

УДК 681.3

DOI 10. 56525/YDDS3514

## РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ПРОГРАММНО-АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДИНАМИКИ ПАРНИКОВОГО ЭФФЕКТА НА РОСТ И РАЗВИТИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Гончаров Д. В.

Белгородский государственный университет, г. Белгород, Россия

e-mail: goncharov\_dv@bsu.edu.ru

**Аннотация.** В статье рассматриваются разработка и создание прототипа специализированного научного программно-аппаратного комплекса, предназначенного для изучения воздействия парникового эффекта и изменений климатических условий на рост, развитие и продуктивность растений. Данный комплекс поддерживает автоматизированное выращивание растений с возможностью воссоздания требуемых параметров произрастания, таких как метеорологические, почвенные и климатические характеристики. В работе предложено программное обеспечение, обеспечивающее автоматизированный сбор, хранение и обработку параметров среды, а также получение и архивирование цифровых изображений растений для последующего фенотипирования и анализа морфологических признаков сельскохозяйственных культур.

Особое внимание уделено интеграции датчиков контроля температуры, влажности воздуха и почвы, концентрации углекислого газа, уровня освещенности и других факторов, оказывающих влияние на физиологическое состояние растений. Разработанная система позволяет проводить длительный мониторинг экспериментальных объектов в режиме реального времени, формировать базы данных и обеспечивать воспроизводимость научных экспериментов. Сформированные банки данных могут использоваться для обучения и переобучения сверточных нейронных сетей, предназначенных для автоматического распознавания стадий развития растений, оценки их состояния и прогнозирования реакции на изменяющиеся условия окружающей среды.

**Ключевые слова:** программно-аппаратный комплекс; прототип; воздействие климата; парниковый эффект; урожайность.

### Введение

Развитие и рост сельскохозяйственных растений зависят от процесса фотосинтеза: листья поглощают углекислый газ из нижних слоев атмосферы и, в сочетании с водой, преобразуют его в органические вещества, необходимые для роста. Таким образом, нехватка CO<sub>2</sub> является одним из ключевых факторов, ограничивающих рост, развитие и урожайность растений. Эту проблему можно эффективно решить, определив территории с необходимыми уровнями концентрации CO<sub>2</sub> для различных сельскохозяйственных культур, учитывая динамику парникового эффекта (ПЭ). Важно отметить, что в этом контексте также открывается возможность управления гумусовым слоем почвы, который играет значительную роль в её плодородии и урожайности.

Создание адаптационных сценариев и научное обоснование зонирования сельскохозяйственных территорий с учетом динамики ПЭ требует сбора и обработки больших объемов разнообразных данных. Это включает одновременное внимание к контролируемым параметрам, которые имеют значительное распределение по обширной территории и случайный характер, а также участие живых организмов в производственных процессах [1]. Все это подчеркивает необходимость применения цифровых технологий, активно развивающихся в рамках Индустрии 4.0.

На уже реализованных этапах научного исследования авторским коллективом была представлена схема формирования адаптационных сценариев по зонированию территорий для

повышения урожайности сельскохозяйственных культур в условиях внешнего природно-климатического и техногенного воздействия, которая включает: этапы моделирования, интеллектуальной поддержки принятия решений; определение оптимальных параметров природно-сельскохозяйственного и агроэкологического зонирования исследуемых территорий, их качественную и количественную структуру [2]. Разработаны необходимые методы и интеллектуальные модели [3], реализованы алгоритмы для создания программного обеспечения и автоматизированного формирования адаптационных сценариев зонирования сельскохозяйственных территорий (рисунок 1) [4].

На сегодняшний момент наблюдается увеличение интереса к ситуационному подходу, который применяется в различных сферах человеческой деятельности с соответствующим созданием ситуационных центров [4, 5].



**Рисунок 1** – Схема автоматизированного формирования адаптационных сценариев по зонированию территорий в условиях внешнего природно-климатического и техногенного воздействия

В настоящей работе представлены результаты формирования основных аспектов и ситуационных моделей для создания прототипа регионального ситуационного центра, основной функцией которого является разработка научно обоснованных сценариев зонирования сельскохозяйственных территорий в условиях динамики ПЭ, что должно привести к постепенному увеличению урожайности культур и производительности территорий.

Принятие решений в области сельскохозяйственного растениеводства сталкивается с серьезными трудностями, обусловленными недостатком информации, конфликтами интересов и целей, а также быстрыми и множественными изменениями в окружающей среде и техногенным воздействием производственного сектора [6]. В таких условиях требования к гибкости сельскохозяйственного сектора и скорости принятия управленческих решений значительно возрастают, что, в свою очередь, делает необходимым внедрение интеллектуальных и информационных технологий в процессы управления.

Принятие научно обоснованных решений по зонированию становится возможным благодаря применения аппарата искусственных нейронных сетей, функционирование которых требует предварительного обучения на большом массиве данных [7]. Накопление данной информации возможно при проведении лабораторных исследований и воссоздания различных условий произрастания. Выращивание сельскохозяйственных культур в закрытом грунте – технически трудоемкий процесс, который невозможно реализовать без специального технического оснащения [8]. Ошибки, допущенные при контроле параметров произрастания, могут приводить к: неравномерной всхожести, бледному цвету растений, слабой устойчивости к вредителям [9].

Для решения данных проблем был использован гроубокс (PROBOX ECOPRO) – это закрытая конструкция, предназначенная для создания оптимального микроклимата для роста и развития сельскохозяйственных культур. Внешний вид разрабатываемого лабораторного инструментария представлен на рисунке 3.

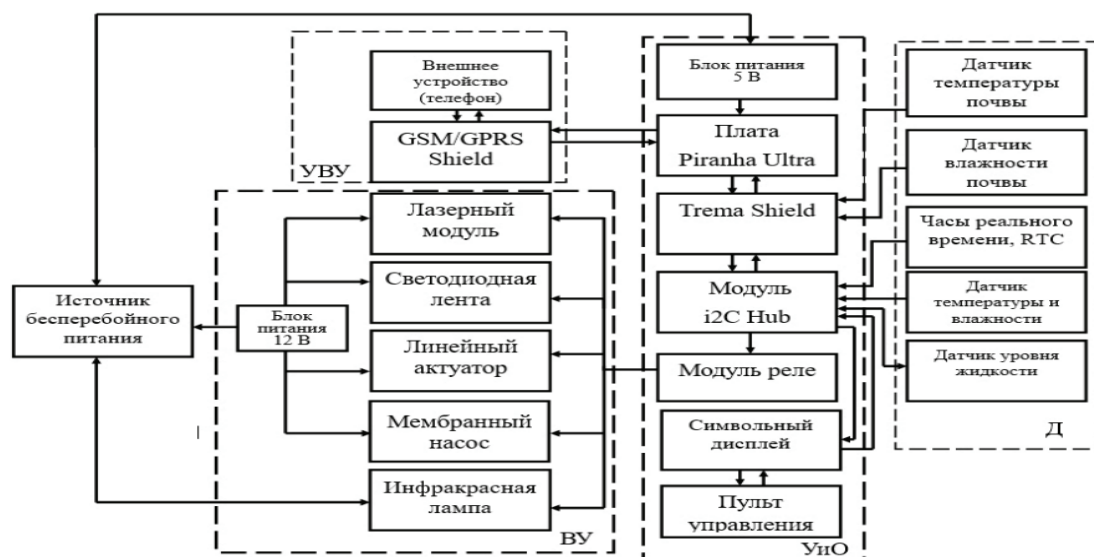
Техническое оснащение лабораторного комплекса состоит из следующих компонентов:

- светодиодное освещение с контролем яркости;
- система микроклимата (тепловой вентилятор, приточно-вытяжная система, рекуператорно-охладительная установка, система подачи углекислого газа);
- система контроля влажности почвы;
- система контроля фотосинтетической активности;
- система автоматизированного управления параметрами лабораторного комплекса.



**Рисунок 3** – Внешний вид лабораторного инструментария для контролируемого произрастания сельскохозяйственных культур

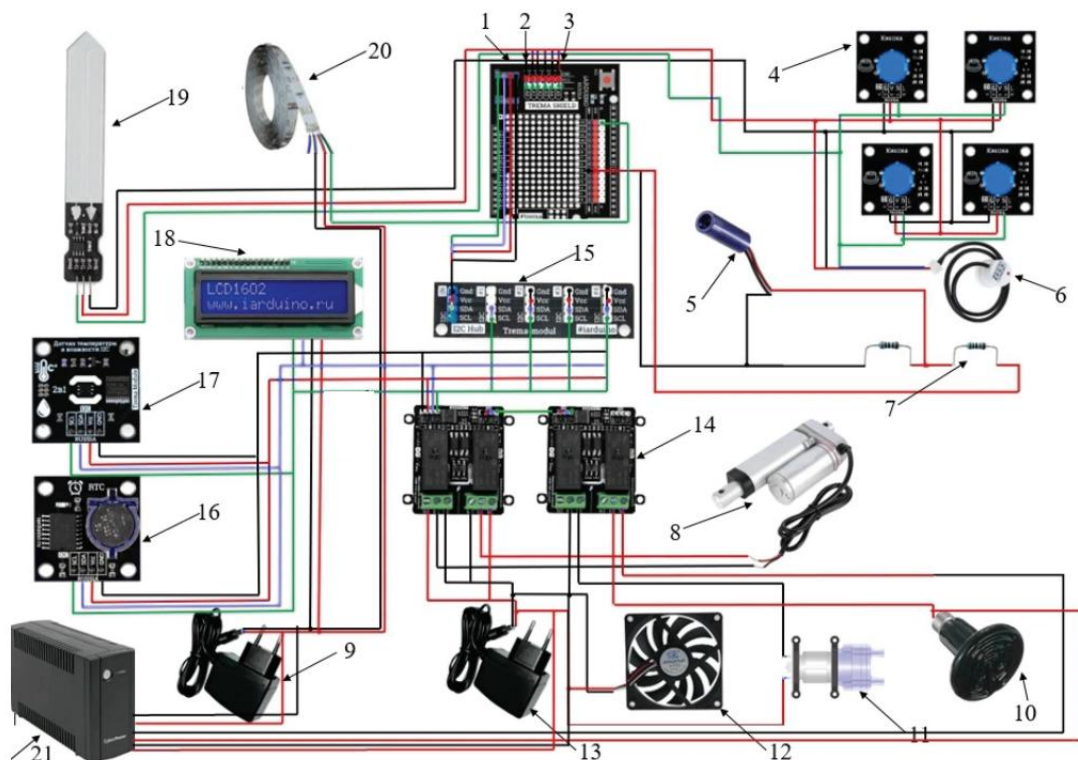
Для контроля элементов лабораторного комплекса предложена система управления, структурная диаграмма которой показана на рисунке 4 [10].



**Рисунок 4** – Структурная схема технических компонентов лабораторного комплекса

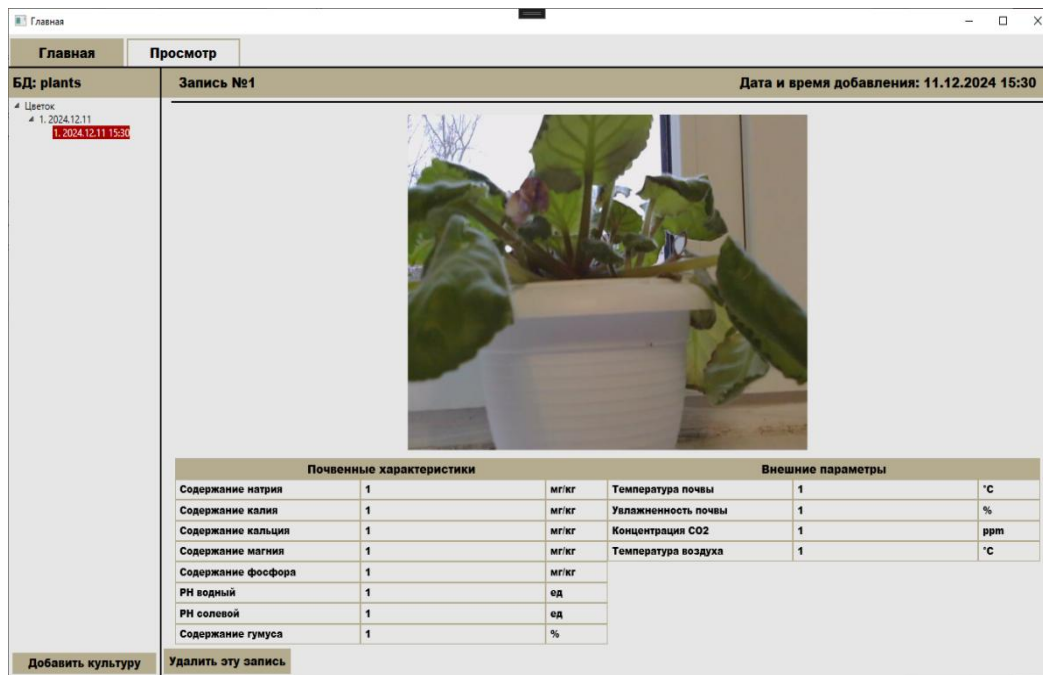
Для описания принципов соединения различных электрических и электронных компонентов в единую систему была разработана следующая спецификация, соответствующая структурной схеме (см. рисунок 5). В данной схеме подключения представлены следующие элементы:

1. Плата управления Piranha Ultra R3;
2. Устройство для подключения Trema Shield;
3. GSM/GPRS Shield для интеграции с мобильным устройством;
4. Кнопки управления;
5. Лазерный модуль;
6. Бесконтактный датчик уровня жидкости ХКС-Y25-V;
7. Набор резисторов;
8. Линейный актуатор XDHA12-50;
9. Источник питания на 12В (2А);
10. ИК-лампа;
11. Мембранный насос 385;
12. Вентиляторы на 12 В;
13. Источник питания на 5 В;
14. Двухканальный модуль реле FLASH-I2C;
15. i2C Hub для подключения периферийных устройств;
16. Часы реального времени (RTC);
17. Датчик температуры и влажности FLASH-I2C;
18. Символьный дисплей LCD1602 ПС/I2C;
19. Емкостной датчик влажности почвы;
20. Светодиодный светильник ФОТОН ПРОМ;
21. ИБП Cyberpower UTC650E.



**Рисунок 5** – Схема подключения элементов лабораторного комплекса

Для фиксации параметров произрастания и визуального состояния культур используется специализированное программное обеспечение [11, 12]. Оконная форма главного окна представлена на рисунке 6.



**Рисунок 6** – Интерфейс главного окна программного обеспечения для сбора параметров произрастания культур

**Заключение.** В результате исследования был представлен прототип программно-аппаратного комплекса для использования в научных исследованиях. Авторами получены данные и фотоснимки сельскохозяйственных культур на разных этапах и условиях произрастания. Полученные данные позволили выполнить обучение сверточной нейронной сети для цифрового фенотипирования растений и визуализации их роста и развития.

## ЛИТЕРАТУРЫ

1. Константинов И. С., Иващук О. А. Автоматизированная система управления экологической безопасностью промышленно-транспортного комплекса //Вестник компьютерных и информационных технологий. – 2009. – №. 8. – С. 44-49.
2. O.A. Ivashchuk, V.I. Fedorov, D.V. Goncharov, “Approaches to the Development of an Automated Control System for the Adaptation of Agricultural Areas under the Changing Greenhouse Effect”, *Mathematical Statistician and Engineering Applications*, vol. 71, №3s2, pp. 948, 2022.
3. Гончаров, Д. В. Моделирование автоматизированной системы управления урожайностью сельскохозяйственных культур в условиях динамики парникового эффекта / Д. В. Гончаров, О. А. Иващук, В. И. Федоров // Информационные технологии в науке, образовании и производстве (ИТНОП-2023) : Сборник трудов IX Международной научно-технической конференции, Белгород, 31 мая – 02 2023 года. – Белгород: Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 2023. – С. 147-152.
4. Ivashchuk O. A., Konstantinov I. S. Supporting ecological safety adaptive management in industrial and transport complex //Upravlenie Bol'shimi Sistemami. – 2009. – Т. 25. – С. 96-115.
5. Федоров В. И., Иващук О. А., Ужаринский А. Ю. Разработка модели оценки и прогнозирования состояния почв сельско-городских территорий на основе искусственной нейронной сети //Научный результат. Информационные технологии. – 2017. – Т. 2. – №. 4. – С. 3-9.
6. Цифровые технологии для оценки и прогнозирования влияния пространственно-временного распределения парниковых газов на фотосинтетическую активность

сельскохозяйственных культур / О. А. Иващук, О. Р. Кузичкин, Д. В. Гончаров, В. А. Дунаева // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2023. – Т. 27, № 1. – С. 38-56.

7. Прядкина Г. А. Пигменты, эффективность фотосинтеза и продуктивность пшеницы // Plant varieties studying and protection. – 2018. – Т. 14. – №. 1. – С. 97-108.

8. Албегов, Р.Б. Изменение климата Северного Кавказа. Возможные угрозы и ответные меры /Р.Б. Албегов, С.С. Гагиева //Вестник МАНЭБ, 2010, т. 15, № 4, С. 162-167.

9. Ашабоков, Б.А. Об одном подходе и некоторых результатах прогнозирования изменений температурного режима воздуха в приземном слое атмосферы в степной и предгорной зонах центральной части Северного Кавказа /Б.А. Ашабоков, Р.М. Бисчоков, Л.Б. Бисчокова //Доклады АМАН, № 1, 2008.

10. Полушкина Т. М. Устойчивое развитие сельских территорий через становление органического сельского хозяйства //Национальные интересы: приоритеты и безопасность. – 2016. – №. 6 (339). – С. 22-32.

11. Климкина Е. В., Морозова Т. В. Реализация стратегии достижения углеродной нейтральности при устойчивом росте экономики аграрного производства // Управление инновационным развитием агропродовольственных систем на национальном и региональном уровнях – 2021. – С. 287-293.

12. Швецова А. А., Звягинцева А. В. Информационно-аналитическая система поддержки принятия решений для стратегического планирования развития регионов и городов //Мягкие измерения и вычисления. – 2020. – Т. 36. – №. 11. – С. 55-66.

## **DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE OF A SOFTWARE AND HARDWARE COMPLEX FOR STUDYING THE IMPACT OF THE DYNAMICS OF THE GREENHOUSE EFFECT ON THE GROWTH AND DEVELOPMENT OF AGRICULTURAL CROPS**

**D.V. Goncharov**

Belgorod State University, Belgorod, Russia

e-mail: goncharov\_dv@bsu.edu.ru

This article discusses the development and creation of a prototype specialized scientific hardware-software complex designed to study the impact of the greenhouse effect and climate change on plant growth, development, and productivity. The proposed complex supports automated plant cultivation with the capability to reproduce the required growth conditions, including meteorological, soil, and climatic parameters. The study presents software that provides automated collection, storage, and processing of environmental data, as well as the acquisition and archiving of digital plant images for subsequent phenotyping and analysis of morphological characteristics of agricultural crops.

Particular attention is given to the integration of sensors for monitoring temperature, air and soil humidity, carbon dioxide concentration, illumination level, and other factors affecting the physiological condition of plants. The developed system enables long-term monitoring of experimental objects in real time, facilitates the creation of comprehensive databases, and ensures the reproducibility of scientific experiments. The generated data repositories can be used for training and retraining convolutional neural networks intended for the automatic recognition of plant developmental stages, assessment of plant health status, and prediction of plant responses to changing environmental conditions.

**Keywords:** software and hardware complex; prototype; climate impact; greenhouse effect; yield.

## АУЫЛ ШАРУАШЫЛЫҒЫ ДАҚЫЛДАРЫНЫҢ ӨСУІ МЕН ДАМУЫНА ПАРНИКТІК ӘСЕР ДИНАМИКАСЫНЫҢ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ ҮШІН БАҒДАРЛАМАЛЫҚ-АППАРАТТЫҚ КЕШЕННІҢ ПРОТОТИПІН ӘЗІРЛЕУ

**Гончаров Д.В.**

Белгород мемлекеттік университеті, Белгород қ., Ресей  
e-mail: goncharov\_dv@bsu.edu.ru

**Аңдатпа.** Мақалада өсімдіктердің өсуіне, дамуына және өнімділігіне парниктік әсер мен климаттық жағдайлардың өзгеру ықпалын зерттеуге арналған мамандандырылған ғылыми бағдарламалық-аппараттық кешеннің прототипін әзірлеу және құру мәселелері қарастырылады. Аталған кешен метеорологиялық, топырақтық және климаттық сипаттамалар сияқты өсіп-өну жағдайларының қажетті параметрлерін қайта жаңғырту мүмкіндігімен өсімдіктерді автоматтандырылған түрде өсіруді қамтамасыз етеді. Жұмыста қоршаған орта параметрлерін автоматты түрде жинауға, сақтауға және өңдеуге, сондай-ақ өсімдіктердің цифрлық кескіндерін алуға және оларды кейінгі фенотиптеу мен ауыл шаруашылығы дақылдарының морфологиялық белгілерін талдау мақсатында мұрағаттауға арналған бағдарламалық қамтамасыз ету ұсынылған.

Температураны, ауа мен топырақ ылғалдылығын, көмірқышқыл газының концентрациясын, жарықтандыру деңгейін және өсімдіктердің физиологиялық жағдайына әсер ететін басқа да факторларды бақылауға арналған датчиктерді біріктіруге ерекше назар аударылған. Әзірленген жүйе тәжірибелік нысандарға нақты уақыт режимінде ұзақ мерзімді мониторинг жүргізуге, деректер қорын қалыптастыруға және ғылыми эксперименттердің қайталанымдылығын қамтамасыз етуге мүмкіндік береді. Қалыптастырылған деректер банктері өсімдіктердің даму кезеңдерін автоматты түрде тануға, олардың жағдайын бағалауға және қоршаған орта жағдайларының өзгеруіне реакциясын болжауға арналған конволюциялық нейрондық желілерді оқыту және қайта оқыту үшін пайдаланылуы мүмкін.

**Түйін сөздер:** бағдарламалық-аппараттық кешен; прототип; климаттың әсері; парниктік әсер; өнімділік.