РАЗДЕЛ 2. ЭКОНОМИКА И ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВО

Научная статья

https://doi.org/10.54220/v.rsue.1991-0533.2024.79.76.006
УДК 628.1; 658; 658.5

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ НА ОСНОВЕ РИСК-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА

Гиссин В. И.*[1], *Механцева К. Ф.*[1], *Наливайко М. Н.*[1]

[1] *Ростовский государственный экономический университет (РИНХ), Ростов-на-Дону, Россия*

** marinalivayko880807@mail.ru*

Аннотация. В статье рассмотрены процессы жизненного цикла производства и распределения питьевой воды потребителям как предоставляемая услуга с последовательно связанными компонентами, определяющими безопасность потребления. Представлен процесс обеспечения качественной и безопасной водопроводной водой в виде модели, в которой рассмотрено влияние как внутренних, так и внешних воздействий, приводящих к возникновению рисков в системе. Проведен анализ причинно-следственных связей, выявивший причины возникновения рисков при водоснабжении питьевой водой, что позволило рекомендовать применение различного инструментария и методов оценки рисков. С целью уменьшения влияния рисков на качество процесса поставок предложено постоянно проводить причинно-следственный анализ рисков на всем пути перемещения водных ресурсов или использовать метод «пять почему», выявляющий коренные причины возникновения проблемы. Результаты исследований позволили рекомендовать применение анализа видов и последствий отказов на пути товародвижения питьевой воды от производства и до распределения, что даст возможность выявлять дефекты системы водоснабжения с последующим их устранением.

Ключевые слова: водоснабжение, риски, причины, инструментарий, оценка, дефекты, устранение.

Для цитирования: Гиссин В. И., Механцева К. Ф., Наливайко М. Н. Оптимизация систем водоснабжения на основе риск-ориентированного подхода. *Вестник Ростовского государственного экономического университета (РИНХ).* 2024;2(31):47-55. doi: 10.54220/v.rsue.1991-0533.2024.79.76.006.

Research article

JEL L95 D81

OPTIMIZATION OF WATER SUPPLY SYSTEMS BASED ON A RISK-ORIENTED APPROACH

Gissin V.*[1], *Mekhantseva K.*[1], *Nalivayko M.*[1]

[1] *Rostov State University of Economics (RINH), Rostov-on-Don, Russia*

** marinalivayko880807@mail.ru*

Abstract. The article examines the life cycle processes of the production and distribution of drinking water to consumers as a service provided, with sequentially related components that determine the consumption safety. The process of providing high-quality and safe tap water is presented in the form of a model, which considers the influence of both internal and external influences leading to risks, which

can appear in the system. An analysis of cause-and-effect relationships was carried out, which revealed the causes of risks in drinking water supply and made it possible to recommend the use of various tools and methods for risk assessment. In order to reduce the impact of risks on the water quality in the supply process, it is proposed to constantly conduct a cause-and-effect analysis of risks along the entire path of water resources movement or use the five whys method, which identifies the root causes of the problem. The research results made it possible to recommend the use of failure mode and effects analysis along the distribution way of drinking water from production to consumer, which will make it possible to identify defects in the water supply system and then eliminate them.

Keywords: water supply, risks, causes, tools, assessment, defects, elimination.

For citation: Gissin V., Mekhantseva K., Nalivayko M. Optimization of Water Supply Systems based on a Risk-oriented Approach. *Vestnik of Rostov State University of Economics (RINH).* 2024;2(31):47-55. doi: 10.54220/v.rsue.1991-0533.2024.79.76.006.

Введение

Важность качества питьевой воды, обеспечивающей пищевую ценность и благополучие населения, является неоспоримой. В свете этого в 2019 г. правительство Ростовской области приняло важное решение – введение пятилетней программы «Чистая Вода». Ее главной целью стало снижение рисков, связанных с водоснабжением, и значительное повышение качества питьевой воды для жителей области.

Таким образом, удовлетворение потребностей населения в безопасной и полезной воде стало главным приоритетом региональной власти. Реализация данной программы приведет к увеличению доли населения Ростовской области, обеспеченного качественной питьевой водой из систем централизованного водоснабжения, до 81,6 % к концу 2024 г. (в том числе городского населения – до 93,4 %) [3].

Водоснабжение представляет собой систему, состоящую из различных этапов. Для превращения воды в питьевой качественный продукт используются различные источники водоснабжения: реки, озера, водохранилища, подземные воды и др. Для этого используют различные сооружения, такие как: насосные станции, скважины и др. Добытая вода проходит систему очистки с целью удаления вредных веществ и загрязнений, после чего она хранится в резервуарах до момента ее использования. Процесс транспортировки воды осуществляется с использованием трубопроводов, соединяющих источник воды с конечными пользователями-потребителями. Система транспортировки состоит из различных элементов (насосы, фильтры, клапаны и т. д.), необходимых для поддержания качества воды и оптимального давления в системе.

Следует отметить процесс распределения воды, осуществляемый посредством сети распределительных линий, которые подключаются к каждому зданию. В этом процессе принимают участие счетчики воды, контролирующие потребление. Процессы добычи водных ресурсов, последующей очистки, бесперебойной транспортировки и ее распределения должны обладать высоким уровнем надежности системы, что позволит поставлять питьевую воду потребителям в нужном качестве и количестве. Следует отметить, что на надежность системы водоснабжения водопроводной питьевой водой оказывают влияние различные причины, которые могут негативно повлиять на показатели качества потребляемой питьевой воды.

Проведенные лабораторные исследования Роспотребнадзора в 2022 г. установили ряд несоответствий показателей при производстве питьевой воды, в результате чего было принято постановление о принятии следующих мер: «в разработке эффективной системы контроля качества воды, начиная от источников питьевой водоснабжения и заканчивая ее передачей через распределительную сеть, играет важную роль орга-

низация производственного лабораторного контроля. Контроль обеспечивает надежное обнаружение и предотвращение любых потенциальных проблем, связанных с качеством воды, таких как наличие вредных веществ, бактерий и других загрязнений. Осуществление постоянного мониторинга и анализа позволяет определить допустимые показатели качества и настроить соответствующие системы фильтрации и очистки воды. Уникальность системы контроля качества включает использование современных технологий и методов, а также соблюдение строгих норм и стандартов, чтобы обеспечить безопасность и чистоту питьевой воды для населения» [2].

Материалы и методы

Качество питьевой воды зависит от множества различных факторов, которые влияют на ее показатели, которые могут иметь как качественную, так и количественную природу (надежность, производительность, затраты, уровень жесткости, чистота и др.).

Качество питьевой воды Q и показатели ее качества q_i представляют собой разные концепции. Показатели q_i дифференцированно отражают качество воды, в то время как само качество является всесторонним понятием [1].

$$Q \rangle \sum_{i=1}^{n} q_i$$

Роль категории полезности в определении качества питьевой воды является ключевой, поскольку она отображает важную связь между потребностью в воде и самим продуктом. Качество питьевой воды включает в себя качество управленческих решений, показатели надежности работы системы и полезность [2].

Одним из важнейших аспектов, определяющих полезность поставки воды, является надежность. Согласно теории надежности, это понятие связано с вероятностью безотказной работы всей системы в заданный период времени. Стоит отметить, что на надежность водоснабжения существенное влияние оказывают разнообразные факторы. Среди них следует упомянуть качество управления процессами, мониторинг, аудит системы водоснабжения, а также применение современных технологий и др.

Безопасность питьевой воды имеет особое значение, а ее надежность является важным аспектом для потребителей, поскольку они зависят от постоянного доступа к питьевой воде. Процесс управления качеством услуг по водоснабжению должен учитывать все эти факторы, для того чтобы гарантировать безопасность и надежность поставок [1].

Рассмотрим процесс поставки питьевой воды как предоставляемую услугу, разбивая управление качеством услуги по водоснабжению на последовательность связанных компонентов, определяющих безопасность потребления, представленных следующим образом [1]:

$$W – Q – N_Q – R_Q – q_i – U – L, \quad (1)$$

где W – носитель качества (вода / услуга поставки);

Q – качество поставок питьевой воды (философский аспект);

N_Q – качество нормативно-технической документации (правовой аспект);

R_Q – надежность процессов, безопасность поставляемой воды (эксплуатационный аспект);

q_i – показатели качества воды, услуг (технический аспект);

U – полезность (экономический аспект);

L – безопасность цепи поставок (логистический аспект).

Особое внимание следует уделить качеству и надежности цепей поставок питьевой воды, поскольку они оказывают существенное воздействие на полезность потребления [1].

В процессе снабжения населения водопроводной водой возникают риски, связанные с различными факторами, например, такими как: нарушение безопасности системы, нарушение технологического процесса, износ системы, ошибки оператора при проведении процесса и др.

Процесс обеспечения качественной и безопасной водопроводной водой потребителей с позиции процессного подхода можно представить в виде модели (рис. 1).

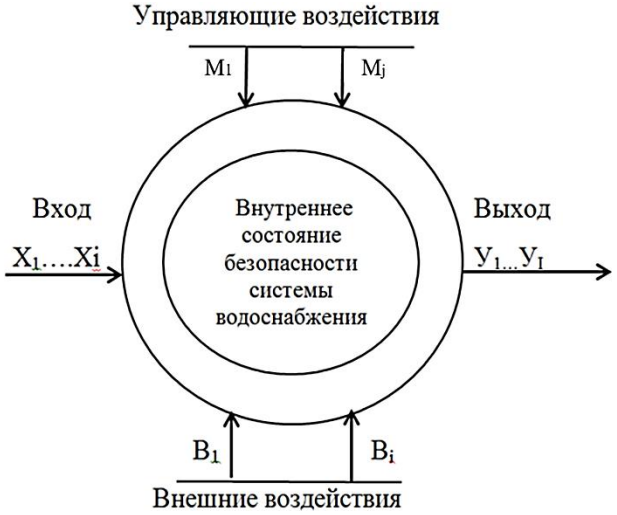


Рисунок 1 – **Модель обеспечения качества питьевой воды**
Figure 1 – **Drinking water quality assurance model**

Анализируя входные параметры ($X_1 \ldots X_i$) данной модели, следует отметить, что они характеризуются высоким уровнем качества и надежности поставок питьевой воды. К таким входным параметрам относятся отказы в системе подачи воды, их количество и разнообразие, а также причины возникновения отказов. Кроме того, важным фактором является анализ количества и качества показателей на всех этапах цикла.

Рассматриваемая система подвержена воздействию внешних факторов ($B_1 \ldots B_I$), которые не всегда возможно исключить. Однако их можно учитывать или, по возможности, смягчить. В данном случае к внешним возмущающим факторам можно отнести экологическую обстановку, состояние национальной экономики, качество нормативных документов на продукцию и др.

«Управляющие воздействия ($M_1, \ldots M_i$)» представляют собой параметры, которые могут быть использованы для эффективного управления системой. Они позволяют внести корректировки с целью улучшения процессов водоснабжения.

Внутреннее состояние качества и безопасности процессов поставки питьевой воды характеризует поведение системы, ее переменные состояния, а также полное представление о системе и ее поведении во внешней среде.

Выходные параметры процесса ($Y_1, \ldots Yi$) являются следствием функционирования системы, на которую оказывают влияние внутренние, внешние, входные и управляющие воздействия.

Оценка выходных параметров системы может помочь определить действия системы и оценить соответствие и эффективность управляющих воздействий. При обеспечении надежных поставок качественной питьевой воды особое внимание должно быть направлено на: стабильность процессов товародвижения, соответствие показателей качества воды и другие факторы. Таким образом, можно констатировать, что безопасность и качество поставок питьевой воды зависят от разработки стратегии, учитывающей концепцию и систему факторов [2].

Представленная модель процесса обеспечения водопроводной водой по-

требителей несет определенные риски, которые должны организацией не только учитываться, контролироваться, но и управляться.

Результаты

В процессе подачи воды потребителям возникает множество проблем, приводящих к возникновению рисков, исследование которых позволяет выявить основные причины их появления.

1. Понижение качества питьевой воды может быть вызвано присутствием химических соединений и тяжелых металлов, загрязнением бактериями, вирусами и различными механическими включениями. Это нежелательное явление может произойти на различных этапах цикла водоснабжения, начиная от источника воды и заканчивая распределением в зданиях потребителей.

2. Потеря качества воды происходит, когда она теряет свои основные характеристики (вкус, цвет, запах) из-за неправильной обработки, длительного хранения или низкого качества поверхностного слоя трубопроводов, через которые она поставляется потребителям.

3. Надежность и безопасность системы водоснабжения могут быть подвергнуты риску из-за различных утечек, аварий, отказов оборудования, что может привести к прекращению или непредвиденному отключению поставки воды. Снижение надежности создает серьезные проблемы для потребителей, постоянно использующих водопроводную воду для своих нужд.

4. Экономические риски возникают, когда система водоснабжения не эффективно управляется, что приводит к увеличению затрат на обслуживание и эксплуатацию. Такие риски могут включать в себя ремонтные работы, замену оборудования и трубопроводов, потерю воды из-за утечек, а также штрафы за нарушение норм и стандартов.

5. Технологические риски возникают в случае нарушения процессов производства воды, транспортировки и качества контроля за состоянием водопроводных сетей. Это может привести к ухудшению качества воды и повлечь за собой негативные последствия.

6. Информационные риски связаны с недостаточным информированием и квалификацией работников, обслуживающих систему водоснабжения, о мерах предотвращения рисков. Отсутствие актуальных знаний и навыков может сказаться на эффективности работы системы и привести к нежелательным последствиям.

7. Экологические риски. Неправильное обращение и утилизация отходов в сточные воды может привести к загрязнению окружающей среды.

8. Социальные риски. Непостоянство качества и количества поставляемой водопроводной воды может создать напряженность среди населения.

Учитывая все эти риски, важно принимать соответствующие меры по улучшению управления системой водоснабжения, регулярному обслуживанию, обучению персонала и соблюдению нормативов и стандартов, чтобы обеспечить стабильность и качество водоснабжения.

Для эффективного управления рисками широко применяются логические и системные методы, такие как: обмен информацией и консультации в области риска, установление области применения при идентификации, анализе, оценке и обработке риска, а также мониторинг, анализ риска и регистрация результатов. При оценке рисков важно определить факторы, которые могут снижать или уменьшать вероятность возникновения опасных событий. С этой целью используют различные инструменты, среди которых выделим такие как: модель «галстук-бабочка», матрица рисков, исследование опасности и работоспособности (HAZOP), дерево отказов (FTA), причинно-следственный анализ, анализ видов и последствий отказа (FMEA), техническое обслуживание и обеспечение надежности и др. [4].

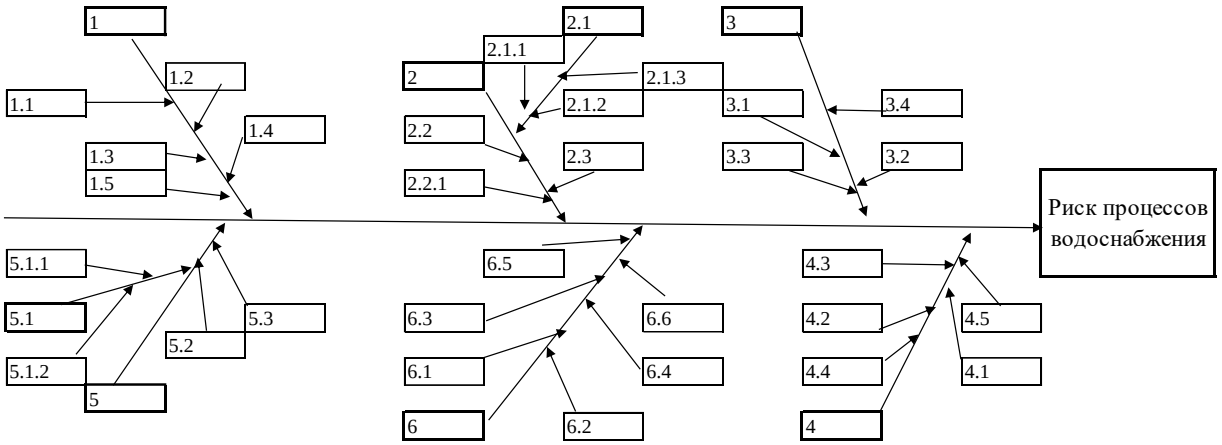
Обсуждение

При оценке рисков водоснабжения можно использовать различные инструменты и подходы. Например, на началь-

ном этапе следует применить, наряду с причинно-следственной диаграммой (рис. 2), диаграмму или метод «пять почему», который позволяет выявить коренные причины возникновения проблемы. К примеру, потребители жалуются на некачественную водопроводную питьевую воду, организация хочет понять причину низкого качества питьевой воды – в этом случае следует задать вопрос потребителям «Почему?». Потребители отвечают, представитель организации снова спрашивает потребителей: «Почему?». Вопросы задаются до тех пор, пока представитель водоканала не получит исчерпывающего ответа о коренной причине дефекта.

Для оценки рисков предлагается использовать, наряду с различными инструментами, анализ видов и последствий отказа (FMEA), который позволяет оценить процесс на всем пути товародвижения [2].

Отметим, что качество, транспортировка и надежность поставок воды напрямую зависят от уровня риска, на который оказывают влияние различные факторы (рис. 2).



1 – сырье (водозабор), 1.1 – химический состав, 1.2 – тяжелые металлы, 1.3 – биохимические показатели, 1.4 – физико-химические показатели; 2 – процесс, 2.1 – транспортировка, 2.1.1 – качество поверхностного слоя труб, 2.1.2 – скорость течения воды в системе, 2.1.3 – давление в системе, 2.2 – фильтрация, 2.2.1 – вид фильтрации, 2.3 – хранение; 3 – контроль, 3.1 – входной, 3.2 – операционный, 3.2 – контроль сетей, 3.3 – контроль работы оборудования, 3.4 – показатели выходных характеристик; 4 – персонал, 4.1 – квалификация, 4.2 – стаж работы, 4.3 – мотивация, 4.4 – здоровье, 4.5 – информированность; 5 – оборудование, 5.1 – ввод в эксплуатацию, 5.1.1 – до 5лет, 5.1.2 – свыше 5 лет, 5.2 – реализация плана планово-предупредительного ремонта, 5.3 – соответствие ТУ; 6 – менеджмент, 6.1 – план развития системы водоснабжения, 6.2 план модернизации существующих систем, 6.3 – план реконструкции и модернизации объектов, 6.4 – управление процессами эксплуатации (поддержание работоспособности системы водоснабжения, контроль качества воды, обслуживание и ремонт оборудования), 6.5 – управление рисками (оценка рисков, связанных с водоснабжением), 6.6 – мониторинг работы системы водоснабжения, оценка эффективности управления.

Рисунок 2 – **Причинно-следственная диаграмма факторов, влияющих на риски процессов при водоснабжении**
Figure 2 – **Causal diagram of the factors influencing the risks of processes in water supply**

Представленные факторы могут оказать различное влияние на качество водоснабжения. С целью уменьшения их влияния необходимо постоянно проводить причинно-следственный анализ рисков на всем пути перемещения водных ресурсов.

Метод FMEA можно использовать для систематического выявления дефектов работы системы водоснабжения с целью последующего их устранения. По результатам проведенного анализа можно создать перечень критических моментов выбранного процесса с указанием того, что надо сделать для минимизации вероятности сбоя системы.

В качестве примера рассмотрим результаты процесса оказания услуги при поставках питьевой воды потребителю в многоквартирный дом. Проведенный анализ поставок водопроводной воды выявил дефекты, которые заключались в том, что в квартиры дома вода поступает на нижние этажи, а на верхних этажах она практически отсутствует. Предварительная проверка выявила, что в водопроводной системе имеет место пониженное давление [3]. Для выявления причин, вызывающих дефекты в системе водоснабжения, используем дерево отказов, представленное на рисунке 3.

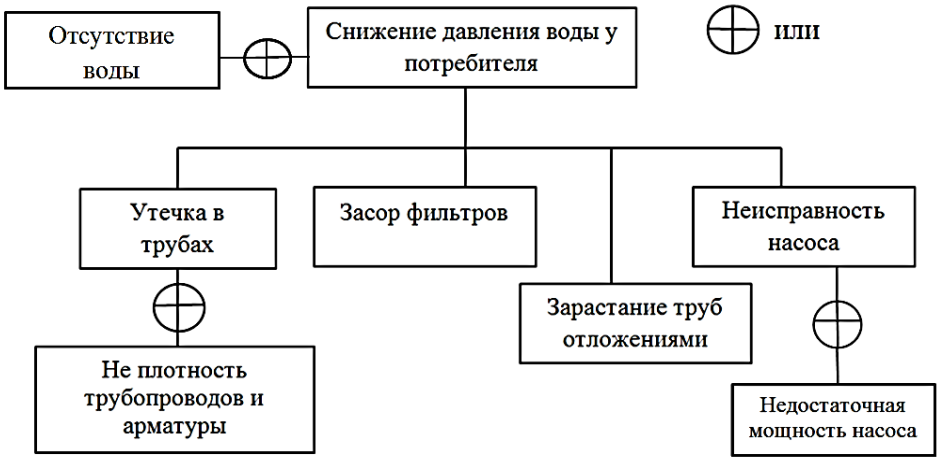


Рисунок 3 – **Дерево отказа при поставках водопроводной воды (FTA)**
Figure 3 – **Failure tree for Tap water supplies (FTA)**

Дерево отказа может быть рассмотрено с учетом двух различных подходов: качественного и количественного. Применение дерева отказа позволяет снизить вероятность нежелательных событий. Его следует применять при выявлении рисков, связанных с системой или подсистемой в целом, а можно использовать для предварительного анализа рисков.

С целью оценки уровня рисков при поставках водопроводной питьевой целесообразно использовать следующий алгоритм:

– выявление в рассматриваемом процессе вариантов отказов;

– анализ существующих методов контроля;

– определение возможных причин неблагоприятных последствий;

– оценка тяжести последствий;

– определение вероятности возникновения потенциальных причин;

– расчет риска (риск потребителя, РП).

Риск потребителя определяем по формуле (2):

$$РП = С \times В, \quad (2)$$

где С – серьезность отказа;

В – вероятность возникновения отказа.

Определив РП, выявляем перечень действий, необходимых для снижения тяжести последствий.

После проведения управляющих мероприятий необходимо повторно оценить показатели риска РП с последующим пересчетом их приоритетных значений.

В предложенной методике вероятность отказа (В) оценивается по пятибалльной шкале, где 0 означает отсутствие вероятности, 1 – очень низкую вероятность, 2 – низкую вероятность, 3 –

среднюю вероятность, 4 – высокую вероятность, а 5 – непременный отказ.

Серьезность отказа (С) также оценивается по пятибалльной шкале: 0 – отсутствие проблем, 1 – незначительные проблемы в системе, 2 – средняя серьезность (например, чистка или замена фильтров), 3 – серьезность выше средней (требуются дополнительные операции или вмешательство в процесс), 4 – серьезный отказ системы, требующий внедрение дополнительных контрольных операций или замены работающих агрегатов, вентилей и других компонентов, восстанавливающих работоспособность, 5 – очень серьезный отказ системы (опасность для здоровья и жизни потребителей). В данном случае будет необходимо принять терминирующие меры, включая срочную замену неисправных элементов системы или выполнение других критически важных действий.

Выявление отказов системы осуществляется на основе причинно-следственной диаграммы (см. рис. 2).

Число риска (РП) определяется на основании критериев с установленной критической границей. При РП выше установленного приоритетного числа разрабатываются управляющие мероприятия. Полученные результаты анализа заносятся в таблицу (табл. 1).

Таблица 1 – **Результаты оценки рисков в системе товародвижения питьевой воды**
Table 1 – **Results of risk assessment in the drinking water distribution system**

Шаги процесса	Вид отказа	Причина	Следствие	В	С	РП	Меры	Ответственный процесса

На основании результатов расчета проводятся запланированные управляющие мероприятия, имеющие приоритетное значение для РП. После завершения данных мероприятий следует повторно оценить риск, связанный с рассматриваемым процессом.

Рассмотренные выше инструменты и методы определения рисков процессов водоснабжения могут быть применены на любом этапе системы – начиная от добычи воды и до ее распределения среди потребителей.

Выводы

В последнее время процессы жизненного цикла продукции и услуг рассматриваются с позиций риск-ориентированного мышления.

Обеспечение качественной и безопасной водопроводной водой потребителей с позиции процессного подхода представлено в виде модели, в которой рассмотрено влияние как внутренних, так и внешних воздействий, приводящих к возникновению рисков в системе.

При рассмотрении поставок питьевой водопроводной воды выявлено, что в процессе ее товародвижения возникают риски, приводящие к нарушению условий поставок.

Проведенный анализ рисков выявил причины их возникновения, что позволило рекомендовать применение различного инструментария и методов оценки рисков.

С целью уменьшения влияния рисков на качество процесса поставок предложено постоянно проводить причинно-следственный анализ рисков на всем пути перемещения водных ресурсов или использовать метод «пять почему», выявляющий коренные причины возникновения проблемы.

Рекомендовано применение анализа видов и последствий отказов на пути товародвижения питьевой воды от производства и до распределения, что позволит выявлять дефекты системы водоснабжения с последующим их устранением.

Список литературы

1. *Гиссин, В. И., Наливайко, М. Н.* Совершенствование процессов водо-

обеспечения городской среды // Развитие логистики в условиях санкционных ограничений и международной экономической интолерантности : материалы междунар. науч.-практ. конф. XVIII Южно-Российский логистический форум. – Ростов-на-Дону, 2022. – С. 273-278.

2. *Гиссин, В. И., Наливайко, М. Н.* Риск-ориентированный подход в логистической системе водоснабжения // Экосистемный подход в логистике: ретроспектива, состояние, ожидания : материалы междунар. науч.-практ. конф. XVII Южно-Российский логистический форум. – Ростов-на-Дону, 2021. – С. 167-171.

3. *Гиссин, В. И., Наливайко, М. Н.* Инструменты оценки качества городской водопроводной воды в процессе потребления // Проблемы идентификации, качества и конкурентоспособности потребительских товаров : сб. статей VI Междунар. конф. в области товароведения и экспертизы товаров. – Ростов-на-Дону, 2018. – С. 86-91.

4. ГОСТ Р ИСО/МЭК 31010-2011 «Менеджмент риска. Методы оценки риска». – М. : Стандартинформ, 2012.

References

1. *Gissin, V., Nalivaiko, M.* Improvement of water supply processes in the urban environment // Development of logistics in conditions of sanctions restrictions and international economic tolerance : materials of International scient.-pract. conf. XVIII South-Russian Legal Forum. – Rostov-on-Don, 2022. – P. 273-278.

2. *Gissin, V., Nalivaiko, M.* Risk-based approach in the logistics system of water supply // Ecosystem approach in logistics: retrospective, state, expectations : proceedings of International scient.-pract. conf. XVII South-Russian Legal Forum. – Rostov-on-Don, 2021. – P. 167-171.

3. *Gissin, V., Nalivaiko, M.* Enthusiasts of studying the quality of urban water in the process of development // Problems of computer science, quality and competitiveness of manufacturers : collection of articles of VI International conf. in the field of commodity science and examination of goods. – Rostov-on-Don, 2018. – P. 86-91.

4. GOST R ISO/IEC 31010-2011 «Risk management. Risk assessment methods». – M. : Standartinform, 2012.

Об авторах:

Гиссин Виталий Исаевич, *д. э. н., профессор, профессор кафедры товароведения и управления качеством, Ростовский государственный экономический университет (РИНХ), givi41@mail.ru*

Механцева Карина Феликсовна, *д. э. н., доцент, зав. кафедрой товароведения и управления качеством, Ростовский государственный экономический университет (РИНХ), mehantseva.karina@mail.ru*

Наливайко Марина Николаевна, *зав. лабораторией товароведения и управления качеством, Ростовский государственный экономический университет (РИНХ), marinalivayko880807@mail.ru*

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

About the Authors:

Vitaly Gissin, *Dr. Sci. (Econ.), Professor, Professor of the Department of Commodity Science and Quality Management, Rostov State University of Economics, givi41@mail.ru*

Karina Mekhantseva, *Dr. Sci. (Econ.), Associate Professor, Head of the Department of Commodity Science and Quality Management, Rostov State University of Economics, mehantseva.karina@mail.ru*

Marina Nalivaiko, *Head of laboratory of the Department of Commodity Science and Quality Management, Rostov State University of Economics, marinalivayko880807@mail.ru*

Conflict of Interest: The authors declare no conflicts of interest.