УДК 626.842.3:633/635:004(575.111) (043)

МЕТОДЫ, АЛГОРИТМЫ И СХЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПОЛИВА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

Арифжанов А.Ш.
К.т.н., профессор,профессор кафедры АТПиУ НИУ ТИИИМСХ,
E-mail: arifjanov@yandex.ru
Абдуғаниев А.А.
Ассистент кафедры АТПиУ НИУ ТИИИМСХ,
E-mail: azizabduganiyev69@gmail.com

Аннотация. Мақолада IoT - технологиясига асосланган автоматлаштирилган, энергия ва ресурсларни сезиларли даражада тежаш билан бирга суғоришнинг юқори аниқлигини таъминлайдиган тизимнинг аппарат-дастурий комплексини яратиш усуллари, алгоритмлари ва моделлари (мониторинг учун), бир қатор ўлчов операцияларини бажариш учун ноаниқ мантиқ (моделлаштириш ва бошқариш учун), шунингдек олинган маълумотларни қайта ишлаш алгоритми ва бошқарув ҳаракатини шакллантириш усуллари кўриб чиқилган.

Калит сўзлар: Суғориладиган деҳқончилик, "яшил ривожланиш", суғоришни автоматлаштириш, IoT- технологиялари, ноаниқ мантиқ, ноаниқ моделлаштириш, суғориш режимини бошқариш.

Аннотация. В работе рассмотрены методы, алгоритмы и модели создания аппаратно-программного комплекса автоматизированной системы на базе IoT- технологии (для мониторинга), нечёткой логики (для моделирования и управления) для выполнения ряда измерительных операций, а также алгоритма обработки полученной информации и формирования управляющего воздействия, обеспечивающего высокую точность полива при существенном сбережении энергии и ресурсов.

Ключевые слова: Орошаемое земледелие, «зеленое развитие», автоматизация полива, IoT- технологии, нечёткая логика, нечеткое моделирование, управления режимом полива.

Annotation. The paper considers methods, algorithms and models for creating a hardware and software complex of an automated system based on IoT technology (for monitoring), fuzzy logic (for modeling and control) for performing a number of measurement operations, as well as an algorithm for processing the information received and forming a control action that ensures high accuracy of irrigation while significantly saving energy and resources.

Keywords: Irrigated agriculture, "green development", automation of irrigation, IoT technologies, fuzzy logic, fuzzy modeling, control of irrigation regime.

Введение.

ISSN 3030-3907

Орошение является самым крупным потребителем воды в регионе и на сегодняшний день использует более 90 % всех водных ресурсов Узбекистана. В силу особенностей географического расположения, общего истощения водных ресурсов, трансграничных проблем с водораспределением и проблем с нерациональным использованием испытывает дефицит воды для сельского хозяйства в последние годы особенно остро. Нехватка воды в будущем усугубляется прогнозируемым уменьшением водных ресурсов, повышением спроса на водные ресурсы в связи с ростом численности населения, развитием промышленности и других секторов экономики [1].

Выходом из складывающейся ситуации специалисты называют «зеленое» развитие всех секторов экономики страны, в том числе, и аграрного сектора. Так как «…хорошо работающая система орошаемого земледелия является наиболее приемлемым направлением «зеленого развития» [2,3].

Учитывая это, постановлением Президента Республики Узбекистан от 2 декабря 2022 года № ПП-436 «О мерах по повышению эффективности реформ, направленных на переход республики Узбекистан на «зеленую» экономику до 2030 года» была утверждена и принята «Программа по переходу на «зеленую» экономику и обеспечению «зеленого» роста в Республике Узбекистан до 2030 года». В принятой Программе в числе приоритетных задач «Устойчивого и эффективного использования природных ресурсов» (гл.II, п.2.1,з) указано «з) расширение применения эффективных технологий в сельскохозяйственной отрасли - внедрение и масштабирование водосберегающих технологий орошения, в том числе капельного, дождевального, дискретного и других эффективных технологий орошения;» [4].

Соблюдение водного режима развития растений обеспечивается орошением и является необходимым условием эффективного земледелия, так как оно обеспечивает оптимальный уровень влажности для роста растений, повышает урожайность и поддерживает сельскохозяйственную деятельность в регионах с недостаточным количеством осадков. Поскольку влажность почвы зависит от вида растений, от периода вегетации и от многочисленных погодных факторов, важное значение приобретает управление поливом. К сожалению, современные способы управления искусственным увлажнением почвы не обеспечивают необходимой точности соблюдения агротехнических требований, характеризуются высокой инерционностью и не учитывают комплексного влиянии возмущающих воздействий: температуры и влажности воздуха, атмосферного давления, скорости ветра, а также прогноза выпадения осадков. Более того, существующие способы

ISSN 3030-3907

управления поливом являются недостаточно гибкими и реализуются либо в функции времени, либо при непосредственном участии оператора [5].

С учетом мирового опыта, в Узбекистане в последние годы принимаются весьма серьезные и действенные меры по развитию сельскохозяйственного сектора, внедрению в сельское хозяйство современных инновационных технологий [6]. Однако, в сельском хозяйстве Узбекистана уровень автоматизации находится пока ещё на начале пути. За последние 20 лет в автоматике для полива изменилось многое. Тем не менее, разнообразие, точность датчиков, а главное их доступность для сельхозпроизводителей остаются на низком уровне. Для успешного решения этих задач необходимо широкое внедрение «умного» сельского хозяйства, которое позволяет максимально автоматизировать сельскохозяйственную деятельность.

Учитывая изложенное, в настоящей работе рассмотрены вопросы автоматизации полива сельскохозяйственных культур в фермерских хозяйствах с применением современных информационно-коммуникационных технологий. IoT для автоматизации управления процессом полива путем мониторинга и анализа состояния влажности почвы и метеоусловий.

Материалы и методы. Сегодня в сельском хозяйстве развитых стран в повышении урожайности и сокращении потребления воды на помощь фермерам и земледельцам приходят современные интеллектуальные информационно-коммуникационные и цифровые технологии. Большие данные (Big Data), собираемые с помощью технологии IoT и их анализ помогают определить благоприятное время для посадки или сбора урожая, рассчитать схему подачи удобрений, производить мониторинг, прогнозировать урожай и многое другое.

Одним из таких инновационных технологий «умного» сельского хозяйства является технология «Интернета вещей» (Internet of Things – IoT). Данная технология представляет систему взаимодействия и обмена информацией между различными устройствами и машинами, которая позволяет автоматизировать процессы управления и контроля посредством различных «умных устройств» и значительно снизить участие в них человека. Примеров применения технологии IoT в автоматизация ирригации весьма ограничены (K.Murali [7], Н.А. Стефанова [8], S. Zhang [9], N.Suresh [10], Электронные ресурсы [11]).

В работах (А.Ш.Арифжанов, А.А. Абдуганиев [12-17]) рассмотрены вопросы применения технологии IoT для автоматизации управления

ISSN 3030-3907

процессом полива путем мониторинга и анализа состояния влажности грунта и метеоусловий.

Применение технологии «Интернета вещей» для автоматизации управления процессом полива. На протяжении многих веков фермерам по всему миру приходилось проявлять изобретательность для преодоления дефицита воды при отсутствии дождя и получения максимального урожая. Они использовали такие технологии, как ирригационные системы. Однако ирригационные системы не всегда были эффективными. В ней около половины всей оросительной воды уходит впустую из-за стоков, ветра и испарения. Это происходит потому, что большинство систем орошения полагаются на плановые показатели, утверждаемые в официальных документах планирования водораспределения – гидромодулях, которые разрабатываются на основе формальных нормативных документов, разработанных давным-давно и поэтому во многом не отражающих реальное состояние орошаемого поля и сельхоз культуры. Гораздо более эффективный подход заключается в том, чтобы осуществить полив (управлять режимом полива) по результатам анализа оперативных данных о состоянии почвы, о фазе развития культуры, о метеоусловиях местности и т.д. , т.е. воду нужно подавать только тогда, когда это необходимо, и подавать именно то количество, которое нужно.

В этом, помимо прочего, фермерам помогает автоматизация управления процессами полива сельхозкультур с применением современных информационно-коммуникационных технологий сбора и обработки данных на базе интеллектуальной технологии «Интернета вещей» -IoT. Данная технология делает управление процессом орошения сельхоз культур более разумным, позволяя фермерам повысить эффективность за счет разумного потребления ограниченных водных ресурсов. Умная ирригационная система может точно обеспечить подачи воды в нужное место в нужное время и нужном количестве, что позволяет экономить значительное количество воды.

Преимущество такой автоматизированной интеллектуальной системы управления режимами полива сельхозкультуры заключается в возможности непрерывно отслеживать фактический уровень влажности почвы, местные погодные условия, фазу вегетации растения и принятии решения о подаче (прекращении подачи) воды по результатам совместного анализа этих данных. Таким образом, интеллектуальные системы полива автоматически корректируют график полива в соответствии с реальными потребностями растений. Как показывает анализ зарубежных научно-технических информационных источников, применение технологии интеллектуального

ISSN 3030-3907

полива на существующих оросительных системах позволит сократить расход воды до 40 процентов [12-17].

Интеллектуальная технология полива использует метеоданные и данные о влажности почвы для определения потребности сельхоз культуры в поливе. Технология интеллектуального полива включает в себя датчики (сенсоры), которые устанавливаются в землю в контрольных точках. Размещенные в поле на значительном расстоянии датчики и сенсоры, которые объединяются в сеть, позволяют без выезда на место получать информацию о состоянии полей и культур, в частности, о влажности, температуре и др. Показатели температуры, ветра, солнечной радиации и влажности используются для расчета потребности в поливе.

Результаты. Нами разработана автоматизированная интеллектуальная система управления режимами орошения сельскохозяйственных культур на базе технологии IoT, которая способствует поддержание заданного уровня наименьшей полевой влагоемкости почвы (НВ), по которой определяются запасы влаги в ней и рассчитываются нормы полива сельскохозяйственных культур. Обобщенная структурная схема данной системы приведена на рис.1.

Ядром разработанной системы является программируемый логический контроллер (ПЛК), который выступает в качестве основного контроллера системы. Его основная цель - считывать данные с датчиков и генерировать выходные данные в соответствии с логической схемой (программой), разработанной специально для системы. Электромагнитный клапан приводится в действие электрическим сигналом, формируемым на выходе ПЛК. Его можно включать и выключать, чтобы перекрыть или открыть подачу воды на полив. Датчик влажности почвы используется для измерения содержания влаги в почве и подключается к входному порту ПЛК. Когда уровень влажности ниже порогового значения, электромагнитный клапан открывается, а когда он достигает заданного значения, электромагнитный клапан закрывается. Аналогичным образом датчик влажности работает для измерения влажности, которая важна для повышения урожайности сельскохозяйственных культур. Когда влажность ниже порогового значения, электромагнитный клапан открывается, а когда он достигает порогового значения, он закрывается [15].

ISSN 3030-3907



Рисунок 1. Структурная схема автоматизированной системы управления.

Интеллектуальная технология полива использует цифровые датчики для получения данных в реальном времени или по запросу о режиме полива и изменения расписания полива для повышения эффективности. Блок-схема такой интеллектуальной технологии полива приведена на рис.2

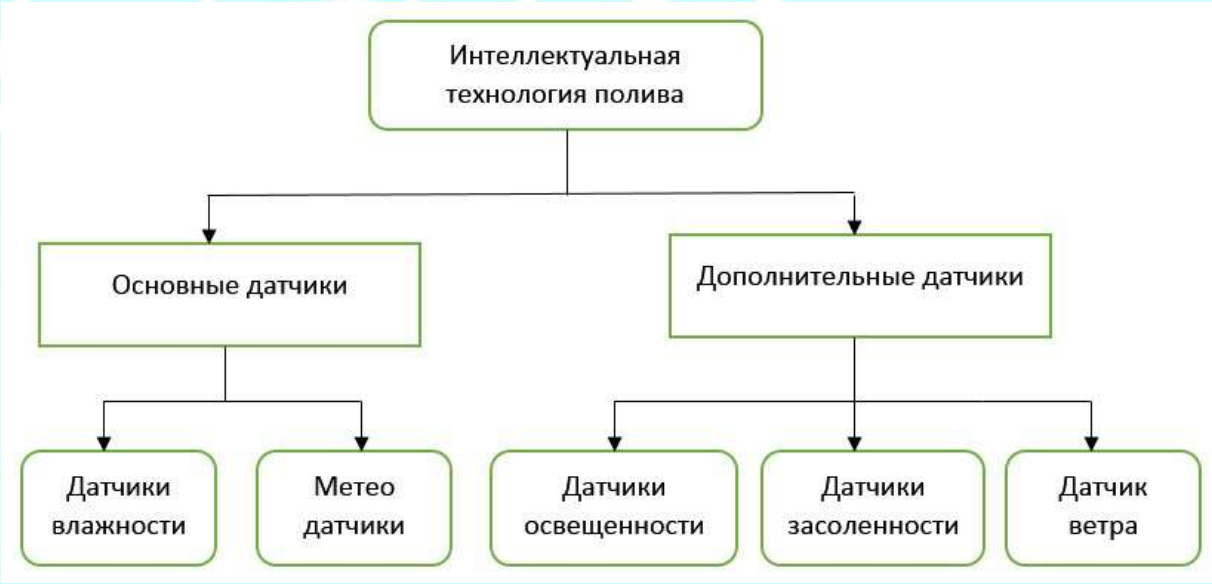


Рисунок 2. Блок-схема интеллектуальной технологии полива

Блок-схема алгоритма функционирования системы мониторинга и управления объектом или вещами с применением технологии «Интернета вещей» приведена на рис.3.

ISSN 3030-3907



Рисунок 3. Блок-схема алгоритма функционирования системы на базе «Интернета вещей»

Почвенные датчики собирают необходимые данные об объемном содержании воды, солености, электропроводности и других важнейших параметрах грунта. Расположенные в ключевых точках поля, эти датчики передают данные в интеллектуальную систему орошения, чтобы помочь фермерам быстро получить представление о состоянии почвы и спрогнозировать потребности в поливе.

Применение беспроводной (на базе технологии интернет) интеллектуальной платформы IoT для управления потоком воды в зависимости от влажности почвы обеспечивает дистанционное наблюдение в режиме реального времени для владельцев, которые находятся далеко от поля.

Нами разработан лабораторный прототип интеллектуальной системы мониторинга процесса полива на основе IoT, которая сможет собирать важные для управления поливом данные и отправлять их на облачную платформу IoT под названием Thingspeak в режиме реального времени, где данные могут быть зарегистрированы и проанализированы. Блок-схема интеллектуальной системы мониторинга процесса полива на основе IoT приведена на рис.4.

Этот прототип создан на базе Arduino - платы с собственным процессором и памятью, используемого в качестве микропроцессорного контроллера и 5 датчиков, которые измеряют шесть различных факторов окружающей среды, от которых зависит рост и питание сельскохозяйственных культур:

ISSN 3030-3907

1) Датчик температуры и влажности воздуха.
2) Датчик качества воздуха.
3) Датчик освещенности (пасмурности).
4) Датчик влажности почвы.
5) Датчик засоленности почвы.

Мы также используем в схеме GSM модуль SIM 800 / 900, который может подключаться к GPRS интернету для отправки данных датчика на сервер thingspeak.

ЖК-дисплей 16×2 будет отображать данные датчика, который соединен с модулем адаптера I2C для уменьшения количества проводов, соединяющих Arduino с ЖК-дисплеем.

Влажность почвы можно измерить с помощью показанного на рисунке датчика, который имеет два штыря (электрода), вставляемых в верхний слой почвы. Это аналоговый датчик, который будет выводить аналоговые значения на Arduino. Мы будем использовать только аналоговый выход этого датчика, как и других аналоговых датчиков, упомянутых здесь; выход преобразуется в 10-битное цифровое значение и, наконец, в проценты из 100.

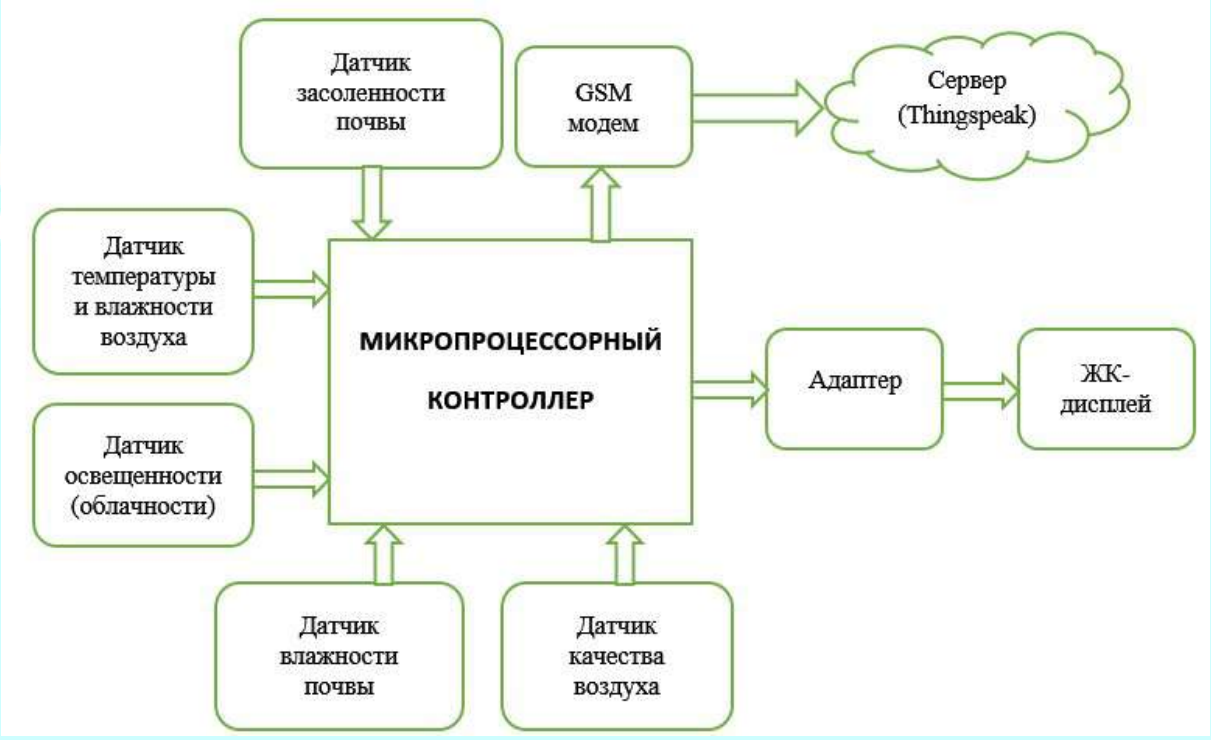


Рисунок 4. Блок-схема интеллектуальной системы мониторинга процесса полива на основе IoT

0% означает, что почва сухая 100% означает, что почва влажная. Но с помощью этого датчика мы обнаружили, что в диапазоне от 50% до 70% почва была полностью влажной.

Общий вид лабораторного прототипа интеллектуальной системы мониторинга процесса полива на основе IoT приведен на рис.5.

ISSN 3030-3907



Рисунок 5. Общий вид лабораторного прототипа интеллектуальной системы мониторинга процесса полива на основе IoT

На рисунках 6 и 7 представлены графики изменения измеряемых параметров.

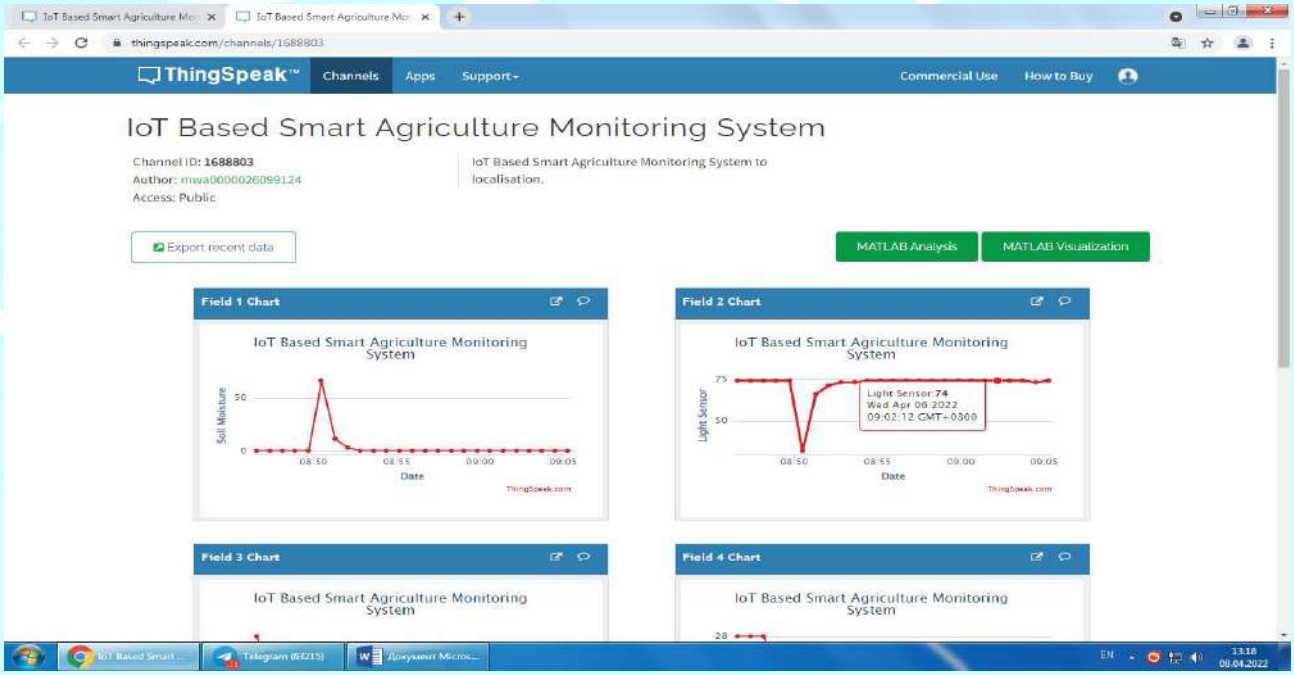


Рисунок 6. Графики изменения измеряемых параметров-влажности и освещенности.

ISSN 3030-3907



а)



б)

Рисунок 7. Графики изменения измеряемых параметров-температуры, влажности и давления.

На рисунке 8 приведен график изменения влажности почвы и дата подачи воды для полива растения .



Рисунок 8. График изменения влажности почвы и дата подачи воды для полива

ISSN 3030-3907

Обсуждение. В работе мы использовали GSM-модем для доступа к GPRS-интернету, потому что наш проект будет размещен на открытом воздухе, например, посреди сельскохозяйственного поля, где обеспечить Wi-Fi может быть сложно, и даже если мы установим сеть Wi-Fi на открытом воздухе, любой может взломать сеть. По этим причинам мы используем сотовую сеть для подключения проекта к интернету.

Такая интеллектуальная информационно-аналитическая система позволяет проанализировать каждый участок и определить количество необходимой влаги, избежав перерасхода воды. Это позволяет минимизировать затраты поливной воды и в то же время получить высокую урожайность.

Управления процессом полива осуществляется путем оперативного сбора (мониторинга) данных с датчиков влажности почвы, установленных на орошаемых участках (массивах) и совместной обработки (анализа) разнородных данных о погодно-климатических (метео) условиях местности, о механических и агрохимических свойствах почвы, показателях физиологического состояния растения (которые являются наиболее надежным ориентиром при определении потребности растения в воде) и др. (по мере необходимости).

Величина поливной нормы зависит от степени увлажнения почвы к началу полива (предполивная влажность почвы), величины потребления воды растениями в данной фазе развития в зависимости от биологических особенностей культуры, влагоемкости почвы, механического состава почвы, уровня грунтовых вод, глубины слоя промачивания почвы (расчетного слоя увлажнения почвы).

Алгоритм работы разработанной автоматизированной интеллектуальной системы управления орошением сельскохозяйственных культур приведен на рис.9.

Если уровень (величина) влажности ниже установленного порога - W_{min}, то клапан открывается. А при достижении влажности к установленной норме W_{nor} (или максимального значения W_{max}) - клапан закрывается.

Для решения задач контроля (диагностики) влажности почвы и климатических факторов и управления поливами была разработана математическая модель, описывающая зависимость выходной величины - поливной нормы Y от набора входных переменных, которая имеет вид $Y=f(X_1, X_2, ..., Xn)$. В общем случае вектор входных переменных $X = (X_1, X_2, ..., X_n)$ может состоит из разнородных данных. Методов, позволяющих в полной мере учесть такой большой объем количественной и качественной информации в условиях неопределенности, при решении

ISSN 3030-3907

слабоформализованных задач такого типа среди классических подходов математического моделирования не существует. Поэтому при построении математической модели наряду с аналитическими зависимостями пользовались нечеткими методами.

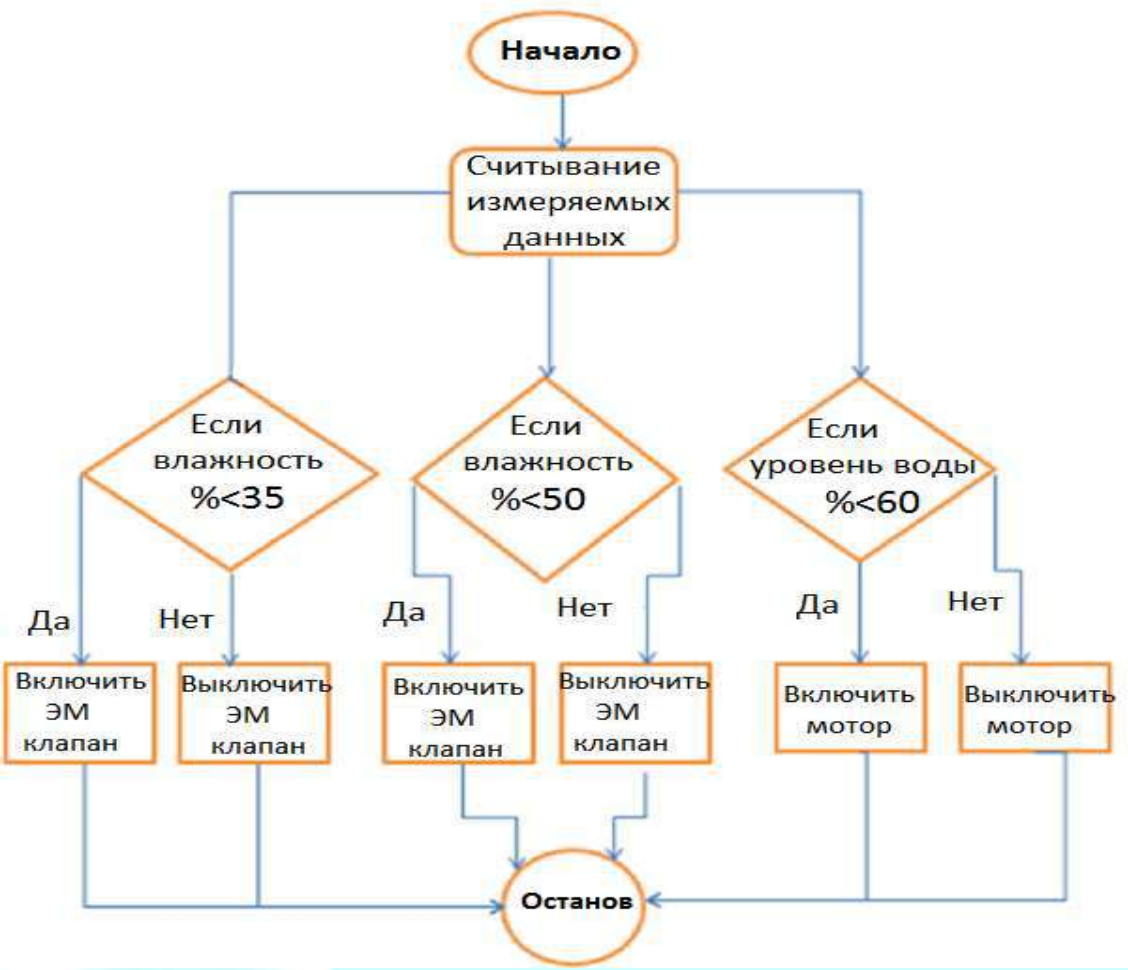


Рисунок 9. Алгоритм работы разработанной автоматизированной интеллектуальной системы управления орошением сельскохозяйственных культур

На начальном этапе построения математической модели были отобраны наиболее информативные показатели, определяющие выбор научно обоснованного режима орошения, и установлены основные функциональные связи между ними. Имеется возможность представления выходнго значения в виде непрерывного значения интервала, заданного для задач автоматического управления системами орошения, или в виде дискретного набора возможных классов решений в вопросах диагностики.

В то же время процесс построения математической модели для непрерывного выходного состояния отличается от процесса построения математической модели для дискретного выходного состояния только выполнением операции дефазификации на заключительном этапе моделирования.

ISSN 3030-3907

Заключение. Внедрение в сельском хозяйстве автоматизированной интеллектуальной системы управления режимами орошения сельскохозяйственных культур обеспечивает подачу воды нужному орошаемому массиву в нужные сроки и в нужном количестве. А это способствует поддержанию заданного уровня наименьшей влагоемкости почвы в соответствии с требованиями разновидности культуры в наиболее критические периоды её роста и развития, и тем самым повышению урожайности и экономии водных ресурсов.

Практическим результатом осуществления разработанного способа управления является повышение качества полива, проявляющееся в более точном соблюдении агротехнических требований, увеличении быстродействия возвращения влажности почвы к заданному значению при воздействии температуры воздуха, его влажности, а также атмосферного давления и скорости ветра, при снижении риска переувлажнения почвы в результате воздействия осадков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Концепция развития водного хозяйства Республики Узбекистан на 2020 — 2030 годы 2020

2. Как «зеленое» развитие поддержит сельское хозяйство и водопользование Узбекистана? https://uza.uz/ru/posts/kak-zelenoe-razvitie-podderzhit-selskoe-xozyaystvo-i-vodopolzovanie-uzbekistana_247427

3. Орошаемое земледелие Узбекистана: существуют ли резервы водообеспеченности для устойчивого развития? Общая редакция: проф. Духовный В.А., Соколов В.И.,Хамраев Ш. НИЦ МКВК. Ташкент, 2017. 75 стр.

4. Программа по переходу на «зеленую» экономику и обеспечению «зеленого» роста в Республике Узбекистан до 2030 года, утвержденная постановлением Президента Республики Узбекистан от 2 декабря 2022 года № ПП-436

5. Андреев С.А. Энерго-сберегающий способ управления поливом. Научно-практический журнал «Природообустройство». № 5, 2017, стр.95-102.

6. [6] Постановление Президента Республики Узбекистан, от 02.08.2023 г. № ПП-257 «О мерах по внедрению передовых цифровых технологий в сферу сельского хозяйства»

7. Kola Murali and B. Sridhar 2021 J. Phys.: Conf. Ser. 2062 012010 A smart Agriculture Irrigation System using sensor array based IoT.

8. Zhang Siyuan and Qian Yue 2016 4th International Conference on Machinery, Materials and Computing Technology Applications of Technologies of Internet of Things in Computer Monitoring System.

ISSN 3030-3907

9. Nalina Suresh, Valerianus Hashiyana, Victor Panduleni Kulula, Shreekanth Thotappa Smart Water Level Monitoring System for Farmers 2019 https://www.researchgate.net/publication/334662554
10. IoT Based Weather Monitoring System Using Arduino https://electronics-project-hub.com/iot-based-energy-monitoring-system/
11. IoT based Smart Agriculture Monitoring System https://electronics-project-hub.com/iot-based-smart-agriculture-monitoring-system/
12. А.Ш. Арифжанов, А. А. Абдуғаниев. Анализ проблем внедрения информационных технологий в планировании водопользования и оперативном управлении водораспределением на оросительных системах. SCIENTIFIC JOURNAL “SCIENCE AND EDUCATION”, 2022, VOLUME #2, ISSUE #10. pp.166-171.
13. А.Ш. Арифжанов, А. А. Абдуғаниев. Применение умных технологий в ирригации. «Фан, таълим ва техникани инновацион ривожлантириш масалалари» мавзусидаги Халқаро илмий-амалий онлайн анжуман материаллари тўплами, 2022 йил 12 апрель, Андижон. 183-186.
14. А.Ш. Арифжанов, А.А.Абдуғаниев. Информационные технологии в оперативном управлении орошением сельскохозяйственных культур. Сборник докладов Республиканской научно-практической конференции “Проблемы применения современных информационных, коммуникационных технологий и IT- образования”, Самарканд, 9 апреля 2022 года. С.112-114.
15. А.Арифжанов, А.Абдуғаниев. Интеллектуальная система управления орошением на основе технологии интернета вещей. AGRO ILM. «O‘ZBEKISTON QISHLOQ VA SUV XO‘JALIGI» журнали илмий иловси. Аграр-иқтисодий, илмий-амалий журнал. 2022 йил, 6-илова (85)-сон.95-97 бетлар.
16. А.Ш.Арифжанов, А.А.Абдуғаниев. Разработка интеллектуальной автоматизированной системы управления процессом полива. Инновацион техника ва технологияларнинг қишлоқ хўжалиги – озиқ-овқат тармоғидаги муаммо ва истиқболлари. III Халқаро илмий-техник анжуман. 5-шўъба. 184-185 сахифа. –Тошкент. ТошДТУ, 2023 йил 20-21-апрел -456 б.
17. А.Арифжанов, А.Абдуғаниев. Интеллектуальная автоматизированная система управления режимами орошения сельскохозяйственных культур. AGRO ILM. «O‘ZBEKISTON QISHLOQ VA SUV XO‘JALIGI» журнали илмий иловаси. Аграр-иқтисодий, илмий-амалий журнал. №6 [95], 2023

ISSN 3030-3907