Научная статья
УДК 66-5
EDN: XZCOXS
DOI: 10.21285/2227-2917-2024-3-608-616

Мероприятия по увеличению степени надежности и эффективности работы систем водоснабжения и водоотведения

И.Ю. Шелехов[1], О.Л. Лавыгина[2]✉, А.И. Шелехова[3], В.Н. Кульков[4], А.И. Кармалов[5]

[1,2,3,4]Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия
[5]Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (Сибстрин), г. Новосибирск, Россия

Аннотация. Надежность работы систем водоснабжения и водоотведения оказывает существенное влияние на окружающую среду, поэтому необходимо внедрять новые методы и способы, которые способствуют снижению риска возникновения аварийных ситуаций. Основываясь на опыте по автоматизации, обслуживанию и модернизации систем водоотведения и водоснабжения было принято решение по введению в автоматизированные системы управления дополнительных программируемых блоков, которые осуществляют контроль и регулирование непосредственно на исполнительном механизме. Для этого была использована среда программирования OWEN Logic, которая управляет насосными станциями через программируемые реле. В статье приводятся функциональные схемы, которые были внесены в стандартные макросы для увеличения степени надежности насосных агрегатов. Также было показано, что внедрение многоуровневого управления позволяет беспрепятственно совершенствовать действующие системы водоснабжения и водоотведения, увеличивать их функциональные возможности и обеспечивать благоприятную работу технологического оборудования. На основании проведенного анализа авторы приходят к выводу, что внедрение данного метода управления технологическими режимами поможет увеличить степень надежности и долговечности насосного оборудования, обеспечит бесперебойную работу насосных станций. При изменении производительности систем водоснабжения и водоотведения, установленные устройства позволят модернизировать их с минимальными экономическими издержками, возможно перепрограммировать работу низкого звена автоматизации, не влияя на работу других звеньев.

Ключевые слова: водоснабжение, водоотведение, насосный агрегат, частотный регулятор, надежность, эффективность

***Для цитирования*:** Шелехов И.Ю., Лавыгина О.Л., Шелехова А.И., Кульков В.Н., Кармалов А.И. Мероприятия по увеличению степени надежности и эффективности работы систем водоснабжения и водоотведения // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2024. Т. 14. № 3. С. 608–616. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-608-616. EDN: XZCOXS.

Original article

Measures to increase the reliability and efficiency of water supply and wastewater disposal systems

Igor Yu. Shelekhov[1], Olga L. Lavygina[2]✉, Anastasia I. Shelekhova[3], Victor N. Kulkov[4], A.I. Karmalov[5]

[1,2,3,4]Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia
[5]Novosibirsk State University of Architecture and Civil Engineering (Sibstrin), Novosibirsk, Russia

© Шелехов И.Ю., Лавыгина О.Л., Шелехова А.И., Кульков В.Н., Кармалов А.И., 2024

Abstract. The reliability of water supply and wastewater disposal systems has a significant impact on the environment: therefore, it is essential to implement new methods and approaches that reduce the risk of emergency situations. Based on the experience in automation, maintenance and modernization of wastewater disposal and water supply systems, the study suggests introducing additional programmable modules into automated control systems that provide control and regulation directly on the actuator. For this purpose, the study involves OWEN Logic programming environment, which manages pumping stations through programmable relays. The paper presents functional diagrams that have been introduced into standard macros to increase the reliability of pumping units. In addition, the paper demonstrates that the implementation of multi-level management facilitates the improvement of existing water supply and wastewater disposal systems, thereby increasing their functional capabilities and ensuring the efficient operation of technological equipment. The conducted analysis shows that the adoption of this method for managing technological processes will enhance the reliability and durability of the equipment, ensuring uninterrupted operation of pumping stations. With a change in the performance of water supply and wastewater disposal systems, the installed devices will allow for modernization with minimal economic costs, and reprogramming the operation of the low-level automation without affecting the performance of other levels.

Keywords: water supply, drainage, pumping unit, frequency controller, reliability, efficiency

For citation: Shelekhov I.Yu., Lavygina O.L., Shelekhova A.I., Kulkov V.N., Karmalov A.I. Measures to increase the reliability and efficiency of water supply and wastewater disposal systems. *Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate.* 2024;14(3):608-616. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2024-3-608-616. EDN: XZCOXS.

ВВЕДЕНИЕ

Системы водоснабжения и водоотведения являются неотъемлемой частью функционирования современных объектов капитального строительства. В связи с высокой степенью физического износа, эксплуатируемые канализационные очистные сооружения не обеспечивают нормативных показателей по качеству очистки, что приводит к негативному воздействию на поверхностные водоемы, а эксплуатирующие организации вынуждены оплачивать сверхлимитные платежи за негативное воздействие. Современное природоохранное законодательство обязывает всех водопользователей реализовывать водоохранные мероприятия в зоне осуществления своей деятельности, обеспечивать экологическую безопасность, внедрять природоохранные технологии. Модернизация действующих систем водоснабжения и водоотведения требует применение интеллектуальных систем автоматизации с разработкой информационных моделей управления технологическими процессами как малого, так и большого уровня [1–3].

Преимущества и возможности автоматизированных систем управления очевидны: чем меньше человек вмешивается в технологический процесс, тем надежней и качественней он осуществляется. Поэтому, процесс автоматизации должен осуществляться специалистами, обладающими знаниями из разных областей науки. Чтобы обеспечить оперативную реакцию на происходящие события, обеспечить контроль и управление работающими системами очистки в зависимости от количества сточных вод, от вида и концентрации вредных веществ в этих водах, необходимо разрабатывать аппаратные и программные решения, чтобы максимально снизить вероятность попадания загрязняющих веществ в окружающую среду [4–7]. Для разработки данных решений должны привлекаться специалисты, обладающие знаниями в области водоснабжения и водоотведения. Для того, чтобы организовать программное управление технологическим процессом, необходимы специалисты, владеющие программными средствами. Они в свою очередь должны понимать как происходит анализ и работа технологического оборудования для того, чтобы обеспечить надежную и длительную работу узлов и агрегатов системы [8]. Системы водоснабжения и водоотведения должны работать в определенном диапазоне давлений, независимо от количества и качества перекачиваемой жидкости, пуск и остановка насосных агрегатов, закрытие и открытие задвижек может привести к резкому перепаду давления и созданию аварийных ситуаций из-за нарушений герметичности и разрушения технологического оборудования. Для снижения этих негативных факторов стало широко применяться частотное регулирование электродвигателями. С помощью частотных регуляторов не только меняют производительность насосных агрегатов, но и обеспечивают плавный пуск и остановку двигателей.

Непрофессиональное применение частотного регулирования может существенно снизить срок эксплуатации насосных агрегатов, т. к. их работа должна осуществляться в регламентированном диапазоне как по давлению, так и по производительности [9, 10]. Настройка автоматического регулирования работы насосных станций в различных технологических режимах до сих пор остается актуальной научной задачей, при которой необходимо рассчитать напорную характеристику, которая задается векторными характеристиками подача–напор и подача–мощность для конкретных условий.

Улучшение характеристик насосных станций, увеличение их срока службы существенно влияет не только на эффективность работы систем водоснабжения и водоотведения, но и на экономические показатели [11].

МЕТОДЫ

Исследования многих ученых показывают, что в системах водоснабжения и водоотведения количество перекачиваемой жидкости меняется в зависимости от времени года и времени суток, разница в перекачиваемом объеме может отличаться в несколько раз, особенно это ярко выражено на производственных предприятиях [12, 13]. Следовательно, при использовании частотного управления работа насоса может происходить как при малой производительности, так и при большой. Вероятность того, что при управлении по давлению насосный агрегат может выйти из разрешенной рабочей области, очень велика, что приведет к сокращению срока службы агрегата [14]. Защита насоса от работы при большой нагрузке не вызывает особой трудности, т. к. большинство частотных регуляторов оснащено защитой от перегрузки и ограничение наступает до того момента, когда насос попадает в верхнюю неблагоприятную для работы зону. В тех случаях, когда работа системы происходит с ограничением по нагрузке, параллельно основному насосному агрегату устанавливается дополнительный с непосредственным питанием от сети без частотного регулирования, тем самым снимая ограничение попадания дополнительного оборудования в неблагоприятные зоны для работы. Нередки случаи, когда параллельно устанавливаются несколько насосных агрегатов, которые могут работать как при недостаточной нагрузке, так и при перегрузке. Если на каждый насос и задвижку установить частотный регулятор, то возможно осуществлять корректировку рабочего диапазона насосного агрегата, обеспечивать плавную работу двигателей и задвижек. К сожалению, по очень многим причинам, обеспечить полную автоматизацию невозможно как в техническом плане, так и по экономическим соображениям. Применение программируемых логических контролеров (ПЛК) позволяет удовлетворить возрастающие потребности эксплуатирующих организаций в области управления системами водоснабжения и водоотведения. Имея большое количество различных архитектурных решений, большую скорость обработки данных и возможность объединения в единую сеть, инженеры, работающие в области автоматизации технологических процессов, могут создавать многоуровневые системы управления [15], в том числе в области водоснабжения и водоотведения. Автоматизация данных систем отличается уникальностью, создаваемые математические модели для программного управления режимами работы должны содержать малое число идентифицируемых параметров для отражения основных свойств управляемой системы, что в большинстве случаев невозможно. Поэтому, создаваемые математические модели работают по упрощенному принципу, чтобы снизить отрицательное влияние на исходный результат. Разработчики таких систем исключают возможные ограничения, наложенные на технологическое оборудование нижнего уровня, акцентируя внимание на стабилизацию промежуточных параметров подачи жидкости.

Необходимо создавать автоматические системы нижнего уровня, которые могут работать автономно, независимо от всего технологического цикла.

При этом мы получаем систему двухзвенного или трехзвенного управления, где на низком уровне задаются требуемые параметры, при выполнении которых дается команда на верхний уровень для выполнения следующей операции [16]. Применение данного метода управления, при котором осуществляется распределение интеллекта по уровням, позволяет системе работать автономно на каждом уровне и не зависеть от управления всей системы, что в значительной степени увеличивает надежность работы в целом.

При этом увеличивается не только степень надежности системы, но и возможность модернизации и усовершенствования ее каждого звена [17].

Опыт по осуществлению контроля за работой насосных станций на нижнем уровне автоматизированных систем водоснабжения провели в г. Самара во время комплексной реконструкции внутриквартальных станций подкачки.

За счет внедрения программного способа управления частотными регуляторами удалось существенно увеличить степень надежности и

эффективности системы водоснабжения города в целом.

Методика уровневого управления сложными автоматическими системами оправдывает себя, т. к. позволяет осуществлять независимый анализ работы каждого звена и разрабатывать независимый алгоритм его управления. Это особенно актуально для работы насосных агрегатов, т. к. они подбираются по усредненному показателю, с учетом того, что они будут эксплуатироваться в режиме рабочего диапазона, а на практике эксплуатация осуществляется за его пределами. При проведении натурных исследований, применяя стандартные статистические методы, можно определить временной интервал, когда и в каком режиме должны эксплуатироваться насосные станции и осуществить корректировку работы как самого насоса, так и запорно-регулирующую аппаратуру. Используя данные методы и методики, мы разработали систему программного управления насосными агрегатами, основываясь на их температурном режиме работы.

В основу разрабатываемого программного управления было положено три основных признака:

1. Через определенный промежуток времени любой двигатель, работающий под нагрузкой, должен находиться в определенном температурном диапазоне.

2. Если двигатель не выходит на заданный температурный интервал, необходимо на выходе из насоса создать дополнительное гидравлическое сопротивление.

3. Если температура двигателя приближается к верхнему диапазону значения рекомендованной температуры, необходимо включить резервный насос и убрать на выходе основного насоса гидравлическое сопротивление. Для реализации процесса управления системами транспортировки жидкости была использована среда программирования OWEN Logic, которая управляет насосными станциями через программируемые реле.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Идет активное внедрение управления системами водоснабжения и водоотведения на основе ПЛК, в которые закладываются сложные и многофункциональные алгоритмы управления. Как уже отмечалось выше, при применении одного многофункционального блока всегда будет присутствовать вероятность, что один или несколько исполнительных механизмов в определенные технологические моменты будут работать не в соответствии со своими рекомендованными параметрами. Данная ситуация часто встречается при параллельной работе двух и более насосных агрегатов, когда один из них работает с использованием частотного регулирования. Для того, чтобы работа насосных агрегатов находилась в рабочей области, в ручном или автоматическом режиме регулируют положением задвижек как это показано на рис. 1.

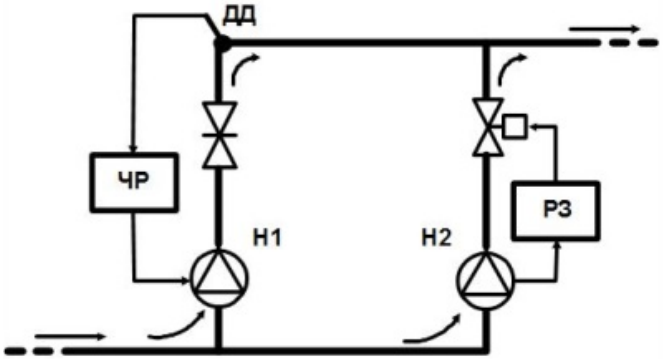

Рис. 1. Параллельная работа двух насосных агрегатов:
Н1 – насосный агрегат № 1, Н2 – насосный агрегат № 2, ЧР – частотный регулятор,
ДД – датчик давления, РЗ – регулятор положения задвижки
Fig. 1. Parallel operation of two pumping units:
H1 – pumping unit No. 1, H2 – pumping unit No. 2, FR – frequency regulator,
PS – pressure sensor, VR – valve position regulator

Как видно из рис. 1, схема управления работой насосных агрегатов достаточно простая, при необходимости данное управление можно осуществлять в автономном режиме, если ввести дополнительный уровень автоматизации. Проведенный литературный обзор и анализ действующих систем водоснабжения и водоотведения показал, что данное решение не обеспечивает необходимый уровень надежности и эффективности. Для автономного управления

аналогичными агрегатами были применены программируемые реле (ПР), устройства, которые представляют из себя упрощенный вариант ПЛК, но с более приемлемой стоимостью. Для создания автономной системы управления были использованы достаточно простые ПР, которые вместе с интерфейсом RS-485 обходятся в сумму менее 10 тыс. руб. Для данных устройств имеются штатные макросы, которые в аналогичном режиме, как и ПЛК, управляют насосными агрегатами. Для реализации нашего алгоритма управления в программный код были введены изменения.

Введены две дополнительные функции по измерению температуры перекачиваемой жидкости и температуры двигателя, а также по вычислению их среднего значения (рис. 2).

Следующая функция, показанная на рис. 3, сравнивает полученное значение температуры с нормированным значением.

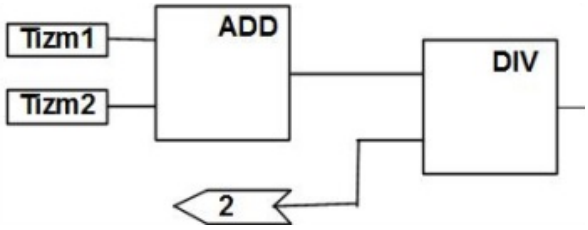

Рис. 2. Функция измерения и вычисления средней температуры
Fig. 2. The function of measuring and calculating the average temperature

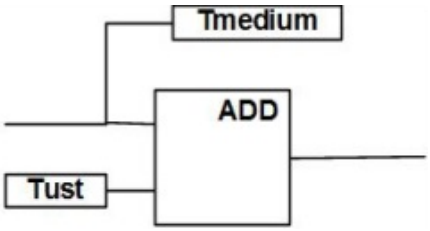

Рис. 3. Функция сравнения с нормированной температурой
Fig. 3. The comparison function with the normalized temperature

Так как на заданный интервал температур двигатель выходит через определенный промежуток времени, мы в стандартный макрос вводим функцию таймера, в котором указываем отрезок времени, через который необходимо принять решение о перемещении задвижки в зависимости от измеренной температуры (рис. 4).

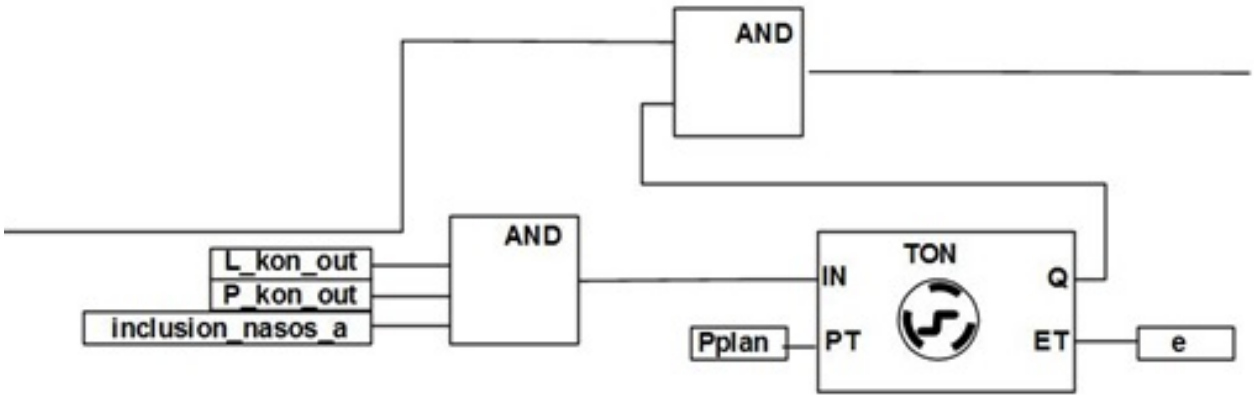

Рис. 4. Функция временной задержки
Fig. 4. Time delay function

Большинство инженерных систем, работающих в области водоснабжения или водоотведения, являются технологическими конструкциями с неравномерным расходом энергии. В течение технологических циклов значения максимальной и минимальной нагрузки значительно отличаются, а в области своих номинальных нагрузок система может работать не

более 10–15 % времени. До появления частотных регуляторов регулирование нагрузки осуществлялось за счет задвижек, данный метод назывался дросселирование.

Данный метод представляет собой то, что насос работает на своей номинальной нагрузке, а за счет задвижек с электроприводом осуществляется увеличение или уменьшение подачи жидкости. При массовом переходе на частотное управление разработчики программного управления отказались от данного способа управления. Опыт эксплуатации данных инженерных систем показал, что необходимо частично использовать данный метод, и организовать их работу отдельно от других возмущающих факторов, в частности от рабочего диапазона работы двигателей насосных агрегатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение частотного регулирования и современных средств программного управления сделало революционный скачок в области экономии энергетических затрат, снизилось количество повреждений трубопроводов и технологического оборудования за счет сглаживания перепадов давления при открывании–закрывании задвижек. При осуществлении работы по автоматизации инженерных систем, настройке и их обслуживанию было замечено, что со временем общая производительность данных систем меняется, что негативно сказывается на работе технологического оборудования. Повлиять на процесс изменения диапазона, изменения производительности систем невозможно. Количество абонентов централизованных систем водоснабжения и водоотведения всегда будет увеличиваться, технологические циклы производств будут изменяться, соответственно, необходимо применять иные методы и подходы, которые позволят поддерживать работу систем водоснабжения и водоотведения в работоспособном состоянии.

Апробирование нашего метода по разбивке данных инженерных систем на различные уровни управления показало, что надежность систем значительно повышается, отсутствуют отказы в работе насосных агрегатов.

Кроме этого, применение недорогих и надежных в работе программируемых реле открывает новые возможности по усовершенствованию данных систем.

Все сложные технологические процессы можно разбить на более простые, и в рамках простых процессов поставить конкретные задачи по автоматизации.

При данном подходе для обеспечения работоспособности системы не требуется большое количество вводов–выводов, при этом появляется возможность перепрограммирования этих устройств под новые задачи.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Safonyk A., Targoniy I., Yuriy M., Bomba A. Research and Automation of the Process of Wastewater Treatment Electrocoagulation // 2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT) (Lviv, 11–14 September 2018). Lviv, 2018. p. 84–88. https://doi.org/10.1109/STC-CSIT.2018.8526661.

2. Назаров М.А., Варламов Н.А. Математическое описание физико-химической очистки сточных вод в напорном флотаторе как объекта автоматизации // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии. 77-я Всеросс. науч.-техн. конф. (г. Самара, 26–30 октября 2020 г.). Самара, 2020. С. 494–500. EDN: PHWKTX.

3. Sweeney M.W., Kabouris J.C. Modeling, Instrumentation, Automation, and Optimization of Wastewater Treatment Facilities // Water Environment Research. 2002. Vol. 74. P. 610–643. https://doi.org/10.2175/106143002X140549. EDN: UUTJYR.

4. Асланов М.Т., Исмаилов С.У., Мусабеков А.А. Использование современных технологий автоматизации для поддержки проектов по очистке сточных вод // Научные труды ЮКГУ им. М. Ауэзова. 2014. № 2 (29). С. 22–26. EDN: GRZDHZ.

5. Лавыгина О.Л., Гребнева О.А., Алексеев А.В. Снижение экологических рисков при реализации мероприятий по реконструкции системы водоотведения на территории центральной экологической зоны оз. Байкал // Известия вузов. Инвестиции. Строительство. Недвижимость. 2022. Т. 12. № 1. С. 62–69. https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-62-69. EDN: SYAUWD.

6. Moldovan A., Nuca I. Automation of Wastewater Treatment Plant // 2019 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN) (Craiova, 09–11 October 2019). Craiova, 2019. p. 1–4. https://doi.org/10.1109/SIELMEN.2019.8905867. EDN: JOHCSS.

7. Zhang W., Mueller A.V., Tooker N.B. Enabling Wastewater Treatment Process Automation: Leveraging Innovations in Real-Time Sensing, Data Analysis, And Online Controls // Environmental Science: Water Research and Technology. 2020. Vol. 6. Iss. 11. P. 2973–2992. https://doi.org/10.1039/d0ew00394h. EDN: LCIDJP.

8. Diehl S. Shock-Wave Behaviour of Sedimentation in Wastewater Treatment: A Rich Problem // Springer Proceedings in Mathematics. Tribute Workshop in Honour of Gunnar SPARR (Lund, 08–09 May 2008). Lund, 2012. P. 175–214. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20236-0_7. EDN: SOUUON.
9. Ракицкий Д.С., Егорова Ю.А., Нагорный С.Л., Табунков А.С., Фролов Е.С. Оптимизация работы квартальных насосных станций ООО «Самарские коммунальные системы». Комплексный подход к реконструкции насосных станций подкачки // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. Строительные технологии. 2018. С. 303–309. EDN: YNEUGL.
10. Николенко И.В., Котовская Е.Е., Котовский А.Е. Определение фактических параметров эксплуатации силовых агрегатов подкачивающих насосных станций // Известия высших учебных заведений. Строительство. 2022. № 6 (762). С. 56–69. https://doi.org/10.32683/0536-1052-2022-762-6-56-69. EDN: RYMAZC.
11. Тарасов А.В. Исследование методов повышения эффективности насосных станций // Молодежь и XXI век – 2020: материалы X Междунар. молодежной науч. конф. (г. Курск, 19–20 февраля 2020 г.). Курск, 2020. С. 368–370. EDN: PCYDMY.
12. Суржко О.А., Оковитая К.О. Автоматизация процессов очистки сточных вод птицефабрик // Инновационная наука. 2016. № 12–2. С. 108–111. EDN: XETTGX.
13. Шелехов И.Ю., Янченко В.А., Пальчиков С.Н. Оптимизация системы горячего водоснабжения цеха по производству майонеза // Тенденции развития науки и образования. 2023. № 93–8. С. 130–132. https://doi.org/10.18411/trnio-01-2023-417. EDN: JVKXFI.
14. Safonyk A., Tarhonii I., Bomba A. Modeling and Automation of the Electrocoagulation Process in Water Treatment // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. Vol. 871. P. 451–463. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01069-0_32. EDN: XFVLMH.
15. Bebikhov Y.V., Podkamenniy Y.A., Semenov A.S. Development of an Automatic Process Control System for Biological Wastewater Treatment // Lecture Notes in Electrical Engineering. 2022. Vol. 857 LNEE. P. 3–13. https://doi.org/10.1007/978-3-030-94202-1_1. EDN: ABIXQB.
16. Макарова И.А. Автоматизация и выбор управления системами непрерывного действия сорбционной очистки сточных вод // Инженерный вестник Дона. 2023. № 6 (102). С. 753–767. EDN: PDIAZU.
17. Оковитая К.О. Совершенствование технологий очистки сточных вод мясоперерабатывающих предприятий // Инновационная наука. 2016. № 5–2 (17). С. 174–176. EDN: VWVXUR.

REFERENCES

1. Safonyk A., Targoniy I., Yuriy M., Bomba A. Research and Automation of the Process of Wastewater Treatment Electrocoagulation. In: *2018 IEEE 13th International Scientific and Technical Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT)*. 11–14 September 2018, Lviv. Lviv; 2018. p. 84–88. https://doi.org/10.1109/STC-CSIT.2018.8526661.
2. Nazarov M.A., Varlamov N.A. Mathematical Description of the Physico-Chemical Wastewater Treatment in Dissolved Air Flotator as Automation Object. In: *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Stroitel'nye tekhnologii. 77-ya Vserossiiskaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya = Traditions and Innovations in Construction and Architecture. Construction Technologies. 77th All-Russian Scientific and Technical Conference.* 26–30 October 2020, Samara. Samara; 2020. p. 494–500. (In Russ.). EDN: PHWKTX.
3. Sweeney M.W., Kabouris J.C. Modeling, Instrumentation, Automation, and Optimization of Wastewater Treatment Facilities. *Water Environment Research*. 2002;74:610-643. https://doi.org/10.2175/106143002X140549. EDN: UUTJYR.
4. Aslanov M.T., Ismailov S.U., Musabekov A.A. Using Modern Automation Technologies to Support Wastewater Treatment Projects. *Nauchnye trudy YuKGU im. M. Auezova.* 2014;2(29):22-26. (In Russ.). EDN: GRZDHZ.
5. Lavygina O.L., Grebneva O.A., Alekseev A.V. Environmental Risk Prevention During the Reconstruction of the Sewerage System in The Lake Baikal Central Ecological Zone. Proceedings of Universities. Investment. Construction. Real estate. 2022;12(1):62-69. (In Russ.). https://doi.org/10.21285/2227-2917-2022-1-62-69. EDN: SYAUWD.
6. Moldovan A., Nuca I. Automation of Wastewater Treatment Plant. In: 2019 International Conference on Electromechanical and Energy Systems (SIELMEN). 09–11 October 2019, Craiova. Craiova; 2019. p. 1–4. https://doi.org/10.1109/SIELMEN.2019.8905867. EDN: JOHCSS.
7. Zhang W., Mueller A.V., Tooker N.B. Enabling Wastewater Treatment Process Automation: Leveraging Inno-vations in Real-Time Sensing, Data Analysis, And Online Controls. *Environmental Science: Water Research and Technology.* 2020;6(11):2973-2992. https://doi.org/10.1039/d0ew00394h. EDN: LCIDJP.
8. Diehl S. Shock-Wave Behaviour of Sedimentation in Wastewater Treatment: A Rich Problem. In: *Springer Proceedings in Mathematics. Tribute Workshop in Honour of Gunnar SPARR.* 08–09 May 2008, Lund. Lund; 2012. p. 175–214. https://doi.org/10.1007/978-3-642-20236-0_7. EDN: SOUUON.

9. Rakitskii D.S., Egorova Yu.A., Nagornyi S.L., Tabunkov A.S., Frolov E.S. Optimization of The Operation of Quarterly Pumping Stations of Samara Utility Systems LLC. An Integrated Approach to The Reconstruction of Pumping Stations. *Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Stroitel'nye tekhnologii*. 2018:303-309. (In Russ.). EDN: YNEUGL.
10. Nikolenko I.V., Kotovskaya H.E., Kotovskii A.E. Determination of The Actual Operating Parameters of the Power Units of Pumping Stations. *News of Higher Educational Institutions. Construction.* 2022;6(762):56-69. (In Russ.). https://doi.org/10.32683/0536-1052-2022-762-6-56-69. EDN: RYMAZC.
11. Tarasov A.V. Research On Methods for Increasing the Efficiency of Pumping Stations. In: *Molodezh' i XXI vek – 2020: materialy X Mezhdunarodnoi molodezhnoi nauchnoi konferentsii = Youth and The 21st Century – 2020: Materials of The X International Youth Scientific Conference.* 19–20 February 2020, Kursk. Kursk; 2020. p. 368–370. (In Russ.). EDN: PCYDMY.
12. Surzhko O.A., Okovitaya K.O. Automation of Wastewater Treatment Processes from Poultry Farms. *Innovatsionnaya nauka*. 2016;12–2:108-111. (In Russ.). EDN: XETTGX.
13. Shelekhov I.Yu., Yanchenko V.A., Pal'chikov S.N. Optimization of The Hot Water Supply System of the Mayonnaise Production Workshop. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2023;93–8:130-132. (In Russ.). https://doi.org/10.18411/trnio-01-2023-417. EDN: JVKXFI.
14. Safonyk A., Tarhonii I., Bomba A. Modeling and Automation of the Electrocoagulation Process in Water Treatment. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. 2019;871:451-463. https://doi.org/10.1007/978-3-030-01069-0_32. EDN: XFVLMH.
15. Bebikhov Y.V., Podkamenniy Y.A., Semenov A.S. Development of an Automatic Process Control System for Biological Wastewater Treatment. *Lecture Notes in Electrical Engineering*. 2022;857 LNEE:3-13. https://doi.org/10.1007/978-3-030-94202-1_1. EDN: ABIXQB.
16. Makarova I.A. Automation and Control Selection of Continuous Sorption Wastewater Treatment Systems. *Engineering Journal of Don*. 2023;6(102):753-767. (In Russ.). EDN: PDIAZU.
17. Okovitaya K.O. Improving Wastewater Treatment Technologies from Meat Processing Plants. *Innovatsionnaya nauka.* 2016;5–2(17):174-176. (In Russ.). EDN: VWVXUR.

Информация об авторах

Шелехов Игорь Юрьевич,
к.т.н., доцент кафедры
городского строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: promteplo@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-7677-3187
Author ID: 480140

Лавыгина Ольга Леонидовна,
к.т.н., доцент, доцент кафедры
городского строительства и хозяйства,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
✉e-mail: olgakot81@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-9558-5018
Author ID: 689382

Шелехова Анастасия Игоревна,
студент,
Иркутский национальный исследовательский
технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: sheleh.ananas@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0001-9045-9728
Author ID: 1150048

Information about the authors

Igor Yu. Shelekhov,
Cand. Sci. (Eng.),
Associate Professor of the Department
of Urban Construction and Economy,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
e-mail: promteplo@yandex.ru.
https://orcid.org/0000-0002-7677-3187
Author ID: 480140

Olga L. Lavygina,
Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor,
Associate Professor of the Department
of Urban Construction and Economy,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074, Russia,
✉e-mail: olgakot81@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-9558-5018
Author ID: 689382

Anastasia I. Shelekhova,
Student,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
e-mail: sheleh.ananas@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0001-9045-9728
Author ID: 1150048

Кульков Виктор Николаевич,
д.т.н., профессор,
профессор кафедры инженерных коммуникаций и систем жизнеобеспечения,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: kulkof.viktor@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0003-3838-0777
Author ID: 730720

Кармалов Александр Иванович,
заместитель директора,
ООО «Томскводоканал»,
634021, г. Томск, ул. Елизаровых, 79/2, Россия,
e-mail: karmalov@vodokanal.tomsk.ru
https://orcid.org/0009-0006-3239-5926
Author ID: 891094

Victor N. Kulkov,
Dr. Sci. (Eng.), Professor,
Professor of the Department of Urban Construction and Economy,
Irkutsk National Research Technical University,
83 Lermontov St., Irkutsk 664074,
Russia,
e-mail: kulkof.viktor@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0003-3838-0777
Author ID: 730720

Alexander I. Karmalov,
Deputy Director of LLC “TomskVodokanal”,
79/2, Elizarovyh, 634021, Tomsk, 634021,
Russia,
e-mail: karmalov@vodokanal.tomsk.ru
https://orcid.org/0009-0006-3239-5926
Author ID: 891094

Вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article.

The final manuscript has been read and approved by all the co-authors.

Информация о статье

Статья поступила в редакцию 28.06.2024.
одобрена после рецензирования 12.07.2024.
принята к публикации 16.06.2024.

Information about the article

The article was submitted 28.06.2024.
Approved after reviewing 12.07.2024.
Accepted for publication 16.06.2024.