

КОМПАКТНАЯ АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ГИДРОПОННАЯ СИСТЕМА

О. С. Тимчук, А. И. Барыбин, Э. Е. Зайцева, И. Е. Розанов

Донецкий национальный университет имени Василя Стуса

Аннотация. В работе приведена модель управления и описание физической реализации компактной автоматизированной гидропонной системы, которая состоит из гидропонной установки, системы управления параметрами окружающей среды установки и клиент-серверного приложения. Результаты эксперимента по выращиванию салата латука подтвердили эффективность использования предложенной в работе модели управления гидропонной системой, построенной на базе производственных правил.

Ключевые слова: гидропоника, IoT, автоматизированная система управления, датчик, актуатор.

Аббревиатуры

IoT – Internet of Things (Интернет вещей);

CAHS – compact automated hydroponic system (компактная автоматизированная гидропонная система).

Номенклатура

$x(t+1)$ – набор значений контролируемых параметров окружающей среды CAHS,

N – количество контролируемых параметров окружающей среды CAHS,

$u(t)$ – набор управляющих инструкций, которые подаются на актуаторы CAHS,

M – количество актуаторов в CAHS,

h_0 – набор начальных значений контролируемых параметров окружающей среды CAHS,

p – условие завершения вегетационного периода растения,

F – алгоритм управления CAHS,

x_1 – температура окружающей среды CAHS,

x_2 – относительная влажность окружающей среды CAHS,

x_3 – интенсивность света в CAHS,

x_4 – pH питательного раствора в CAHS,

x_5 – электропроводность питательного раствора в CAHS,

x_6 – уровень питательного раствора в рабочей емкости CAHS,

u_1 – бинарный сигнал, включающий (1) / выключающий (0) освещение в CAHS,

u_2 – бинарный сигнал, включающий (1) / выключающий (0) вентиляцию в CAHS,

u_3 – бинарный сигнал, включающий (1) / выключающий (0) нагревательный элемент в CAHS,

u_4 – бинарный сигнал, включающий (1) / выключающий (0) насос для подкачки питательного

раствора в CAHS.

Введение

Стремительное развитие IoT позволило интегрировать технологии выращивания растений с использованием жидкого питательного раствора (гидропонике) в городскую инфраструктуру [1]. В настоящее время существует несколько основных вариантов гидропонных установок [1-3]: Nutrient Film Technique (NFT), Flood-and-drain nutrient solution system, Drip/Pass-Through Systems, Subirrigation. Наиболее популярной является NFT, основные преимущества использования которой описаны в работе [2]. К базовым требованиям, которые предъявляются к NFT установкам в городских условиях, относят компактность установки и уровень автоматизации процесса выращивания растений. Размеры установки должны быть приемлемыми для ее использования в небольших городских квартирах, а процесс выращивания растений должен быть максимально автоматизирован ввиду того, что человек большую часть времени суток проводит вне своего жилья или не имеет свободного времени для ухода за установкой. На рынке технологий гидропонике и IoT предлагают системы, которые частично удовлетворяют перечисленным требованиям, однако их стоимость остается достаточно высокой (около 500 \$).

Объектом работы является управление выращиванием растений в компактной автоматизированной гидропонной системе.

Предметом работы является модель управления компактной автоматизированной гидропонной системой типа NFT.

Целью работы является разработка компактной автоматизированной гидропонной системы, построенной на базе IoT, в частности, с

использованием микроконтроллера ESP32 для управления IoT-устройствами.

1. Постановка задачи

Успешный рост растений в САHS зависит от состава питательного раствора, который обязательно дифференцируется в зависимости от вида растений, и таких основных параметров окружающей среды САHS [1, 2, 4-7]:

- температура питательного раствора и окружающей среды;
- рН питательного раствора;
- относительная влажность окружающей среды;
- интенсивность света;
- насыщенность питательного раствора кислородом;
- концентрация углекислого газа в окружающей среде;
- электропроводность питательного раствора.

В общем виде модель управления САHS может быть представлена в следующем виде

$$\begin{aligned} x(t+1) &= F(u(t), h_0, p), \quad x(t+1) = \langle x_n \rangle, n = \overline{1, N}, \\ u(t) &= \langle u_m \rangle, m = \overline{1, M}. \end{aligned} \quad (1)$$

2. Обзор литературы

Анализ публикаций, посвященных объекту работы, показал, что авторы сосредоточены как на разработке концептуальных моделей управления установками [8], так и на решении конкретных проблем (например, надежности беспроводных соединений в системе контроля [9], использовании конкретного процессора при обработке данных измерителя электропроводности [10], контроля уровня питательного раствора в установке [11], использованию солнечных батарей для питания компактных гидропонных установок [12]). Однако опубликованные результаты являются, как правило, частью исследований, что затрудняет их применение, а также не гарантируют создания качественной модели управления САHS.

3. Материалы и методы

В данной работе в качестве растительной культуры выбран салат латук. Особенности его гидропонного выращивания освещены в литературе достаточно подробно [1, 4, 13]. Рассмотрим основные требования к перечисленным выше параметрам при выращивании салата латук с учетом особенностей этого процесса в САHS.

Температура питательного раствора и окружающей среды существенно влияют на рост растений, замедляя его при значении этого параметра вне интервала значений: 24-26°C для пита-

тельного раствора и 19-30°C для окружающей среды. Учитывая, что в жилом помещении температуру воздуха рекомендуется поддерживать в пределах 20-22°C [14], то для нормального функционирования САHS может быть предусмотрена установка нагревательного элемента.

рН питательного раствора должен находиться в пределах 5.6-6 и может выходить за эти пределы только при существенном изменении условий окружающей среды, что маловероятно для САHS. Для оповещения пользователя о критических ситуациях осуществляется мониторинг уровня рН.

Относительная влажность окружающей среды в САHS должна поддерживаться в пределах 50-80%. Учитывая, что влажность в жилых помещениях составляет 40-60%, а внутри установки вследствие испарения она будет стабильно высокой, то для эффективного выращивания растений осуществляется принудительное вентилирование установки воздухом из помещения. При этом система перестает быть замкнутой, что может вызвать потерю влаги вследствие испарения, поэтому в буферном резервуаре необходимо периодически пополнять количество питательного раствора.

Интенсивность света в САHS при выращивании растений имеет определенные особенности, связанные с тем, что полноценный процесс фотосинтеза происходит лишь при присутствии видимого излучения определенного спектра длин волн. Организация полностью искусственного освещения требует специфических источников света и измерительных приборов [4, 15]. Учитывая, что в жилых помещениях, как правило, естественное освещение является основным, то в САHS используется светодиодное (LED) освещение с определенной цветовой окраской [16] как дополнительное. LED освещение с одной стороны обеспечит нормальный световой режим (не менее 10 часов) в случае недостатка света (погодные условия, сезонность), а, с другой стороны, предотвратит неконтролируемый нагрев воздуха в установке вследствие использования других типов источников света.

Насыщенность питательного раствора кислородом в САHS обеспечивается с помощью известного метода насыщения [17], который основан на разбрызгивании воды в виде капель над питательным раствором. Для этого подача воды в САHS осуществляется через разбрызгивающее устройство.

Концентрация углекислого газа в воздухе может незначительно колебаться в пределах 1500 ppm при наличии света и в пределах 390 ppm в темное время. Проблема перенасыщения угле-

кислым газом решается принудительным вентилированием установки воздухом из помещения.

Удельная электропроводность питательного раствора в первую очередь, показывает сколько питательных веществ (в виде ионов) содержится в растворе и нормальное значение этого параметра, как правило, меньше 1 800 мкСм. Принимая во внимание, что вегетационный период у салата латук завершается на 20-25 день, а существенное снижение концентрации питательных веществ, и, соответственно, электропроводности наблюдается по истечению 25-30 дней, то для оповещения пользователя о критических ситуациях осуществляется мониторинг уровня электропроводности питательного раствора.

С учетом анализа параметров окружающей среды САHS выделим шесть параметров, которые описывают ее состояние, в соответствии с формулой (1).

$$x(t) = \langle x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6 \rangle;$$

$$x_1 \in [0;50], \text{ } ^\circ\text{C}; x_2 \in [20;90], \text{ } \%; x_3 \in [0;3000], \text{ Лк};$$

$$x_4 \in [0;145]; x_5 \in [0;1500], \text{ мкСм}; x_6 \in [0;0.15], \text{ м}.$$

Начальное состояние САHS должно соответствовать нормальным условиям для выращивания салата латук [1, 4, 13]

$$h_0 = \langle 24,75,1000,6.0,1200,0.1 \rangle$$

Для управления САHS в работе используются актуаторы, на вход которых подаются управляющие инструкции в виде низкоуровневых сигналов

$$u(t) = \langle u_1, u_2, u_3, u_4 \rangle$$

Алгоритм управления САHS осуществляется с помощью правил типа IF-THEN. Набор правил представлен в табл. 1.

Вегетационный период растения завершается по истечению 20-25 дней, при условии, что в САHS были высажены 7-ми дневные саженцы салата латук.

Таблица 1

Правила управления САHS

Параметр	Условие	Актуатор	Действие
x_1	$x_1 < 19^\circ\text{C}$	u_3	1
x_1	$x_1 < 19^\circ\text{C}$	u_2	1
x_1	$x_1 > 19^\circ\text{C}$	u_3	0
x_1	$x_1 > 19^\circ\text{C}$	u_2	0
x_1	$x_1 > 30^\circ\text{C}$	u_2	1
x_2	$x_2 < 50\%$	u_2	0
x_2	$x_2 > 80\%$	u_2	1
x_3	$x_3 < 800$ Лк И световой период < 12 ч	u_1	1
x_3	$x_3 > 1200$ Лк И световой период < 12 ч	u_1	0
x_3	световой период > 12 ч	u_1	0
x_4	$x_4 < 5,6$	Ручное управление параметром путем изменения состава раствора	Добавление компонента для повышения рН
x_4	$x_4 > 6,5$	Ручное управление параметром путем изменения состава раствора	Добавление компонента для понижения рН
x_5	$x_5 < 850$ мкСм	Ручное управление параметром путем изменения концентрации	Повышение концентрации раствора, добавлением маточного питательного раствора в систему
x_5	$x_5 > 1500$ мкСм	Ручное управление параметром путем изменения концентрации	Понижение концентрации раствора, путём разбавления дистиллированной водой
x_6	$x_6 = 0,13$	u_4	0
x_6	$x_6 = 0,07$	u_4	1

4. Експеримент

Архитектура САHS представлена на рис. 1.

В архитектуре САHS выделено два блока: блок мониторинга окружающей среды САHS (А)

и блок управления САHS (В). В состав блока мониторинга входят 6 датчиков (табл. 2). В состав блока управления входят 4 актуатора и микроконтроллер (табл. 3).

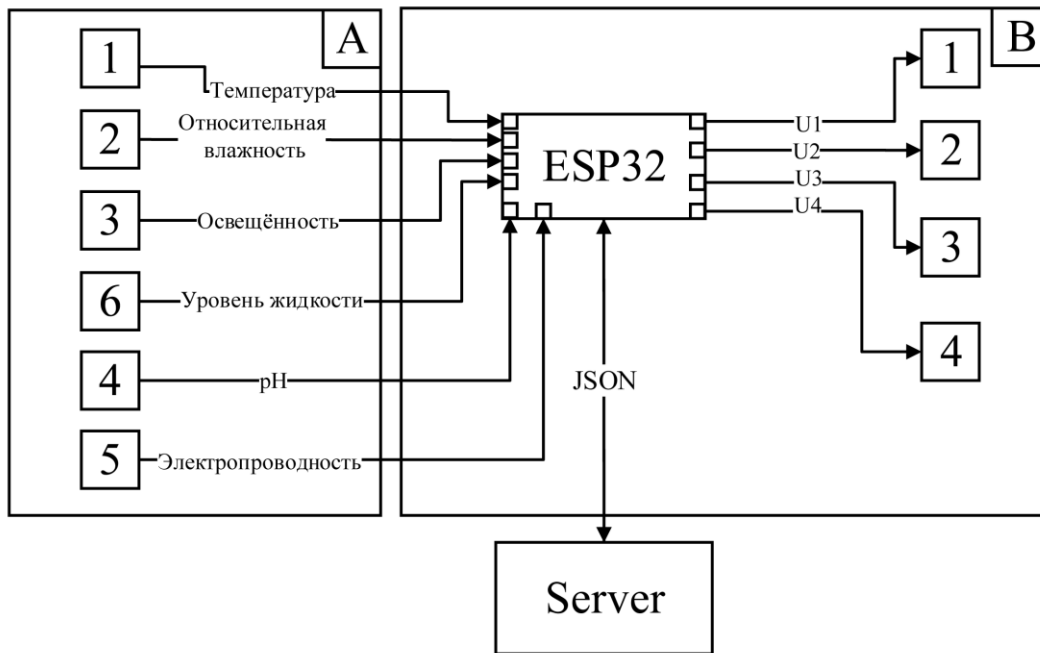


Рис. 1. Архитектура САHS

Таблица 2

Составляющие блока мониторинга

Код блока	Описание блока	Технические характеристики
А-1	Температурный датчик ds18b20	Разрядность 9 – 12 бит; диапазон измерения температуры от -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$; точность измерения температуры: $\pm 0.5\%$.
А-2	Датчик измерения относительной влажности окружающей среды dht22	Диапазон измерения влажности 0 – 100%; диапазон измерения температуры от -40°C до $+80^{\circ}\text{C}$; точность измерения влажности $\pm 2\%$ RH; точность измерения температуры $\pm 0.5\%$.
А-3	Датчик измерения интенсивности освещения представлен модулем люксметра GY-302	Диапазон измерений освещенности 0 – 65 535 Люкс; точность измерения 1 Люкс; интерфейс подключения I ² C.
А-4	pH-метр dfrobot SEN0161	Диапазон измерений 0 – 14 pH; диапазон температур для проведения измерений 0 – 60°C ; точность измерений ± 0.1 pH при 25°C ; время выполнения одного измерения ≤ 60 сек.
А-5	Кондуктометр EC-1382A	Пределы измерений 0 – 1 999 мкСм/см; разрешающая способность 1 мкСм/см; точность измерений $\pm 2\%$; температурный диапазон работы 0 – 50°C с возможностью термокомпенсации измерений.
А-6	Уровнемер питательного раствора состоит из поплавка с магнитом и датчиками Холла (собственная разработка)	Напряжение питания 5-12 В; рабочий диапазон: 0 – 0.15 м.

Составляющие блока управления

Код блока	Описание блока	Технические характеристики	Способ управления
В-1	Для искусственного освещения был использован осветительный элемент FL-16/950	Пики спектральной мощности на длинах волн 450 и 640–660 нм; напряжение питания: 220 В.	Управление актуатором производится через блок реле, подключенный к микроконтроллеру
В-2	Для вентилирования САHS используется вентилятор ВЕНТС Квайт 100.	Максимальная производительность 97 м ³ /ч; напряжение питания 220 В; низкий уровень шума.	Управление актуатором производится через блок реле, подключенный к микроконтроллеру
В-3	Для нагрева САHS используется воздухонагреватель канальный Soler Palau ЕОКО-100-0.8-1В.	Мощность 0.8 кВт; напряжение питания 220 В.	Управление актуатором производится через блок реле, подключенный к микроконтроллеру
В-4	Для подачи питательного раствора в установку и регуляции его уровня, используется pompa Resun King-1F.	Производительность 380 л/ч; высота поднятия жидкости 0.9 м; напряжение питания: 220 В.	Управление актуатором производится через блок реле, подключенный к микроконтроллеру.
В-5	Микроконтроллер ESP32, обеспечивающий передачу данных с датчиков на сервер и управление через реле актуаторами.	Поддержка стандартов работы wi-fi b/g/n; диапазон рабочих температур от -40°C до 85°C; защита WPA/WPA2/WPA2-Enterprise/WPS; сетевые протоколы IPv4, IPv6, SSL, TCP / UDP / HTTP;.	Аппаратные средства и интерфейсы: UART, SPI, I ² C, GPIO. Формат передачи данных: JSON

Программная реализация системы управления САHS имеет клиент-серверную архитектуру. Клиентская часть приложения устанавливается на микроконтроллер ESP32 и обеспечивает выполнение следующих функций: опрос датчиков, нормализация показаний датчиков, передача команд серверу, управление актуаторами. Серверная часть приложения обеспечивает выполнение следующих функций: обработка запросов к базе данных, реализация алгоритма управления САHS и формирование управляющего воздействия на актуаторы, оповещение пользователя о процессе выращивания растительной культуры.

Команды между клиентом и сервером передаются в формате JSON строки. Примеры JSON-представлений объектов, которые передаются между клиентом и сервером представлены в табл. 4.

Для программной реализации системы управления САHS использовались: Arduino IDE

v. 1.8.2 и PyCharm IDE v. 2017.3.3, языки программирования Arduino и Python 3.4.

Требования для эксплуатации серверной части приложения:

- операционная система: Windows 7, 8; 10; Linux; OS X 10.6 и выше;
- RAM: 2048 МБ и выше;
- CPU: 2300 MHz и выше;
- объем свободной памяти на жестком диске: 50 МБ и выше;
- Python 3.4.

Цель эксперимента – получение урожая салата латук в лабораторных условиях с использованием САHS. При этом участие человека в процессе роста растений должно быть минимальным. Эксперимент проводился 20 дней. Для проведения эксперимента использовались саженцы салата латук, предварительно пророщенные из семян. В качестве рабочего раствора использовались комбинированные минеральные удобрения, разведенные в пропорции 7 мл на 1 литр дистил-

лированной воды. Для обеспечения поддержания оптимального уровня влажности вокруг корневой системы и обеспечение доступа корневой системы к питательным веществам, была выбрана субстратная смесь из кокосовых волокон и

вермикулита. В ходе проведения эксперимента выполнялась фиксация показаний датчиков и поведения актуаторов.

Таблица 4

Примеры представления объектов

JSON-представление объекта, описывающего состояние окружающей среды CAHS	JSON-представление объекта, описывающего управляющее воздействие на актуаторы CAHS
<pre>{ "Client_responce": { "sensor_data": { "temperature": "<значение с датчика>", "humidity": "< значение с датчика >", "luminance": "< значение с датчика >", "alert_water_level": "< значение с датчика >", "pH_sensor": "< значение с датчика >", "EC_sensor": "< значение с датчика >" }, "actuator_status": { "light": "<бинарный сигнал>", "air": "< бинарный сигнал >", "heater": "< бинарный сигнал >", "water_pump": "< бинарный сигнал >" } } }</pre>	<pre>{ "Server_request": { "get_sensor_data": "1", "get_actuator_data": "1", "set_actuator": { "light": "<бинарный сигнал>", "air": "< бинарный сигнал >", "heater": "< бинарный сигнал >", "water_pump": "< бинарный сигнал >" } } }</pre>

5. Результаты

Рассмотрим результаты мониторинга параметров окружающей среды CAHS (рис. 2).

Результаты измерений температуры окружающей среды приведены на рис. 2а, где можно наблюдать повышение температуры в светлое время суток, что, вызвано дополнительным источником энергии – элементом центральной системы отопления. При этом колебания температуры находились в пределах нормы, а правила, контролирующие параметр x_1 (см. табл. 1), работали один раз.

Результаты измерений относительной влажности окружающей среды приведены на рис. 2б. Перепады влажности обусловлены изменением уровня питательного раствора, температуры и вегетационными процессами в растениях в CAHS. Правила, контролирующие параметр x_2 (см. табл. 1), задействовались на протяжении

всего периода работы из-за повышения влажности.

Результаты измерений интенсивность света приведены на рис. 2с. Дополнительное освещение включалось в утреннее и вечернее время для компенсации недостатка естественного освещения и обеспечения светового дня в ~12 часов.

Результаты измерений pH питательного раствора приведены на рис. 2д, из которого видно, что уровень pH поддерживался на уровне 5.6-6, что удовлетворяет требованиям к гидропонным системам данного типа.

Результаты измерений электропроводность питательного раствора приведены на рис. 2е, из которого видно, что уровень электропроводность колебалась в пределах 1400-1500 мкСм, что удовлетворяет требованиям к гидропонным системам данного типа.

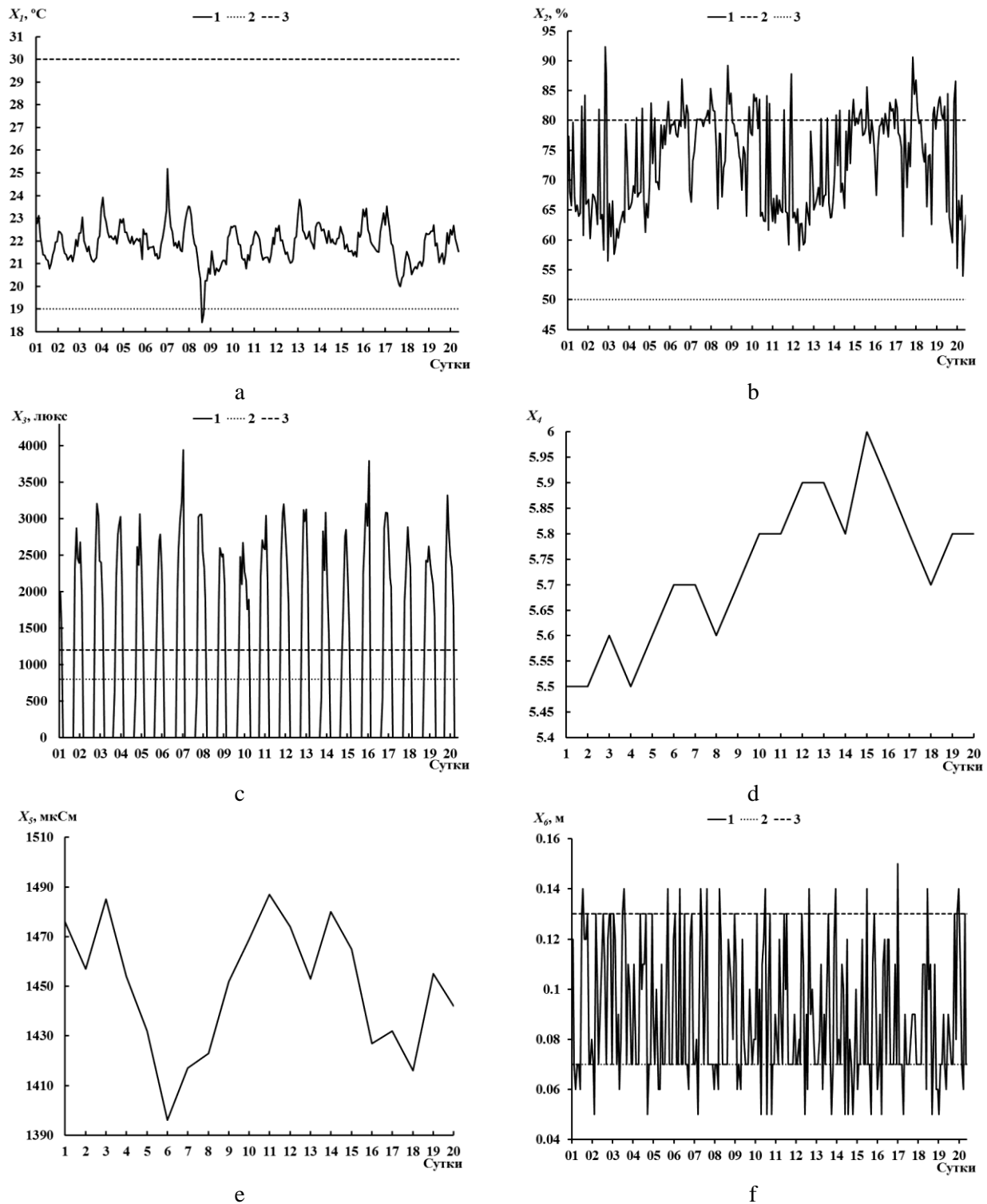


Рис. 2. Результати моніторингу параметрів оточуючої серед:

a – динаміка змінення температури; b – динаміка змінення відносної вологості; c – динаміка змінення інтенсивності світла; d – динаміка змінення рН живильного розчину; e – динаміка змінення електропровідності розчину; f – динаміка змінення рівня живильного розчину в робочій ємкості.

1 – експериментальні дані, 2 – нижній поріг значення параметра, 3 – верхній поріг значення параметра.

Результати вимірювань рівня живильного розчину в робочій ємкості приведені на рис. 2f. Нескільки хаотичний розброс значень

об'яснюється низькою чутливістю датчика, що привело до нерівномірності включення насоса.

са подкачки питательного раствора в рабочую емкость.

6. Обсуждение

В результате проведения эксперимента растения показали положительную динамику роста и дошли до завершения стадии вегетативного роста. Полученные данные свидетельствуют о том, что модель управления САHS адекватно реагирует на изменения состояния окружающей среды.

Выводы

Научная новизна результатов работы состоит в том, что сформулирована производственная модель управления автоматизированной NFT-установкой для домашнего выращивания растительных культур – САHS. Управление САHS осуществляется с помощью правил типа IF-THEN и зависит от параметров окружающей среды САHS.

Практическая важность полученных результатов состоит в том, что разработан промышленный прототип САHS. Система управления САHS построена на базе IoT. Набор датчиков (температурный датчик, датчик измерения относительной влажности окружающей среды, датчик измерения интенсивности света, pH-метр, кондуктометр, уровнемер питательного раствора) обеспечивает мониторинг параметров окружающей среды САHS. Управление параметрами окружающей среды осуществляется с помощью набора актуаторов (осветительный элемент, вентилятор, воздухонагреватель, помпа) через микроконтроллер ESP 32.

Выполнена программная реализация системы управления САHS с клиент-серверной архитектурой. Основная функция клиентской части приложения, которая устанавливается на микроконтроллер ESP32, – передача на сервер показаний датчиков и управление актуаторами. Основная функция серверной части приложения – реализация алгоритма управления САHS и формирование управляющего воздействия на актуаторы, оповещение пользователя о процессе выращивания растительной культуры.

Перспективами дальнейшей работы является разработка и реализация пользовательской части управления установкой.

Список использованной литературы

1. Resh, H. M. Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower, Seventh Edition [Text] / H. M. Resh. – Boca Raton : CRC Press, 2013. – 560 p.

2. Benton, J. Jr. Complete Guide for Growing Plants Hydroponically [Text] / J. Jr. Benton. – Boca Raton : CRC Press, 2014. – 206 p.

3. Patil, P. Automation in hydroponic system using PLC [Text] / P. Patil, S. Kakade, S. Kantale, D. Shinde // International Journal of Scientific and Technical Advancements. – 2016. – Vol. 2, Issue 2. – pp. 69–71.

4. Brechner, M., Both, A. J. Hydroponic Lettuce Handbook [Text] / M. Brechner, A. J. Both. – Cornell : Cornell University CEA Program, 2014. – 48 p.

5. Peuchpanngarm, C. DIY Sensor-Based Automatic Control Mobile Application for Hydroponics : Proceedings Fifth ICT International Student Project Conference [Text] / C. Peuchpanngarm, P. Sritiworawong, W. Samerjai, T. Sunetnanta. – Danvers : IEEE, 2016. – pp. 57–60.

6. Pitakphongmetha, J. Internet of Things for Planting in Smart Farm Hydroponics Style : Proceedings of International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC 2016) [Text] / J. Pitakphongmetha, N. Boonnam, S. Wongkoon, T. Horanont. – Chiangmai : IEEE, 2016. – pp. 1–5.

7. Intelligent Plant Care Hydroponic Box Using IoTtalk : Proceedings of iThings-GreenCom-CPSCom-Smart Data, 16–19 December 2016, Chengdu, China [Text] / T.-H. Wu, C.-H. Chang, Y.-W. Lin et al. – Chengdu : IEEE, 2016. – pp. 398–401.

8. Umamaheswari, S. Integrating Scheduled Hydroponic System : Proceedings of IEEE International Conference on Advances in Computer Applications (ICACA), 24th october 2016, Tamilnadu, India [Text] / S. Umamaheswari, A. Preethi, E. Pravin, R. Dhanusha. – Tamilnadu : IEEE, 2016. – pp. 333–337.

9. Reliable Wireless Control System for Tomato Hydroponics [Text] / H. Ibayashi, Y. Kaneda, J. Imahara et al. // Sensors. – 2016. – Vol. 16, No. 644. – pp. 1–15.

10. Mishra, R. L. Design and Implementation of Automatic Hydroponics System using ARM Processor [Text] / R. L. Mishra, P. Jain // International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering. – 2015. – Vol. 4, Issue 8. – pp. 6935–6940

11. Sihombing, P. Automated hydroponics nutrition plants systems using arduino uno microcontroller based on android [Text] / P. Sihombing, N. A. Karina, J. T. Tarigan and M. I. Syarif // Jour-

nal of Physics: Conference Series. – 2018. – Vol. 978. – pp. 1–6.

12. Design and Development of Solar Powered Smart Hydroponic Greenhouse [Text] / P. Varmora, H. Shah, S. Shah et al. // *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*. – 2018. – Vol. 8, No.5. – pp. 95–98.

13. Sace, C. F. Lettuce Production in a Recirculating Hydroponic System [Text] / C. F. Sace, J. H. Estigoy // *American Journal of Agricultural Science*. – 2015. – Vol. 2, No5. – pp. 196–202

14. Будівлі житлові і суспільні. Параметри мікроклімату в приміщеннях : ГОСТ 30494–2011. [Текст] – М. : Стандартиформ 2013. – 16 с. — (Міждержавний стандарт).

15. Light and Lighting Control In Greenhouses. [Text] – Surrey : Argus Control Systems Ltd., 2010 – 29 p.

16. Klein, M. Artificial lighting with LED in horticulture greenhouses; How to successfully implement LED to raise yields in commercial crop growth [Text] / M. Klein // *Journal of Food Processing & Technology*. – 2017. – Vol. 8, No. 1. – pp. 115–121.

17. Oakes, P. L. Aeration of ponds used in aquaculture [Text] / P. L. Oakes, K. Gullett, T. Bobowick // *Agricultural Engineering Technical Note No. AEN-3*. – Washington : U. S. Department of Agriculture, 2011. – 23 p.

References

1. Resh, H. M. (2013) *Hydroponic Food Production: A Definitive Guidebook for the Advanced Home Gardener and the Commercial Hydroponic Grower*, Seventh Edition. Boca Raton, CRC Press, 560 p.

2. Benton, J. Jr. (2014) *Complete Guide for Growing Plants Hydroponically*. Boca Raton, CRC Press, 206 p.

3. Patil, P., Kakade, S., Kantale, S., Shinde, D. (2016) Automation in hydroponic system using PLC. *International Journal of Scientific and Technical Advancements*, Vol. 2, Issue 2, pp. 69–71.

4. Brechner, M., Both, A. J. (2014) *Hydroponic Lettuce Handbook*. Cornell, Cornell University CEA Program, 48 p.

5. Peuchpanngarm, C., Srinitiworawong, P., Samerjai, W., Sunetnanta, T. (2016) DIY Sensor-Based Automatic Control Mobile Application for Hydroponics. *Proceedings Fifth ICT International Student Project Conference*, Danvers, IEEE, pp. 57–60.

6. J. Pitakphongmetha, N. Boonnam, S. Wongkoon, T. Horanont (2016) *Internet of Things for Planting in Smart Farm Hydroponics*

Style. *Proceedings of International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC 2016)*, Chiangmai : IEEE, pp. 1–5.

7. Wu, T.-H., Chang, C.-H., Lin, Y.-W. et al (2016) Intelligent Plant Care Hydroponic Box Using IoTtalk. *Proceedings of iThings-GreenCom-CPSCom-Smart Data*, 16–19 December 2016, Chengdu, China, Chengdu, IEEE, pp. 398–401.

8. Umamaheswari, S., Preethi, A., Pravin, E., Dhanusha, R. (2016) Integrating Scheduled Hydroponic System. *Proceedings of IEEE International Conference on Advances in Computer Applications (ICACA)*, 24th october 2016, Tamilnadu, IEEE, pp. 333–337.

9. Ibayashi, H., Kaneda, Y., Imahara, J. et al. (2016) Reliable Wireless Control System for Tomato Hydroponics. *Sensors*, Vol. 16, No. 644, pp. 1–15.

10. Mishra, R. L., Jain, P. (2015) Design and Implementation of Automatic Hydroponics System using ARM Processor. *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, Vol. 4, Issue 8, pp.6935–6940

11. Sihombing, P., Karina, N. A., Tarigan, J. T., Syarif, M. I. (2018) Automated hydroponics nutrition plants systems using arduino uno microcontroller based on android. *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 978, pp. 1–6.

12. Varmora, P., Shah, H., Shah, S. et al. (2018) Design and Development of Solar Powered Smart Hydroponic Greenhouse. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, Vol. 8, No.5, pp. 95–98.

13. Sace, C. F., Estigo,y J. H. (2015) Lettuce Production in a Recirculating Hydroponic System. *American Journal of Agricultural Science*, Vol. 2, No5, pp. 196–202

14. Residential and public buildings.Parameters of the microclimate in the premises [Budivli zhytlovi i suspil'ni. Parametry mikroklimatu v prymishhennjah] : GOST 30494-2011, M., Standartynform, 2013, 16 s. (Mizhderzhavnyj standart).

15. Light and Lighting Control In Greenhouses. Surrey, Argus Control Systems Ltd., 2010, 29 p.

16. Klein, M. (2017) Artificial lighting with LED in horticulture greenhouses; How to successfully implement LED to raise yields in commercial crop growth. *Journal of Food Processing & Technology*, Vol. 8, No. 1, pp. 115–121.

17. Oakes, P. L., Gullett, K., Bobowick, T. (2011) Aeration of ponds used in aquaculture. *Agricultural Engineering Technical Note No. AEN-3*, Washington, U. S. Department of Agriculture, 23 p.

COMPACT AUTOMATED HYDROPONIC SYSTEM

O. S. Tymchuk, O. I. Barybin, E. E. Zaiceva, I. E. Rozanov
Vasyl' Stus Donetsk National University

Abstract. The use of hydroponic systems for plants growing in urban infrastructure requires from a person to constantly monitor the parameters that affect plant growth. The task of automating such a systems can be solved with the help of Internet of things technologies (Internet of Things, IoT). IoT-devices are used to monitor and control environmental parameters and combining them into a wireless network based on a microcontroller enables the user to remotely interact with the system. In the article the description and the results of performance of compact automated system for plants growing built on the basis of hydroponics and IoT for the management of which ESP32 microcontroller is used was shown. The hydroponic system control model is based on six basic parameters that affect the growth of lettuce: the ambient temperature, the relative humidity, the intensity of illumination, the pH of the nutrient solution, the electrical conductivity of the nutrient solution, the level of the nutrient solution in the service reservoir. Normal conditions, variation limits and a set of IF-THEN rules are defined for these parameters within the proposed model. Based on the model, a hydroponic system architecture consisting of an environmental monitoring unit (six sensors) and a control unit (four actuators and a microcontroller ESP 32) is developed. The formulated control model and the developed architecture were implemented as a prototype of a compact automated hydroponic system. Thus, a compact automated hydroponic system consists of a hydroponic installation, an environmental control system and a client-server application, was developed in the work. An experiment to grow lettuce salad, the duration of which was 20 days, was conducted. By the end of the experiment plant culture reached the end of its vegetative growth. The results of experimental studies confirmed the effectiveness of using the hydroponic system control model proposed in the work, which was built on the basis of production rules.

Keywords: hydroponics, IoT, automated control system, sensor, actuator.

КОМПАКТНА АВТОМАТИЗОВАНА ГІДРОПОННА СИСТЕМА

О. С. Тимчук, О. І. Барібін, Е. Є. Зайцева, І. Є. Розанов
Донецький національний університет імені Василя Стуса

Анотація. Використання гідропонних систем для вирощування рослин в умовах міської інфраструктури вимагає з боку людини постійного контролю за параметрами, які впливають на ріст рослин. Завдання автоматизації таких систем може бути вирішене за допомогою технологій Інтернету речей (Internet of Things, IoT). IoT-пристрої застосовуються для моніторингу та управління параметрами навколишнього середовища, а об'єднання їх в бездротову мережу на базі мікроконтролера дає можливість користувачеві віддалено взаємодіяти з системою. В статті наведено опис та результати роботи компактної автоматизованої системи для вирощування рослин, побудованої на базі гідропоніки та IoT, для управління якої використовується мікроконтролер ESP32. Модель управління гідропонній системою побудована на базі шести основних параметрів, що впливають на зростання салату латуку: температура навколишнього середовища, відносна вологість, інтенсивність освітлення, рН живильного розчину, електропровідність живильного розчину, рівень живильного розчину в робочій ємності. В рамках моделі для цих параметрів визначені нормальні умови, межі варіювання і набір правил типу IF-THEN. На базі моделі розроблена архітектура установки, що складається з блоку моніторингу навколишнього середовища (шість датчиків) і блоку управління (чотири актуатора та мікроконтролер ESP 32). Сформульована модель управління і розроблена архітектура були реалізовані у вигляді прототипу компактної автоматизованої гідропонної системи. Таким чином компактна автоматизована гідропонна система складається з гідропонній установки, системи управління параметрами навколишнього середовища установки і клієнт-серверного додатка. Проведено експеримент з вирощування салату латуку, тривалість якого склала 20 днів. На момент закінчення експерименту рослинна культура дійшла до завершення свого вегетативного росту. Результати експериментальних досліджень підтвердили ефективність використання запропонованої в роботі моделі управління гідропонною системою, яка побудована на базі продукційних правил.

Ключові слова: гідропоніка, IoT, автоматизована система управління, датчик, актуатор.

Получено 02.10.2018



Тимчук Олег Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры компьютерных технологий Донецкого национального университета имени Васи́ля Стуса. ул. 600-летия, 21, г. Винница, Украина.
E-mail: o.s.timchuk@gmail.com, тел. +38-099-018-82-85

Oleg Tymchuk, Ph.D., Associate professor of Computer Technology Department, Vasyľ Stus Donetsk National University, 600-richchia str., 21, Vinnytsia, 21021, Ukraine. E-mail: o.s.timchuk@gmail.com, тел. +38-099-018-82-85

ORCID ID: 0000-0002-9046-8015



Барыбин Алексей Игоревич, кандидат технических наук, заведующий кафедрой радиофизики и кибербезопасности Донецкого национального университета имени Васи́ля Стуса. ул. 600-летия, 21, г. Винница, Украина.
E-mail: o.barybin@donnu.edu.ua, тел. +38-097-916-70-66, +38-050-034-06-07

Oleksii Barybin, Ph.D., Head of Department of Radiophysics and Cybersecurity, Vasyľ Stus Donetsk National University, 600-richchia str., 21, Vinnytsia, 21021, Ukraine. E-mail: o.barybin@donnu.edu.ua, тел. +38-097-916-70-66, +38-050-034-06-07

ORCID ID: 0000-0002-0897-4454



Зайцева Элина Евгеньевна, кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерных технологий Донецкого национального университета имени Васи́ля Стуса, ул. 600-летия, 21, г. Винница, Украина.
E-mail: zaytseva.elina@gmail.com, тел. +38-098-769-25-54

Zaitseva Elina, Ph.D., Associate professor of Computer Technology Department, Vasyľ Stus Donetsk National University, 600-richchia str., 21, Vinnytsia, 21021, Ukraine. E-mail: zaytseva.elina@gmail.com, тел. +38-098-769-25-54

ORCID ID: 0000-0002-2135-8146



Розанов Иван Евгеньевич, студент 2 курса СО «Магистр» специальности 152 «Метрология и информационно-измерительная техника» кафедры радиофизики и кибербезопасности Донецкого национального университета имени Васи́ля Стуса. ул. 600-летия, 21, г. Винница, Украина.
E-mail: i.rozanov@donnu.edu.ua, тел. +38-050-924-81-14

Ivan Rozanov, second year master`s program student of specialty 152 Metrology and information-measurement technology of Department of Radiophysics and Cybersecurity, Vasyľ Stus Donetsk National University, 600-richchia str., 21, Vinnytsia, 21021, Ukraine. E-mail: i.rozanov@donnu.edu.ua, тел. +38-050-924-81-14

ORCID ID: 0000-0001-9817-4022