

УДК 519.862.6

DOI: 10.22213/2410-9304-2023-4-68-74

## Разработка интеллектуальной системы для комплекса культивирования растений с использованием концепции интернета вещей

К. В. Земсков, студент, ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, Ижевск, Россия

В. А. Сидорина, кандидат педагогических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

Е. Г. Булатова, кандидат физико-математических наук, доцент, ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, Ижевск, Россия

*В статье представлено решение проблемы автоматизации процесса культивирования растений с использованием концепции интернета вещей. Использование интеллектуальной системы для управления установкой гидропоники позволяет повышать энергоэффективность выращивания растений путем внедрения интеллектуальных технологий. Применение концепции интернета вещей позволяет более качественно подходить к поиску и применению методов рационального современного производства. Эта концепция позволяет по Wi-Fi передавать собранные данные с микроконтроллера на компьютер через сервер, что весьма эффективно в условиях большого количества датчиков. В этом случае и время, и материальные затраты на долю продукции значительно сокращаются. В работе были определены требования для регистрирующего и управляющего устройства в интеллектуальной системе, которое подключается к сети Интернет для дальнейшей обработки данных, конфигурации и исполнения механизма работы, этапов функционирования системы выращивания. Рассмотрена часть системы управления комплексом культивирования растений с применением доступных на рынке микроконтроллерных устройств, таких как ESP. Была разработана конструктивная функциональная структура устройства. Кроме этого, определено, что интеллектуальная система содержит следующие модули: thing (сам физический контроллер – устройство, периферия), network (сеть устройств и каналов связи, обеспечивающих передачу информации согласно сетевым протоколам), облако (включает в себя сервер, обрабатывающий запросы клиента, хранилище и пользовательский интерфейс). Дано описание первого модуля, включающего основную плату контроллера с микроконтроллером esp12e. Второй модуль содержит печатные платы блока питания и контроллера, которые разработаны и разведены с помощью платформы EasyEDA. Для третьего модуля были получены трехмерные модели блока питания и основной платы в среде EasyEDA.*

**Ключевые слова:** интеллектуальная система, интернет вещей, комплекс культивирования растений, среда EasyEDA, микроконтроллер, пользовательский интерфейс.

### Введение

Целью данной работы является разработка интеллектуальной системы для комплекса культивирования растений с использованием концепции интернета вещей. Однако, как показывает обзор литературы, концепция интернета вещей слабо распространена в сфере внедрения автоматизированных систем для культивирования растений. Кроме того, как оказывается, данный подход применяется лишь на уровне крупных, государственных производств, несмотря на то что сам принцип используется повсеместно во многих сферах жизни человека.

Понятие «интернет вещей» подразумевает некую вычислительную сеть физических объектов (предметов, вещей), оснащенных встроенными технологиями (интерфейсами) для взаимодействия друг с другом или с внешней средой [1–3].

Сегодня интернет вещей не просто тенденция – это успешно развивающаяся многогранная концепция, включающая в себя исследование в области информатики, сетей, микроэлектроники и сенсорных технологий. Таким образом, с помощью компьютерных систем объекты могут собирать данные и обмениваться ими в реальном времени, а также анализировать эти данные, что приводит к повышению эффективности производства, оптимизации бизнес-процессов и улучшению качества продукции [4–6].

Наиболее актуальным направлением является создание и практическое применение программно-аппаратных средств и роботизированных интеллектуальных технологий для выращивания сельскохозяйственных растений в закрытых системах. Это приводит к снижению издержек производства, к повышению производительности работ и качества продукции.

В результате изучения рынка и хозяйств установлено, что средства автоматизированного культивирования практически недоступны собственникам хозяйств. Причины малой распространенности – это отсутствие мобильных систем культивирования на рынке в готовом виде.

Кроме того, необходимо отметить высокую стоимость и избыточность промышленных систем культивирования, а также неосведомленность владельцев хозяйств об автоматизированных методах выращивания [7–9].

### Разработка системы

В ходе анализа литературы и предложений, уже существующих на рынке [10–12], было разработано решение, направленное на создание устройства, позволяющего скомпоновать комплекс для выращивания растений, использующий преимущества микроконтроллерных устройств, сети Интернет и беспроводной связи.

Рассмотрим краткую характеристику требований для регистрирующего и управляющего устройства в интеллектуальной системе, подключаемого к сети Интернет для дальнейшей обработки данных, конфигурацию и исполнение механизма работы, этапы функционирования системы выращивания.

Так, в исследовании главной полезной функции устройства определены:  $F$  – главная функция для централизованного, автоматизированного управления системой выращивания посредством конфигурируемой программы и веб-сервиса;

$K$  – потребность;  $Q$  – физическая операция, где  $F = (K, Q)$ .

Нами была разработана конструктивная функциональная структура устройства (рис. 1). Помимо этого определено, что интеллектуальная система содержит следующие модули: thing (сам физический контроллер – устройство, периферия), network (сеть устройств и каналов связи, обеспечивающих передачу информации согласно сетевым протоколам), облако (включает в себя сервер, обрабатывающий запросы клиента, хранилище и пользовательский интерфейс).

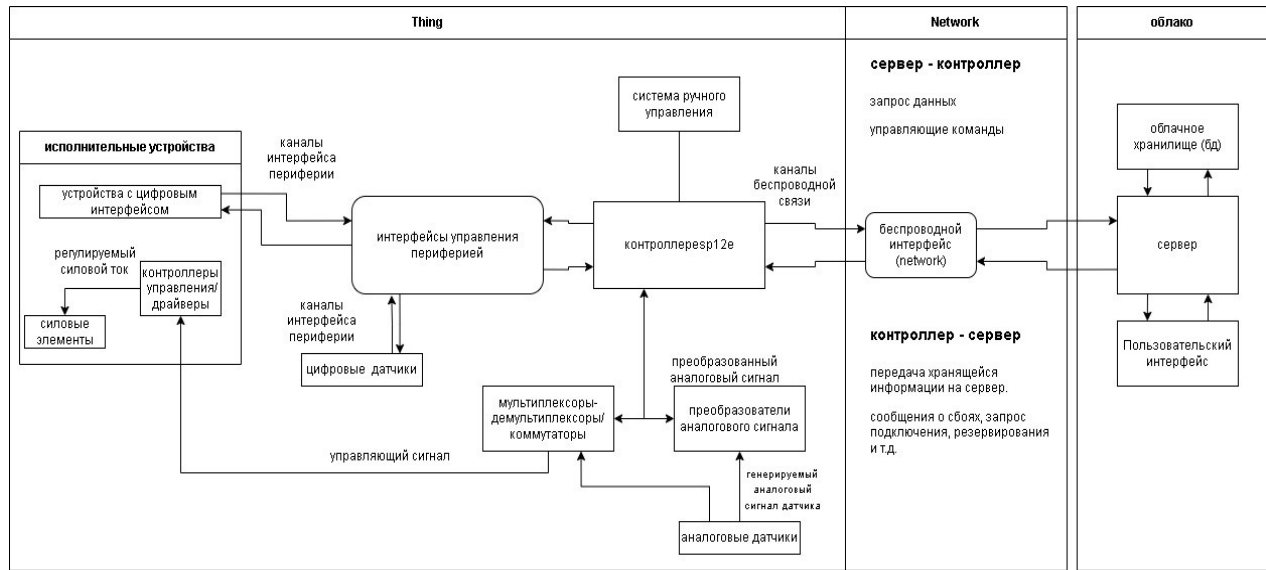


Рис. 1. Конструктивная функциональная структура устройства

Fig. 1. Constructive functional structure of the device

Работа по созданию контроллера для выращивания растений представляет собой исследовательско-практическую деятельность по созданию прототипа, приближенного к рыночному решению. Требования к устройству определяются из необходимости разрешения недостатков уже существующих систем на рынке, в том числе удешевление и повышение доступности для круга пользователей в целом.

Рассмотрение аналогов показало необходимость таких качеств, как невысокая стоимость комплекта при малой сложности выстраиваемой системы; необходимость локальной площадки (отдельный локальный центр управления) для управления широкой сетью разнородно настроенных устройств; изначальная самодостаточность продукта: продуманная система подключений без предварительной обработки, минимальные настройки для начала работы.

В результате определен принцип действия объектов системы цифровых датчиков (рис. 2).

На рис. 3 и 4 показан граф принципа действия системы ручного управления.

#### Перечень требований к объекту разработки

Первостепенный перечень требований (потребитель-функционал):

- 1) достаточная производительность без избытка функций;
- 2) беспроводной интерфейс и простота его подключения;
- 3) наглядность данных;
- 4) эргономично расположенные, проклассифицированные разъемы потоков данных и питания (простота сборки и подключения системы).

Список требований, согласно главной полезной функции, содержит следующее: входные сигналы датчиков обрабатываются, сортируются и сохраняются в энергонезависимой памяти устройства; данные системы передаются по беспроводному интерфейсу в локальную или глобальную сеть. Далее силовые токи функциональных устройств коммутируются посредством вспомогательных подключаемых модулей (драйверы, реле, ключи), аналоговые сигналы датчиков преобразуются и хранятся в дискретном виде. Кроме того, необходима защита линий питания от тока обратной полярности и превышения предельных для элементов значений, достаточная экранированность и защищенность без потерь качества радиосигнала и простоты подключения, настраиваемость выводов на определенное оборудование с минимизацией вреда при ошибках пользователя.

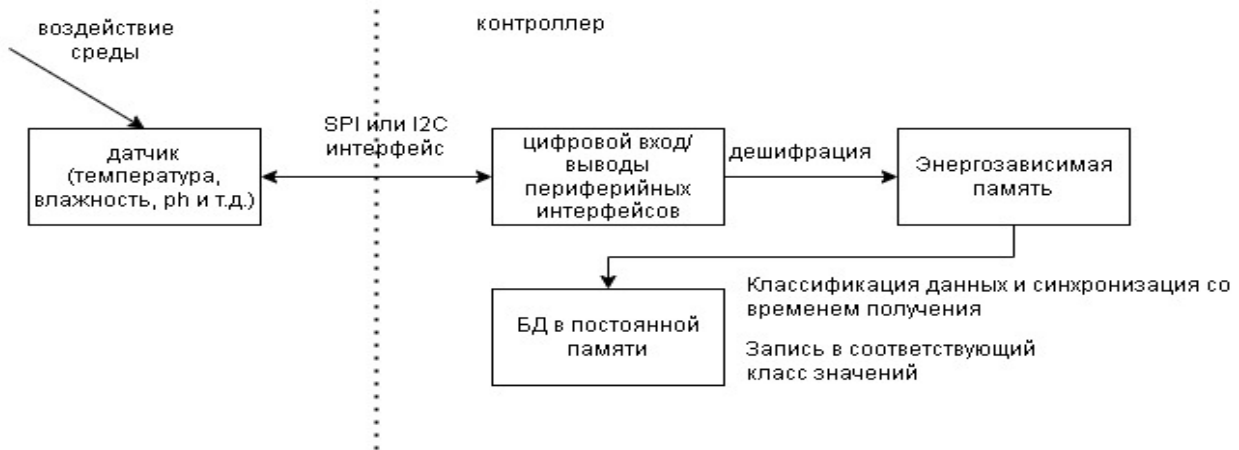


Рис. 2. Принцип действия цифровых датчиков

Fig. 2. Operating principle of digital sensors

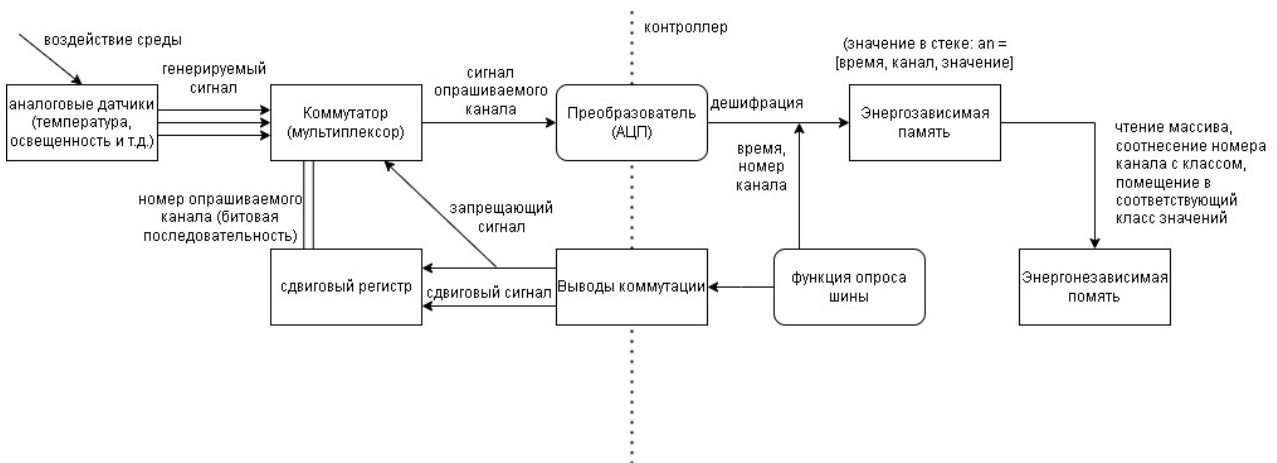


Рис. 3. Принцип действия аналоговых датчиков

Fig. 3. Operating principle of analog sensors



Рис. 4. Принцип действия системы ручного управления

Fig. 4. Operating principle of the manual control system

Список требований согласно функциональной структуре включает следующее: шины I2C- и SPI-протоколов, шина аналоговых каналов, коммутируемых с использованием минимального числа функциональных выводов контроллера, аналогово-цифровой преобразователь сигнала, выводы и программное обеспечение, предусмотренные для драйверов типовых исполнительных устройств, отделение управляющего модуля от силовой части, отдельные аналоговые и цифровые разъемы, размещение панели управления с экраном на плате.

Список требований по принципам действия элементов устройства следующий:

1. Шина аналоговых каналов коммутируется при помощи мультиплексора. Управление мультиплексором производится установлением набора уровней на соответствующих выводах выбора канала, определяемого сдвиговым регистром. Сдвиговый регистр принимает от контроллера два сигнала: «сдвинуть бит» и «сбросить до нуля». Канал сброса регистра связан с выводом разрешения коммутации сигнала мультиплексором. При высоком уровне сигнала на данном канале регистр сбрасывается в ноль, а мультиплексор разъединяет все каналы.

2. Канал вызова по интерфейсу SPI и I2S коммутируется при помощи мультиплексора, аналогично шине аналоговых каналов подключенного через сдвиговый регистр.

3. Аналоговые сигналы преобразуются мощностями аналогово-цифрового преобразователя. Выводы подтянуты на ноль высокоомными сопротивлениями (в большинстве аналоговых датчиков отсчет напряжения ведется с нуля).

4. Экран подключается по I2C-интерфейсу микроконтроллера.

5. Элементы ручного управления подключаются к отдельным выводам микроконтроллера. Количество использованных функциональных при этом выводов минимально. Защита линий питания элементов. Линейный преобразователь питания микроконтроллера, фильтры питающих цепей. Адаптер питания на стандартные напряжения преобразователей.

Были определены технические решения согласно составленным спискам требований. В качестве основы микроконтроллера служит микроконтроллер esp8266 в виде esp12e, так как он имеет достаточный функционал и производительность, встроенный беспроводной интерфейс [13–15].

Наглядность должна быть обеспечена системой ручного управления и управлением через веб-сервис. На корпусе устройства для обмена сигнала

с периферией расположены наборы аналоговых, цифровых, SPI- и I2C-портов. Коммутация определенного устройства (его канала) с устройством производится мультиплексорами 74hc4051. Выбор канала посредством подачи последовательного сигнала одного из выводов микроконтроллера осуществляется сдвиговым регистром 74hc393. Еще один вывод микроконтроллера отвечает за разрешение коммутации с принимающими выводами микроконтроллера.

В систему ручного управления входят экран lcd1602 и энкодер с клавишей ec1106s. Это позволяет внедрить символьный пользовательский интерфейс с выводом числовых значений. Энкодер предполагает большое число жестов управления при малых габаритах.

Микроконтроллер рассчитан на питание 3,3 В, многие модули, микросхемы и устройства работают от напряжения 5 В. Линии питания спроектированы на два уровня напряжения: +3,3 и +5 В, каждый из которых стабилизирован.

#### **Моделирование устройства**

В платформе EasyEDA [16] была разработана электрическая принципиальная схема контроллера (рис. 5).

С использованием среды EasyEDA была разработана и разведена печатная плата контроллера. Результат разработки показан на рис. 6 и 7.

Получена трехмерная модель основной платы в среде EasyEDA (рис. 7).

Остальные этапы разработки в рамках этой статьи не рассматриваются. Программирование и создание веб-сервиса – отдельная задача со своими производственными задачами и этапами.

#### **Выводы**

Разработана интеллектуальная система управления комплексом культивирования растений с использованием концепции интернета вещей. Составлена схема устройства управления, разведена печатная плата контроллера, а также получена ее трехмерная модель. В результате была получена модель требуемого устройства.

В данной модели решены следующие задачи: определено устройство физической части интерфейса беспроводной связи в виде встроенного Wi-Fi V-модуля контроллера esp12e; разработан механизм коммутации периферии и определен набор выводов и разъемов контроллера; принята конфигурация системы ручного управления; хранение данных работы контроллера посредством энергонезависимой памяти микроконтроллера и другие задачи, несущие перспективу при разработке программного обеспечения устройства.

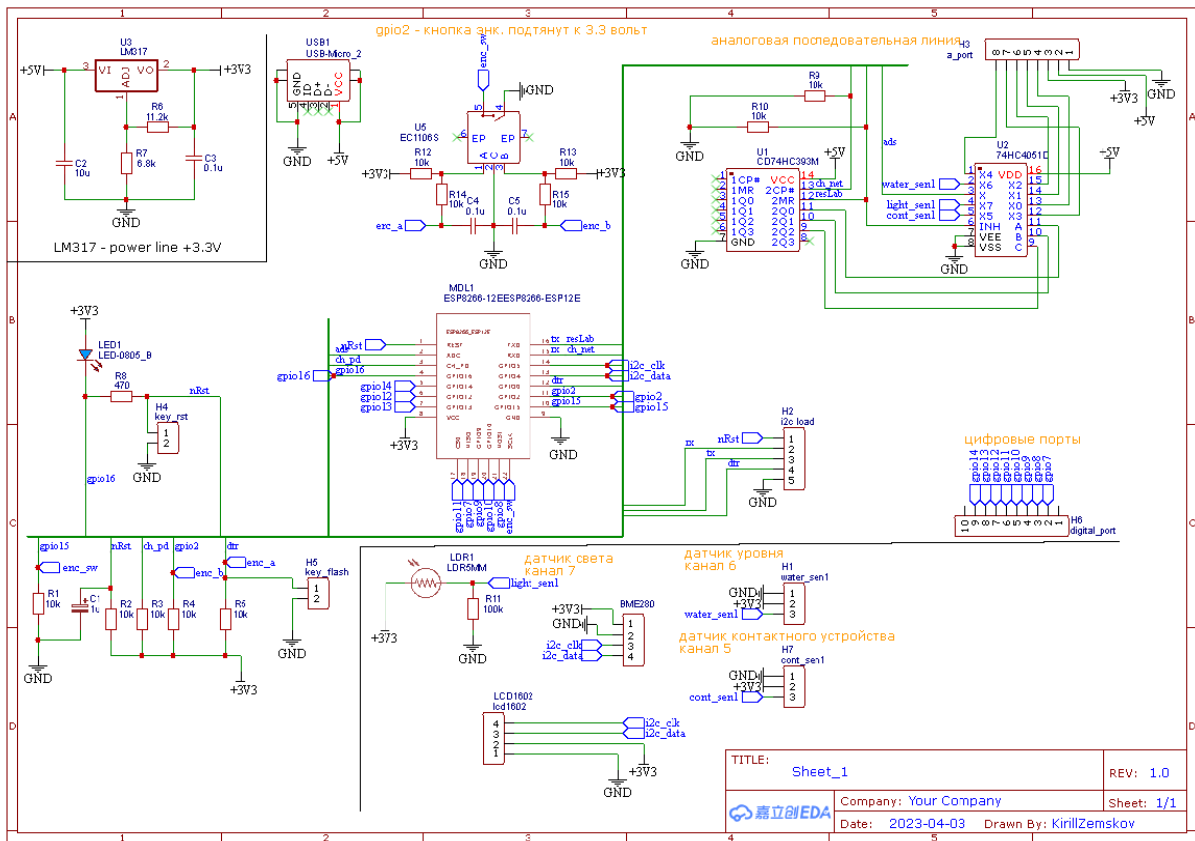


Рис. 5. Электрическая принципиальная схема контроллера

Fig. 5. Electrical circuit diagram of the controller

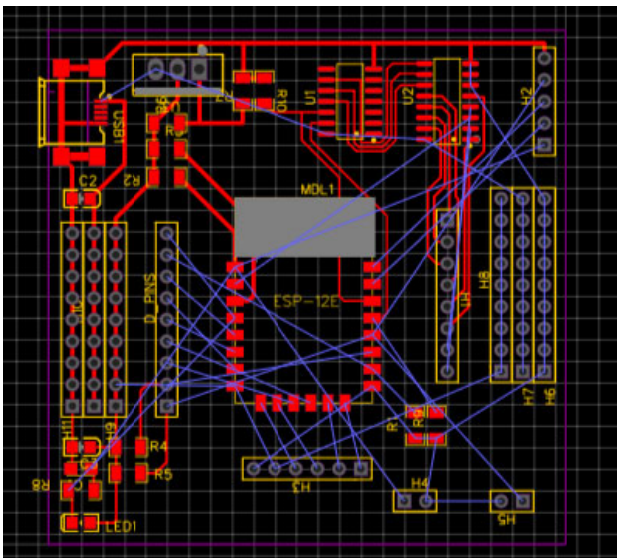


Рис. 6. Схема печатной платы, полученная в среде EasyEDA

Fig. 6. PCB diagram obtained in EasyEDA environment

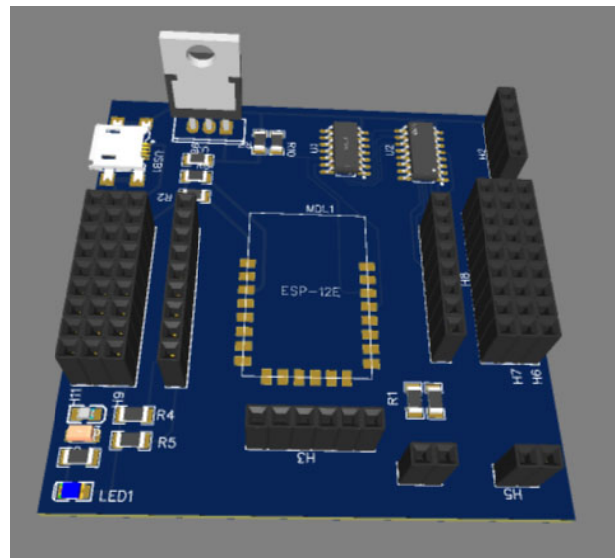


Рис. 7. 3D-модель печатной платы контроллера в среде EasyEDA

Fig. 7. 3D model of the controller printed circuit board in the EasyEDA environment

## Библиографические ссылки

1. Блинков Е. М. Общие вопросы концепции интернета вещей. Системы интернета вещей прямого доступа на микроконтроллерах // Стратегии развития современной науки : сборник научных статей / науч. ред. И. В. Таньчева. Т. I. М. : Перо, 2019. С. 96–101.
2. Patel K.K. and Patel S.M. (2016) Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges. International Journal of Engineering Science and Computing, 6, 6122-6131.
3. Alaa M., Zaidan A., Zaidan B., Talal M. and Kiah M. (2017). A review of smart home applications based on Internet of Things. Journal of Network and Computer Applications, vol. 97, pp. 48-65.
4. Рогачева Н. В. Интернет вещей: обзор основных проблем и задач // Languages in professional communication, 29 апреля 2021 года. Екатеринбург : Ажур, 2021. Р. 558–563.
5. Программно-аппаратный комплекс для выращивания растений в домашних условиях методом гидропоники / Т. А. Верещагин, А. А. Ходаковский, А. Е. Скрыпник, И. Б. Широков // Энергетические установки и технологии. 2022. Т. 8, № 3. –С. 68–72.
6. Дмитриев В. М., Ганджа Т. В., Куринька В. С. Структурно-функциональная схема компьютерной модели «умной теплицы на гидропонике» // Информатика и системы управления. 2018. № 1(55). С. 51–63. DOI 10.22250/isu.2018.55.51-63.
7. Шафрай А. В., Максименко А. А., Жидкова Е. А. Разработка умной системы гидропоники на основе нейронной сети // Национальная ассоциация ученых. 2022. № 84-1. С. 6–12. DOI 10.31618/NAS.2413-5291.2022.1.84.642.
8. Максименко А. А., Шафрай А. В. Разработка умной системы гидропоники для дома на базе нейросети // Пищевые инновации и биотехнологии : сборник тезисов X Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Кемерово, 17 мая 2022 года / под общ. ред. А. Ю. Просекова. Т. 2. Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2022. С. 32–34.
9. Kularbphettong K., Ampant U., Kongroj N. An Automated Hydroponics System Based on Mobile Application. International Journal of Information and Education Technology. 2019. Vol. 9. P. 548-552. DOI: 10.18178/ijiet.2019.9.8.1264.
10. Shadrin D., Menshchikov A., Somov A., Bornemann G., Hauslage J., Fedorov M. Enabling Precision Agriculture Through Embedded Sensing With Artificial Intelligence. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2019. No. 99. P. 1-12. DOI: 10.1109/TIM.2019.2947125.
11. Бородулин, Д. М., Шафрай А. В., Максименко А. А. Применение нейронной сети для управления системой домашней гидропоники // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53, № 2. С. 384–395. DOI 10.21603/2074-9414-2023-2-2440.
12. Погонишев В. А., Погонишева Д. А., Торилов В. Е. Нейронные сети в цифровом сельском хозяйстве // Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 5 (87). С. 68–71. DOI 10.52691/2500-2651-2021-87-5-68-71.
13. Проектирование системы «Умный дом» для загородного дома с управлением и контролем за устройствами / А. С. Пустовойтов, Д. О. Павлов, М. А. Чернов [и др.] // Евразийское научное объединение. 2020. № 9-2 (67). С. 139–141. DOI 10.5281/zenodo.4072094.
14. Василенко К. А. Особенности современных микроконтроллеров // Аллея науки. 2018. Т. 2, № 7 (23). С. 343–346.
15. Аналитический обзор современных микроконтроллеров в системах управления / К. Д. Черепанов, Л. А. Шишкин, Н. А. Ковылина, В. Н. Астапов // Международный студенческий научный вестник. 2022. № 6. С. 73.
16. Even simpler EasyEDA. URL: <https://easyeda.com/ru> (дата обращения: 15.09.2023).

## References

1. Blinkov E.M. *Obshchie voprosy kontseptsii interneta veshchei. Sistemy in-terneta veshchei pryamogo dostupa na mikrokontrollerakh* [General issues of the Internet of Things concept. Direct access Internet of things systems on microcontrollers]. *Strategii razvitiya sovremennoi nauki : sbornik nauchnykh statei* [Proc. Strategies for the development of modern science: a collection of scientific articles]. Moscow: Pero, 2019. Pp. 96-101 (in Russ.).
2. Patel K.K. and Patel S.M. (2016) Internet of Things-IOT: Definition, Characteristics, Architecture, Enabling Technologies, Application & Future Challenges. International Journal of Engineering Science and Computing, 6, 6122-6131.
3. Alaa M., Zaidan A., Zaidan B., Talal M. and Kiah M. (2017). A review of smart home applications based on Internet of Things. Journal of Network and Computer Applications, vol. 97, p.p.48-65.
4. Rogacheva N.V. *Internet veshchei: obzor osnovnykh problem i zadach* [Internet of Things: overview of the main problems and challenges]. Languages in professional communication, 29 aprelya 2021 goda. Ekaterinburg, Azhur, 2021. Pp. 558-563.
5. Vereshchagin T.A., Khodakovskii A.A., Skrypnik A.E., Shirokov I.B. *Programmno-apparatnyi kompleks dlya vyrashchivaniya rastenii v domashnikh usloviyakh metodom gidropioniki* [Software and hardware complex for growing plants at home using hydroponics]. *Energeticheskie ustanovki i tekhnologii*. 2022. Vol. 8, no. 3. Pp. 68-72 (in Russ.).
6. Dmitriev V.M., Gandzha T.V., Kurinka V.S. [Structural and functional diagram of the computer model of a “smart greenhouse on hydroponics”]. Informatics and control systems. 2018. No. 1. Pp. 51-63. DOI 10.22250/isu.2018.55.51-63 (in Russ.).
7. Shafrai A.V., Maksimenko A.A., Zhidkova E.A. *Razrabotka umnoi sistemy gidropioniki na osnove neuronnoi seti* [Development of a smart hydroponics system based on a neural network]. *Natsional'naya assotsiatsiya uchenykh*. 2022. No. 84-1. Pp. 6-12. DOI 10.31618/NAS.2413-5291.2022.1.84.642 (in Russ.).
8. Maksimenko A.A., Shafrai A.V. *Razrabotka umnoi sistemy gidropioniki dlya doma na baze neiroseti* [Development of a smart hydroponics system for the home based on a neural network]. *Pishchevye innovatsii i biotekhnologii : Sbornik tezisov Kh Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh, Kemerovo, 17 maya 2022 goda* [Proc. Food innovation and biotechnology: collection of abstracts of the X International Scientific Conference of Students, Postgraduate Students and Young Scientists]. Vol. 2. Kemerovo: Kemerovskii gosudarst-vennyi universitet, 2022. Pp. 32-34 (in Russ.).
9. Kularbphettong K., Ampant U., Kongroj N. An Automated Hydroponics System Based on Mobile Application. International Journal of Information and Education Technology. 2019. Vol. 9. P. 548-552. DOI: 10.18178/ijiet.2019.9.8.1264.
10. Shadrin D., Menshchikov A., Somov A., Bornemann G., Hauslage J., Fedorov M. Enabling Precision Agriculture Through Embedded Sensing With Artificial Intelligence. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement. 2019. No. 99. P. 1- 12. DOI: 10.1109/TIM.2019.2947125.

11. Borodulin D.M., Shafrai A.V., Maksimenko A.A. *Pri-  
menenie neuronnoi seti dlya upravleniya sistemoi domashnei  
gidroponiki* [Application of a neural network to control a home  
hydroponic system]. *Tekhnika i tekhnologiya pishchevykh  
produktov*. 2023. Vol. 53, no. 2. Pp. 384-395 (in Russ.). DOI  
10.21603/2074-9414-2023-2-2440.

12. Pogonyshev V.A., Pogonysheva D. A., Torikov V.E. *Neironnye seti v tsifrovom sel'skom khozyaistve* [Neural net-  
works in digital agriculture]. *Vestnik Bryanskoii gosudarstven-  
noi sel'skokho-zyaistvennoi akademii*. 2021. No. 5. Pp. 68-71  
(in Russ.). DOI 10.52691/2500-2651-2021-87-5-68-71.

13. Pustovoitov A.S., Pavlov D.O., Chernov M.A. [i dr.] *Proektirovanie sistemy "Umnyi dom" dlya zagorodnogo doma s upravleniem i kontrolem za ustroistvami* [Design of a "Smart

Home" system for a country house with control and monitoring  
of devices]. *Evrasiiskoe nauchnoe ob"edinenie*. 2020. No. 9-2.  
Pp. 139-141 (in Russ.). DOI 10.5281/zenodo.4072094.

14. Vasilenko K.A. *Osobennosti sovremennykh mikrokon-  
trollerov* [Features of modern microcontrollers]. *Alleya nauki*.  
2018. Vol. 2, no. 7. Pp. 343-346 (in Russ.).

15. Cherepanov K.D., Shishkin L.A., Kovylina N.A., Asta-  
pov V.N. *Analiticheskii obzor sovremennykh mikrokontrollerov  
v sistemakh upravleniya* [Analytical review of modern micro-  
controllers in control systems]. *Mezhdunarodnyi studentcheskii  
nauchnyi vestnik*. 2022. No. 6. P. 73 (in Russ.).

16. *Even simpler EasyEDA*. Available at: <https://easyeda.com/ru> (accessed: 15.09.2023).

\* \* \*

### Intelligent System Development for Plant Cultivation Complex by Means of the Internet of Things Concept

K. V. Zemskov, Student, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

V. A. Sidorina, PhD of Education, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

E. G. Bulatova, PhD of Physics and Mathematics, Associate Professor, Kalashnikov Izhevsk State Technical University, Izhevsk, Russia

*The article presents a problem solution of plant cultivation automation using the Internet of Things concept. Using an intelligent system to control a hydroponics installation allows you to increase the energy efficiency of growing plants by introduction of intelligent technologies. The application of the Internet of Things concept allows a more qualitative approach to the search and application of methods of rational modern production. This concept allows the collected data to be Wi-Fi transferred from the microcontroller to a computer via a server, which is very effective in environments with large number of sensors. In this case, both time and material costs per share of production are significantly reduced. The work identified the requirements for a recording and control device in an intelligent system that connects to the Internet for further data processing, configuration and execution of the operating mechanism, and stages of operation of the growing system. Part of the control system for a plant cultivation complex using microcontroller devices available on the market, such as ESP, is considered. A constructive functional design of the device was developed. In addition, it was determined that the intelligent system contains the following modules: thing (the physical controller itself - device, peripherals), network (a network of devices and communication channels that ensure the transfer of information according to network protocols), cloud (includes a server that processes client, storage and web service requests). A description of the first module is given, which includes the main controller board with an esp12e microcontroller. The second module contains printed circuit boards for the power supply and controller, which were designed and laid out using the EasyEDA web service. For the third module, three-dimensional models of the power supply and main board were obtained in the EasyEDA web service environment.*

**Keywords:** intelligent system, Internet of things, plant cultivation complex, EasyEDA web service environment, microcontroller, user interface.

Получено: 18.09.23

#### Образец цитирования

Земсков К. В., Сидорина В. А., Булатова Е. Г. Разработка интеллектуальной системы для комплекса культивирования растений с использованием концепции интернета вещей // Интеллектуальные системы в производстве. 2023. Т. 21, № 4. С. 68–74. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-4-68-74.

#### For Citation

Zemskov K.V., Sidorina V.A., Bulatova E.G. [Intelligent System Development for Plant Cultivation Complex by Means of the Internet of Things Concept]. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*. 2023, vol. 21, no. 4, pp. 68-74. DOI: 10.22213/2410-9304-2023-4-68-74.