

Author's Information

Zelenev Aleksander Vasilievich, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Laboratory of Varietal Technologies of Winter Grain Crops and Fertilizer Application Systems, Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Research Center" Nemchinovka" (Russian Federation, 143026, Moscow, Bolshoi Boulevard, 30c1, Skolkovo Innovation Center), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9351-9922>, e-mail: Zelenev.A@bk.ru

Chamurliov Omary Georgievich, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Director of the Research Institute, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 26), e-mail: attika.ge@yandex.ru

Markova Irina Nikolaevna, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Agronomist-Breeder of the Laboratory of Breeding, Seed Production and Nursery of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Reclamation and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4761-0554>, e-mail: irynamarckOva@yandex.ru

Smutnev Pavel Anatolyevich, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Agronomist Breeder of the Laboratory of Breeding, Seed and Nursery Production of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Scientific Center for Agroecology, Integrated Reclamation and Protective Forestry of the Russian Academy of Sciences" (Russian Federation, 400062, Volgograd, Universitetskiy Prospekt, 97), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4958-4946>, e-mail: smut-pavel@yandex.ru

Filin Valentin Ivanovich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Avenue, 26).

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-03

DESIGN AND COMPUTER IMPLEMENTATION COMPLEX OF PROGRAMS FOR INTELLECTUAL MONITORING THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF AGROBIOCOENOSES UNDER CONDITIONS OF THEIR CONTROLLED CULTIVATION

N. I. Lebed, K. E. Tokarev, S. D. Fomin

*Volgograd State Agrarian University
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: nik8872@yandex.ru

Received 02.10.2023

Submitted 03.11.2023

*The study was supported by a grant from the Russian Science Foundation No. 22-21-20041,
<https://rscf.ru/project/22-21-20041/> and the Volgograd region*

Summary

The article presents a description of the developed software modules that make it possible to implement combinations of climatic parameters within a closed ecosystem, to carry out operational monitoring and assessment of the state of nutrient media and individual plant parts for the presence of deviations during digital phenotyping. An intelligent technology for monitoring the state of agrophytocenoses is proposed, taking into account the phases of the growing season in conditions of virus-free seed production with the ability to study plant growth and development using a neural network.

Abstract

Introduction. The article is devoted to the problems of design and computer implementation of an ensemble of software modules, the basic functionality of which is automated monitoring of the growth dynamics of agrobiocenoses under conditions of their controlled cultivation with the possibility of further research of development by vegetation phases using a deep learning neural network with convolutional layers. The main stages of the development of digital device circuits, algorithms for their operation and computer implementation of combinations of climatic parameters within closed ecosystems, operational monitoring of the state of nutrient media and individual plant parts for deviations during digital phenotyping are considered. **Object.** The object of the study is the growth and development of agro-bioceons under controlled cultivation conditions. **Materials and methods.** Design and computer

implementation were carried out in a simulation environment with the selection of basic components of an intelligent control system with subsequent integration with microcontroller components. Computer implementation of program modules was carried out in an integrated application development environment in the C++ programming language. **Results and conclusions.** An automated system for implementing combinations of climatic parameters within closed ecosystems, operational monitoring of the state of nutrient media and individual plant parts for deviations in digital phenotyping were modeled, and its performance was tested in a simulation environment that proved its effectiveness. A set of special software is presented for implementing the algorithms for the operation of the proposed intelligent algorithms. A concept is proposed for managing and monitoring the state of agrophytocenoses in conditions of virus-free seed production with the ability to study plant growth and development using a neural network with convolutional layers. The diagram includes a three-level automation system: at the lower level, sensors and relays of actuators; application of computer vision algorithms for operational monitoring of the state of the growing medium, growth and development of plants, displaying images on the screen of a computerized supervisory control and data acquisition system (CSDUiSD), exporting images to cloud data storage services for multi-class classification according to pre-prepared data deep learning neural network classes with convolutional layers (CNN); connection between computer vision components, microcontrollers for operational monitoring and notification when deviations are detected (the presence of contamination of the nutrient medium / explants, diseases) when growing agrobiocenoses in virus-free seed production.

Key words: agrobiocenoses, hybrid control systems, machine learning, neural network with convolutional layers.

Citation. Lebed N. I., Tokarev K. E., Fomin S. D. Design and computer implementation complex of programs for intellectual monitoring the growth and development of agrobiocenoses under conditions of their controlled cultivation. *Proc. of the Lower Volga Agro-University Comp.* 2023. 4(72). 38-49. (in Russian). DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-03.

Author's contribution. The authors of this study were directly involved in formulating the problem, planning the study, analyzing, presenting conclusions and preparing proposals for production. The authors of this article have reviewed and approved the final version of the article.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

УДК 631.67:004.9

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И КОМПЬЮТЕРНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ КОМПЛЕКСА ПРОГРАММ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА РОСТА И РАЗВИТИЯ АГРОБИОЦЕНОЗОВ В УСЛОВИЯХ ИХ КОНТРОЛИРУЕМОГО ВЫРАЩИВАНИЯ

Н. И. Лебедь, доктор технических наук
К. Е. Токарев, кандидат экономических наук, доцент
С. Д. Фомин, доктор технических наук, доцент

ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ
г. Волгоград, Российская Федерация

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-21-20041,
<https://rscf.ru/project/22-21-20041/> и Волгоградской области

Актуальность. Статья посвящена проблемам проектирования и компьютерной реализации ансамбля программных модулей, базовым функционалом которых является автоматизированный мониторинг динамики роста агrobiоценозов в условиях их контролируемого выращивания с возможностью дальнейшего исследования развития по фазам вегетации нейронной сетью глубокого обучения со сверточными слоями. Рассмотрены основные этапы разработки цифровых схем устройств, алгоритмов их работы и компьютерной реализации комбинаций климатических параметров внутри закрытых экосистем, оперативного мониторинга состояния

питательных сред и отдельных частей растений на наличие отклонений при цифровом фенотипировании. **Объект.** Объектом исследования являются рост и развитие агробиоценозов в условиях контролируемого выращивания. **Материалы и методы.** Проектирование и компьютерная реализация осуществлялась в среде имитационного моделирования с подбором базовых компонентов системы интеллектуального управления с последующей интеграцией с микроконтроллерными компонентами. Компьютерная реализация программных модулей осуществлялась в интегрированной среде разработки приложений на языке программирования C++. **Результаты и выводы.** Осуществлено моделирование автоматизированной системы реализации комбинаций климатических параметров внутри закрытых экосистем, оперативного мониторинга состояния питательных сред и отдельных частей растений на наличие отклонений при цифровом фенотипировании, произведена ее проверка на работоспособность в среде имитационного моделирования, доказавшей ее эффективность. Представлен комплекс специального программного обеспечения для реализации алгоритмов работы предлагаемых интеллектуальных алгоритмов. Предлагается концепция управления и мониторинга состояния агрофитоценозов в условиях безвирусного семеноводства с возможностью исследования роста и развития растений с использованием нейронной сети со сверточными слоями. Схема включает трехуровневую систему автоматизации: на нижнем уровне датчики и реле исполнительных механизмов; применение алгоритмов компьютерного зрения для оперативного мониторинга состояния питательной среды, роста и развития растений, вывода изображения на экран компьютеризированной системы диспетчерского управления и сбора данных (КСДУиСД), экспорт изображений на облачные сервисы хранения данных для мультиклассовой классификации по заранее подготовленным классам нейронной сети глубокого обучения со сверточными слоями (CNN); связь между компонентами машинного зрения, микроконтроллеров для оперативного мониторинга и оповещения при обнаружении отклонений (наличие контаминации питательной среды / эксплантов, болезней) при выращивании агробиоценозов в безвирусном семеноводстве.

Ключевые слова: агробиоценозы, гибридные системы управления, машинное обучение, нейронная сеть со сверточными слоями.

Цитирование. Лебедь Н. И., Токарев К. Е., Фомин С. Д. Проектирование и компьютерная реализация комплекса программ для интеллектуального мониторинга роста и развития агробиоценозов в условиях их контролируемого выращивания. *Известия НВ АУК*. 2023. 4(72). 38-49. DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-03.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении или анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились с представленным окончательным вариантом и одобрили его.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Введение. Основным направлением получения оздоровленного посадочного материала является клональное микроразмножение, преимуществами которого также являются возможность получать высококачественный семенной и посадочный материал культурных растений круглый год в гораздо больших объемах [1]. Соблюдение условий стерильности в процессе клонального микроразмножения культур является важнейшим фактором его успешного проведения. Растения обладают высокой восприимчивостью к микроорганизмам, подавляющим их рост, и не способны сопротивляться инфекциям. А поскольку питательная среда, на которой выращиваются экспланты, является идеальной средой для роста микроорганизмов, необходимо не только исключить возможность контаминации из внешней среды. Как правило, идентификация контаминации питательной среды или экспланта осуществляется визуально подготовленными людьми, отвечающими за культивирование микрорастений и ведущими мониторинг для контроля за состоянием роста и развития продукции растениеводства в регулируемых условиях микроклимата.

Тем не менее, обеспечение визуальной достоверной идентификации контаминации осложнено проблемой, представленной индивидуальными и субъективными факторами, такими как низкая квалификация или ее отсутствие, недостаточный опыт работы и утомляемость состояния исполнителей. Кроме этого, отсутствие кадров, оптимизация производства обязывает разработку и внедрение автоматизированных цифровых систем для эффективной реализации культивирования растений на основании достоверных данных. При этом для ускоренного размножения и получения качественного посадочного материала в условиях искусственных экобиосистем необходимо осуществлять подбор оптимального состава питательных сред и параметров окружающей среды на каждой стадии развития растений индивидуально для каждой культуры и даже для отдельных сортов. Это требует точной регистрации морфометрических показателей прироста отдельных частей, органов растений и растений в целом, культивируемых на разных питательных средах, что связано с необходимостью объективной регистрации и обработкой одновременно большого количества данных, снижения влияния человеческого фактора [2, 3, 4]. Данное проблемное противоречие может быть решено на основе внедрения цифрового фенотипирования с использованием средств автоматизации и интеллектуальных методов моделирования. Решение указанных проблем возможно путем разработки и внедрения интеллектуальной системы обнаружения контаминации посредством технического зрения, анализа цифровых снимков с использованием библиотек машинного обучения для последующей обработки нейронными сетями со сверточными слоями [5–8].

Авторами предлагаются электронные схемы устройств автоматизированных систем управления, алгоритмы и специальное программное обеспечение для реализации комбинаций климатических параметров внутри закрытой экосистемы, оперативного мониторинга состояния питательных сред и отдельных частей растений на наличие отклонений при цифровом фенотипировании [9, 10].

Методы и методы. В качестве объекта исследований и автоматизации был выбран процесс выращивания растений *in vitro* в регулируемых условиях посредством секционной климатической камеры (рисунок 1) с оперативным мониторингом состояния питательных сред и отдельных частей растений на наличие отклонений при цифровом фенотипировании. Проектирование и компьютерная реализация осуществлялись в среде имитационного моделирования с подбором базовых компонентов системы интеллектуального управления с последующей интеграцией с микроконтроллерными компонентами. Компьютерная реализация программных модулей осуществлялась в интегрированной среде разработки приложений на языке программирования C++.

Результаты и обсуждение. Климатическая камера (Патент РФ на полезную модель RU 208958, 54.01.2022. Заявка № 2021111261 от 21.04.2021) выполнена в виде корпуса 1, содержащего две независимые друг от друга изолированные рабочие камеры 2. Рабочие камеры 2 содержат отсек 3, температурный датчик 4, квантовый фотометр 5 и блок освещения, выполненный в виде панелей 6 со светодиодами 7. Панели 6 расположены сверху и по бокам зоны выращивания растений. Внутри отсека 3 расположены блок управления искусственным климатом (на фигурах не показан) и индивидуальные модули очистки воздуха 8, оснащенные блоком озонирования 9 и угольными фильтрами 10. С лицевой стороны корпуса 1 расположены панели управления 11 для каждой рабочей камеры 2, каждая из независимых рабочих камер 2 изолируется от внешней среды посредством герметичных люков 12.

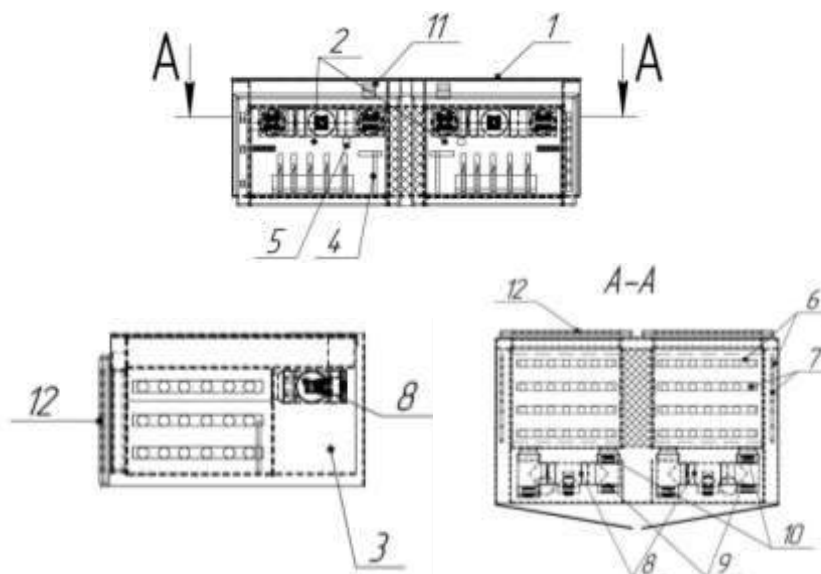


Рисунок 1 – Секционная климатическая камера для выращивания растений
Figure 1 – Sectional climate chamber for growing plants

Емкости с растениями помещают внутрь изолированных рабочих камер 2, закрывают герметичные люки 12 и включают светодиоды 7. Микроклимат внутри рабочих камер 2 контролируется блоком управления искусственным климатом, который получает данные от температурного датчика 4 и квантового фотометра 5, для измерения интенсивности освещения. Полученные данные отображаются на панели управления 11. Необходимый уровень высокой биологической чистоты обеспечивается индивидуальными модулями очистки воздуха 8, где поступающий воздух обеззараживается и происходит химическое преобразование кислорода в озон за счет блока озонирования 9. Затем озон проходит через угольные фильтры 10 и преобразуется в кислород. Обеззараженный от посторонних веществ воздух поступает в рабочую камеру 2.

Указанное устройство обеспечивает проведение необходимых исследований в условиях регулируемого микроклимата при наличии гибкой настройки каждой управляемой зоны, что значительно снизит временные затраты на нахождение оптимальных микроклиматических условий для каждого конкретного образца.

Для реализации схем автоматизации с последующим тестированием и отладкой взаимодействия всех систем на программно-аппаратном уровне в системе автоматизированного проектирования электронных устройств были разработаны электронные схемы систем управления [11, 12, 13].

В качестве примера на рисунке 2 представлена электронная схема (в режиме симуляции) управления секцией климатической камерой, в частности полива с мониторингом влажности почвы, яркости и времени освещения по заданным параметрам светового дня, температурных параметров с контролем термо- и влажностных характеристик воздуха, pH-рабочего раствора и давления воздуха. В качестве среднего уровня автоматизации, организации обратной связи между контрольно-измерительными приборами и устройствами индикации, управления исполнительными органами использован микроконтроллер AVR-архитектуры. Для предлагаемой схемы был разработан алгоритм работы, реализованный в программном обеспечении на языке программирования C++. Данная схема позволяла в режиме реального времени произвести проверку работоспособности и эффективности электронных компонентов, исполнительных органов, алгоритмов их работы и программного обеспечения.

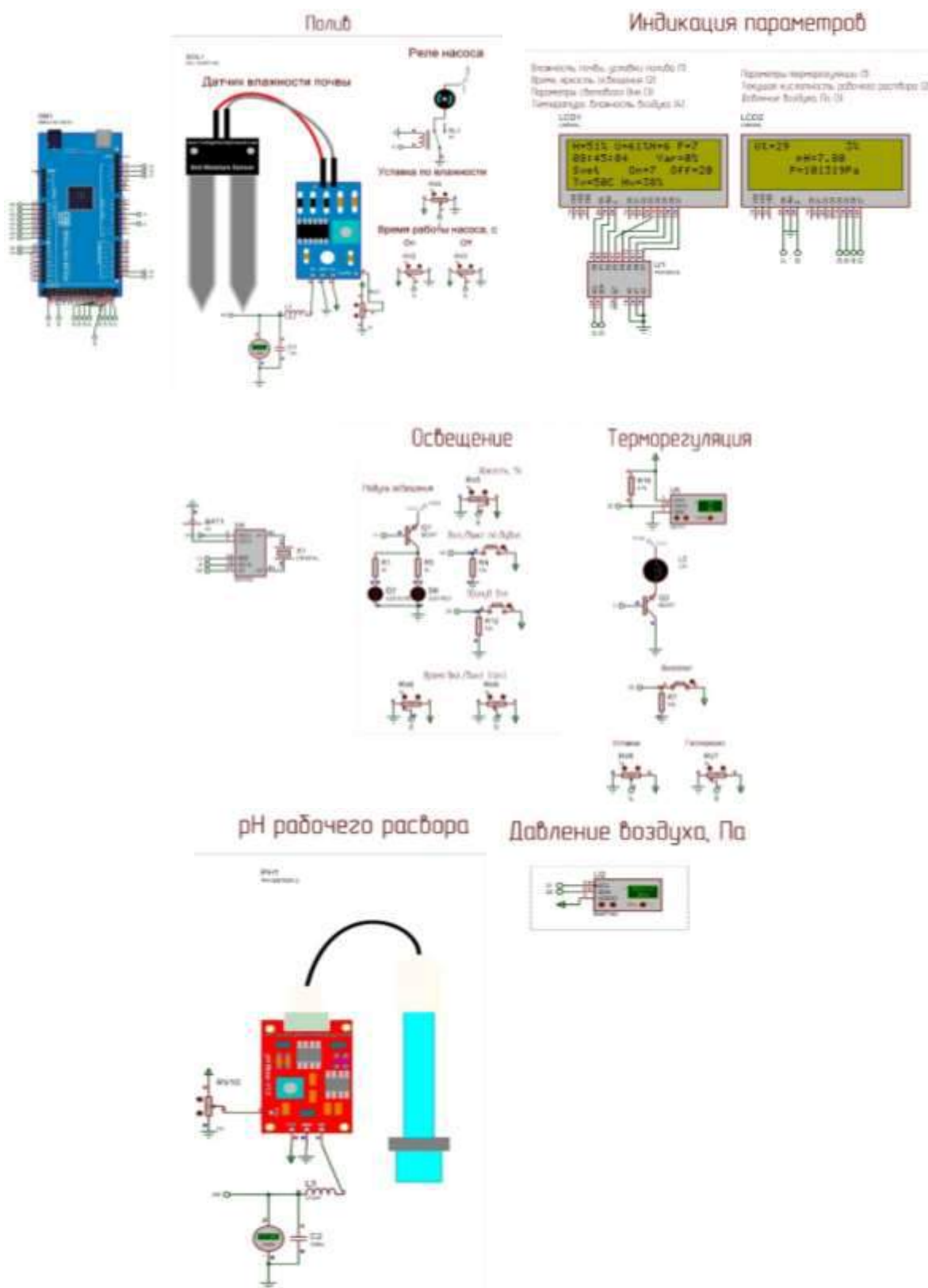


Рисунок 2 – Моделирование работы схемы системы управления секцией климатической камерой (в режиме симуляции)

Figure 2 – Simulation of the operation of the climatic chamber section control system circuit (in simulation mode)

В качестве исполнительных органов и контрольно-измерительных приборов представлены электромагнитное реле для управления водяным насосом, силовые ключи на базе транзисторов для контроля тепловентилятора и светодиодного освещения, датчики: температуры и влажности воздуха DHT-11, pH-рабочего раствора «DFRobot Pro», влажности почвы «Proto-PIC», давления воздуха «BMP-180». Вышеуказанная схема системы управления секцией климатической камеры выполняла функции посредством алгоритма, реализованного в специальном программном обеспечении АСУ (Лебедь Н. И., Токарев К. Е.). Автоматизированное управление и мониторинг состояния почвенно-климатических и барометрических параметров искусственных фитоценозов // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023617059, 05.04.2023. Заявка № 2023615134 от 20.03.2023). Программа предназначена для автоматизированного управления и мониторинга состояния почвенно-климатических и барометрических параметров искусственных фитоценозов. Область применения программы: высокопродуктивное сельскохозяйственное производство. Функции программы: мониторинг и передача данных о барометрических параметрах газовой среды, влажности и кислотности грунта, регулирование потоков питательных веществ; управление продолжительностью светового дня и поливом по датчику влажности.

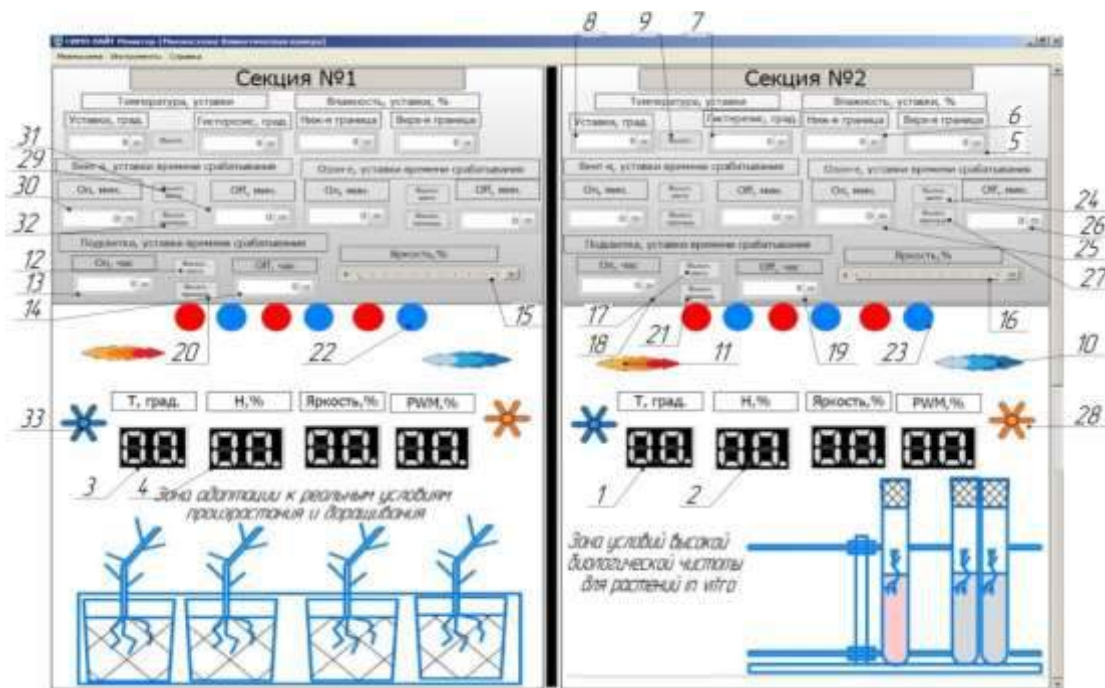


Рисунок 3 – Распределение тегов на мнемосхеме КСДУиСД

Figure 3 – Distribution of tags on the KSDUiSD mnemonic diagram

- 1 – текущая температура 2-й секции, 2 – текущая влажность 2-й секции, 3 – текущая температура 1-й секции, 4 – текущая влажность 1-й секции, 5 – верхнее пороговое значение влажности воздуха, 6 – нижнее пороговое значение влажности воздуха, 7 – гистерезис температуры, 8 – уставки температуры, 9 – выключатель терморегулятора, 10 – индикация работы увлажнителя, 11 – индикация работы терморегулятора, 12, 17 – автоматический режим освещения, 13, 18 – время включения освещения, 14, 19 – время выключения освещения, 15, 16 – коррекция яркости освещения, 20, 21 – принудительное включение освещения, 22, 23 – индикация работы освещения, 24 – автоматический режим обеззараживания воздуха, 25 – время включения озонатора, 26 – время выключения озонатора, 27 – принудительное включение озонатора, 28 – индикация работы озонатора, 29 – автоматический режим вентиляции воздуха, 30 – время включения вентиляции, 31 – время выключения вентиляции, 32 – принудительное включение вентиляции, 33 – индикация работы вентиляции.

Для обеспечения связи между средним и верхним уровнем автоматизации была применена схема, включающая применение промышленного протокола передачи данных и стандарта физического уровня.

Для реализации человеко-машинного интерфейса была разработана мнемосхема компьютеризированной системы диспетчерского управления и сбора данных [14], а также осуществлено распределение тегов на элементах ее индикации и управления (рисунок 3).

На основе результатов исследований разработана заявка на регистрацию и получено свидетельство № 2022617977 на программу для ЭВМ «Программный модуль компьютерного мониторинга признаков заражения посевов агрокультур при клональном микроразмножении».

В рамках научных исследований сотрудников ФГБОУ ВО Волгоградского ГАУ, посвященных проблемам разработки методов и алгоритмов повышения биопродуктивности агросистем на основе нейросетевых технологий в условиях точного земледелия Волгоградской области при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (Грант № 22-21-20041) реализован комплекс программных средств:

1. Программа для интеллектуального анализа и мониторинга признаков контаминации агрокультур при микроклональном размножении в условиях поддержания биологической чистоты. Программа предназначена для интеллектуального анализа и мониторинга визуальных признаков контаминации эксплантов и питательной среды агрокультур при микроклональном размножении в условиях поддержания биологической чистоты (Лебедь Н. И., Токарев К. Е. Программа для интеллектуального анализа и мониторинга признаков контаминации агрокультур при микроклональном размножении в условиях поддержания биологической чистоты // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2022661524, 22.06.2022. Заявка №2022617233, 19.04.2022).

2. Мониторинг и оценка продуктивности агрофитоценозов при биотехнических способах размножения с использованием средств цифровой цветометрии. Программный модуль предназначен для мониторинга и оценки продуктивности агрофитоценозов при биотехнических способах размножения с использованием средств цифровой цветометрии (Лебедь Н. И., Токарев К. Е. Мониторинг и оценка продуктивности агрофитоценозов при биотехнических способах размножения с использованием средств цифровой цветометрии // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2022681596, 15.11.2022. Заявка № 2022680520, 31.10.2022).

3. Автоматизированное управление и мониторинг состояния агрофитоценозов в условиях контролируемых агроэкосистем. Программный модуль предназначен для автоматизированного управления и мониторинга состояния агрофитоценозов в условиях контролируемых агроэкосистем (Лебедь Н. И., Токарев К. Е. Автоматизированное управление и мониторинг состояния агрофитоценозов в условиях контролируемых агроэкосистем // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023611515, 20.01.2023. Заявка № 2023610355, 10.01.2023).

4. Микропроцессорное управление и мониторинг состояния искусственных агроэкосистем в условиях закрытого грунта. Программа предназначена для автоматизированного микропроцессорного управления и мониторинга состояния искусственных агроэкосистем в условиях закрытого грунта (Лебедь Н. И., Токарев К. Е. Микропроцессорное управление и мониторинг состояния искусственных агроэкосистем в условиях закрытого грунта // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023611560, 23.01.2023. Заявка № 2023610290, 10.01.2023).

5. Программа для автоматизированного управления и мониторинга киберфизической системы контролируемого выращивания агрокультур. Программный модуль предназначен для автоматизированного управления и мониторинга киберфизической системы контролируемого выращивания агрокультур (Лебедь Н. И., Токарев К. Е. Про-

грамма для автоматизированного управления и мониторинга киберфизической системы контролируемого выращивания агрокультур // Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2023611561, 23.01.2023. Заявка № 2023610291, 10.01.2023).

Дальнейшее совершенствование схемы управления и мониторинга состояния агрофитоценозов в условиях безвирусного семеноводства предусматривало возможность исследования роста и развития растений с использованием нейронной сети со сверточными слоями (рисунок 4).

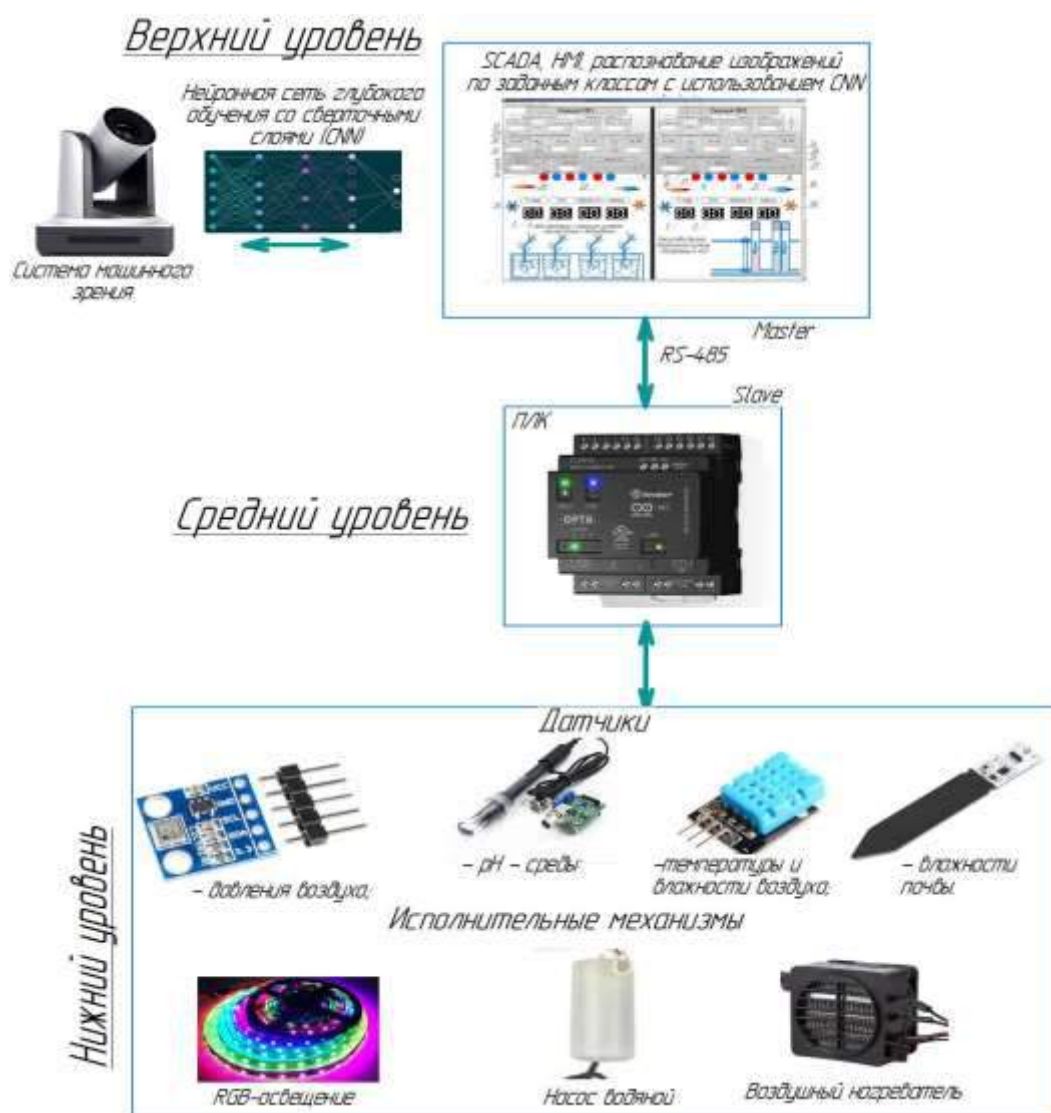


Рисунок 4 – Схема интеллектуальной системы мониторинга состояния агрофитоценозов в условиях безвирусного семеноводства с возможностью исследования роста и развития растений нейронной сетью сверточной архитектуры

Figure 4 – Scheme of an intelligent system for monitoring the state of agrophytocenoses in conditions of virus-free seed production with the ability to study plant growth and development using a neural network of convolutional architecture

Схема предусматривала трехуровневую систему автоматизации, включающую:
– на нижнем уровне датчики: температуры и влажности воздуха и почвы, pH-среды, давления воздуха, реле и силовые ключи исполнительных механизмов: освещения, терморегуляции и полива;

– связь между средним (ПЛК) и верхним (КСДУиСД, НМІ) уровнями посредством протокола Modbus RTU и стандарта RS-485;

– применение алгоритмов компьютерного зрения для оперативного мониторинга состояния питательной среды, роста и развития растений, вывода изображения на мнемосхему КСДУиСД, отправление фото на облачный сервис «Teachable Machine» для разделения по заранее подготовленным классам нейронной сети глубокого обучения со сверточными слоями;

– связь между компонентами машинного зрения, КСДУиСД и промышленно-логическими контроллерами для оперативного мониторинга и оповещения при обнаружении отклонений (наличие контаминации питательной среды / эксплантов, болезней) при выращивании растений в безвирусном семеноводстве.

Заключение. Реализованный в ходе исследований ансамбль программных модулей позволяет реализовать комбинации климатических параметров внутри закрытой экосистемы, осуществлять оперативный мониторинг и оценку состояния питательных сред и отдельных частей растений на наличие отклонений при цифровом фенотипировании. В качестве объекта исследований и автоматизации выбран процесс выращивания растений в регулируемых условиях посредством секционной климатической камеры с оперативным мониторингом состояния питательных сред и отдельных частей растений на наличие отклонений при цифровом фенотипировании. Указанное устройство обеспечивает проведение необходимых исследований в условиях регулируемого микроклимата при наличии гибкой настройки каждой управляемой зоны, что значительно снизит временные затраты на нахождение оптимальных микроклиматических условий для каждого конкретного образца. Предлагается интеллектуальная технология мониторинга состояния агрофитоценозов с учетом фаз вегетации в условиях безвирусного семеноводства с возможностью исследования роста и развития растений с использованием нейронной сети.

Conclusions. The ensemble of software modules implemented in the course of research makes it possible to implement combinations of climatic parameters within a closed ecosystem, to carry out operational monitoring and assessment of the state of nutrient media and individual parts of plants for the presence of deviations in digital phenotyping. As the object of research and automation, the process of growing plants in regulated conditions is selected by means of a sectional climatic chamber with operational monitoring of the state of nutrient media and individual parts of plants for the presence of deviations in digital phenotyping. Said device provides the necessary investigations under controlled microclimate conditions in the presence of flexible adjustment of each controlled zone, which will significantly reduce the time spent on finding optimal microclimate conditions for each specific sample. An intelligent technology for monitoring the state of agrophytocenoses is proposed, taking into account the phases of vegetation in the conditions of virus-free seed production with the possibility of studying the growth and development of plants using a neural network.

Библиографический список

1. Общее собрание секции механизации, электрификации и автоматизации отделения сельскохозяйственных наук РАН. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. № 2. С. 4.
2. Berezhnoy V. A., Ivashchuk O. A., Maslakov Y. N. Approaches for Automated Monitoring and Evaluation of In Vitro Plant's Morphometric Parameters. Journal of Computational and Theoretical Nanoscience. 2020. V. 17. № 9-10. Pp. 4725-4732.
3. Бережной В. В., Иващук О. А., Семенов Д. С. Обзор методов и алгоритмов автоматизированных систем фенотипирования растений. Современные наукоемкие технологии. 2021. № 4. С. 111-116.
4. Бережной В. А., Иващук О. А., Маслаков Ю. Н. Разработка метода сегментации 3d моделей вегетативной части побега. Научно-технический вестник поволжья. 2021. № 5. С. 30-34.
5. Лебедь Н. И., Токарев К. Е. Повышение продуктивности агрофитоценозов в условиях точного земледелия с использованием нейросетевых алгоритмов глубокого обучения: обоснование применения и аспекты компьютерной реализации. Международный сельскохозяйственный журнал. 2022. № 6 (390). С. 662-664.

6. Tokarev K. E., Lebed N. I. Neural network system for recognition and visualization of problem areas of crops in precision farming: justification of application and aspects of implementation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2023. № 1138 (1). 012017.
7. Зыков А. В., Юнин В. А., Захаров А. М. Использование робототехнических средств в АПК. Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 3 (81). С. 8-11.
8. Рунов Б. А. Применение робототехнических средств в АПК. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2016. № 2. С. 44-47.
9. Лебедь Н. И., Токарев К. Е., Нехорошев Д. Д., Аксенов М. П. Исследование и моделирование режимов работы программно-аппаратного комплекса системы микроклимата на базе микроконтроллера ATMEGA2560. Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2022. № 4. Т. 28. С. 595-605.
10. Токарев К. Е., Руденко А. Ю., Кузьмин В. А., Чернявский А. Н. Теория и цифровые технологии интеллектуальной поддержки принятия решений для увеличения биопродуктивности агроэкосистем на основе нейросетевых моделей. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 4 (64). С. 421-440.
11. Хвостенко Т. М., Алексанов И. А. Внедрение и проблематика робототехнических средств в АПК. Вестник образовательного консорциума Среднерусский университет. Информационные технологии. 2022. № 2 (20). С. 4-9.
12. Тюрин С. Ф., Ковыляев Д. А., Данилова Е. Ю., Городилов А. Ю. Изучение программирования микроконтроллеров в САПР Proteus. Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. 2021. № 2 (53). С. 69-74.
13. Лепешко Л. С. Обзор программных продуктов для автоматизации в АПК. Новости науки в АПК. 2019. № 3 (12). С. 318-324.
14. Лебедь Н. И., Гапич Д. С., Ханин Ю. И., Веселова Н. М., Фомин С. Д. Разработка и обоснование автоматизированной системы управления и программного обеспечения SCADA-системы процессом резания плодоовощных материалов ломтиковым измельчителем. Известия нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. ВолГАУ. 2022. № 2 (66). С. 364-372.

References

1. General meeting of the section of mechanization, electrification and automation of the department of agricultural sciences of the Russian Academy of Sciences. Agricultural machinery and technology. 2016. № 2. Pp. 4.
2. Berezhnoy V. A., Ivashchuk O. A., Maslakov Y. N. Approaches for Automated Monitoring and Evaluation of In Vitro Plant's Morphometric Parameters. Journal of Computational and Theoretical Nanoscience. 2020. V. 17. № 9-10. Pp. 4725-4732.
3. Berezhnoy V. V., Ivashchuk O. A., Semenov D. S. Overview of methods and algorithms of automated plant phenotyping systems. Modern science-intensive technologies. 2021. № 4. Pp. 111-116.
4. Berezhnoy V. A., Ivashchuk O. A., Maslakov Yu. N. Development of a method for segmentation of 3d models of the vegetative part of the shoot. Scientific and technical bulletin of the Volga region. 2021. № 5. Pp. 30-34.
5. Lebed N. I., Tokarev K. E. Increasing the productivity of agrophytocenoses in precision farming using deep learning neural network algorithms: justification for application and aspects of computer implementation. International Agricultural Journal. 2022. № 6 (390). Pp. 662-664.
6. Tokarev K. E., Lebed N. I. Neural network system for recognition and visualization of problem areas of crops in precision farming: justification of application and aspects of implementation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2023. № 1138 (1). 012017.
7. Zykov A. V., Yunin V. A., Zakharov A. M. The use of robotics in the agro-industrial complex. International Research Journal. 2019. № 3 (81). Pp. 8-11.
8. Runov B. A. Application of robotics in the agro-industrial complex. Agricultural machinery and technology. 2016. № 2. Pp. 44-47.
9. Lebed N. I., Tokarev K. E., Nekhoroshev D. D., Aksenov M. P. Research and modeling of the operating modes of the firmware complex of the microclimate system based on the ATMEGA2560 microcontroller. Bulletin of Tambov State Technical University. 2022. № 4. V. 28. Pp. 595-605.

10. Tokarev K. E., Rudenko A. Yu., Kuzmin V. A., Chernyavsky A. N. Theory and digital technologies of intelligent decision support for increasing the bio-productivity of agroecosystems based on neural network models. *Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education*. 2021. № 4 (64). Pp. 421-440.

11. Khvostenko T. M., Aleksanov I. A. Introduction and problems of robotic means in the agro-industrial complex. *Bulletin of the educational consortium Central Russian University. Information technology*. 2022. № 2 (20). Pp. 4-9.

12. Tyurin S. F., Kovlyayev D. A., Danilova E. Yu., Gorodilov A. Yu. Study of microcontroller programming in Proteus CAD. *Bulletin of Perm University. Maths. Mechanics. Informatics*. 2021. № 2 (53). Pp. 69-74.

13. Lepeshko L. S. Overview of software products for automation in the agro-industrial complex. *Science news in the agro-industrial complex*. 2019. № 3 (12). Pp. 318-324.

14. Lebed N. I., Gapich D. S., Khanin Yu. I., Veselova N. M., Fomin S. D. Development and justification of the automated control system and software of the SCADA system by the process of cutting fruit and vegetable materials with a slice grinder. *News of the Lower Volga Agricultural University Complex: Science and Higher Professional Education. VolGAU*. 2022. № 2 (66). Pp. 364-372.

Информация об авторах

Лебедь Никита Игоревич, профессор кафедры «Электроснабжение и энергетические системы», доктор технических наук, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, д. 26), e-mail: nik8872@yandex.ru

Токарев Кирилл Евгеньевич, доцент кафедры «Математическое моделирование и информатика», кандидат экономических наук, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, д. 26), e-mail: tokarevke@yandex.ru

Фомин Сергей Денисович, профессор кафедры «Механика», доктор технических наук, заведующий Центром наукометрического анализа и международных систем индексирования, ФГБОУ ВО Волгоградский ГАУ (Российская Федерация, 400002, г. Волгоград, Университетский пр-т, д. 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

Author's Information

Lebed Nikita Igorevich, Professor of the Department of Power Supply and Energy Systems, Doctor of Engineering Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: nik8872@yandex.ru

Tokarev Kirill Evgenievich, Associate Professor of the Department of Mathematical Modeling and Informatics, Candidate of Economic Sciences, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), e-mail: tokarevke@yandex.ru

Fomin Sergey Denisovich, Professor of the Department of Mechanics, Doctor of Engineering Sciences, Head of the Center for Scientometric Analysis and International Indexing Systems, Volgograd State Agrarian University (Russian Federation, 400002, Volgograd, Universitetskiy Ave., 26), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7910-9284>, e-mail: fsd_58@mail.ru

DOI: 10.32786/2071-9485-2023-04-04

SOIL BIOLOGICAL ACTIVITY IN CONNECTION WITH PRE-SOWING INOCULATION OF SOYBEAN SEEDS IN TWO IRRIGATION MODES OF LIGHT CHESTNUT SOIL

A. Yu. Moskvichev¹, S. A. Agapova²

¹*Volgograd State Agrarian University*

²*All-Russian Scientific Research Institute of Irrigated Agriculture
Volgograd, Russian Federation*

Corresponding author E-mail: sveta-sxi@rambler.ru

Received 30.06.2023

Submitted 25.08.2023

Summary

This article discusses the effect of pre-sowing inoculation of soybean seeds on light chestnut soil under various irrigation regimes. The results obtained prove the advantage of seed inoculation in the irrigation regimes under consideration, which are fully correlated with the productivity and quality of this leguminous crop.