

ОБЗОР СПОСОБОВ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ И УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ ВЫРАЩИВАНИЯ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

А. Д. Сашина¹, А. О. Березина², Н. А. Майданов³, А. К. Алимуратов⁴

^{1,2,3,4} Пензенский государственный университет, Пенза, Россия

¹sashina-2016@inbox.ru, ²bereanas@mail.ru, ³nikita.maydanoff@mail.ru, ⁴alansapfir@yandex.ru

Аннотация. *Актуальность и цели.* Повышение эффективности получения биомассы растений за счет исследования существующих и разработки новых технических решений до сих пор остается актуальной задачей. Целью работы является исследование вопроса повышения урожайности и эффективности усвоения питательных веществ за счет применения алгоритмов искусственного интеллекта и биодатчиков в информационно-измерительной и управляющей системе аэропонного способа выращивания растений в условиях городской среды. *Материалы и методы.* В рамках работы предложено применение алгоритмов искусственных нейронных сетей, а также специализированных датчиков, вживляемых в корешки контрольных растений. *Результаты.* Представлены результаты обзорного анализа существующих способов выращивания растений, подробно рассмотрены их основные преимущества и недостатки по конкретным параметрам, выявлен наиболее эффективный способ и предложены новые технические решения для повышения эффективности получения биомассы растений. Разработана архитектура искусственного интеллекта для информационно-измерительной и управляющей системы аэропонного способа выращивания растений в условиях городской среды. *Выводы.* В соответствии с полученными результатами выявлено, что внедрение предложенных решений позволит вывести аэропонный способ выращивания растений в условиях городской среды на новый уровень. Применение алгоритмов искусственного интеллекта и специализированных датчиков в информационно-измерительной и управляющей системе аэропонного способа выращивания растений обеспечит повышение урожайности и эффективности усвоения питательных веществ, уменьшит требования к техническому обслуживанию.

Ключевые слова: информационно-измерительные и управляющие системы выращивания растений, аэропоника, искусственный интеллект, искусственная нейронная сеть, биодатчик

Для цитирования: Сашина А. Д., Березина А. О., Майданов Н. А., Алимуратов А. К. Обзор способов и перспективы развития информационно-измерительных и управляющих систем выращивания растений в условиях городской среды // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. 2023. № 4. С. 32–42. doi: 10.21685/2307-5538-2023-4-4

A REVIEW OF METHODS AND DEVELOPMENT PERSPECTIVES FOR INFORMATION-MEASURING AND CONTROL SYSTEMS FOR URBAN PLANTING

A.D. Sashina¹, A.O. Berezina², N.A. Maydanov³, A.K. Alimuradov⁴

^{1,2,3,4} Penza State University, Penza, Russia

¹sashina-2016@inbox.ru, ²bereanas@mail.ru, ³nikita.maydanoff@mail.ru, ⁴alansapfir@yandex.ru

Abstract. *Background.* To enhance efficiency in obtaining plant biomass via the research into existing techniques and development of novel ones is a challenging task. The purpose of the work is to explore increasing productivity and efficiency of nutrient absorption by means of artificial intelligence algorithms and biosensors in the information-measuring and aeroponic cultivation control system for growing plants in urban areas. *Materials and methods.* Artificial neural network algorithms along with specialized sensors inserted in the root zone of control plants have been proposed. *Results.* The review analysis results for the existing methods of growing plants have been presented. Major advantages and disadvantages of these methods in terms of specific parameters have been considered. The most effective method has been identified, and novel techniques to increase the efficiency in obtaining plant biomass have been proposed. Artificial

intelligence architecture for the information-measuring and aeroponic cultivation control system for growing plants in urban areas has been developed. *Conclusions.* It has been revealed that provided the proposed techniques were implemented, it would advance the aeroponic method for growing plants in urban areas. The use of artificial intelligence algorithms and specialized sensors in the information-measuring and aeroponic cultivation control system for growing plants would ensure increased productivity and efficiency of nutrient absorption, and reduce maintenance requirements.

Keywords: information-measuring and control systems for growing plants, aeroponics, artificial intelligence, artificial neural network, biosensor

For citation: Sashina A.D., Berezina A.O., Maydanov N.A., Alimuradov A.K. A review of methods and development perspectives for information-measuring and control systems for urban planting. *Izmerenie. Monitoring. Upravlenie. Kontrol' = Measuring. Monitoring. Management. Control.* 2023;(4):32–42. (In Russ.). doi: 10.21685/2307-5538-2023-4-4

Введение

С каждым годом площадь земельных угодий, предназначенных для выращивания растений, сокращается из-за множества факторов: ухудшения экологической обстановки, изменения климата, техногенных и биогенных чрезвычайных происшествий (приводящих к бесплодию почвы) и др. Традиционные способы выращивания растений перестают давать необходимое количество биомассы для питания отдельных регионов РФ. В связи с этим актуальным является исследование существующих способов выращивания и разработка новых решений, способствующих повышению эффективности получения биомассы растений. Данная статья подготовлена в рамках проекта «Разработка и исследование aeropонической системы выращивания растений в условиях городской среды», финансируемого по договору № ХП-415/23 на выполнение научно-исследовательской работы от 03.04.2023 и является продолжением ранее опубликованных научных работ [1–3]. Разобраться в эффективности существующих способов и выявить решение проблемы поможет сравнительный анализ всех систем, в том числе и подсистем, выращивания растений.

Способ выращивания на основе традиционного земледелия (в том числе классические теплицы)

Классическая теплица – специальное (культивационное) сооружение с покрытием из светопропускающего материала для сезонного или круглогодичного выращивания овощных культур и рассады. Теплица – это, прежде всего, объект, зависимый от обеспеченности энергией, среди которых основным является поток лучистой энергии солнца. Эти вегетационные сооружения также называют закрытыми грунтовыми или культивационными, которые функционируют при минимальном влиянии внешней окружающей среды на рост и развитие выращиваемых растительных объектов. Это позволяет скорректировать биологические ритмы растений для наибольшей эффективности получения от них зеленой массы, плодов или ягод [4, 5].

В качестве основного энергозатратного процесса, искусственно организуемого в сооружениях такого рода, является поддержание температурно-влажностного режима воздушной среды и почвы. Поэтому следует проанализировать свойства, достоинства и недостатки покрытого материала теплиц, в качестве которого в основном применяют стекло, поликарбонат монолитный, поликарбонат сотовый и полиэтиленовую пленку [6].

Дополнительными показателями выбора вида культивационного сооружения могут также служить оценка его взаимодействия с централизованной системой энергоснабжения, долговечность использования и технико-экономические показатели. В табл. 1 представлены результаты сравнительного анализа степени энергозависимости и эксплуатационной оценки культивационных сооружений.

Основные недостатки, выявленные в рамках анализа:

- отсутствие автономности (автоматизация отдельных технологических решений);
- отсутствие энергосберегающих решений (в большинстве случаев функционирование возможно только в теплый период года);
- зависимость от централизованного энергообеспечения;
- отсутствие умного управления;
- отсутствие возобновляемых энергоресурсов.

Таблица 1

Результаты сравнительного анализа степени энергозависимости и эксплуатационной оценки культивационных сооружений

Традиционные методы выращивания	Энергозависимость	Использование в разные сезоны года	Долговечность материала (срок службы)	Затраты/окупаемость
Пленочная теплица	Имеет зависимость от центрального энергоснабжения. Основной поток тепла и света получает от естественного источника – солнца	Не используется в осенне-зимний период. Срок использования: 5–6 месяцев в году	10 лет	Окупаемость – в течение 1 года. Существенные трудовые затраты
Поликарбонатная теплица	Имеет зависимость от центрального энергоснабжения. Досвечивание и полив электрифицированы. Основной поток тепла и света получает от естественного источника – солнца	Срок использования: 7–8 месяцев в году	10 лет	Окупаемость – в течение 2 лет. Затраты умеренные
Поликарбонатная теплица с применением ВИЭ	Имеет частичную зависимость от центрального энергоснабжения. Основной поток тепла и света получает от естественного источника – солнца	Срок использования: 7–8 месяцев в году	10 лет	Окупаемость – в течение 2 с половиной лет. Затраты средние
Солнечная вегетария	Имеет зависимость от центрального энергоснабжения. Предусмотрена система отопления. Основной поток тепла и света получает от естественного источника – солнца	Круглогодично	10–12 лет	Окупаемость – в течение 2–5 лет. Затраты высокие

Рассмотрим основные технические и конструкционные решения, применяемые для повышения КПД традиционного земледелия, в том числе классических теплиц. Массивная темная масса грунта в основании теплицы позволяет накапливать и сохранять тепловую энергию не только внутри, но и возле нее. Тепловой баланс можно поддерживать с помощью автоматической системы управления для теплиц. Влажность воздуха и почвы контролируется с помощью датчиков влажности, сигнал с которых оцифровывается и поступает в блок управления GPS-трекером. Подача воздуха внутрь помещения происходит в летний период через систему естественной вентиляции, а в зимний – через вентиляторы, встроенные в корпус теплицы, с контролем включения, осуществляемый через блок управления [7, 8].

Для работы современного технологического оборудования в проектируемых теплицах необходимо применять электроэнергию без перебоев и с требуемыми параметрами качества.

Следующим позитивным фактом является возможность организации системы удаленного мониторинга за режимами работы, как в самом тепличном комплексе, так и за режимами работы энергетического оборудования [9]. Так как управление процессами в теплице может осуществляться с помощью мобильного устройства или персонального компьютера дистанционно, а применение технологии видеосъемки таймлапс позволяет наглядно отследить динамику роста растений и изменения параметров сред выращивания, можно применить понятие умной теплицы.

На рис. 1 представлен пример структурной схемы информационно-измерительной и управляющей системы умной теплицы.

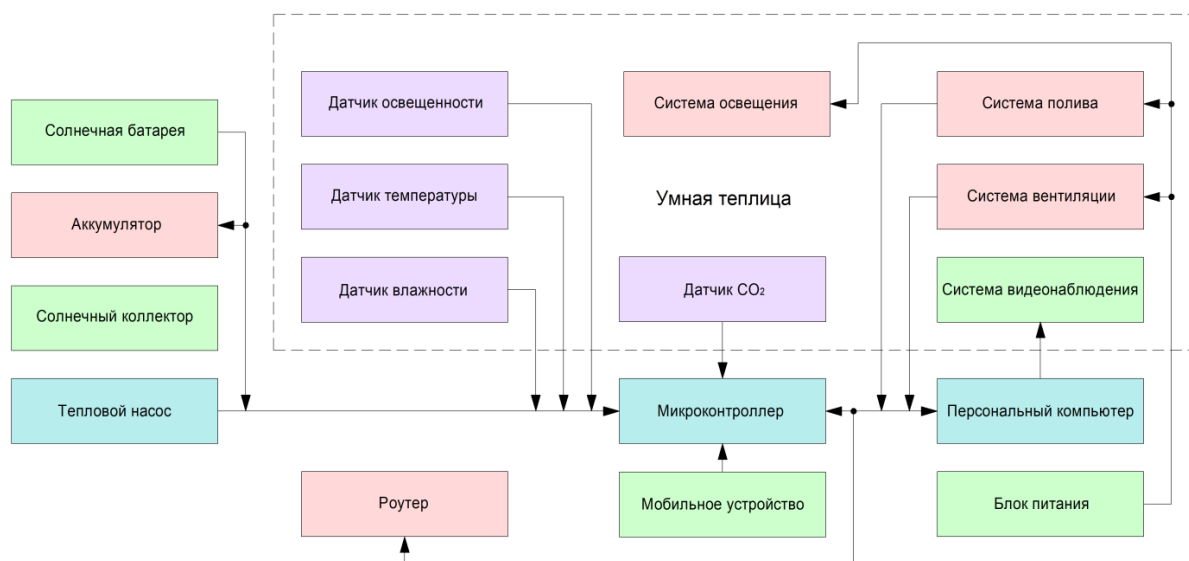


Рис. 1. Структурная схема информационно-измерительной и управляющей системы умной теплицы

Подытоживая результаты анализа, необходимо отметить явные преимущества информационно-измерительной и управляющей системы умных теплиц над существующими техническими и конструкционными решениями традиционного земледелия (классических теплиц):

- цифровизация технологических операций;
- экологичность производства;
- энергонезависимость от внешнего энергоснабжения;
- материально-финансовая доступность для небольших предприятий или подсобных и фермерских хозяйств.

Способ выращивания растений без почвы (гидропонные системы)

В настоящее время для выращивания растений без почвы широко применяются шесть видов гидропонных систем, имеющих свои преимущества и недостатки. Проведем анализ гидропонных систем и сравним характеристики друг относительно друга. По результатам анализа необходимо выявить недостатки каждого вида и представить наилучшее решение информационно-измерительной и управляющей системы выращивания растений в условиях городской среды.

1. Фитильная система

Фитильная система – это самый простой вид гидропонной системы. Система фитиля примечательна тем, что не использует аэраторы, насосы или электричество. Фактически это единственная гидропонная система, не требующая электричества. В большинстве фитильных систем растения помещают непосредственно в абсорбирующее вещество, такое как перлит или вермикулит. Нейлоновые фитили помещают вокруг растений перед тем, как отправить их прямо в питательный раствор.

При данном виде гидропоники растения не могут получать значительное количество питательных веществ. Таким образом, система идеально подходит для небольших садовых растений и трав. Любое растение, которому не требуется значительного количества воды, будет хорошо расти в этой конкретной системе. Отрицательный аспект этой системы выращивания заключается в том, что вода и питательные вещества не усваиваются равномерно, что может привести к накоплению токсичных минеральных солей. При использовании этой системы необходимо смывать лишние питательные вещества пресной водой каждые 1–2 недели [10].

Преимущества фитильной системы:

- простота использования в условиях городской среды;
- минимальные финансовые затраты;
- надежность.

Недостатки фитильной системы:

- доступ кислорода к резервуару с раствором ограничен;
- пассивный способ доставки питательных веществ;
- ограниченное количество видов выращиваемых культур.

2. Система водного культивирования

Система водного культивирования – это упрощенный вид гидропонной системы, при котором корни растения помещаются непосредственно в питательный раствор. В то время как фитильная система помещает определенные материалы между растениями и водой, система водного культивирования обходит этот барьер. Кислород, необходимый растениям для выживания, отправляется в воду диффузором или воздушным камнем.

Из-за прямого доступа к питательным веществам и кислороду растения, выращенные методом водного культивирования, будут расти очень быстро. Лучшее качество системы водного культивирования заключается в том, что ее очень легко сделать, и она хорошо работает с любыми растениями. Благодаря этому методу даже большие растения с большой системой опор будут быстро расти. Единственная потенциальная проблема с этой гидропонной системой – развитие корневых заболеваний, вызванных грязными условиями выращивания.

Преимущества системы водного культивирования:

- недорогой вариант среди активных систем;
- простое управление;
- быстрый рост и развитие выращиваемых культур;
- сохранность выращиваемых культур в течение длительного времени.

Недостатки системы водного культивирования:

- высокая вероятность появления корневой гнили (при плохой чистке резервуара);
- высокий уровень питательной жидкости (на постоянной основе может вызвать загнивание шейки корней);
- необходимость регулярного пополнения резервуара с питательной жидкостью.

3. Система приливов и отливов

Система приливов и отливов – еще одна популярная гидропонная система, которая в основном используется домашними садоводами. При использовании этого вида системы растения размещаются на просторной грядке, заполненной питательной средой, такой как минеральная вата или перлит. После того, как растения посажены, грядка заливается питательными веществами раствора до тех пор, пока вода не достигнет уровня ниже верхнего слоя питательной среды, что гарантирует, что раствор не переливается [10].

Водяной насос, заполняющий грядку, оснащен таймером, который отключает насос через определенное время. Когда это произойдет, вода будет слита с грядки и отправлена обратно в насос. Было обнаружено, что система приливов и отливов эффективна при выращивании почти всех типов растений, включая некоторые корнеплоды, такие как морковь и редис. Однако не рекомендуется использовать с этой системой особо крупные растения. Из-за того, сколько места потребуется этим растениям, не получится поместить достаточное количество питательной среды и питательного раствора в грядку с более крупными растениями. Основная проблема с системой приливов и отливов заключается в том, что контроллер насоса может работать неправильно, что останавливает работу до тех пор, пока насос не будет отремонтирован или заменен.

Преимущества системы приливов и отливов:

- простота и доступность;
- полноценное насыщение питательным раствором корневой системы (часть которого накапливается в субстрате).

Недостатки системы приливов и отливов:

- высокий риск заражения вредными микроорганизмами (при постоянной циркуляции раствора);
- высокий риск гибели урожая (при отключении электроэнергии);
- высокий риск гибели насаждений (при поломке или засорении оборудования).

4. Капельная система

Капельная система – это простая в использовании гидропонная система, которую можно быстро изменить для разных типов растений, что делает ее отличной системой для любого

садовода, который планирует регулярно вносить изменения. Питательный раствор, используемый с капельной системой, закачивается в трубку, по которой направляется прямо к основанию растения. В конце каждой трубки находится капельный эмиттер. Он в свою очередь контролирует, сколько раствора помещается в растение. Имеет смысл регулировать поток в соответствии с потребностями каждого отдельного растения [10].

Капельные системы могут быть как маленькими, так и большими. Они также могут быть циркуляционными или нециркулирующими системами. Любые дополнительные питательные вещества будут отправлены обратно в резервуар, в котором находится питательный раствор. Поскольку возможно легко изменить размер и скорость потока этой гидропонной системы, ее можно использовать для выращивания практически любого растения. Основная проблема циркуляционной системы, с которой возможно столкнуться, заключается в том, что нужно постоянно поддерживать колеблющиеся уровни питательных веществ и уровень pH, которые возникают при рециркуляции раствора.

Преимущества капельных систем:

- получение достаточного количества питательных веществ растениями в условиях городской среды;
- хорошая аэрируемая среда корней растений.

Недостатки капельных систем:

- регулярная профилактическая чистка для исключения возникновения засоров;
- высокий риск возникновения плесени в резервуаре и околоразветвительной зоне.

5. Система на основе технологии питательной пленки

Система на основе технологии питательной пленки имеет простой дизайн, широко используется и масштабируется под множества различных приложений. При использовании одной из систем, питательный раствор помещается в большой резервуар. Отсюда раствор перекачивается в наклонные каналы, которые позволяют избыточным питательным веществам стекать обратно в резервуар. Когда питательный раствор попадает в канал, он стекает по склону и проходит по корням каждого растения, обеспечивая нужное количество питательных веществ.

В большинстве случаев система на основе технологии питательной пленки не будет использовать питательную среду, поскольку каналы системы относительно малы и сочетаются только с небольшими корнями растений. Но, несмотря на это, система хорошо масштабируется, что означает возможность модификации для обеспечения одновременного роста большого количества растений. По этой причине система используется коммерческими производителями наряду с домашними производителями.

Преимущества системы на основе технологии питательной пленки:

- обильное количество кислорода;
- эффективное использование свободного пространства установки в условиях городской среды;
- компактная технология.

Недостатки системы на основе технологии питательной пленки:

- высокая вероятность засорения, необходимость в регулярной профилактической чистке;
- высокая вероятность гибели всего производства (при поломке насоса или отсутствие электроэнергии).

6. Аэропонная система

Аэропонная система имеет простой принцип работы, однако сложна в реализации. Растения, находящиеся в подвешенном состоянии со свободно свисающими корнями, крепятся на крышке емкости, внутри которой находятся распылители, приходящие в действие с помощью таймера и насоса. В определенные интервалы времени (определяются исходя из времени поглощения и испарения питательного раствора) распылители орошают корни питательным раствором в виде мельчайших капель. Несколько форсунок расположены под растениями. Когда давление в насосе возрастает, раствор распыляется, и все его избытки попадают в резервуар, расположенный ниже. Таким образом, корни растений находятся в постоянном тумане, состоящем из питательной смеси и кислорода. Высокая аэрация способствует очень высоким темпам роста выращиваемых культур [10].

При использовании правильных размеров резервуара для соответствующего растения аэропонная система позволяет выращивать почти все типы растений. Однако резервуар должен быть очень глубоким, если выращивать более крупные растения. В противном случае распылители тумана не смогут добраться до всех корней. Поскольку растения с аэропонной системой находятся в воздухе, они получают весь необходимый им кислород. В этой системе также используется меньше воды, чем в любой другой гидропонной системе, что обеспечивает большую эффективность. Однако с этой системой есть несколько проблем. Во-первых, их строительство может быть дорогостоящим. Форсунки, распыляющие питательные вещества, могут забиваться, что может затруднить очистку.

Высокая аэрация способствует очень высоким темпам роста выращиваемых культур. В аэропонике важна сверхвысокая точность настройки таймера, которая обеспечивала бы короткий цикл и включала насос на несколько секунд каждые несколько минут. Особенный недостаток системы – высыхание корней при отключении электричества или же поломке таймера или насоса.

Преимущества аэропонной системы:

- максимальное количество питательных элементов и кислорода, что обеспечивает их стремительное развитие;
- экономия свободного пространства (ярусное строение – лотки с растениями можно ставить в два или три слоя).

Недостатки аэропонной системы:

- необходимость своевременной очистки и контроля состояния оборудования (постоянный мониторинг со стороны специалистов);
- отсутствие возможности использования густых питательных смесей [11].

В табл. 2 представлены результаты сравнительного анализа видов гидропонных систем. Оценка качества параметров гидропонных систем носит субъективный характер. Больше количество плюсов («+») демонстрирует высокую качественную оценку параметра.

Таблица 2

Сравнительный анализ видов гидропонных систем

Вид системы / Наименование параметра	Фитильная система	Система водного культивирования	Система приливов и отливов	Капельная система	Система на основе технологии питательной пленки	Аэропонная система
Эффективность усвоения питательных веществ	+	++	++++	++	++++	+++++
Требование к техническому обслуживанию	+	+	++	++	+++	+++
Компактность размещения	++	+	+++	++++	++++	+++
Урожайность	++	++	+++	+++	+++	+++++

В соответствии с данными в табл. 2 можно сделать вывод, что наиболее эффективной и перспективной в условиях городской среды является аэропонная система.

Перспективы развития информационно-измерительных и управляющих систем выращивания растений в условиях городской среды

В соответствии с результатами анализа предложены решения для информационно-измерительной и управляющей системы аэропонного способа выращивания растений в условиях городской среды.

1. Искусственный интеллект

Большим недостатком аэропонного способа являются затраты на электричество – на это тратится от 40 % всех расходов на теплицу. Например, ферма компании *Agriitecture* площадью

около 2,8 тыс. м² в пригороде Нью-Йорка ежегодно расходует не менее \$ 216 тыс. на освещение и электричество и еще \$120 тыс. на вентиляцию и кондиционирование [12]. Подобную проблему возможно минимизировать благодаря использованию искусственного интеллекта (искусственных нейронных сетей), который способен подбирать специальные режимы работы (для конкретного растения) и по возможности сокращать затраты на электроэнергию.

Алгоритмы искусственного интеллекта будут «стараться» сопоставить фактические условия и данные, чтобы соответствовать одной или нескольким закономерностям, и проанализировать, какой режим работы обеспечил, например, наилучший суточный рост биомассы (или некоторый другой важный параметр). Что немаловажно, алгоритмы искусственного интеллекта всегда точно настраивают режимы работы и будут «учиться» на новом опыте, который обеспечил лучшие прогнозы, чем предыдущий.

Алгоритмы искусственного интеллекта осуществляют сбор данных теплицы, чтобы иметь возможность настроить режимы работы и сопоставить их с действиями и производственными результатами. Этот процесс может длиться от 10 до 14 месяцев, так как алгоритмы должны быть в состоянии подготовить множество режимов работы из собранных данных, взаимодействий и результатов. Алгоритмы искусственного интеллекта предложат уникальные решения для увеличения производительности теплицы. Например, увеличить световой день на 15 мин или начать орошение в 7.00 и уменьшить период полива на 0,2 с.

Также при отсутствии оператора искусственный интеллект может взять управление и контроль на себя. Если вдруг объем воды и питательной смеси в баке достиг определенного минимума, то искусственный интеллект проанализирует ситуацию, пошлет оператору уведомление и увеличит промежуток между поливами, чтобы минимизировать последствия и дать растениям прожить как можно дольше.

На рис. 2 представлена разработанная архитектура искусственного интеллекта для информационно-измерительной и управляющей системы аэропного способа выращивания растений в условиях городской среды на основе искусственных нейронных сетей.

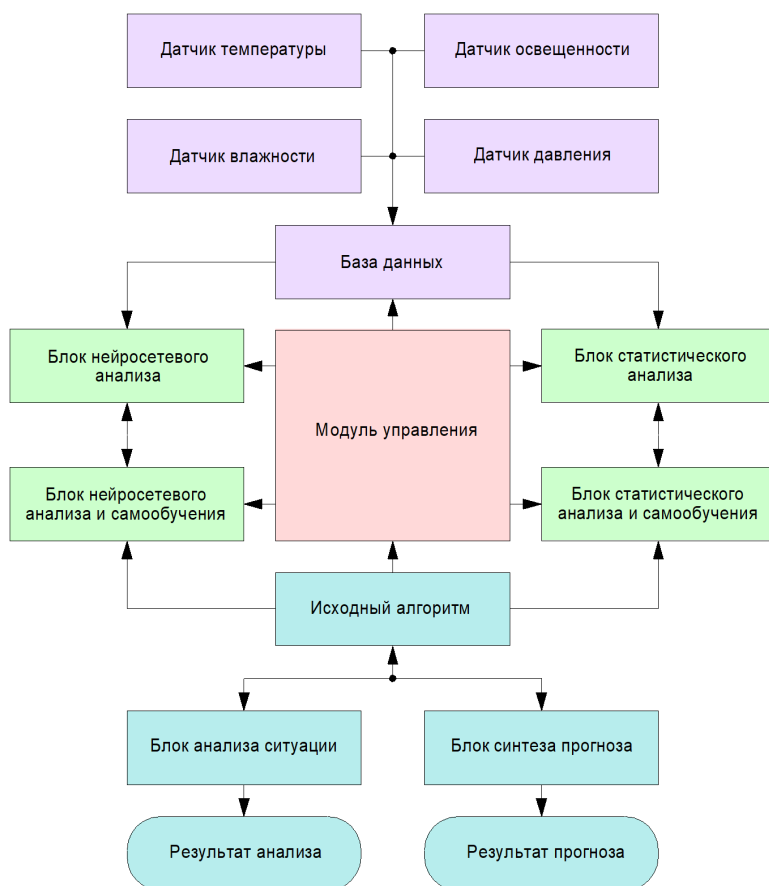


Рис. 2. Архитектура искусственного интеллекта для информационно-измерительной и управляющей системы аэропного способа выращивания растений в условиях городской среды

2. Биодатчик

Для повышения эффективности алгоритмов искусственного интеллекта предложен специализированный биодатчик, предназначенный для мониторинга биологического состава растений и их общего состояния. Датчик представляет собой тонкую пластину из флуоресцентного полимера, на котором нанесены карбоновый слой и двойной ферментный слой, для снятия уровня необходимых параметров состава растения. Если стандартные показатели веществ меняются, то ток на сенсорах также изменяется, тем самым подавая сигналы об изменениях на контроллер. Благодаря этому возможно вовремя предпринять необходимые действия и тем самым предотвратить гибель урожая. Датчик размером 1×2 мм можно вживлять в корешки контрольных растений. Это решение дополняет информационно-измерительную и управляющую системы аэропонного способа выращивания растений в условиях городской среды, обеспечивая дополнительную автоматизацию.

Заключение

Внедрением предложенных решений выведен аэропонный способ выращивания растений в условиях городской среды на новый уровень. Используемые алгоритмы искусственного интеллекта и специализированные датчики (вживляемые в корешки контрольных растений) в информационно-измерительной и управляющей системе аэропонного способа выращивания растений обеспечат:

- повышение урожайности;
- повышение эффективности усвоения питательных веществ;
- уменьшение требований к техническому обслуживанию;
- компактность размещения теплицы.

В перспективе актуальным является внедрение в информационно-измерительную и управляющую систему аэропонного способа выращивания растений компьютерного зрения, обеспечивающего дополнительный контроль рост биомассы в условиях городской среды.

Список литературы

1. Сашина А. Д. Разработка и исследование аэропониической системы выращивания растений // Наука будущего – наука молодых : сб. тез. докл. участников VII Всерос. молодежного научного форума (г. Новосибирск, 23–26 августа, 2022 г.). Новосибирск, 2022, С. 25–26.
2. Сашина А. Д., Майданов Н. А., Березина А. О. Умная теплица «SMART GREENHOUSE» // От зеленого кампуса – к зеленому городу. 2022. С. 46–63.
3. Сашина А. Д., Майданов Н. А., Березина А. О., Овчинников Д. Л. Система выращивания растений // Междисциплинарные исследования науки и техники : сб. тез. докл. XVII Междунар. науч.-практ. конф. (г. Саратов, 20 декабря 2022 г.). Саратов, 2022. С. 266–269.
4. Каун О. Ю., Озеров И. Н. Обоснование параметров микроклимата сооружений защищенного грунта // Инновации в сельском хозяйстве. 2017. № 3. С. 49–52.
5. Степанчук Г. В., Юдаев И. В., Жарков А. В. Энергоэффективная система облучения в теплице // Вестник аграрной науки Дона. 2016. № 1. С. 5–12.
6. Юдаев И. В. Изучение светопропускающих свойств сотового поликарбоната – покрывного материала круглогодичных теплиц // Научный журнал КубГАУ. 2016. № 120. С. 239–252.
7. Березина А. О., Сашина А. Д., Майданов Н. А. Анализ инновационных средств как усовершенствование аэропониической фермы // Вестник Пензенского государственного университета. 2023. № 1. С. 86–91.
8. Волхонов М. С., Габалов С. Л., Иванов С. В. [и др.]. Система автоматического управления микроклиматом малогабаритной теплицы защищенного грунта с применением микроконтроллера // Актуальные проблемы науки в агропромышленном комплексе : сб. ст. 66-й Междунар. науч.-практ. конф. : в 3 т. Кострома : Костромская ГСХА, 2015. С. 91–95.
9. Адакин Р. Д., Борисова М. Л., Дмитренко В. П. [и др.]. Умная теплица. Автоматизация процессов выращивания культур в малогабаритных теплицах // Состояние и перспективы развития агропромышленного комплекса : сб. науч. тр. XII Междунар. науч.-практ. конф. в рамках XXII Агропромышленного форума юга России и выставки «Интерагромаш». Ростов н/Д : Донской государственный технический университет, Аграрный научный центр «Донской», 2019. С. 329–332.
10. Гидропоника и ее виды. GrowHobby. URL: <http://growhobby.ru/gidroponika-i-ee-vidy.html> (дата обращения: 08.10.2023).
11. Типы гидропонных систем. Агродом. URL: <https://agrodom.com/advice/typy-gidroponnykh-sistem/#fitilnaya-sistema> (дата обращения: 08.10.2023).

12. Калугина Анастасия. Как нейросети помогают выращивать овощи и кто такой электронный агроном / РБК. Тренды. URL: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/5fbfcb0f9a7947ce58d7d3b3> (дата обращения: 08.10.2023).

References

1. Sashina A.D. Development and research of an aeroponic system for growing plants. *Nauka budushchego – nauka molodykh: sb. tez. dokl. uchastnikov VII Vseros. molodezhnogo nauchnogo foruma (g. Novosibirsk, 23–26 avgusta, 2022 g.) = Science of the future – science of the young : collection of theses. dokl. participants of the VII All-Russian. youth Scientific Forum (Novosibirsk, August 23–26, 2022)*. Novosibirsk, 2022:25–26. (In Russ.)
2. Sashina A.D., Maydanov N.A., Berezina A.O. Smart greenhouse "SMART GREENHOUSE". *Ot zelenogo kampusu – k zelenomu gorodu = From the green campus to the green city*. 2022:46–63. (In Russ.)
3. Sashina A.D., Maydanov N.A., Berezina A.O., Ovchinnikov D.L. Plant growing system. *Mezhdistsiplinarnye issledovaniya nauki i tekhniki: sb. tez. dokl. XVII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. (g. Saratov, 20 dekabrya 2022 g.) = Interdisciplinary research of science and technology : collection of the thesis of the XVII International Scientific and Practical Conference (Saratov, December 20, 2022)*. Saratov, 2022: 266–269. (In Russ.)
4. Kaun O.Yu., Ozerov I.N. Substantiation of the parameters of the microclimate of protected soil structures. *Innovatsii v sel'skom khozyaistve = Innovations in agriculture*. 2017;(3):49–52. (In Russ.)
5. Stepanchuk G.V., Yudaev I.V., Zharkov A.V. Energy-efficient irradiation system in a greenhouse. *Vestnik agrarnoy nauki Dona = Bulletin of agrarian science of the Don*. 2016;(1):5–12. (In Russ.)
6. Yudaev I.V. Studying the light-transmitting properties of cellular polycarbonate - a coating material of year-round greenhouses. *Nauchnyy zhurnal KubGAU = Scientific journal KubGAU*. 2016;(120):239–252. (In Russ.)
7. Berezina A.O., Sashina A.D., Maydanov N.A. Analysis of innovative means as an improvement of an aeroponic farm. *Vestnik Penzenskogo gosudarstvennogo universiteta = Bulletin of Penza State University*. 2023;(1):86–91. (In Russ.)
8. Volkonov M.S., Gabalov S.L., Ivanov S.V. et al. The system of automatic control of the microclimate of a small-sized greenhouse of protected soil using a microcontroller. *Aktual'nye problemy nauki v agropromyshlennom komplekse: sb. st. 66-i Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.: v 3 t. = Actual problems of science in the agro-industrial complex : collection of articles 66th International Scientific and practical conference : in 3 vols*. Kostroma: Kostromskaya GSKhA, 2015:91–95. (In Russ.)
9. Adakin R.D., Borisova M.L., Dmitrenko V.P. et al. Smart greenhouse. Automation of the processes of growing crops in small-sized greenhouses. *Sostoyaniye i perspektivy razvitiya agropromyshlennogo kompleksa: sb. nauch. tr. XII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. v ramkakh XXII Agropromyshlennogo foruma yuga Rossii i vystavki «Interagromash» = State and prospects of development of the agro-industrial complex : collection of scientific tr. XII International Scientific and Practical Conference within the framework of the XXII Agro-Industrial Forum of the South of Russia and the Interagromash exhibition*. Rostov-on-Don: Donskoj gosudarstvennyy tekhnicheskij universitet, Agrarnyy nauchnyy tsentr «Donskoj», 2019:329–332. (In Russ.)
10. *Gidroponika i ee vidy. GrowHobby = Hydroponics and its types. GrowHobby*. (In Russ.). Available at: <http://growhobby.ru/gidroponika-i-ee-vidy.html> (accessed 08.10.2023).
11. *Tipy gidroponnykh sistem. Agrodom = Types of hydroponic systems. Agrodom*. (In Russ.). Available at: <https://agrodom.com/advice/tipy-gidroponnykh-sistem/#fitilnaya-sistema> (accessed 08.10.2023).
12. Kalugina A. *Kak neyroseti pomagayut vyrashchivat' ovoshchi i kto takoy elektronnyy agronom / RBC. Trendy = How neural networks help to grow vegetables and who is an electronic agronomist / RBC. Trends*. (In Russ.). Available at: <https://trends.rbc.ru/trends/industry/5fbfcb0f9a7947ce58d7d3b3> (accessed 08.10.2023).

Информация об авторах / Information about the authors

Алина Дмитриевна Сашина
студент,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: Sashina-2016@inbox.ru

Alina D. Sashina
Student,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Анастасия Олеговна Березина
студент,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: bereanas@mail.ru

Anastasiya O. Berezina
Student,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Никита Алексеевич Майданов

студент,

Пензенский государственный университет

(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: nikita.maydanoff@mail.ru

Nikita A. Maydanov

Student,

Penza State University

(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Алан Казанферович Алимуратов

кандидат технических наук, доцент,

директор студенческого научно-

производственного бизнес-инкубатора,

Пензенский государственный университет

(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)

E-mail: alansapfir@yandex.ru

Alan K. Alimuradov

Candidate of technical sciences, associate professor,

director of student research

and production business incubator,

Penza State University

(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов /

The authors declare no conflicts of interests.

Поступила в редакцию/Received 11.09.2023

Поступила после рецензирования/Revised 09.10.2023

Принята к публикации/Accepted 14.11.2023