравлическим узлам системы. Внешний вид полученного макета представлен на рис. 4.

Созданный макет системы полива растений способен по команде микроконтроллера открывать и закрывать клапаны подачи воды, а также измерять напряжение на нижнем плече резистивного делителя, связанное с влажностью почвы.

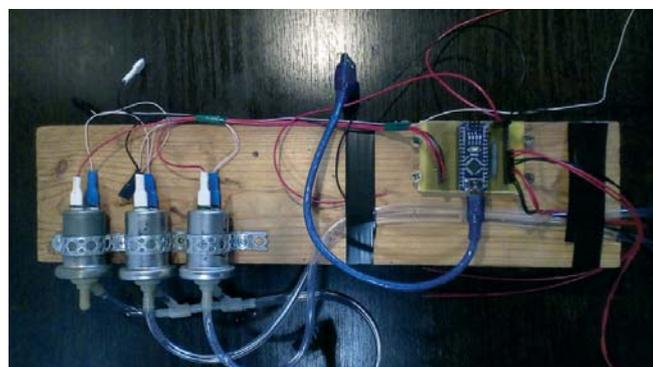
Алгоритм разрешения коллизий на уровне ведомого устройства реализован следующим образом [5]. После «холодного старта» или сброса система полива настроена так, что все клапаны оказываются закрыты. При этом контроллер ничего не передает через UART, ожидая текстовую команду. Команда состоит из двух частей — адресной и операционной. Адресная часть содержит адрес устройства в формате DEVccAAAAA, где DEV — преамбула, cc — байт (в шестнадцатеричной форме), отвечающие за класс устройства (например, системы полива, модули управления яркостью света, и т. д.), а AAAAAA — 3 байта, содержащие уникальный адрес устройства, получаемый им при производстве. В этом смысле система адресов модулей повторяет идеи, заложенные в системе MAC-адресов сетевых устройств компьютеров [2]. Операционная часть команды содержит собственно указания на то, какие действия должен выполнить модуль системы «умный дом». После того, как строка текста, заканчивающая-



**Рис. 2.** Чертеж печатной платы блока управления системы полива с 8 датчиками влажности. Лицензия CC-BY-SA 2.0



**Рис. 3.** Внешний вид печатной платы блока управления системы полива



**Рис. 4.** Внешний вид макета системы полива растений

ся символом конца строки '\n', оказывается полностью принята всеми ведомыми устройствами, каждое из них анализирует первые 11 ее символов (настраивается константой INIT\_LEN) на предмет соответствия адреса. Те устройства, адрес которых не совпадает с указанным в адресной части команды, игнорируют посылку, а устройство-получатель выполняет команду и посылает в линию ответ, содержащий как адресную часть, так и результат выполнения команды. Например, в ответ на команду DEV01000001AT\n устройство с адресом 0x01000001 ответит «DEV01000001OK\n». При этом наличие адресной части в ответе заставит все остальные низкоуровневые устройства проигнорировать этот ответ.

Такая сложность и избыточность (использование текста вместо двоичных данных) гарантирует простоту отладки (текст можно вводить прямо с клавиатуры) и написания интерфейсных библиотек, работающих на центральном сервере.

Поскольку задача приема и распознавания команд является общей для всех классов ведомых устройств, а набор команд для каждого класса заранее неизвестен, логично было программный код, реализующий прием и выполнение команд, выделить в отдельные функции-хендлеры, создать структуру, их каталогизирующую и написать функцию, выполняющую поиск в этом «каталоге» [6]. Поскольку набор функций для устройств одного класса известен заранее, известно и количество хендлеров, и размер структуры-каталога. Количество реализуемых функций указывается при определении константы NUM\_PARSER\_FUNCTIONS.

Необходимо отдельно описать механизм приема данных и определения принадлежности текстовой команды. При поступлении данных по UART микроконтроллер генерирует программное прерывание, вызывая функцию-обработчик. В среде Arduino для работы с UART существует библиотека Serial, описывающая прототип метода serialEvent(void), содержащего обработчик упомянутого выше программного прерывания. Задача обработчика прерываний — как можно быстрее принять данные и вернуть управление основной программе. Поэтому данные, принимаемые по UART, собираются обработчиком в специальный массив gxbuffer[] до тех пор, пока не будет обнаружен символ конца строки '\n'. В этом случае данные из буфера gxbuffer копируются в другой буфер для анализа вне контекста обработки прерываний (buffer[]), а для индикации наличия в этом буфере текста устанавливается флаг transmission\_ready\_flag. При этом gxbuffer[] не заполняется до тех пор, пока transmission\_ready\_flag не окажется сброшенным. Реакция на установленный transmission\_ready\_flag следует уже в основном цикле программы (void loop()). Для этого вызывается функция IsTransmissionToOurs(), которая и анализирует первые 11 байт буфера, содержащего команду. Если оказывается, что команда предназначена для нашего устройства, то содержимое буфера сдвигается влево на 11 байт, адресная часть теряется и остается только операционная часть команды. Такой алгоритм разрешения коллизий без нарушения общности можно использовать для любого класса низкоуровневых устройств [7].

Упомянутая выше структура-каталог (TParserConfig ParserFunctions[]) представляет собой массив, число элементов которого равно числу реализуемых функций, а сами элементы представляют собой структуру, состоящую из переменной-длины текстового названия коман-





ды, строки (массива `char[]`), содержащей текстовое имя команды и адреса функции-хендлера. Естественно, что перед выполнением основной части программы элементы структуры-каталога нужно инициализировать [8].

Функция, осуществляющая поиск в каталоге (`THandler Parser(void)`), последовательно сравнивает начало буфера `buffer[]` со всеми текстовыми именами команд, записанными в структуре-каталоге. Если для какого-то из элементов структуры-каталога сравнение заканчивается успехом, функция поиска сдвигает содержимое буфера влево, удаляя текстовое название команды, и возвращает адрес реальной функции-обработчика. И хотя для реализации такого алгоритма приходится использовать указатели на функции [9], такой подход позволяет написать универсальную функцию поиска в каталоге команд.

В случае, если устройство, получившее команду, обнаружило ее текстовое название среди заранее определенных, в буфере для анализа `buffer[]` остается только текст, следующий непосредственно за текстовым названием (если он вообще был передан центральным сервером). Поэтому когда происходит вызов функции-хендлера, она при необходимости может считать свои аргументы из начала буфера.

Логика работы основной программы системы полива заключается в следующем. После анализа команд, присланных ведущим устройством через UART и реакции на них, программа считывает значения напряжения на аналоговых входах (в шагах аналого-цифрового преобразователя) и сравнивает их с заранее установленными и сохраненными в массивах `MaxSignal[]` и `MinSignal[]` значениями. Для используемого в МК AtMega328 10-разрядном АЦП значения сигнала могут находиться в диапазоне от 0 до 1023 ед. Если напряжение оказывается выше порога `MaxSignal[i]`, что означает, что электропроводность почвы упала из-за падения влажности ниже заданной нормы, то программа открывает соответствующий клапан подачи воды. Если же уровень сигнала падает ниже `MinSignal[i]`, то это означает, что электропроводность почвы из-за увеличения влажности увеличилась, и клапан необходимо закрыть. При этом закрывается ключевой транзистор, управляющий работой соответствующего клапана и клапан перекрывается.

Верхний и нижний пороги сигнала устанавливаются командой `SETcMINaMAXb`, где `c` – номер канала, `a` – нижний порог сигнала, `b` – верхний порог сигнала. Для принудительного открывания клапана достаточно установить верхний порог в 0, для принудительного закрывания – верхний в 1024 и нижний в 0.

Пороги сигнала и его текущий уровень для всех каналов можно считать командой `GET`, не требующей дополнительных аргументов. Команда `GET` в ответ генерирует строку текста, содержащую данные о нижнем и верхнем порогах, а также текущем значении сигнала во всех каналах. Пример вывода: `DEV01000001C0MIN500MAX520CUR520C1MIN0MAX1024CUR611...` расшифровывается следующим образом. В канале 0 нижний порог сигнала 0 шагов аналого-цифрового преобразователя, верхний – 520, текущий – 520.

Для определения предельных значений сигнала датчиков сначала измерили его уровень на трех абсолютно сухих датчиках, закономерно получив значение сигнала 1023 ед. при уровне шума 1–2 ед. После этого датчики поместили в водопроводную воду, получив значения сигнала 400, 423 и 429 ед.

Разумнее всего при эксплуатации устройства настраивать пороги включения и выключения клапанов индивидуально для каждого растения.

Находясь в почве, вода перераспределяется, переходя из слоя в слой. Причиной потока воды в почве служат пространственные различия потенциала почвенной влаги. Для количественного определения этих потоков используется уравнение Дарси. Для одномерного вертикального потока, уравнение Дарси может быть написано следующим образом:

$$Q = -K(h)d(h+z)/dz, \quad (1)$$

где  $q$  – плотность потока воды в почве (положительна при восходящем потоке),  $\text{м}^3\text{м}^{-2}\text{с}^{-1}$ ;  $K(h)$  – гидравлическая проводимость как функция давления (напора) почвенной влаги,  $\text{м с}^{-1}$ ;  $h$  – исходное давление воды в почве,  $\text{м}$ ;  $Z$  – вертикальная координата, отсчитываемая от поверхности почвы,  $\text{м}$  (направление вверх принято положительным).

Анализируя водный баланс бесконечно маленького объема почвы, приходим к уравнению неразрывности для воды в почве:

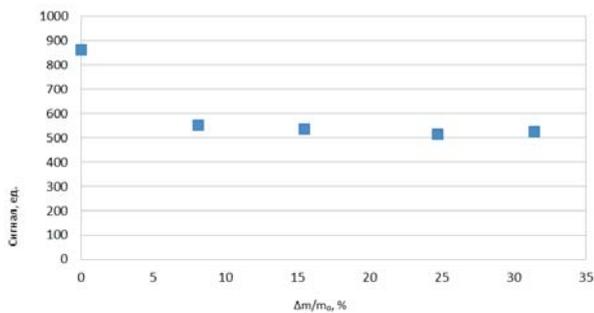
$$d\theta/dt = -dq/dz - S(h), \quad (2)$$

где  $\theta$  – объемная влажность почвы,  $\text{м}^3\text{м}^{-3}$ ,  $t$  – время,  $\text{с}$ ,  $S$  – объем воды, поглощаемый корнями в единице общего объема почвы за единицу времени,  $\text{м}^3\text{м}^{-3}\text{с}^{-1}$ .

Уравнение (2) констатирует, что в единичном объеме почвы скорость изменения влажности почвы во времени равна потоку, выходящему из этого объема через его границы, плюс потоку воды, покидающему данный объем через находящиеся в нем корни.

Комбинация уравнений (1) и (2) приводит к известному уравнению Ричарда:

$$d\theta/dt = -C(h)dh/dt = -S(h) + d[K(h)(dh/dz+1)]/dz, \quad (3)$$



**Рис. 5. Зависимость среднего значения сигнала датчиков от прироста массы почвы при увлажнении**

где  $C(h)$  – дифференциальная влагоемкость почвы, которая является функцией от  $\theta$  или  $h$ ,  $m^{-1}$ . На рис. 5 представлена зависимость среднего значения сигнала датчиков от прироста массы почвы при увлажнении.

Описанный набор функций программы управления системой, загружаемой в микроконтроллер, позволяет определять (после соответствующей калибровки) уровень влажности почвы, а также управлять влажностью в точках, прилежащих к датчику влажности.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аппаратное обеспечение интеллектуальной системы автоматизированного управления энергопотреблением в зданиях и сооружениях / В.В. Шитов [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2011. – № 2. – С. 93–95.
2. Гинзбург В.В. Автоматизированная система диспетчерского управления инженерными системами здания // Патент на изобретение гус 2178909 24.07.2000.
3. Ильин В.В. Энергоэффективное управление зданиями с помощью автоматизированных систем // АВОК: Вентиляция, отопление, кондиционирование воздуха, теплоснабжение и строительная теплофизика. – 2010. – № 3. – С. 68–73.
4. Математические модели управления процессами теплоснабжения зданий для автоматизированных систем управления / С.К. Сергеев [и др.] // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2007. – № 1. – С. 113–117.

5. Матушкин Н.Н., Южаков А.А. Определение емкостно-временных характеристик автоматизированной системы контроля и диспетчерского управления инженерным оборудованием здания // Вестник Казанского государственного технического университета им. А.Н. Туполева. – 2010. – № 4. – С. 151–154.

6. Михеева О.В. Совершенствование нормирования водосберегающих режимов орошения озимой пшеницы в условиях Саратовского Заволжья: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Саратов, 2005. – 20 с.

7. Программный комплекс для интеллектуальной системы автоматизированного управления энергопотреблением в зданиях и сооружениях / Г.В. Абрамов [и др.] // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. – 2011. – № 2. – С. 13–15.

8. Указатель на функцию. Динамическое связывание / Указатель на функцию. – Режим доступа: <http://ermak.cs.nstu.ru/cprog/html/093.htm> (дата обращения – 23.02.2017). Загл. с экрана. Яз. рус.

9. Atmega48A/PA/88A/PA/168A/PA/328/P ATMEL 8-BIT MICROCONTROLLER WITH 4/8/16/32KBYTE(S) IN-SYSTEM PROGRAMMABLE FLASH DATASHEET / Atmel Corporation. URL: [http://www.atmel.com/images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P\\_datasheet\\_Complete.pdf](http://www.atmel.com/images/Atmel-8271-8-bit-AVR-Microcontroller-ATmega48A-48PA-88A-88PA-168A-168PA-328-328P_datasheet_Complete.pdf) (дата обращения: 20.02.2017). Загл. с экрана. Яз. англ.

10. International Rectifier: IRLML2502 HEXFET(R) Power MOSFET / Semiconductors and System Solutions –Infineon Technologies. URL: [http://www.infineon.com/dgdl/irlml2502.pdf?fileId=5546d462533600a401535667f4\\_4d2602](http://www.infineon.com/dgdl/irlml2502.pdf?fileId=5546d462533600a401535667f4_4d2602) (дата обращения: 20.03.2017). Загл. с экрана. Яз. англ.

11. <http://www.razumdom.ru>.

**Портнов Сергей Алексеевич**, канд. физ.-мат. наук, Физико-технический лицей №1. Россия.

410012, г. Саратов, ул. Московская, 143.

Тел.: (8452) 26-42-35.

**Михеева Ольга Валентиновна**, канд. техн. наук, доцент кафедры «Строительство, теплогазоснабжение и энергообеспечение», Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова. Россия.

410056, г. Саратов, ул. Советская, 60.

Тел.: (8452) 74-96-51.

**Ключевые слова:** автоматическая система полива; микроконтроллер; печатная плата; система полива, влажность.

#### TO THE PROBLEM OF THE AUTOMATED DROP SYSTEM OF DECORATIVE PLANTS IN THE CLOSED GROUND

**Portnov Sergey Alekseevich**, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Physico-Technical Lyceum No. 1. Russia.

**Mikheyeva Olga Valentinovna**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the chair “Construction, Heat and Gas Supply and Energy Supply”, Saratov State Agrarian University named after NI Vavilov. Russia.

**Keywords:** automatic irrigation system; microcontroller; printed circuit board; irrigation system; humidity.

**To solve the problem of controlling the spatial distribution of soil moisture, it is necessary to water and monitor**

**the electrical conductivity of the soil at several points. The article presents a system consisting of several sensors and several actuators. The created model of the plant irrigation system is able to open and close the water supply valves at the command of the microcontroller, and also to measure the voltage on the lower arm of the resistive divider, connected with the soil moisture. The described set of functions of the system control program, which is loaded into the microcontroller, allows to determine (after the appropriate calibration) the moisture level of the soil, as well as to control humidity in the points that are attached to the humidity sensor.**

