

Разработка системы для автоматизации процесса выращивания растений

А. О. Федоркова¹, А. Д. Скакун², Е. С. Трусова³

Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

¹ aofedorkova@stud.eltech.ru, ² adstotskaya@etu.ru, ³ yekaterina.trusova2018@yandex.ru

Аннотация. В докладе описана разработка функциональных и технических решений для автоматизации процесса выращивания растений. Автоматизация процесса выращивания растений является перспективной как в промышленных масштабах, так и для индивидуального использования, так как точный расчёт количества необходимых ресурсов позволит уменьшить их расход. Для растений важно наличие определенных микроклиматических условий, которые можно поддерживать на заданном уровне автоматически, без участия человека, что позволит не только сократить количество болеющих и умерших растений, но и способствовать наиболее быстрому темпу роста и развития выращиваемой культуры.

Ключевые слова: автоматизация, разработка программного обеспечения, обмен данными, датчики, управляющее устройство

I. ВВЕДЕНИЕ

Основными факторами, оказывающими наибольшее воздействие на рост и развитие растения, являются освещенность, температура, влажность почвы и питание. Постоянный контроль этих факторов требует значительных усилий и времени, поэтому в настоящее время набирает популярность использование интеллектуального оборудования для управления этими процессами. На сегодняшний день на рынке готовых устройств присутствуют разнообразные решения подобного класса, однако не все они удобны в использовании. Кроме того, цена таких установок на рынке достаточно высока, и не каждый потребитель может позволить себе такую покупку.

Для создания системы для автоматизации процесса выращивания растений необходимо выполнить следующие задачи:

- Выбрать аппаратное исполнение системы, а именно: датчики для контроля состояния окружающей растение среды и устройства, регулирующие освещённость и влажность почвы.
- Разработать способ обмена данными, то есть выбрать управляющее устройство, а также разработать ПО.
- Проверить систему на работоспособность.

II. АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

A. Аппаратное исполнение системы. Датчики

Для разрабатываемой системы было выбрано три аналоговых датчика:

- Датчик температуры серии LM, выдающий аналоговое напряжение, пропорциональное

температуре воздуха с коэффициентом масштабирования $10\text{mV}/1^\circ$ [1].

- Ёмкостной датчик влажности почвы, выполненный в виде штыря, погружаемого в грунт на расстояние 65–80 мм.
- Датчик освещённости, выполненный на основе фоторезистора, сопротивление которого меняется в зависимости от интенсивности падающего на него света. Для того, чтобы преобразовать изменение сопротивления в изменение напряжения, дополнительно используется делитель напряжения, второе сопротивление которого постоянно и равно 10000 Ом.

B. Аппаратное исполнение системы. Устройства, регулирующие состояние окружающей среды

Рассматривая влияние света на растения, выделяют две важнейшие составляющие – освещенность и длину световой волны. Растению в среднем требуется не менее 3000 люксов, и комнатного освещения, чаще всего, бывает недостаточно для его полноценного развития. Для правильного развития растениям необходимы волны синего (440-485) и оранжево-красного диапазона (580-740). Волны синего спектра стимулируют процессы роста лиственной массы, а красного – процесс фотосинтеза и общее развитие растений. Исходя из заданных требований, в качестве источника освещения будет использоваться светодиодная биколорная лента с красными и синими светодиодами.

Для полива требуется погружной электрический насос.

После выбора датчиков и регуляторов окружающей среды необходимо обеспечить способ обмена данными между ними и управляющей программой. Так как программу изначально планировалось разрабатывать в среде LabVIEW, необходимо было выбрать такое устройство, которое было бы совместимо с указанной средой проектирования, а также обладало достаточным количеством аналоговых и цифровых входов и выходов.

Для достижения поставленных целей подходит устройство фирмы National Instruments – USB-6211.

Так как максимальное выходное напряжение этого устройства составляет 5 В, а ток 50 мА, для работы устройств, регулирующих состояние окружающей среды необходимо использовать внешние блоки питания, управление включением и выключением которых осуществляется с помощью электромагнитного реле.

Схема подключения всех устройств представлена на рис. 1.

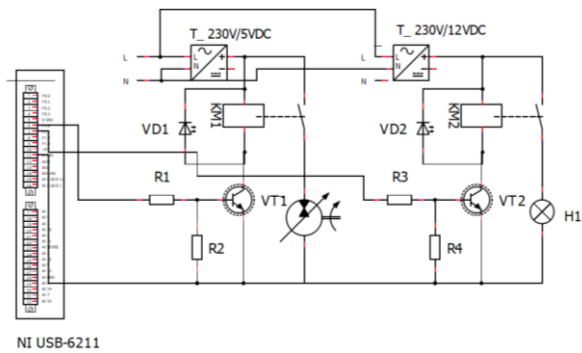


Рис. 1. Схема подключения

Перед сборкой установки была предварительно создана её модель в пакете моделирования AutoCAD.

Устройство экспериментальной установки показано на рис. 2.

Экспериментальная установка состоит из ящика для земли (1); подноса (2); опорных столбов (3); ёмкости для воды (4); светодиодной ленты (5); насоса (6); устройства управления (7); датчика влажности почвы (8); датчика температуры (9); датчика освещённости (10); блока питания 12 В (11). Ящик для земли изготовлен из прозрачного оргстекла, и имеет размеры 32x20x2,5. Габариты и материал выбраны определенным образом для того, чтобы можно было наблюдать не только за надземными побегами, но и за корневой системой. Поднос (2) служит для сбора невпитавшейся в землю жидкости. На опорные столбы (3) крепятся светодиодная лента (5), датчики температуры (9) и освещённости (10). Датчик освещённости закреплен в верхней точке опоры, на высоте 66 см, и служит для измерения естественного освещения. Датчик температуры расположен на уровне роста растений. Насос (6) погружается в ёмкость для воды (4) и подключается к устройству управления через электромагнитное реле. Замыкание и размыкание контактов реле осуществляется с помощью транзистора. Полив осуществляется с помощью подключенного к насосу шланга длиной 1 м. Управление светодиодной лентой (5) осуществляется аналогичным способом.

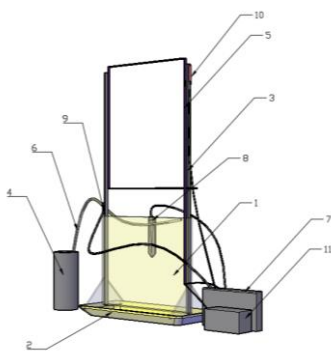


Рис. 2. 3D-модель экспериментальной установки

III. РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ И ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКОГО ИНТЕРФЕЙСА

Важным этапом является калибровка [2] используемых датчиков, так как их выходной сигнал – напряжение, никак не связанное с реальными измеряемыми физическими величинами.

В качестве датчика температуры выбран аналоговый датчик LM35DZ. На выходе датчика – переменное напряжение от 0 до 1 В, пропорциональное измеряемой температуре. Один градус соответствует 10 мВ, поэтому для получения значения напряжения достаточно умножить поступившее на устройство ввода-вывода значение на 100.

Для того, чтобы определить какое напряжение показывает датчик при различной влажности почвы, необходимо сначала измерить полную влагоёмкость почвы. В ходе эксперимента было установлено, что для почвы, используемой в экспериментальной установке, она составляет 280 г на 1 кг почвы. Для калибровки датчика влажности почвы необходимо вручную увлажнить почву до определённого процента и записывать полученное на выходе датчика напряжение.

ТАБЛИЦА I ЗНАЧЕНИЯ ВЫХОДНОГО НАПРЯЖЕНИЯ ДАТЧИКА ПРИ РАЗНОЙ ВЛАЖНОСТИ ПОЧВЫ

Значение влажности, %	Полученное напряжение в первом опыте, В	Полученное напряжение во втором опыте, В	Полученное напряжение в третьем опыте, В
60	1,82	1,79	1,8
70	1,54	1,54	1,53
80	1,31	1,34	1,32
90	1,11	1,11	1,09
100	0,99	0,98	0,98

Датчик освещённости выполнен на основе фоторезистора [3], который меняет своё сопротивление в зависимости от интенсивности падающего на него света.

Измерение напряжение происходит в средней точке делителя напряжения.

Зависимость выходного напряжения от входного и сопротивления резисторов R1 и R2 выражается формулой (1):

$$V_{out} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{in} \quad (1)$$

В качестве входного напряжения будет использовано напряжение NI USB-6211, равное 5В, сопротивление резистора R1 выбрано 10 000 Ом. Тогда, сопротивление фоторезистора:

$$R_2 = \frac{R_1}{\frac{V_{in}}{V_{in} - V_{out}} - 1} = \frac{10000}{\frac{5}{5 - V_{out}} - 1} \quad (2)$$

ТАБЛИЦА II ЗНАЧЕНИЯ ПОЛУЧЕННОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ РАЗНОЙ ОСВЕЩЁННОСТИ

Освещённость, лк	Сопротивление, полученное в первом опыте, Ом	Сопротивление, полученное во втором опыте, Ом	Сопротивление, полученное в третьем опыте, Ом
500	648	614	602
1000	430	446	418
2000	334	357	318
3000	250	257	244
4000	217	203	214

Полученные данные позволяют оценить, достаточно ли растениям естественного освещения и нужно ли включать дополнительный источник.

Для управления системой автоматического выращивания растений разработано ПО на базе программного комплекса NI LabVIEW [4]. Среди достоинств LabVIEW можно выделить следующие:

- основой является язык графического программирования «G»;
- широкие возможности сбора, обработки и анализа данных, управления приборами, генерации отчетов и обмена данных через сетевые интерфейсы;
- драйверная поддержка более 2000 приборов;
- возможность эффективно управлять потоками данных, их представлением и преобразованием;
- высокая скорость выполнения откомпилированных программ.

Обмен данными между пользовательским интерфейсом, датчиками и исполнительными устройствами осуществляется с помощью многофункционального устройства ввода-вывода NI USB-6211, которое подключается к ПК через USB порт. Для работы с NI USB-6211 в среде LabVIEW используется драйвер NI-DAQmx.

Архитектура системы управления представлена на рис. 3.

К функциям разрабатываемой программы относятся:

Функции мониторинга показателей:

- считывание информации с датчиков;
- преобразование полученной информации в понятные любому пользователю единицы измерения;

- отображение параметров в режиме реального времени;
- запись полученных данных в файл.

Функции управления:

- задание диапазона допустимых значений естественного уровня освещенности;
- задание необходимого уровня влажности почвы;
- задание желаемого уровня температуры окружающей среды;
- включение/выключение освещения;
- включение/выключение полива.

Алгоритм работы основной части программы представлен на рис. 4. Сначала пользователь задаёт требуемые параметры через лицевую панель, после чего начинается считывание показаний с датчиков. В зависимости от полученных данных, устройства, регулирующие состояние окружающей среды, либо включаются, либо выключаются.

На лицевой панели показаны текущие показания, обновляемые каждую секунду, и состояние исполнительных устройств. Внешний вид всей лицевой панели показан на рис. 5.

Справа находится таблица показаний, значения в которую заносятся с заранее заданной пользователем частотой. Эти данные также заносятся в текстовый файл, расположенный в той же директории, что и программа.

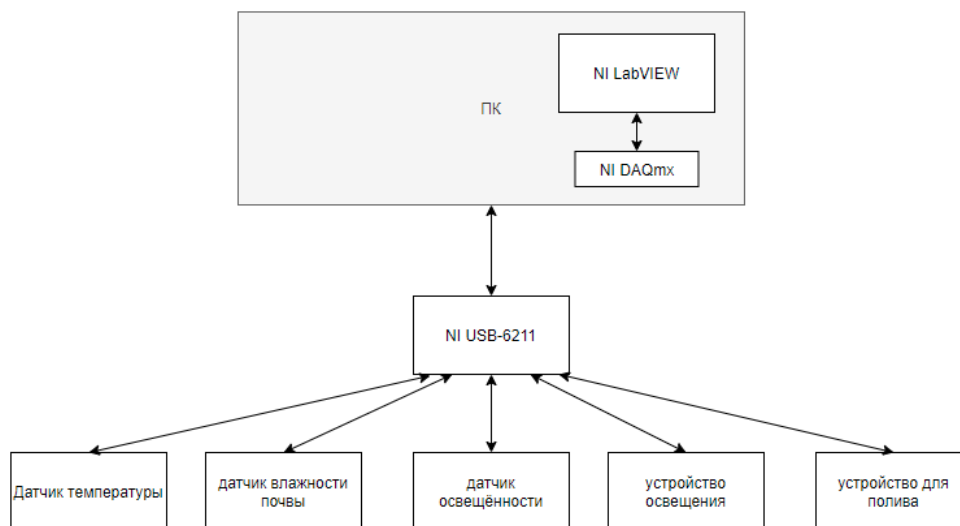


Рис. 3. Архитектура системы управления

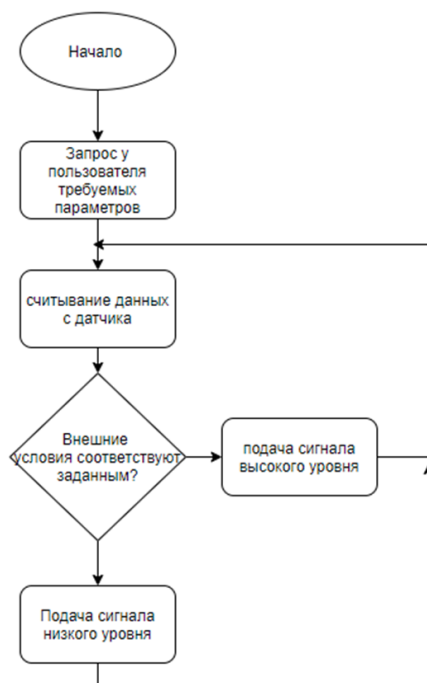


Рис. 4. Алгоритм управления исполнительными устройствами

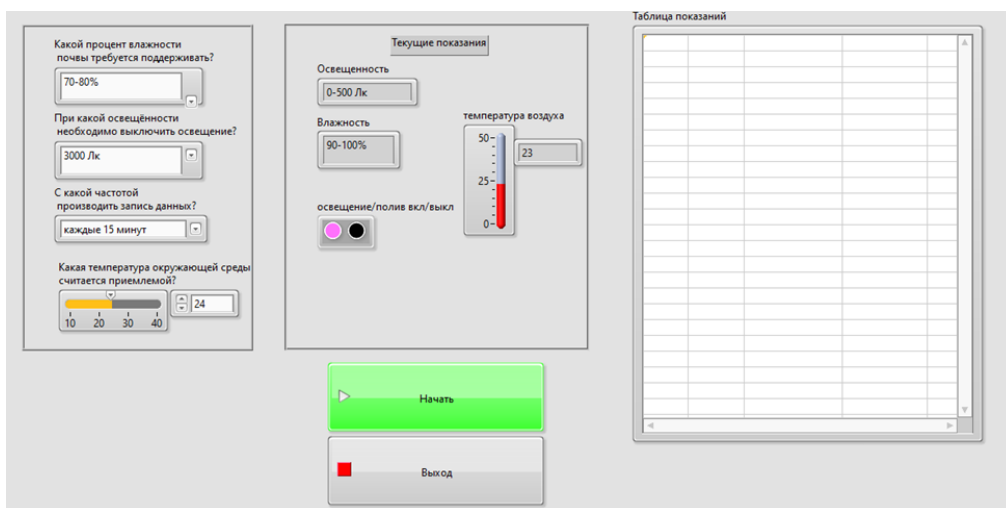


Рис. 5. Вид лицевой панели

IV. ПРОВЕРКА РАБОТЫ СИСТЕМЫ

Для проверки работы системы были высажены бархатцы вида «Гавайи». Однолетнее растение семейства сложноцветные, любящие солнечный свет и требующие влажность почвы порядка 80%. Благоприятной для прорастания семян температурой считается температура 20–25 градусов, что полностью соответствует комнатной температуре в помещении, где проводился эксперимент.

При запуске виртуального прибора были выбраны соответствующие условия – при освещённости меньше 4000 люксов работает искусственное освещение, при влажности почвы меньше 80% включается система полива.

Эксперимент начался 01.05.2021. Прорастание семян ожидалось на 7–15 день после посадки, однако первые всходы показали уже через 3 дня. Всего было высажено 15 семян, данные об их всходах занесены в табл. 3.

ТАБЛИЦА III СКОРОСТЬ ПРОРАСТАНИЯ СЕМЯН

Дата	Число проросших семян в установке	Число проросших семян в обычных условиях
03.05.2021	3	0
04.05.2021	3	0
05.05.2021	5	0
06.05.2021	5	2
07.05.2021	5	3
08.05.2021	8	3
09.05.2021	9	3
10.05.2021	9	5
11.05.2021	10	5
12.05.2021	12	8
13.05.2021	13	8
14.05.2021	13	8
15.05.2021	13	9
16.05.2021	13	9
17.05.2021	13	9
18.05.2021	13	9
19.05.2021	13	9

Как видно из таблицы, первые семена в установке взошли гораздо быстрее, чем семена, высаженные в обычных условиях. Скорость роста побегов также фиксировалась. Результаты роста представлены в табл. 4.

ТАБЛИЦА IV СКОРОСТЬ РОСТА ПОБЕГОВ

Дата	Высота самого большого побега в установке, см	Высота самого большого побега в обычных условиях, см
03.05.2021	3	0
04.05.2021	4,2	0
05.05.2021	5,6	0
06.05.2021	6,4	2,6
07.05.2021	7,3	3,2
08.05.2021	8	3,8
09.05.2021	9,3	3,9
10.05.2021	9,8	4,4
11.05.2021	10,2	5,2
12.05.2021	10,6	5,6
13.05.2021	11	6,1
14.05.2021	11,3	6,5
15.05.2021	11,5	6,9
16.05.2021	11,7	7,3
17.05.2021	11,8	7,3
18.05.2021	12	7,4
19.05.2021	12	7,7

Было сделано наблюдение, что наиболее интенсивный рост наблюдается в самые первые дни после прорастания, однако растения, высаженные в установке, развивались быстрее, чем посаженные в обычной горшке. На протяжении всего эксперимента данные температуры, влажности и освещённости непрерывно регистрировались с интервалом в 1 час. Часть полученных данных представлена на рис. 6.

Во время всего эксперимента температура окружающего воздуха была достаточно высокой для нормального развития растений, влажность почвы поддерживалась на нужном уровне, освещение включалось по мере необходимости – если уровень естественной освещённости был ниже 4000 Лк. Человек не принимал непосредственного участия в уходе за растениями, весь процесс был полностью автоматизирован, и результаты получились более чем удовлетворительные. Проведённый эксперимент показал, что установка выполняет все требуемые функции, задача автоматизации выращивания растений выполнена. Растения, посаженные в установке, растут быстрее и лучше, чем те, за которыми осуществлялся ручной уход.

время	Освещённость	Влажность почвы	Температура воздуха
13.05.2021	0-500 Лк	80-90%	24
13.05.2021	0-500 Лк	80-90%	24
13.05.2021	0-500 Лк	80-90%	24
13.05.2021	0-500 Лк	80-90%	24
13.05.2021	0-500 Лк	80-90%	24
13.05.2021	0-500 Лк	80-90%	24
13.05.2021	1000-2000 Лк	80-90%	24
13.05.2021	1000-2000 Лк	80-90%	24
13.05.2021	2000-3000 Лк	80-90%	24
13.05.2021	2000-3000 Лк	80-90%	24
13.05.2021	2000-3000 Лк	80-90%	24
13.05.2021	>4000 Лк	80-90%	24
13.05.2021	1000-2000 Лк	80-90%	24
13.05.2021	3000-4000 Лк	80-90%	24
13.05.2021	1000-2000 Лк	80-90%	24
13.05.2021	1000-2000 Лк	80-90%	24

Рис. 6. Показания датчиков за 13.05.2021

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения поставленной задачи была разработана установка для автоматического выращивания растений.

Разработана программа в среде программирования LabVIEW, в которой реализовано получение данных с датчиков и управление исполнительными устройствами через многофункциональное устройство ввода-вывода NI USB-6211.

Разработана лицевая панель пользователя, через которую задаются желаемые параметры системы и осуществляется наблюдение за текущими показаниями системы.

Полученные показания были визуализированы в виде таблицы и сохранены в отдельный файл на персональном компьютере пользователя.

Для усовершенствования разработанной системы можно:

- Добавить аппаратные элементы для анализа и контроля кислотности рН.
- Аппаратное обеспечение для контроля уровня воды в резервуаре для полива.
- Реализовать технические решения для анализа и контроля количества удобрений в почве.
- Разработать систему для автоматического наблюдения за ростом растений.
- Создать приложения для устройств iOS и Android.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Семенов В. С. Датчики тепловых величин. М.: МИФИ, 1982. 98 с.
- [2] QNET Practical Control Guide. Инженерный тренажер Quanser для NI ELVIS. Руководство к практикуму по системам управления QNET, 2009. 92 с.
- [3] Богданов Э.О. Фоторезисторы и их применение. Энергия, 1978. 144 с.
- [4] Jennings Richard, De la Cueva Fabiola. LabVIEW Graphical Programming, 5th edition. McGraw-Hill Education, 2019. 640 с.