

РАЗДЕЛ 5. УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ И ИННОВАЦИИ

Научная статья

<https://doi.org/10.54220/v.rsue.1991-0533.2026.94.2.013>

УДК 628.1.3:613.6

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПИТЬЕВОЙ ВОДЫ В УСЛОВИЯХ ИЗНОСА СИСТЕМ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ

Гиссин В. И.^{1}, Механцева К. Ф.¹, Наливайко М. Н.¹*

¹ Ростовский государственный
экономический университет (РИНХ),
Россия, Ростов-на-Дону
* givi41@mail.ru

Аннотация. *Введение.* В статье рассматривается проблема обеспечения качества питьевой воды в условиях износа систем централизованного водоснабжения, при котором возрастает значение процессов вторичного загрязнения в распределительных сетях и усиливается нагрузка на систему управления качеством ресурса. Сложившаяся практика контроля, ориентированная преимущественно на этап водоподготовки, в полной мере не отражает изменения состава воды в процессе ее транспортировки к потребителю, что требует пересмотра подходов к организации наблюдения и принятию решений по модернизации инфраструктуры. *Материалы и методы.* Исследование основано на анализе нормативно-методических документов, данных о состоянии водопроводной инфраструктуры и научных публикаций, посвященных вопросам коррозии трубопроводов, вторичного химического загрязнения питьевой воды и оценки риска для здоровья населения. В работе использованы подходы риск-ориентированного анализа, методы интерпретации санитарно-химических показателей, а также инструменты оценки состояния участков сети с учетом материала труб, аварийности, гидравлических особенностей и характера потенциального воздействия на потребителей. *Результаты исследования.* Установлено, что изношенные распределительные сети выступают значимым фактором ухудшения качества питьевой воды, поскольку именно на стадии транспортировки формируются дополнительные риски, связанные с поступлением продуктов коррозии, накоплением отложений, изменением гидрохимических характеристик и образованием вторичных загрязнителей. Обосновано, что для повышения результативности производственного контроля необходимо смещение акцента на конечные точки водоразбора, тупиковые участки сети и зоны нестабильного гидравлического режима. Показана целесообразность использования интегральных индикаторов, позволяющих выявлять участки с повышенной вероятностью токсикологически значимого загрязнения и определять приоритетность организационно-технических мероприятий. *Обсуждение и заключение.* Сделан вывод о необходимости перехода от констатирующего контроля качества воды к риск-ориентированному управлению, увязывающему параметры производственного контроля с задачами адресной модернизации инфраструктуры. Практическая значимость исследования состоит в возможности использования предложенного подхода при разработке программ контроля качества питьевой воды, ранжировании участков сети по степени опасности и обосновании решений по обновлению систем централизованного водоснабжения.

Ключевые слова: качество питьевой воды, централизованное водоснабжение, износ инфраструктуры, риск-ориентированный подход, вторичное загрязнение, производственный контроль, модернизация сетей, управление рисками, эффективность водоснабжения, распределительные сети.

Для цитирования: Гиссин В. И., Механцева К. Ф., Наливайко М. Н. Риск-ориентированное управление качеством питьевой воды в условиях износа систем централизованного водоснабжения. *Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ)*. 2026;2(33):160-171. DOI 10.54220/v.rsue.1991-0533.2026.94.2.013.

Research article

JEL I18 Q53 L95

RISK-BASED MANAGEMENT OF DRINKING WATER QUALITY IN CONDITIONS OF AGING CENTRALIZED WATER SUPPLY SYSTEMS

Gissin V.^{1}, Mekhantseva K.¹, Nalivaiko M.¹*

¹ *Rostov State University of Economics,
Rostov-on-Don, Russia
* givi41@mail.ru*

Abstract. *Introduction.* The article examines the problem of ensuring drinking water quality under conditions of aging centralized water supply systems, where secondary contamination processes in distribution networks become increasingly significant and place additional pressure on water quality management. The existing monitoring practice, focused mainly on the water treatment stage, does not fully reflect changes in water composition during transportation to consumers, which requires a revision of approaches to monitoring organization and infrastructure modernization decisions. *Materials and methods.* The study is based on the analysis of regulatory and methodological documents, data on the condition of water supply infrastructure, and scientific publications devoted to pipeline corrosion, secondary chemical contamination of drinking water, and health risk assessment. The paper applies risk-based analytical approaches, methods for interpreting sanitary and chemical indicators, and tools for assessing network sections with regard to pipe material, accident rate, hydraulic characteristics, and the nature of potential impact on consumers. *Results.* It has been established that worn distribution networks are a significant factor in the deterioration of drinking water quality, since additional risks arise precisely at the transportation stage due to corrosion products, deposit accumulation, changes in hydrochemical parameters, and the formation of secondary contaminants. It is substantiated that improving the effectiveness of industrial monitoring requires shifting attention to end-use sampling points, dead-end sections of the network, and zones with unstable hydraulic conditions. The expediency of using integral indicators that make it possible to identify sections with an increased probability of toxicologically significant contamination and to determine the priority of organizational and technical measures is demonstrated. *Discussion and conclusions.* It is concluded that a transition is required from conventional water quality control to risk-based management linking monitoring parameters with the objectives of targeted infrastructure modernization. The practical significance of the study lies in the possibility of applying the proposed approach in the development of drinking water quality monitoring programs, in ranking network sections by hazard level, and in substantiating decisions on upgrading centralized water supply systems.

Keywords: drinking water quality, centralized water supply, infrastructure aging, risk-based approach, secondary contamination, industrial monitoring, network modernization, risk management, water supply efficiency, distribution networks.

For citation: Gissin V., Mekhantseva K., Nalivaiko M. Risk-Based Management of Drinking Water Quality in Conditions of Aging Centralized Water Supply Systems. *Vestnik of Rostov State University of Economics (RINH)*. 2026;2(33):160-171. DOI 10.54220/v.rsue.1991-0533.2026.94.2.013.

Введение

Обеспечение населения качественной питьевой водой сохраняет значение одной из ключевых условий санитарно-эпидемиологического благополучия и устойчивого функционирования коммунальной инфраструктуры, однако в современных условиях данная проблема все в большей степени определяется не только параметрами водоподготовки, но и состоянием распределительных сетей, через которые ресурс поступает к конечному потребителю. При высокой степени физического износа водопроводного хозяйства, на что указывают данные о стабильно значительной доле сетей, не соответствующих санитарным требованиям по причине их технического старения [1; 2; 7], качество воды начинает зависеть от совокупности процессов, возникающих уже после прохождения этапа очистки. Вследствие этого ухудшение санитарно-химических характеристик в распределительной системе следует рассматривать не как локальное техническое отклонение, а как проявление более широкого инфраструктурного ограничения, затрагивающего организацию контроля, очередность модернизации и обоснованность управленческих решений в сфере централизованного водоснабжения.

Под старением инфраструктуры в контексте токсикологической безопасности понимается совокупность физико-химических процессов, происходящих в трубопроводах и сооружениях водоподготовки, которые приводят к ухудшению качества воды уже после ее очистки на станции. Если на этапе водозабора и очистки контроль качества строго регламентирован и технически обеспечен, то на этапе транспортировки к потребителю вода становится уязвимой для вторичного загрязнения. Именно эта часть водоснабжающего цикла приобретает особую значимость в условиях длительной эксплуатации трубопроводов, накопления коррозионных повреждений, изменения внутренней поверхности труб и нестабильности гидравлического режима. Исследования,

посвященные поведению распределительных систем, показывают, что контакт воды с материалами труб, коррозионными отложениями и продуктами деструкции внутренних слоев сети способен сопровождаться выщелачиванием металлов, ростом концентрации вторичных загрязнителей и ухудшением потребительских свойств воды [11; 12]. При этом застойные участки, тупиковые зоны и участки с низкой интенсивностью водообмена формируют условия для накопления осадков и последующего вымывания загрязняющих компонентов, что усиливает неустойчивость качества воды в точках конечного водоразбора [13]. Такая зависимость указывает на то, что распределительная сеть выступает не только каналом доставки ресурса, но и самостоятельной средой формирования дополнительных рисков, которые не выявляются в полной мере при контроле исключительно на выходе из системы водоподготовки.

Для систем централизованного водоснабжения данное обстоятельство имеет не только санитарное, но и управленческое значение, поскольку при ограниченности финансовых и организационных ресурсов сплошное обновление сетей оказывается практически недостижимым. В этих условиях возрастает значение подходов, ориентированных не на равномерное распределение мероприятий по всей системе, а на выявление тех участков, где сочетание износа, материала труб, аварийности и гидрохимической нестабильности формирует наиболее высокую вероятность вторичного загрязнения и, следовательно, требует первоочередного вмешательства [1; 3]. Тем самым проблема качества питьевой воды смещается в плоскость риск-ориентированного управления, в рамках которого состояние инфраструктуры, данные производственного контроля и последствия для населения рассматриваются в единой системе принятия решений.

Существующие нормативные и прикладные подходы уже содержат основания

для такого смещения акцента, поскольку оценка безопасности питьевой воды все более последовательно связывается не только с соответствием установленным гигиеническим нормативам, но и с необходимостью учета условий ее транспортировки, характера распределительной сети и вероятности вторичного изменения состава воды [4; 5; 6]. Вместе с тем научная разработка проблемы в большей степени сосредоточена на характеристике механизмов вторичного загрязнения воды в распределительных сетях [7; 11; 13], чем на их включении в систему управленческих решений, связанных с производственным контролем, приоритизацией проблемных участков и модернизацией инфраструктуры. Между тем именно такое сопряжение санитарно-химической и управленческой проблематики позволяет рассматривать износ водопроводных сетей не как фоновое техническое обстоятельство, а как фактор, прямо влияющий на эффективность действующей модели контроля качества воды, результативность вложений в обновление инфраструктуры и устойчивость всей системы централизованного водоснабжения.

Рассмотрение качества питьевой воды в условиях старения инфраструктуры требует более плотного соединения вопросов вторичного загрязнения, производственного контроля и инфраструктурного управления, поскольку только при таком подходе становится возможным обоснование решений, направленных не просто на фиксацию уже возникших отклонений, а на предупреждение наиболее значимых рисков и повышение адресности мероприятий по модернизации сети.

Материалы и методы

В основу работы положены данные Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, положения Государственного доклада «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации», а также результаты научных исследований, посвященных вторичному химическому

загрязнению питьевой воды, коррозионным процессам в трубопроводных системах и оценке риска для здоровья населения [4; 5; 6].

Методический аппарат исследования включает анализ индексов агрессивности воды Ланжелье и Ризнера, позволяющих оценивать коррозионный потенциал среды; расчет коэффициента накопления металлов как отношения концентрации вещества в распределительной сети к концентрации на выходе со станции водоподготовки; применение показателей неканцерогенного и канцерогенного риска в соответствии с методологией Р 2.1.10.1920-04. Такой набор инструментов позволяет перейти от фиксации отдельных превышений к оценке вероятности формирования устойчивой токсикологической нагрузки.

При разработке предложений по организации производственного контроля использованы принципы риск-ориентированного моделирования, предполагающие выбор точек отбора проб с учетом конфигурации сети, характера водообмена, сезонных колебаний гидрохимических параметров и наличия групп населения, наиболее чувствительных к качеству питьевой воды. Ограничение исследования состоит в том, что работа носит обзорно-аналитический характер и опирается на нормативные и литературные данные без построения самостоятельной эмпирической выборки.

Результаты исследования

Исследование состояния распределительных сетей показывает, что износ систем централизованного водоснабжения в Российской Федерации приобрел устойчивый и масштабный характер. Средний уровень износа, по экспертным оценкам, составляет 56-60%, а в ряде субъектов, включая отдельные территории Дальневосточного и Северо-Западного федеральных округов, а также малые города, достигает 70-80%. При этом нормативный срок эксплуатации стальных труб, как правило, составляет 25-30 лет, чугунных – до 50 лет, тогда как

значительная часть сетей фактически используется 40-50 и более лет. В этих условиях распределительная инфраструктура перестает выполнять исключительно транспортную функцию и начинает оказывать самостоятельное воздействие на качественные характеристики воды, формируя дополнительные риски уже после завершения процессов водоподготовки. Это означает, что ухудшение состояния сети должно рассматриваться не только как техническое следствие длительной эксплуатации, но и как фактор устойчивого изменения санитарно-химических параметров воды в точке потребления.

Старение инфраструктуры проявляется в нескольких взаимосвязанных аспектах, имеющих непосредственное значение для оценки качества воды. Первый из них связан с материальным износом стенок труб, их истончением, коррозионным разрушением и образованием свищей. Второй обусловлен изменением внутренней поверхности трубопроводов, на которой формируются отложения, включающие ржавчину, солевые образования и биопленки. Третий аспект связан с ростом аварийности, порывами и гидравлической нестабильностью, создающими условия для подсоса загрязненных вод и дестабилизации уже накопленных отложений. В совокупности это приводит к тому, что классическое представление о тождестве качества воды на выходе со станции водоподготовки и в точке конечного водоразбора перестает соответствовать фактическим условиям функционирования системы. В распределительной сети вода проходит через среду, которая сама становится источником вторичного химического воздействия, а следовательно, требует самостоятельного аналитического и управленческого учета.

Результаты анализа показывают, что в условиях старения распределительных сетей одним из наиболее устойчивых механизмов ухудшения качества воды выступает поступление в нее продуктов взаимодействия с материалами труб и внутренними коррозионными образованиями.

Наиболее часто в этой связи фиксируется рост содержания железа, меди, свинца, а также других металлов, присутствие которых в распределительной сети не всегда определяется исходными параметрами воды на стадии подготовки. Дополнительные данные подтверждают, что интенсивность такого поступления зависит не только от возраста трубопровода, но и от совокупности гидрохимических и эксплуатационных условий, включая кислотно-щелочной режим, продолжительность контакта воды с внутренней поверхностью трубы, степень сформированности коррозионного слоя и характер изменения потока [7, 11]. Тем самым вторичное загрязнение металлами следует рассматривать не как единичное отклонение, а как воспроизводимый процесс, интенсивность которого возрастает в условиях длительной эксплуатации, нарушения стабильности режима подачи воды и накопления внутренних дефектов сети.

Наибольшую токсикологическую значимость в структуре вторичного загрязнения сохраняет свинец. Несмотря на ограничение его применения в новых системах, в старых сетях и элементах соединений, сформированных до изменения санитарных требований, свинец может сохраняться в составе трубопроводных материалов и припоев. При изменении гидрохимических параметров, прежде всего при снижении pH и усилении агрессивности воды, возрастает вероятность его перехода в водную среду. Длительное поступление даже малых концентраций свинца формирует отдаленные неблагоприятные эффекты, прежде всего в отношении нервной системы, когнитивного развития детей и функции почек. При этом само наличие свинца в распределительной сети важно не только как санитарная характеристика, но и как индикатор того, что система содержит участки с устаревшей материальной базой, требующие особого порядка контроля и приоритизации при модернизации.

Одновременно с этим наиболее распространенным показателем неудовле-

творительного состояния воды в распределительных сетях остается повышенное содержание железа. С санитарно-эксплуатационной точки зрения железо в данном случае представляет интерес не только как фактор ухудшения органолептических свойств воды, но и как маркер активных коррозионных процессов, происходящих внутри трубопроводов. Накопление оксидов и гидроксидов железа на внутренней поверхности трубы формирует условия для сорбции других загрязняющих веществ, включая тяжелые металлы и органические соединения. Вследствие этого коррозионный слой начинает выполнять функцию внутреннего резервуара вторичного загрязнения, способного длительно удерживать химические компоненты с последующим их высвобождением при изменении гидравлического режима. В данном случае речь идет уже не просто о наличии осадка, а о постепенном формировании внутри сети среды, поддерживающей нестабильность качества воды даже при отсутствии внешнего поступления загрязнителей.

Существенное значение имеет и структура самих коррозионных отложений. Результаты исследований позволяют рассматривать их как сложное многослойное образование, внутри которого возникают зоны с ограниченным водообменом, где происходит концентрация продуктов коррозии и адсорбированных примесей [13]. В этих зонах вода фактически задерживается внутри коррозионного слоя, что усиливает контакт с накопленными соединениями и способствует дальнейшему изменению ее состава. При повышении скорости потока, гидроударах, переключениях режима подачи и других колебаниях системы часть таких отложений разрушается, в результате чего в поток поступают взвешенные частицы и растворенные вещества, ранее удерживаемые внутренней структурой трубы. Это означает, что коррозионные отложения в стареющей сети выступают не следствием уже произошедшего ухудшения состояния труб, а активным механизмом последующего

вторичного загрязнения, способным поддерживать неустойчивость качества воды в течение длительного времени.

Наряду с металлами в распределительной сети формируются и другие группы вторичных загрязнителей, в том числе хлорорганические соединения. Их образование связано с взаимодействием остаточного хлора с органическими веществами, присутствующими в отложениях, биопленках и застойных зонах трубопроводов. При недостаточной скорости потока, наличии участков с длительным временем пребывания воды и накоплении органического субстрата возрастает вероятность образования тригалометанов и других соединений, обладающих канцерогенным потенциалом. В результате изношенная сеть начинает функционировать как химически активная среда, в которой остаточные реагенты водоподготовки продолжают участвовать в реакциях уже после прохождения воды через очистные сооружения. Данное обстоятельство особенно значимо для участков, где формируются застойные зоны и нарушается регулярность водообмена.

Дополнительное значение для оценки риска имеет зависимость качества воды от гидравлического режима функционирования сети. Выявлено, что участки с пониженной скоростью движения воды, тупиковые ответвления, зоны неравномерного водоразбора и участки с длительным удержанием воды характеризуются повышенной вероятностью вторичного загрязнения [11; 13]. Именно в таких фрагментах системы увеличивается продолжительность контакта воды с внутренней поверхностью трубы, усиливаются процессы растворения и десорбции загрязняющих компонентов, а также возрастает роль отложений как реакционной среды. В практическом отношении это означает, что контроль на магистральных участках и на входе в дом не позволяет в полной мере выявить наиболее проблемные точки сети, поскольку локальные очаги ухудшения качества воды формируются на участках со специфическим

режимом течения и продолжительностью пребывания воды. Следовательно, распределительная сеть представляет собой не однородную транспортную систему, а пространство локализованных рисков, различающихся по интенсивности и характеру воздействия.

Дополнительные результаты показывают, что последствия коррозионных процессов проявляются не только в изменении санитарно-химических параметров, но и в ухудшении потребительских характеристик воды. При коррозии металлических труб возможно изменение вкуса, цвета и запаха воды, что особенно отчетливо проявляется при повышении концентрации меди и продуктов окисления железа [12]. С одной стороны, такие изменения свидетельствуют о неблагополучии распределительной сети, с другой – формируют социально значимую реакцию потребителей, выражающуюся в росте числа жалоб и снижении доверия к централизованному водоснабжению. Вследствие этого вторичное загрязнение приобретает не только токсикологическое, но и управленческое измерение, поскольку ухудшение органолептических свойств воды становится косвенным показателем скрытых эксплуатационных издержек и недостаточной эффективности действующей модели контроля.

Отдельного внимания требует замена металлических труб на полимерные материалы как одно из распространенных направлений снижения коррозионной нагрузки. Несмотря на очевидные преимущества таких решений с точки зрения уменьшения интенсивности ржавления, результаты анализа показывают, что переход на полимерные трубопроводы не устраняет проблему вторичного химического воздействия полностью. При использовании материалов низкого качества, при их деструкции под воздействием остаточного хлора или в условиях длительной эксплуатации возрастает вероятность миграции в воду остаточных мономеров, пластификаторов и стабилизаторов. Это означает, что изменение

материальной структуры сети требует не механического переноса акцента с металлов на полимеры, а более широкого понимания распределительной системы как совокупности потенциальных источников химической нагрузки. Вследствие этого программа контроля должна учитывать не только степень износа сети, но и свойства материалов, из которых сформированы отдельные ее участки.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что в условиях старения систем централизованного водоснабжения оценка качества воды не может строиться исключительно на дискретной фиксации отдельных превышений по установленным показателям. Более обоснованным представляется использование интегральных индикаторов, позволяющих учитывать вероятность формирования вторичного загрязнения еще до момента появления выраженных нарушений в точке отбора. К таким индикаторам относятся индекс агрессивности воды, коэффициент накопления металлов и показатели, отражающие наличие органических примесей и продуктов деструкции отложений. Их применение позволяет перейти от пассивной регистрации уже возникших отклонений к выявлению участков сети, где сочетаются высокая степень износа, неблагоприятный материал труб, гидравлическая нестабильность и повышенная вероятность формирования токсикологически значимого воздействия на население.

Результаты исследования подтверждают необходимость изменения самой модели производственного контроля. Приоритет должны получать не только стандартные точки наблюдения, но и конечные точки водоразбора, гидравлические концы сети, участки с длительным временем пребывания воды, зоны повышенной аварийности и территории, обслуживающие социально уязвимые группы населения. Такой подход позволяет увязать лабораторные показатели с фактическим состоянием инфраструктуры и перейти к более адресному управлению качеством воды.

Одновременно это создает основу для ранжирования участков сети по степени опасности и формирования программ модернизации, в которых очередность вмешательства определяется не формальным сроком эксплуатации трубопровода, а совокупностью признаков, характеризующих реальный риск вторичного загрязнения и его возможные последствия для населения.

Для более последовательного применения риск-ориентированного подхода

критерии ранжирования участков распределительной сети целесообразно представить в систематизированном виде, объединяющем санитарно-химические, инфраструктурные, гидравлические и социальные характеристики, поскольку именно их сочетание позволяет перейти от общего описания неблагополучия сети к более обоснованному выделению участков приоритетного вмешательства.

Таблица 1 – Критерии ранжирования участков распределительной сети по степени потенциальной опасности
Table 1 – Criteria for ranking sections of the distribution network by degree of potential hazard

Группа критериев	Критерий	Содержание критерия	Значение для ранжирования
Санитарно-химические	Превышение гигиенических нормативов	Наличие превышений по веществам 1-2 класса опасности, включая свинец, кадмий, хлорорганические соединения, а также устойчивое ухудшение санитарно-химических показателей	Указывает на уже реализовавшийся риск и необходимость первоочередного вмешательства
Санитарно-химические	Коэффициент накопления металлов	Рост концентрации металлов в воде после прохождения по сети по сравнению с выходом со станции	Отражает вклад распределительной сети в формирование вторичного загрязнения
Санитарно-химические	Индекс агрессивности воды	Характеризует вероятность коррозионного воздействия воды на материал труб	Позволяет прогнозировать дальнейшее вымывание металлов и развитие загрязнения
Инфраструктурные	Материал труб и срок эксплуатации	Наличие стальных, чугунных, стальных полимерных труб, длительность эксплуатации, присутствие свинцовых элементов	Позволяет выделить участки с повышенной вероятностью миграции загрязняющих компонентов
Инфраструктурные	Аварийность участка	Частота аварий, порывов, свищей, гидроударов на участке сети	Характеризует степень физической деградации сети и вероятность дестабилизации отложений
Инфраструктурные	Наличие отложений и признаков коррозии	Подтвержденные данные о ржавчине, био пленках, солевых и иных внутренних отложениях	Указывает на наличие внутреннего источника вторичного загрязнения
Гидравлические	Тупиковые и застойные зоны	Участки с низким водообменом, длительным временем пребывания воды, нестабильным режимом потока	Связаны с повышенной вероятностью накопления и вымывания загрязняющих веществ
Гидравлические	Гидравлический конец сети	Удаленные участки с пониженным давлением и изменчивым режимом подачи	Позволяет выявлять зоны наибольшего риска ухудшения качества воды у потребителя
Социальные	Наличие социально уязвимых групп	Расположение в зоне обслуживания детских, образовательных, лечебных и социальных учреждений	Повышает приоритет участка даже при умеренных санитарно-химических отклонениях
Социальные	Жалобы населения	Подтвержденные обращения по поводу цвета, запаха, вкуса воды и иных признаков ухудшения качества	Отражает фактическое проявление проблемы на уровне потребления

Представленные критерии не обладают самостоятельной достаточностью и должны рассматриваться в совокупности, поскольку именно их сочетание формирует устойчивые зоны повышенного риска вторичного загрязнения. В этой связи ранжирование участков сети приобретает интегральный характер и позволяет выделять приоритетные направления вмешательства не по отдельным отклонениям, а по совокупности признаков, отражающих реальное состояние распределительной инфраструктуры и степень воздействия на население.

Обсуждение и заключение

Полученные результаты подтверждают, что традиционное представление о тождестве качества воды на выходе со станции водоподготовки и в точке потребления в условиях изношенной инфраструктуры утрачивает применимость. Распределительная сеть в таких условиях перестает быть исключительно каналом транспортировки ресурса и начинает выступать самостоятельной средой формирования вторичного химического воздействия, в пределах которой сочетание коррозионных процессов, отложений, гидравлической нестабильности и особенностей материала труб определяет фактическое изменение качества воды. Следовательно, система санитарного контроля должна быть перестроена таким образом, чтобы объектом оценки становилась не только подготовленная вода, но и сама распределительная инфраструктура как фактор формирования риска.

Практическое значение риск-ориентированного подхода проявляется в возможности адресного распределения ограниченных ресурсов и более обоснованного выбора участков первоочередного вмешательства. Полученные результаты показывают, что приоритизация участков сети для санации или замены должна опираться не на отдельный показатель, а на совокупность критериев, включающих санитарно-химические отклонения, материал и степень износа труб, аварийность, особенности гидравлического режима,

наличие социально уязвимых групп населения в зоне обслуживания и подтвержденные жалобы на качество воды. Именно сочетание этих признаков позволяет выделять участки с наиболее высокой вероятностью устойчивого вторичного загрязнения и, следовательно, с наибольшей потребностью в управленческом и технологическом вмешательстве.

В технологическом аспекте это требует корректировки pH и щелочности воды, оптимизации схем реагентной обработки, внедрения автоматизированного мониторинга остаточного хлора, мутности и железа, а также перехода от эпизодических промывок к управлению гидравлическим режимом по фактическим показателям. Одновременно возрастает значение интегральных индикаторов, позволяющих не только фиксировать уже возникшие отклонения, но и выявлять участки сети, где вероятность вторичного загрязнения формируется еще до появления выраженных нарушений в точке отбора. Тем самым риск-ориентированный подход связывает результаты производственного контроля с состоянием инфраструктуры и создает основу для более последовательного включения санитарно-химических данных в программы модернизации систем централизованного водоснабжения.

Таким образом, старение систем централизованного водоснабжения должно рассматриваться как устойчивый фактор формирования токсикологических рисков для населения и одновременно как условие снижения эффективности традиционной модели контроля качества воды. Основными источниками вторичного химического загрязнения выступают продукты коррозии металлических труб, хлорорганические соединения и мигрирующие компоненты полимерных материалов. Обеспечение безопасности питьевой воды в таких условиях связано с переходом к риск-ориентированной модели производственного контроля, расширением перечня индикаторов, совершенствованием программ модернизации и

развитием автоматизированных средств наблюдения. Перспективы дальнейших исследований связаны с эмпирической проверкой предложенного подхода к ранжированию участков сети и уточнением состава показателей, применимых для обоснования решений по модернизации распределительной инфраструктуры.

Список литературы

1. Оптимизация систем водоснабжения на основе риск-ориентированного подхода / В. И. Гиссин, К. Ф. Механцева, М. Н. Наливайко // Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ). – 2024. – Т. 31, № 2. – С. 47-55. – DOI 10.54220/v.rsue.1991-0533.2024.79.76.006.

2. Совершенствование процессов водообеспечения с использованием искусственного интеллекта / В. И. Гиссин, М. Н. Наливайко, Ю. А. Цигельнюк // Креативная логистика: стратегии и технологии : материалы международной научно-практической конференции. XX Южно-Российский логистический форум, Ростов-на-Дону, 25-26 октября 2024 г. – Ростов-на-Дону : ИПК РГЭУ (РИНХ), 2024. – С. 126-132.

3. Гиссин, В. И., Наливайко, М. Н. Анализ потерь в процессе поставки питьевой воды // Научный вектор: сборник научных трудов. – Ростов-на-Дону : ИПК РГЭУ (РИНХ), 2024. – Вып. 10. – С. 201-203.

4. Р 2.1.10.3968-23. Руководство по оценке риска здоровью населения при воздействии химических веществ, загрязняющих среду обитания : утв. Роспотребнадзором 05.09.2023. - М., 2023.

5. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания: утв. постановлением Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 № 2. – М., 2021.

6. МР 2.1.4.0266-21. Методика по оценке повышения качества питьевой воды, подаваемой централизованными

системами водоснабжения : методические рекомендации : утв. Главным государственным санитарным врачом РФ 10.11.2021. – М., 2021.

7. Guidelines for Drinking-Water Quality: Fourth Edition Incorporating the First and Second Addenda. – Geneva : World Health Organization, 2022.

8. Lead in Drinking-Water: Background Document for Development of WHO Guidelines for Drinking-Water Quality. – Geneva : World Health Organization, 2016.

9. Copper in Drinking-Water: Background Document for Development of WHO Guidelines for Drinking-Water Quality. – Geneva : World Health Organization, 2004.

10. Lead in Drinking-Water: Health Risks, Monitoring and Corrective Actions: Technical Brief. – Geneva : World Health Organization, 2022.

11. Presence of Metals in Drinking Water Distribution Networks Due to Pipe Material Leaching : review / S. González, R. López-Roldán, J. L. Cortina // Toxicological & Environmental Chemistry. – 2013. – Vol. 95, № 6. – P. 870-889. – DOI 10.1080/02772248.2013.840372.

12. Health and Aesthetic Impacts of Copper Corrosion on Drinking Water / A. M. Dietrich, D. Glindemann, F. Pizarro, E. M. P. Giddings, S. E., Duncan M. Edwards // Water Science and Technology. – 2004. – Vol. 49, № 2. – P. 55-62. – DOI 10.2166/wst.2004.0087.

13. Corrosion in a Distribution System: Steady Water and Its Composition / J. Nawrocki, U. Raczynski-Stanislawiak, J. Świetlik, A. Olejnik, M. J. Sroka // Water Research. – 2010. – Vol. 44, № 6. – P. 1863-1872. – DOI 10.1016/j.watres.2009.12.020.

References

1. Optimization of Water Supply Systems Based on a Risk-Based Approach / V. Gissin, K. Mekhantseva, M. Nalivaiko // Vestnik of Rostov State University of Economics (RINH). – 2024. – Vol. 31, № 2. – P. 47-55. – DOI 10.54220/v.rsue.1991-0533.2024.79.76.006.

2. Improvement of Water Supply Processes Using Artificial Intelligence / V. Gissin, M. Nalivaiko, Yu. Tsigelnyuk // Creative Logistics: Strategies and Technologies: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference. XX South Russian Logistics Forum, Rostov-on-Don, October 25-26, 2024. – Rostov-on-Don : Publishing and Printing Complex of Rostov State University of Economics (RINH), 2024. – P. 126-132.

3. Gissin, V., Nalivaiko, M. Analysis of Losses in the Process of Drinking Water Supply // Scientific Vector: Collection of Scientific Papers. – Rostov-on-Don : Publishing and Printing Complex of Rostov State University of Economics (RINH), 2024. – Issue 10. – P. 201-203.

4. R 2.1.10.3968-23. Guidelines for Assessing Health Risk to the Population from Exposure to Chemical Substances Polluting the Habitat: approved by Rosпотребнадзор from 05.09.2023. – М., 2023.

5. SanPiN 1.2.3685-21. Hygienic Standards and Requirements for Ensuring the Safety and (or) Harmlessness of Environmental Factors for Humans : approved by Resolution of Chief State Sanitary Doctor of Russian Federation № 2 from 28.01.2021. – М., 2021.

6. MR 2.1.4.0266-21. Methodology for Assessing the Improvement of the Quality of Drinking Water Supplied by Centralized Water Supply Systems: Methodological Recommendations. Approved by the Chief State Sanitary Doctor of Russian Federation from 10.11.2021. – М., 2021.

7. Guidelines for Drinking-Water Quality: Fourth Edition Incorporating the First and Second Addenda. – Geneva : World Health Organization, 2022.

8. Lead in Drinking-Water: Background Document for Development of WHO Guidelines for Drinking-Water Quality. – Geneva : World Health Organization, 2016.

9. Copper in Drinking-Water: Background Document for Development of WHO Guidelines for Drinking-Water Quality. – Geneva : World Health Organization, 2004.

10. Lead in Drinking-Water: Health Risks, Monitoring and Corrective Actions: Technical Brief. – Geneva : World Health Organization, 2022.

11. Presence of Metals in Drinking Water Distribution Networks Due to Pipe Material Leaching : review / S. González, R. López-Roldán, J. L. Cortina // Toxicological & Environmental Chemistry. – 2013. – Vol. 95, № 6. – P. 870-889. – DOI 10.1080/02772248.2013.840372.

12. Health and Aesthetic Impacts of Copper Corrosion on Drinking Water / A. M. Dietrich, D. Glindemann, F. Pizarro, E. M. P. Giddings, S. E., Duncan M. Edwards // Water Science and Technology. – 2004. – Vol. 49, № 2. – P. 55-62. – DOI 10.2166/wst.2004.0087.

13. Corrosion in a Distribution System: Steady Water and Its Composition / J. Nawrocki, U. Raczyk-Stanisławiak, J. Świetlik, A. Olejnik, M. J. Sroka // Water Research. – 2010. – Vol. 44, № 6. – P. 1863-1872. – DOI 10.1016/j.watres.2009.12.020.

Об авторах

Гиссин Виталий Исаевич, доктор экономических наук, профессор кафедры товароведения и управления качеством, Ростовский государственный экономический университет (РИНХ), Ростов-на-Дону, Россия, givi41@mail.ru.

Механцева Карина Феликсовна, доктор экономических наук, доцент, зав. кафедрой товароведения и управления качеством, Ростовский государственный экономический университет (РИНХ), Ростов-на-Дону, Россия, mehantseva.karina@mail.ru.

Наливайко Марина Николаевна, зав. лабораторией товароведения и экспертизы товаров, старший преподаватель кафедры товароведения и управления качеством, Ростовский государственный экономический университет (РИНХ), Ростов-на-Дону, Россия, marinalivayko880807@mail.ru.

Конфликт интересов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации; авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила в редакцию 07.02.2026; одобрена после рецензирования 08.04.2026; принята к публикации 20.05.2026.



Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution 4.0 International (CC-BY 4.0)

© 2026 Гиссин В. И., Механцева К. Ф., Наливайко М. Н.

About the Authors

Vitaliy Gissin, Dr. Sci. (Econ.), Professor of the Department of Commodity Science and Quality Management, Rostov State University of Economics, Rostov-on-Don, Russia, givi41@mail.ru.

Karina Mekhantseva, Dr. Sci. (Econ.), Associate Professor, Dean of the Department of Commodity Science and Quality Management, Rostov State University of Economics, Rostov-on-Don, Russia, mekhantseva.karina@mail.ru.

Marina Nalivaiko, Head of the Laboratory of Commodity Science and Goods Expertise, Senior Lecturer of the Department of Commodity Science and Quality Management, Rostov State University of Economics, Rostov-on-Don, Russia, marinalivayko880807@mail.ru.

Conflict of Interest: The authors contributed equally to this article; the authors declare no conflict of interest.

The article was submitted on 07.02.2026; approved after reviewing on 08.04.2026; accepted for publication on 20.05.2026.



This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC-BY 4.0)

© 2026 V. Gissin, K. Mekhantseva, M. Nalivaiko