

ГИДРОТЕХНИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО,
ГИДРАВЛИКА И ИНЖЕНЕРНАЯ ГИДРОЛОГИЯ

Обзорная статья

УДК 626.824

doi: 10.31774/2712-9357-2023-13-4-413-432

**Анализ возможности использования программируемых
контроллеров при управлении водораспределением
в Донском магистральном канале**

**Александр Александрович Ткачев¹, Елена Олеговна Скляренко²,
Ксения Ивановна Ключенко³, Игорь Геннадьевич Литуновский⁴,
Дмитрий Андреевич Симончук⁵**

^{1, 2, 3, 4, 5}Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова –
филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск,
Российская Федерация

¹prof_al@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8060-620X>

²SklyarenkoElen@yandex.ru

^{3, 4, 5}gts_i_sm.nimi@mail.ru

Аннотация. **Цель:** анализ возможности применения программируемых логических контроллеров в контексте управления водораспределением в Донском магистральном канале. Работа представляет собой аналитическое исследование, основанное на принципах автоматизации и оптимизации управления водными ресурсами в оросительных системах. **Обсуждение.** В статье рассматривается архитектура системы управления, включающая программируемые логические контроллеры, сетевые модули и датчики уровня воды в магистральном канале. Основное внимание уделяется обоснованию использования программируемых логических контроллеров при проектировании и разработке системы управления водораспределением, которая позволяет контролировать и регулировать уровень воды в канале с использованием схемы управления по верхнему бьефу. Программное обеспечение создает возможность для мониторинга параметров воды, вычисления оптимальных значений и автоматической коррекции управляющих сигналов. В статье также анализируются преимущества применения программируемых логических контроллеров в системе управления водораспределением, включая высокую гибкость, надежность и возможность легкой интеграции с другими системами. Описываются методы настройки программируемых логических контроллеров, оптимизации регуляторов и управления энергопотреблением для достижения эффективного и экономичного управления водными ресурсами гидромелиоративных систем. Исследования подтверждают эффективность и применимость программируемых контроллеров в системе управления водораспределением в Донском магистральном канале. Они позволяют достичь показателей надежности, интеграции и экономической эффективности, которые необходимы для эффективной работы и управления системой водораспределения. **Выводы:** полученные результаты позволяют повысить эффективность использования водных ресурсов, снизить энергопотребление и обеспечить стабильное управление уровнем воды в оросительном канале.

Ключевые слова: управление водораспределением, неустановившийся режим движения, управление по верхнему бьефу, программируемый контроллер, датчик уровня воды

Для цитирования: Анализ возможности использования программируемых кон-

троллеров при управлении водораспределением в Донском магистральном канале / А. А. Ткачев, Е. О. Скляренко, К. И. Ключенко, И. Г. Литуновский, Д. А. Симончук // Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 4. С. 413–432. <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-4-413-432>.

HYDRAULIC ENGINEERING, HYDRAULICS AND ENGINEERING HYDROLOGY

Review article

The probability analysis of using programmable controllers in water distribution management in the Don Main Canal

**Alexander A. Tkachev¹, Elena O. Sklyarenko², Ksenia I. Klyuchenko³,
Igor G. Litunovsky⁴, Dmitry A. Simonchuk⁵**

^{1,2,3,4,5}Novocherkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novocherkassk, Russian Federation

¹prof_al@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8060-620X>

²SklyarenkoElen@yandex.ru

^{3,4,5}gts_i_sm.nimi@mail.ru

Abstract. Purpose: to analyze the possibilities of using programmable logic controllers (PLC) in water distribution management in the Don Main Canal. The work is an analytical study based on the principles of automation and optimization of water resources control. **Discussion.** The architecture of the control system, including programmable logic controllers, network modules and water level sensors in the main canal is discussed. The main attention is paid to justifying the use of PLC in the design and development of a water distribution control system, which allows control and regulate the water level in the channel using the upstream control scheme. The software offers possibility for monitoring water parameters, calculating optimal values and automatic adjustment of control signals. The advantages of using PLC in water distribution control system, including high flexibility, reliability and the possibility of easy integration with other systems are also analyzed. The methods of PLC setting, regulator optimization and energy management to achieve efficient and economical water resources management are described. The research confirms the effectiveness and applicability of using the programmable controllers in water distribution management system in the Don Main Canal. **Conclusions:** the results obtained make it possible to increase the efficiency of water resources use, reduce energy consumption and ensure stable control of water level in the irrigation canal.

Keywords: water distribution control, unsteady flow mode, upstream control, programmable controller, water level sensor

For citation: Tkachev A. A., Sklyarenko E. O., Klyuchenko K. I., Litunovsky I. G., Simonchuk D. A. The probability analysis of using programmable controllers in water distribution management in the Don Main Canal. *Land Reclamation and Hydraulic Engineering*. 2023;13(4):413–432. (In Russ.). <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-4-413-432>.

Введение. Для реализации системы управления водораспределением в канале можно использовать различные программируемые контроллеры в зависимости от требований к системе и уровня автоматизации процесса [1].

Один из наиболее распространенных типов программируемых кон-

троллеров – это контроллеры на базе промышленных ПЛК (программируемый логический контроллер). Они имеют высокую надежность, устойчивость к воздействию внешних факторов, обладают большими возможностями для расширения и модернизации системы управления, а также могут интегрироваться с различными датчиками, исполнительными механизмами и другим оборудованием [2].

Однако в некоторых случаях можно использовать и более простые и дешевые контроллеры, такие как Arduino или Raspberry Pi, особенно если требования к производительности и точности управления не настолько высоки.

При выборе конкретного контроллера для реализации системы управления водораспределением в канале следует учитывать требования к системе, ее функциональные возможности, надежность и стоимость. Кроме того, необходимо обеспечить подходящее программное обеспечение и интеграцию с другими системами, если это необходимо. Например, в качестве одного из наиболее распространенных ПЛК, которые могут быть использованы для реализации системы управления водораспределением в канале, можно рассмотреть Siemens Simatic S (рисунок 1). Этот ПЛК широко используется в промышленности и предоставляет мощные возможности для управления технологическими процессами [3].



Рисунок 1 – Пример удаленной станции S7-300¹
Figure 1 – Example of S7-300 remote station

¹Станции ET 200SP [Электронный ресурс]. 2015. 116 с. URL: <https://www.simecs.ru/upload/iblock/f4b/f4b950cd9d6a354cb6dd7b7e1826ec6a.pdf> (дата обращения: 01.09.2023).

Для встраивания Siemens Simatic S7 в систему управления водораспределением в канале можно выполнить следующие шаги: определить требования к системе управления и выбрать модель контроллера Simatic S7, соответствующую задаче; разработать проект системы управления, включающий в себя определение структуры системы, списка входных и выходных сигналов, параметров управления, а также схему подключения оборудования; составить список необходимых компонентов и оборудования для системы управления; смоделировать систему управления в специализированном программном обеспечении, таком как Simatic Step 7 или TIA Portal; подключить оборудование и настроить его в соответствии с проектом системы управления; загрузить программу управления в контроллер Simatic S7 с помощью программатора; проверить работу системы управления и отладить ее в случае необходимости; запустить систему в работу и обеспечить ее надежное и безопасное функционирование.

Целью данной статьи является анализ возможности применения программируемых логических контроллеров в контексте управления водораспределением в Донском магистральном канале.

Обсуждение. При проектировании системы управления водораспределением в канале с использованием программируемых контроллеров следует учитывать ряд факторов [4].

Надежность и безопасность системы. Контроллеры должны быть достаточно надежными и устойчивыми к возможным сбоям, а также обеспечивать безопасность и защиту системы от внешних угроз. Рекомендуется использовать двойные или тройные резервные контроллеры, которые работают в режиме горячего резервирования. В случае отказа одного контроллера другие контроллеры автоматически перехватывают его функции, обеспечивая непрерывность работы системы. Для обеспечения безопасности можно рекомендовать контроллеры со встроенными защитными функциями, такими как защита от перегрузки, короткого замыкания и перена-

пряжения. Это поможет предотвратить повреждение контроллера и обеспечить безопасность системы. Резервный источник питания для контроллера, такой как батарейный бэкап или дизельный генератор, обеспечит непрерывное питание контроллера в случае отключения основного источника электроэнергии. Реализация мер по защите контроллера от несанкционированного доступа, таких как парольная защита и шифрование коммуникаций, поможет предотвратить несанкционированные изменения в работе контроллера и защитить систему от внешних угроз. Проведение регулярных проверок и обслуживания контроллера, включая проверку и обновление программного обеспечения, а также проверку и настройку оборудования, связанного с контроллером, поможет предотвратить сбои и обеспечить надежную работу системы. Обучение операторов системы управления правильной эксплуатации контроллера, умению распознавать аварийные ситуации и реагировать на них может снизить риск ошибок операторов и обеспечить безопасность работы системы.

Функциональность и возможности контроллеров. Контроллеры должны иметь достаточное количество входов и выходов для подключения необходимых датчиков, исполнительных механизмов и других компонентов системы.

Для понимания рассмотрим численный пример. Предположим, что требуется установить 10 датчиков уровня воды в различных бьефах канала для контроля и мониторинга уровня воды. Каждый датчик требует один вход контроллера для считывания информации. Допустим, система также требует пять датчиков скорости для контроля и мониторинга скорости на различных участках системы, также каждый датчик требует один вход контроллера для считывания информации. Предположим, что в системе используется восемь затворов для управления подачей и распределением воды. Каждый затвор требует один выход контроллера для управления их работой. Допустим, система должна иметь возможность взаимодей-

вать с другими устройствами и системами посредством протоколов связи, таких как Modbus или Ethernet. Для этого могут потребоваться дополнительные входы (выходы) контроллера, чтобы обеспечить связь и передачу данных (рисунок 2).

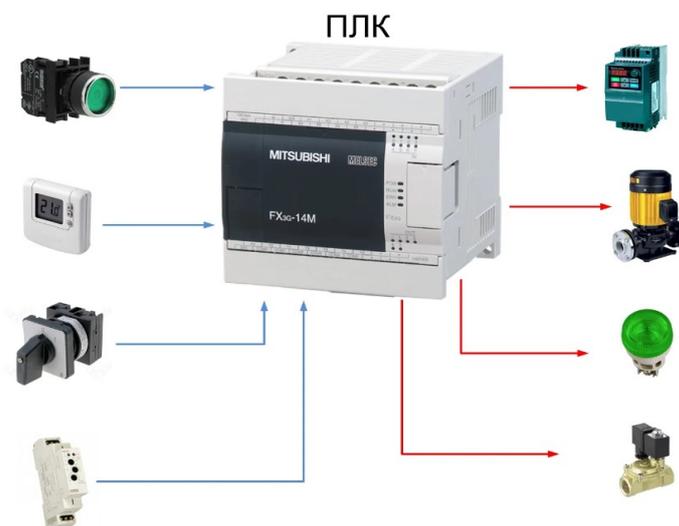


Рисунок 2 – Пример дискретных входов и выходов ПЛК²
Figure 2 – Example of PLC discrete inputs and outputs

Таким образом, в данном примере общее количество входов и выходов контроллера может быть рассчитано следующим образом:

$$10 \text{ (датчики уровня)} + 5 \text{ (датчики скорости)} + 8 \text{ (затворы)} + \\ + X \text{ (коммуникационные модули)},$$

где X – количество входов (выходов), необходимых для коммуникационных модулей в зависимости от конкретных требований системы.

Программное обеспечение и интеграция с другими системами. Контроллеры должны быть снабжены соответствующим программным обеспечением, которое даст возможность полного контроля и мониторинга системы, а также интеграции с другими системами, если это необходимо [5].

Программное обеспечение может быть разработано с использованием языков программирования, таких как Ladder Logic, Structured Text или

²Обзор лучших программируемых логических контроллеров на 2023 год [Электронный ресурс]. URL: <https://vyborok.com/rejting-luchshih-programmiruemyh-logicheskikh-kontrollerov> (дата обращения: 01.09.2023).

Function Block Diagram, в зависимости от поддерживаемых функциональностей контроллера [6]. Для полного контроля и мониторинга системы управления водораспределением можно использовать SCADA-систему (систему сбора и анализа данных контроля и управления). SCADA-система может обеспечить визуализацию данных, журналирование событий, создание отчетов и другие функции. Контроллеры могут быть настроены на передачу данных в SCADA-систему через сетевые протоколы, такие как Modbus или OPC, что позволит операторам эффективно управлять системой и принимать решения на основе полученных данных. Для оптимизации использования водных ресурсов и повышения эффективности системы управления водораспределением контроллеры могут быть интегрированы с системой управления ресурсами, такой как система прогнозирования погоды или система мониторинга почвенной влаги. Это позволит системе автоматически реагировать на изменения условий и принимать соответствующие решения по управлению водными ресурсами. Для обеспечения безопасности системы управления водораспределением контроллеры могут быть интегрированы с системами безопасности, такими как система пожарной сигнализации или система контроля доступа. Это позволит контроллерам автоматически реагировать на аварийные ситуации и принимать меры по обеспечению безопасности системы.

Поддержка и обслуживание. Контроллеры должны иметь достаточную поддержку и возможности для обслуживания и модернизации системы, если это необходимо.

Например, для реализации системы управления водораспределением в канале можно использовать контроллеры на базе промышленных ПЛК, такие как Siemens S7-1200, Allen-Bradley Micro800, Mitsubishi FX5U, Schneider Electric M221 и др., которые обладают достаточными функциональными возможностями и являются достаточно надежными для использования в промышленной автоматизации.

Также можно использовать более простые и дешевые контроллеры, такие как Arduino или Raspberry Pi, которые обладают достаточными функциональными возможностями для управления процессами. Допустим, в системе управления водораспределением необходимо управлять несколькими затворами для подачи воды на различные участки канала. Вместо использования дорогих промышленных контроллеров можно воспользоваться платформой Arduino или Raspberry Pi, подключив к ним модули реле для управления питанием затворов. Контроллеры могут принимать команды через интерфейс (например, веб-интерфейс) или по расписанию для включения и выключения двигателей на затворах.

Для контроля уровня воды в канале можно использовать датчики уровня, подключенные к контроллеру Arduino или Raspberry Pi. Контроллеры могут обрабатывать данные с датчиков и принимать решения, когда необходимо включать или выключать насосы для поддержания заданного уровня воды. Информацию о текущем уровне воды можно также передавать для мониторинга и визуализации на удаленное устройство или веб-интерфейс.

К достоинствам такой реализации можно также отнести тот факт, что Arduino или Raspberry Pi могут быть интегрированы с более мощными системами управления, такими как SCADA или система автоматизации здания [7]. Например, можно настроить контроллеры для передачи данных о состоянии насосов, уровне воды и других параметрах в систему SCADA для мониторинга, анализа и управления из центрального контрольного центра.

Одним из преимуществ использования Arduino или Raspberry Pi является их расширяемость и гибкость. Существует множество дополнительных модулей и сенсоров, которые можно подключить к контроллерам для реализации дополнительных функций. Например, можно добавить модули коммуникации (например, Ethernet или Wi-Fi) для удаленного управления и мониторинга системы.

Однако при использовании более простых и дешевых контроллеров, таких как Arduino или Raspberry, необходимо более тщательно подходить к выбору компонентов и устройств для обеспечения требуемой надежности и безопасности системы.

Для выбора конкретного контроллера следует учитывать требования и особенности конкретной системы управления водораспределением в канале, а также принимать во внимание необходимость интеграции с другими системами и компонентами, такими как датчики уровня, насосы, затворы и т. д. [8].

Например, Siemens S7-1200 является надежным и широко используемым контроллером, который обеспечивает высокую скорость обработки данных, большое количество входов и выходов, а также возможность интеграции с другими устройствами и системами. Контроллеры Allen-Bradley Micro800 обладают простым интерфейсом и относительно низкой ценой, что делает их хорошим выбором для небольших систем управления. Mitsubishi FX5U имеет большую производительность и широкий выбор различных модулей ввода-вывода, что делает его подходящим для сложных систем управления. Schneider Electric M221 обладает высокой производительностью, гибкой настройкой и малым размером, что делает его хорошим выбором для систем управления в небольших помещениях.

В качестве альтернативы можно рассмотреть работу ПЛК Delta серии AS. Промышленные контроллеры логики Delta серии AS являются надежными и мощными устройствами для автоматизации производственных процессов и контроля технологического оборудования в различных отраслях промышленности. ПЛК Delta AS оснащен мощным процессором, который обеспечивает быстрое и точное выполнение задач управления [9]. Он имеет множество цифровых и аналоговых входов и выходов для подключения различных сенсоров и исполнительных устройств. Кроме того, серия AS поддерживает различные протоколы связи, включая Modbus,

Ethernet/IP и ВАСnet/IP, что позволяет легко интегрировать ее с другими системами автоматизации и контроля.

Программирование ПЛК Delta AS выполняется с помощью специализированного программного обеспечения, такого как WPLSoft. Это позволяет создавать сложные программы управления и мониторинга состояния оборудования с использованием различных языков программирования, таких как графический Ladder и текстовый Instruction List. ПЛК Delta AS также имеет возможность хранения программ и данных на SD-картах, что упрощает обслуживание и обновление устройства.

ПЛК Delta AS серии имеет компактный дизайн и высокую устойчивость к шумам и вибрациям, что делает его подходящим для работы в условиях промышленной среды. Все модели серии имеют защиту от перегрузки и короткого замыкания, что гарантирует безопасную эксплуатацию оборудования. В целом ПЛК Delta AS является надежным и гибким устройством для автоматизации производственных процессов и контроля технологического оборудования. Системы, построенные на базе этих контроллеров, обеспечивают точное и надежное управление оборудованием и производственными процессами в различных отраслях промышленности.

Система управления водораспределением в Донском магистральном канале с реализацией схемы управления уровнем воды по верхнему бьефу и использованием ПЛК Delta серии AS может быть реализована следующим образом:

- сбор информации: для сбора информации о текущем уровне воды в канале и верхнем бьефе можно использовать ультразвуковые датчики. Данные от датчиков будут поступать на входы ПЛК Delta серии AS;

- обработка данных: на ПЛК Delta серии AS можно настроить программу обработки данных с использованием ПИД-регуляторов. Она будет обрабатывать данные с ультразвуковых датчиков и рассчитывать необхо-

димое количество воды, которое должно быть направлено на полив различных участков в зависимости от их потребности;

- управление затворами: для регулирования подачи воды в верхний бьеф и направления ее на различные участки полива необходимо использовать затворы [10, 11]. Управление затворами будет производиться через ПЛК Delta серии AS, который будет рассчитывать необходимое количество воды на основе данных, полученных от ультразвуковых датчиков и в результате обработки;

- мониторинг и отладка: система управления должна обеспечивать мониторинг и отладку работы, чтобы быстро выявлять и устранять возможные неисправности или сбои в работе. Для этого можно использовать средства диагностики, предоставляемые ПЛК Delta серии AS [12, 13], а также настроить систему мониторинга и управления удаленно;

- резервирование: для повышения надежности работы системы управления водораспределением необходимо предусмотреть резервирование основных элементов, таких как затворы, ПЛК, датчики и другие элементы управления. Также можно настроить систему автоматического переключения на резервное оборудование в случае выхода из строя основных элементов.

Таким образом, система управления водораспределением в Донском магистральном канале с использованием ПЛК Delta серии AS позволяет регулировать подачу воды в верхнем бьефе и подачу ее на различные участки полива в зависимости от их потребностей.

При выборе контроллера также следует учитывать доступность компонентов, качество технической поддержки и обучения персонала, возможность расширения функционала и обновления системы в будущем, а также цену и соотношение цены и качества [14].

Дополнительно при выборе контроллера следует обратить внимание на его технические характеристики, такие как:

- количество входов и выходов;

- скорость обработки данных;
- объем оперативной памяти;
- возможность подключения дополнительных модулей;
- требования по энергопотреблению и длительности автономной работы и т. д.

На основе этих параметров можно выбрать контроллер, который наилучшим образом соответствует требованиям конкретной системы управления водораспределением в канале [15].

При проектировании системы управления водораспределением в канале с использованием программируемого контроллера следует учитывать следующие шаги:

- определение требований к системе управления. На этом этапе необходимо определить параметры, которыми будет управлять система, а также требования к точности и скорости регулирования [16];

- выбор подходящего контроллера. На этом этапе необходимо определить модель контроллера, наиболее подходящую для данной задачи, исходя из требований к функциональности и техническим характеристикам;

- разработка алгоритма управления. Необходимо определить алгоритм управления, который будет реализован на контроллере, а также подобрать наиболее подходящие параметры для ПИД-регулятора, который будет использоваться в системе управления;

- программирование контроллера. На этом этапе разрабатывается программное обеспечение для контроллера с учетом выбранного алгоритма управления;

- тестирование системы. После того, как система управления будет разработана и запрограммирована, следует провести тестирование на соответствие требованиям и эффективность работы;

- внедрение системы управления. После успешного тестирования системы она может быть внедрена в эксплуатацию и использована для автоматизации процесса управления водораспределением в канале.

При разработке системы управления важно учитывать требования безопасности и нормативные требования, а также предусмотреть механизмы контроля и диагностики для быстрого выявления и устранения возможных сбоев в работе системы [17].

Кроме того, при проектировании системы управления водораспределением в канале с использованием программируемого контроллера следует учитывать следующие моменты.

Система управления должна иметь достаточную надежность и устойчивость к внешним воздействиям (шумы, электромагнитные помехи и т. д.). Контроллер должен обладать достаточным количеством входов (выходов) для подключения всех необходимых датчиков и управляющих элементов [18].

Необходимо выбрать правильные датчики, которые обеспечат точность и надежность измерения необходимых параметров, таких как уровень воды, давление, расход и т. д. Система управления должна иметь возможность взаимодействия с другими системами (например, системами мониторинга и управления энергопотреблением) для обеспечения максимальной эффективности [19, 20].

Важно предусмотреть механизмы автоматической диагностики и оповещения о возможных сбоях в работе системы. Следует учесть возможность расширения и модернизации системы в будущем.

Выводы

1 Программируемые контроллеры обладают широкими возможностями настройки и программирования. Это позволяет адаптировать систему управления под конкретные требования и условия водораспределения в Донском магистральном канале. Контроллеры могут быть запрограммированы для автоматического регулирования уровня воды, управления затворами, контроля скорости и других параметров в соответствии с заданными параметрами и логикой.

2 Разработанные специально для промышленных и автоматизиро-

ванных систем, программируемые контроллеры обладают высокой степенью надежности и устойчивости к различным внешним воздействиям. Они способны работать в условиях переменных температур, вибрации, пыли и влаги, что является важным для водораспределительных систем.

3 Программируемые контроллеры обладают возможностью интеграции с другими системами и устройствами. Они могут взаимодействовать с SCADA-системами для мониторинга и управления, передавать данные в центральный контрольный центр, а также интегрироваться с дополнительными модулями и сенсорами для реализации дополнительных функций. Это позволяет создавать комплексные системы управления водораспределением путем интеграции их с другими системами автоматизации и управления.

4 Программируемые контроллеры обеспечивают удобство обслуживания и отладки системы управления. Они позволяют программировать и изменять логику работы системы без необходимости физической замены аппаратного оборудования. Кроме того, контроллеры обычно предоставляют механизмы для записи журналов событий и диагностики, что упрощает процесс обслуживания и устранения неисправностей. Это позволяет оперативно реагировать на проблемы в системе управления водораспределением и сокращать время ремонта.

5 Использование ПЛК может быть экономически выгодным решением. Они обладают более низкой стоимостью по сравнению с другими промышленными контроллерами и имеют открытую архитектуру, что позволяет использовать стандартные компоненты и сокращает расходы на оборудование и программное обеспечение. Кроме того, возможность модернизации и доработки контроллеров позволяет сохранить их актуальность и длительное время использования, что способствует экономии средств.

6 Программируемые контроллеры, особенно такие платформы, как Arduino или Raspberry Pi, отличаются простотой в использовании и про-

граммировании. Они доступны для широкого круга разработчиков и инженеров, что позволяет ускорить процесс внедрения системы управления водораспределением в Донском магистральном канале. Доступность обучающих материалов и сообществ разработчиков также облегчает освоение и поддержку системы.

Все эти факторы совместно обеспечивают эффективность и применимость программируемых контроллеров в системе управления водораспределением в Донском магистральном канале. Они позволяют достичь надежности, гибкости, интеграции и экономической эффективности, необходимых для эффективной работы и управления системой водораспределения.

В целом при проектировании и реализации системы управления водораспределением в канале с использованием программируемого контроллера необходимо учитывать множество технических и организационных факторов, включая специфику динамического регулирования при поливе дождеванием, требования заказчика, сроки и бюджет проекта, а также возможности и ограничения выбранного оборудования и технологий.

Список источников

1. Юрченко И. Ф. Автоматизация, электронизация, информатизация, как предшественники цифровизации мелиорации // Проблемы развития сельскохозяйственных мелиораций и водохозяйственного комплекса на базе цифровых технологий: материалы Междунар. юбилейн. науч.-практ. конф., г. Москва, 23–24 окт. 2019 г. Т. 1. М.: ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова, 2019. С. 76–84. EDN: BONERI.
2. Быкова А. В. Передача динамических показателей с цифровых датчиков через контроллер Arduino NANO на контроллер Arduino UNO // Инновационные научные исследования. 2021. № 6-3(8). С. 264–269. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5529127>.
3. Барамыков М. Р. Поэтапное внедрение элементов цифровизации в ГМС // Мелиорация и водное хозяйство. 2022. № 5. С. 25–29. DOI: 10.32962/0235-2524-2022-5-25-29. EDN: AWQASM.
4. Ткачев А. А., Зарубин В. В. Перспективы развития автоматизации управления водораспределением на оросительных системах // International Journal of Advanced Studies. 2018. Т. 8, № 4-2. С. 136–144. EDN: YSZFET.
5. Ткачев А. А., Ольгаренко И. В. Современные проблемы в управлении водораспределением в магистральных каналах оросительных систем // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации [Электронный ресурс]. 2021. Т. 11, № 2. С. 1–23. URL: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1192> (дата обращения: 09.06.2023). DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-1-23. EDN: NTRFMJ.
6. Носиков А. Ю. Обзор контроллеров фирмы Siemens серии 1200 // Фундамен-

тальная и прикладная наука: состояние и тенденции развития: сб. ст. XII Междунар. науч.-практ. конф. Петрозаводск, 2021. С. 106–112.

7. Махмудов И. Э., Садиев У. А., Каршиев Р. Ж. Методы повышения эффективности и надежности при использовании воды в ирригационных каналах. Praha: Premier Publishing s.r.o., 2022. 116 с. DOI: 10.29013/IMRUWIC. EDN: EWOAQK.

8. Николаенко С. А., Зверев И. В., Храпов В. А. Автоматизация технологических линий с помощью логических контроллеров компании Delta Electronics серии DVP-SS2 на примере часто используемых блоков команд // Colloquium-Journal. 2018. № 11-7(22). С. 55–57.

9. Храпов В. А., Зверев И. В. Применение ПЛК компании Delta Electronics серии DVP-SS2 в современном фермерском хозяйстве // Аллея науки. 2018. Т. 2, № 9(25). С. 845–850. EDN: VNNFHW.

10. Косиченко Ю. М., Баев О. А., Гарбуз А. Ю. Оценка комплексной реконструкции и модернизации оросительных систем // Мелиорация и водное хозяйство. 2021. № 2. С. 6–11. DOI: 10.32962/0235-2524-2021-2-6-11. EDN: BUJXCY.

11. Онацкий А. А., Коренев М. В. Автоматизированные системы, применяемые в гидромелиорации // Научные труды студентов Ижевской ГСХА: сборник / ФГБОУ ВО «Ижевская ГСХА». Ижевск, 2021. С. 1421–1423.

12. Developing a centralized automatic control system to increase flexibility of water delivery within predictable and unpredictable irrigation water demands / S. M. Hashemy Shahdany, S. Taghvaeian, J. M. Maestre, A. R. Firoozfar // Computers and Electronics in Agriculture. 2019. Vol. 163. 104862. DOI: 10.1016/j.compag.2019.104862.

13. Yin Yin Mon, Win Moet Moet Htwe, Khin Ei Ei Khine. Simulation of automatic water level control system by using programmable logic controller // International Journal of Trend in Scientific Research and Development. 2019. Vol. 3, iss. 4. P. 1621–1628.

14. Management of water losses in water supply and distribution networks in Turkey / B. Selek, A. Adigüzel, Ö. İritaş, Y. Karaaslan, C. Kinacı, A. Muhammetoğlu, H. Muhammetoğlu // Turkish Journal of Water Science and Management. 2018. Vol. 2(1). P. 58–75. DOI: 10.31807/tjwsm.354298.

15. Reliable, resilient, and sustainable water management in different water use sectors / S. Javadinejad, K. Ostad-Ali-Askari, V. P. Singh, M. Shayannejad // Water Conservation Science and Engineering. 2019. 4. P. 133–148. <https://doi.org/10.1007/s41101-019-00073-6>.

16. Lajus C. R., Moretto M. A., Bagnara R. A. Application of open source technologies to the integrated water management resources // International Journal of Science and Research. 2019. Vol. 8, iss. 7. P. 279–282.

17. Современные методы управления водораспределением на перегораживающих сооружениях оросительных систем с использованием контроллеров различного типа / Д. А. Симончук, Д. В. Титаренко, В. П. Петров, Е. А. Павлов // Мелиорация и водное хозяйство: материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Шумаковские чтения), посвящ. 120-летию со дня рождения ученого в области гидравлики Скибы Михаила Матвеевича / НИМИ им. А. К. Кортунова. Новочеркасск, 2022. С. 133–138.

18. Комплекс мелиоративных мероприятий при управлении водораспределением на каналах оросительной сети / И. Г. Литуновский, Д. В. Титаренко, А. М. Рулевский, М. С. Ломки // Мелиорация и водное хозяйство: материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Шумаковские чтения), посвящ. 120-летию со дня рождения ученого в области гидравлики Скибы Михаила Матвеевича / НИМИ им. А. К. Кортунова. Новочеркасск, 2022. С. 119–122.

19. Хаджиди А. Е., Буханиф И., Чижевская Н. А. Повышение эффективности на водораспределительной оросительной системы Новокубанском канале // Теория и практика современной аграрной науки: сб. VI Нац. (всерос.) науч. конф. с междунар. участием. Новосибирск, 2023. С. 421–424.

20. Быков Н. А. Пути совершенствования процесса водораспределения на оросительных системах // Материалы Международной научной конференции молодых ученых и специалистов, посвященной 135-летию со дня рождения А. Н. Костякова: сб. ст. 2022. С. 98–102.

References

1. Yurchenko I.F., 2019. *Avtomatizatsiya, elektronizatsiya, informatizatsiya, kak predshestvenniki tsifrovizatsii melioratsii* [Automation, electronization, information as predecessors of digitalization of land reclamation]. *Problemy razvitiya sel'skokhozyaystvennykh melioratsiy i vodokhozyaystvennogo kompleksa na baze tsifrovyykh tekhnologiy: materialy Mezhdunarodnoy yubileynoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Problems of Development of Agricultural Land Reclamation and Water Management Complex Based on Digital Technologies: Proc. of the International Anniversary Scientific-Practical Conference], vol. 1, Moscow, VNIIGiM named after A. N. Kostyakov, pp. 76-84, EDN: BONERI. (In Russian).

2. Bykova A.V., 2021. *Peredacha dinamicheskikh pokazateley s tsifrovyykh datchikov cherez kontroller Arduino NANO na kontroller Arduino UNO* [Transfer of dynamic values from digital sensors through the Arduino NANO controller to the Arduino UNO controller]. *Innovatsionnye nauchnye issledovaniya* [Innovative Scientific Research], no. 6-3(8), pp. 264-269, <https://doi.org/10.5281/zenodo.5529127>. (In Russian).

3. Baramykov M.R., 2022. *Poetapnoe vnedrenie elementov tsifrovizatsii v GMS* [Staged introduction of digitalization elements in the irrigation and drainage system]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 5, pp. 25-29, DOI: 10.32962/0235-2524-2022-5-25-29, EDN: AWQASM. (In Russian).

4. Tkachev A.A., Zarubin V.V., 2018. *Perspektivy razvitiya avtomatizatsii upravleniya vodoraspredeleniem na orositel'nykh sistemakh* [Prospects of development of water distribution automation in irrigation systems]. *International Journal of Advanced Studies*, vol. 8, no. 4-2, pp. 136-144, EDN: YSZFET. (In Russian).

5. Tkachev A.A., Olgarenko I.V., 2021. [Urgent problems of water distribution management in main canals of irrigation systems]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, vol. 11, no. 2, pp. 1-23, available: <http://www.rosniipm-sm.ru/article?n=1192> [accessed 09.06.2023], DOI: 10.31774/2222-1816-2021-11-2-1-23, EDN: NTRFMJ. (In Russian).

6. Nosikov A.Yu., 2021. *Obzor kontrollerov firmy Siemens serii 1200* [Siemens 1200 series controller overview]. *Fundamental'naya i prikladnaya nauka: sostoyanie i tendentsii razvitiya: sb. st. XII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Fundamental and Applied Science: Status and Development Trends: Collection of Articles of the XII International Scientific-Practical Conference]. Petrozavodsk, pp. 106-112. (In Russian).

7. Makhmudov I.E., Sadiev U.A., Karshiev R.Zh., 2022. *Metody povysheniya effektivnosti i nadezhnosti pri ispol'zovanii vody v irrigatsionnykh kanalakh* [Methods for Increasing Efficiency and Reliability when Using Water in Irrigation Canals]. Praha, Premier Publishing s.r.o., 116 p., DOI: 10.29013/IMRUWIC, EDN: EWOAQK. (In Russian).

8. Nikolaenko S.A., Zverev I.V., Khrapov V.A., 2018. *Avtomatizatsiya tekhnologicheskikh liniy s pomoshch'yu logicheskikh kontrollerov kompanii Delta Electronics serii DVP-SS2 na primere chasto ispol'zuyemykh blokov komand* [Automation of technological lines using logic controllers of Delta Electronics DVP-SS2, using the example of frequently used command blocks]. *Colloquium-Journal*, no. 11-7(22), pp. 55-57. (In Russian).

9. Khrapov V.A., Zverev I.V., 2018. *Primenenie PLK kompanii Delta Electronics serii DVP-SS2 v sovremenном fermerskom khozyaystve* [Application of Delta Electronics PLC DVP-SS2 series in modern farming]. *Alleya nauki* [Alley of Science], vol. 2, no. 9(25), pp. 845-850, EDN: VNNFHW. (In Russian).

10. Kosichenko Yu.M., Baev O.A., Garbuz A.Yu., 2021. *Otsenka kompleksnoy rekon-*

struktсии i modernizatsii orositel'nykh sistem [Assessment of integrated reconstruction and modernization of irrigation systems]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* [Land Reclamation and Water Management], no. 2, pp. 6-11, DOI: 10.32962/0235-2524-2021-2-6-11, EDN: BUJXCY. (In Russian).

11. Onatsky A.A., Korenev M.V., 2021. *Avtomatizirovannyye sistemy, primenyaemye v gidromelioratsii* [Automated systems used in hydromelioration]. *Nauchnye trudy studentov Izhevskoy GSKHA: sbornik* [Students Scientific Papers of Izhevsk State Agricultural Academy: Collection of Articles]. Izhevsk, pp. 1421-1423. (In Russian).

12. Hashemy Shahdany S.M., Taghvaeian S., Maestre J.M., Firoozfar A.R., 2019. Developing a centralized automatic control system to increase flexibility of water delivery within predictable and unpredictable irrigation water demands. *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 163, 104862, DOI: 10.1016/j.compag.2019.104862.

13. Yin Yin Mon, Win Moet Moet Htwe, Khin Ei Ei Khine, 2019. Simulation of automatic water level control system by using programmable logic controller. *International Journal of Trend in Scientific Research and Development*, vol. 3, iss. 4, pp. 1621-1628.

14. Selek B., Adıgüzel A., İritaş Ö., Karaaslan Y., Kınacı C., Muhammetoğlu A., Muhammetoğlu H., 2018. Management of water losses in water supply and distribution networks in Turkey. *Turkish Journal of Water Science and Management*, vol. 2(1), pp. 58-75, DOI: 10.31807/tjwsm.354298.

15. Javadinejad S., Ostad-Ali-Askari K., Singh V.P., Shayannejad M., 2019. Reliable, resilient, and sustainable water management in different water use sectors. *Water Conservation Science and Engineering*, vol. 4, pp. 133-148, <https://doi.org/10.1007/s41101-019-00073-6>.

16. Lajus C.R., Moretto M.A., Bagnara R.A., 2019. Application of open source technologies to the integrated water management resources. *International Journal of Science and Research*, vol. 8, iss. 7, pp. 279-282.

17. Simonchuk D.A., Titarenko D.V., Petrov V.P., Pavlov E.A., 2022. *Sovremennyye metody upravleniya vodoraspredeleniem na peregorazhivayushchikh sooruzheniyakh orositel'nykh sistem s ispol'zovaniem kontrollerov razlichnogo tipa* [Modern methods of water distribution management on the blocking structures of irrigation systems using different types of controllers]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Shumakovskie chteniya), posvyashchenoy 120-letiyu so dnya rozhdeniya uchenogo v oblasti gidravliki Skiby Mikhaila Matveevicha* [Land Reclamation and Water Management: Proc. of All-Russian Scientific-Practical Conference (Shumakov Readings), Dedicated to the 120th Anniversary of the Scientist in the Field of Hydraulics Skiba M.M.]. Novocherkassk Land Reclamation Engineering Institute named after A.K. Kortunov, Novocherkassk, pp. 133-138. (In Russian).

18. Litunovsky I.G., Titarenko D.V., Rulevsky A.M., Lomki M.S., 2022. *Kompleks meliorativnykh meropriyatiy pri upravlenii vodoraspredeleniem na kanalakh orositel'noy seti* [Set of reclamation measures for water distribution management on irrigation network canals]. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (Shumakovskie chteniya), posvyashchenoy 120-letiyu so dnya rozhdeniya uchenogo v oblasti gidravliki Skiby Mikhaila Matveevicha* [Land Reclamation and Water Management: Proc. of All-Russian Scientific-Practical Conference (Shumakov Readings), Dedicated to the 120th Anniversary of the Scientist in the Field of Hydraulics Skiba M.M.]. Novocherkassk Land Reclamation Engineering Institute named after A.K. Kortunov, Novocherkassk, pp. 119-122. (In Russian).

19. Khadzhibidi A.E., Buharif I., Chizhevskaya N.A., 2023. *Povyshenie effektivnosti na vodoraspredelitel'noy orositel'noy sistemy Novokubanskom kanale* [Increasing the efficiency of water distribution irrigation system of the Novokuban Channel]. *Teoriya i praktika sovremennoy agrarnoy nauki: sbornik VI Natsionalnoy (vserossiyskoy) nauchnoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Theory and Practice of Modern Agricultural Science: Collection

of the VI National (All-Russian) Scientific Conference with International Participation]. Novosibirsk, pp. 421-424. (In Russian).

20. Bykov N.A., 2022. *Puti sovershenstvovaniya protsessa vodoraspredeleeniya na orositel'nykh sistemakh* [Ways of improving the process of water distribution in irrigation systems]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh i spetsialistov, posvyashchennoy 135-letiyu so dnya rozhdeniya A. N. Kostyakova* [Proc. of the International Scientific Conference of Young Scientists and Specialists, dedicated to the 135th Anniversary of the birth of A.N. Kostyakov], pp. 98-102. (In Russian).

Информация об авторах

А. А. Ткачев – заведующий кафедрой гидротехнического строительства, доктор технических наук, доцент, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация, prof_al@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8060-620X>, AuthorID: 451904;

Е. О. Скляренко – доцент, кандидат технических наук, доцент, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация, SklyarenkoElen@yandex.ru;

К. И. Ключенко – аспирант 2-го года обучения, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация, gts_i_sm.nimi@mail.ru;

И. Г. Литуновский – аспирант 1-го года обучения, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация, gts_i_sm.nimi@mail.ru;

Д. А. Симончук – аспирант 1-го года обучения, Новочеркасский инженерно-мелиоративный институт имени А. К. Кортунова – филиал Донского государственного аграрного университета, Новочеркасск, Российская Федерация, gts_i_sm.nimi@mail.ru.

Information about the authors

A. A. Tkachev – Head of the Department of Hydraulic Engineering, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Novochoerkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novochoerkassk, Russian Federation, prof_al@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8060-620X>, AuthorID: 451904;

E. O. Sklyarenko – Associate Professor, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Novochoerkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novochoerkassk, Russian Federation, SklyarenkoElen@yandex.ru;

K. I. Klyuchenko – Postgraduate Student of the 2nd year of study, Novochoerkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novochoerkassk, Russian Federation, gts_i_sm.nimi@mail.ru;

I. G. Litunovsky – Postgraduate Student of the 1st year of study, Novochoerkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novochoerkassk, Russian Federation, gts_i_sm.nimi@mail.ru;

D. A. Simonchuk – Postgraduate Student of the 1st year of study, Novochoerkassk Engineering and Land Reclamation Institute – branch of the Don State Agrarian University, Novochoerkassk, Russian Federation, gts_i_sm.nimi@mail.ru.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Все авторы в равной степени несут ответственность за нарушения в сфере этики научных публикаций.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

All authors are equally responsible for ethical violations in scientific publications.

Мелиорация и гидротехника. 2023. Т. 13, № 4. С. 413–432.
Land Reclamation and Hydraulic Engineering. 2023. Vol. 13, no. 4. P. 413–432.

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.*

*Статья поступила в редакцию 21.06.2023; одобрена после рецензирования 27.09.2023;
принята к публикации 17.10.2023.
The article was submitted 21.06.2023; approved after reviewing 27.09.2023; accepted for
publication 17.10.2023.*