

УПРАВЛЕНИЕ УРОВНЕМ БЕЗОПАСНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ВОДОСНАБЖЕНИЯ И ВОДООТВЕДЕНИЯ

© 2017 г. Ю.В. Аникин, В.И. Шилков, А.Ф. Никифоров

*ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет
имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург, Россия*

Ключевые слова: водные ресурсы, водоподготовка, очистка сточных вод, системы водоснабжения и водоотведения, управление уровнем безопасности, системный подход, частные и интегральные показатели.



Ю.В. Аникин



В.И. Шилков



А.Ф. Никифоров

Рассмотрены вопросы безопасного и эффективного функционирования систем водоснабжения и водоотведения. Предложено рассматривать безопасность систем водоснабжения и

водоотведения как понятие, описываемое с помощью комплекса характеристик. Проведены системный и ретроспективный анализы функционирования систем водоснабжения и водоотведения на этапах процессов забора воды, ее транспортировки, водоподготовки, очистки сточных вод. Выявлены резервы повышения эффективности и безопасности работы систем водоснабжения и водоотведения. Показано, что сложность и динамичность процессов, происходящих при работе систем водоснабжения и водоотведения, требуют решения не только оперативных, но и стратегических задач, которые должны быть описаны соответствующими параметрами.

Предложен ряд параметров для рассмотренных в статье составляющих безопасности систем водоснабжения и водоотведения. Впервые обоснована необходимость формирования совокупности частных и интегральных параметров, позволяющих перейти к разработке динамической модели управления процессами на различных этапах функционирования систем водоснабжения и водоотведения.

Одной из важнейших задач российской экономики является повышение эффективности функционирования и развития производственно-экономических и социальных систем, к которым относятся промышленные и коммунальные предприятия, жилые и общественные комплексы. Наряду с такими основополагающими материально-техническими ресурсами, как топливо и электроэнергия, для этих систем жизненно необходимы и водные ресурсы, имеющие производственное и социальное значение.

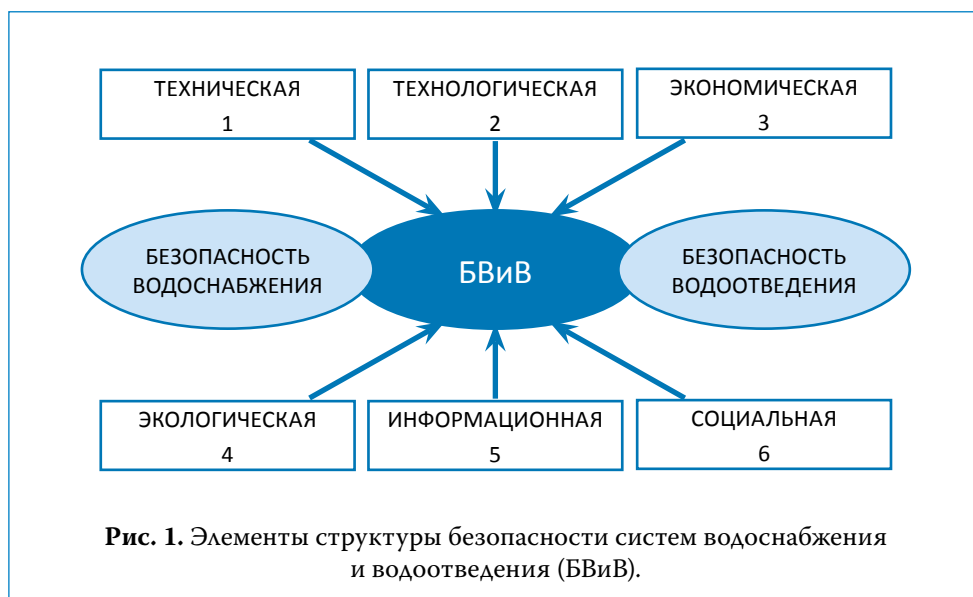
Кризисные явления в российской экономике, обусловленные трансформацией модели экономического развития Российской Федерации и усугубляющиеся цикличностью мировых финансовых кризисов, приводят к возникновению значительных проблем в сфере водоснабжения и водоотведения (ВиВ).

Безопасность и эффективность – важнейшие характеристики системы ВиВ. Существуют различные трактовки данных терминов. На наш взгляд, безопасность систем ВиВ можно определить как некоторое устойчивое состояние, при котором действие неблагоприятных внешних и внутренних факторов не повлияет на ее нормальное функционирование и развитие и не приведет к катастрофическим сбоям или отказам в работе системы. Эффективность системы ВиВ – это ее свойство выполнять функции водоподготовки и очистки сточных вод в конкретных условиях с качеством, определяемым нормативными требованиями. Это свойство характеризует качество водоподготовки и очистки сточных вод, оцениваемое как соответствие нормативно требуемых результатов, достигаемых результатов и затрат.

В рамках данной статьи предлагается рассматривать безопасность систем ВиВ как некоторое комплексное понятие, которое может быть описано с помощью технических, экологических, экономических и других характеристик. Элементы структуры безопасности систем ВиВ для хозяйственно-бытового и промышленного водоснабжения и водоотведения приведены на рис. 1.

Представленная на рис. 1 схема не претендует на охват всех составляющих безопасности систем ВиВ и не отражает всего многообразия связей между этими составляющими. Элементы структуры безопасности могут быть описаны с помощью конкретных характеристик составляющих, предложенных после рассмотрения проблем функционирования систем ВиВ и мероприятий по повышению уровня их безопасности и эффективности.

В статье исследованы условия формирования эффективной и безопасной работы систем ВиВ. Методология исследования включает применение совокупности стандартных качественных и количественных методов – ретроспективного анализа, методов системного анализа, необходимых для построения деревьев целей, функций и ресурсов, также использованы приемы экспертной оценки.



АНАЛИЗ И ОБСУЖДЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Задача исследования взаимосвязи уровней безопасности и эффективности систем ВиВ с широким спектром внешних и внутренних факторов влияния весьма актуальна. Как было отмечено выше, само понятие безопасности в данном контексте имеет комплексный характер и определяет не только безопасное функционирование инфраструктуры экономики при соответствующем качестве работы систем водоподготовки и водоотведения, но и безопасность самих систем. С этой целью для системы водоснабжения вводится понятие категории надежности, которое определяет возможный перерыв в подаче воды и предел снижения величины подачи воды потребителям [1]. Таким образом, безопасность системы ВиВ предполагает, что ее основные функциональные параметры не могут быть ниже установленного предела, и определяет эффективность работы систем ВиВ.

Проведенный анализ отечественной и зарубежной научно-технической литературы [2–16] показал, что исследование существующих проблем безопасного и эффективного функционирования систем ВиВ нуждается в стратегическом анализе и научном подходе. Так, по данным Роспотребнадзора [17], доброкачественной питьевой водой в 2014 г. было обеспечено менее двух третей населения Российской Федерации, или порядка 90 млн. чел. По статистике 2009–2014 годов на Свердловскую область приходится наибольшее среди субъектов РФ количество случаев высокого загрязнения (ВЗ) и экстремально высокого загрязнения (ЭВЗ) поверхностных вод. Максимальное

число повторений случаев ВЗ и ЭВЗ – 57 раз в 2014 г. наблюдалось на пункте р. Исети в г. Екатеринбурге [17]. Проблемы загрязнения водных источников неочищенными или недостаточно очищенными сточными водами, устаревшие технологии водоподготовки и очистки сточных вод, значительный износ трубопроводных систем и оборудования актуальны и для целого ряда зарубежных стран (Индия, Египет и др.) [18–21]. Однако в большинстве публикаций, за исключением работ [22–25], отсутствует комплексный научный подход к рассмотрению обозначенных выше проблем отрасли.

Анализ результатов, полученных на основании исследования современного состояния систем водного хозяйства и основных эволюционных этапов его развития, позволяет не только выявить наличие ряда общих проблем в работе систем ВиВ за последние десятилетия, но и назвать причины, обусловившие их возникновение [26–30].

Во многих отраслях производства существует достаточно большое количество однородных организационных, экономических и технических проблем. Это относится и к предприятиям коммунальной сферы, поэтому было бы неправильно отнести все проблемы в системах ВиВ к простой нехватке финансовых ресурсов, как это иногда преподносится. В отрасли имеют место и общесистемные проблемы (несоблюдение законодательства и нормативных требований, несовершенство финансовых схем и тарифного регулирования и др.), которые постоянно обсуждаются специалистами и средствами массовой информации. Анализ отечественного и зарубежного опыта [31–32] решения этих проблем позволяет утверждать, что, несмотря на отработанность технических решений, производство чистой воды и очистка сточных вод остаются постоянно усложняющимися динамическими процессами.

К наиболее характерным для многих предприятий в российской отрасли ВиВ можно отнести следующие проблемы:

- физический и моральный износ основного технологического и вспомогательного оборудования, а также недостаточность средств для его замены. В отдельных случаях – неспособность персонала эффективно использовать имеющееся оборудование и проектные технологии;
- применение на станциях водоподготовки и станциях очистки сточных вод технологий, не соответствующих современным требованиям к питьевой воде и качеству сбрасываемых стоков;
- слабость аналитической базы предприятий, а зачастую ее отсутствие;
- отсутствие приборов учета расходов воды и сточных вод или применение устаревших приборов;

- значительные потери воды из-за несовершенства применяемой арматуры (задвижки, водоразборная арматура и др.), большое количество аварий на водопроводных и канализационных сетях;
- низкая энергоэффективность оборудования.

Решение этих проблем требует не только значительных финансовых затрат для внедрения новых технологий и оборудования, но и кардинального изменения отношения к отрасли. Серьезное внимание следует уделить подготовке новых инженерных и научных кадров, способных решать поставленные сложные задачи. Актуальным направлением являются переподготовка и повышение квалификации персонала отрасли на основе профессиональных стандартов.

Анализ организационно-технологических этапов процессов водоснабжения и водоотведения позволяет выделить основные причины, осложняющие работу сооружений по забору воды:

- нарушение правового режима или даже отсутствие водоохраных зон поверхностных и подземных источников водоснабжения, поступление в водоемы в пределах этих зон загрязняющих веществ;
- значительные колебания уровней воды в водоисточнике, не соответствующие проектным решениям и препятствующие нормальному функционированию, проблемы с регулированием на гидротехнических сооружениях;
- пересыхание или промерзание поверхностного источника, значительное осложнение шуголедовой обстановки, увеличение засорения, содержания планктона и взвешенных веществ, зарастание фильтров и кольматация прифильтровых зон водозаборных скважин;
- частое отсутствие резервного источника водоснабжения, что существенно осложняет снабжение водой потребителей при чрезвычайных ситуациях;
- надежность работы бесхозяйных гидротехнических сооружений, являющихся частью системы водоснабжения.

Ниже приведены некоторые мероприятия для повышения уровня безопасности сооружений забора воды, которые могут стать основой для выбора направлений инвестирования средств и принятия организационно-технологических решений:

- устранение нарушений и поддержание правового режима зон санитарной охраны поверхностных и подземных источников питьевого водоснабжения;
- поиск резервных источников для обеспечения потребителей в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций;
- внедрение методов биоиндикации качества воды.

Другие мероприятия по повышению уровня безопасности сооружений забора воды представлены в [22]. Организация и обустройство зон санитарной охраны источников питьевого водоснабжения в соответствии с СанПиН потребует дополнительных инвестиций. В работе [33] приведены международные статистические данные о том, что инвестирование в улучшение качества окружающей, в т. ч. и водной, среды ведет к повышению жизненного уровня населения.

Выявлен также ряд основных причин, негативно влияющих на безопасность и эффективность работы станций водоподготовки и очистных сооружений сточных вод:

- большинство используемых технологий водоподготовки и обработки сточных вод, а также применяемое оборудование устарели и не позволяют достигать нормативных требований качества питьевой воды при прогрессирующем повышении загрязнения водоисточников, не обеспечивают требований по показателям качества очищенных сточных вод, сбрасываемых в водоемы;

- изношенность основных сооружений станций водоподготовки и очистки сточных вод, а также внутростанционных трубопроводов и арматуры;

- большая доля промывных вод фильтровальных сооружений: в редких случаях эти воды обрабатываются с целью повторного использования или очищаются до качества питьевой воды;

- отсутствует или производится неполная обработка осадков станций водоподготовки и очистки сточных вод, загрязнение вследствие этого окружающей среды и невозможность утилизации осадков.

К основным резервам повышения эффективности потребления воды и уровня качества водоподготовки можно отнести оптимизацию количества потребляемой воды за счет внедрения водосберегающей арматуры, повсеместного внедрения современных систем учета, ликвидации незаконных врезок и т. п.; снижение непроизводительных потерь воды при транспортировке, ремонтных работах, использовании воды на собственные нужды; постоянный контроль качества питьевой воды в точках подачи потребителям, информирование населения и общественности о качестве питьевой воды и мерах по его улучшению; разработка технологий повторного использования очищенных хозяйственно-бытовых сточных вод и «серых вод» в системах сельскохозяйственного и промышленного водоснабжения с учетом зарубежного опыта.

Негативно влияют на работу насосных станций систем ВиВ, водопроводных и канализационных сетей, сооружений очистки сточных вод:

- применение энергозатратного, морально и физически устаревшего насосного и воздуходувного оборудования;
- недостаточное применение современного оборудования для регулирования давления на наружных сетях водопровода;
- зарастание и заиливание внутренней поверхности водопроводных и канализационных труб и связанные с этим значительные затраты на инспекцию, прочистку, промывку и замену труб;
- значительный процент в составе водопроводных сетей металлических труб, ухудшающих качество питьевой воды вследствие коррозии, биообрастания внутренней поверхности;
- отсутствие сооружений по доочистке сточных вод, обеззараживание сточных вод после очистки хлором или хлорсодержащими агентами.

К резервам повышения уровня безопасности насосных станций, сетей водоснабжения и водоотведения, станций очистки сточных вод можно отнести переоснащение большого количества повысительных (сетевых) насосных станций водоотведения погружными насосами, оснащение современными системами автоматизации, применение на насосных станциях частотного регулирования; реконструкцию и санацию водопроводных и канализационных сетей, ликвидацию обратных уклонов и засоров; уменьшение негативного влияния на окружающую среду за счет внедрения передовых технологий очистки стоков и обработки осадков.

Уровни безопасности и эффективности представляют некоторую количественную оценку состояния системы ВиВ и характеризуют реальные и потенциальные возможности ресурсного обеспечения производственно-экономических и социальных систем, обслуживаемых данным инфраструктурным комплексом.

Уровни эффективности и безопасности систем ВиВ зависят от большого количества параметров, нуждающихся в постоянном контроле и регулировке, которые необходимо рассматривать в контексте сопоставления плановых (нормативных) и фактических параметров, характеризующих экологическую, техническую, технологическую, экономическую и социальную безопасность. На рис. 2 показано, что уровень регулирующих воздействий будет зависеть от степени рассогласования плановых и фактических характеристик, описывающих уровни эффективности и безопасности, которые могут быть представлены как системой интегральных, так и частных показателей.

Выявление резервов повышения уровня эффективности и безопасности систем ВиВ позволяет определить направления для инвестиций и проведения необходимых организационно-технических мероприятий на различных технологических этапах во всех системах водоснабжения и водоотведения, имеющих выявленные общие недостатки.



Рис. 2. Оперативное управление производственным процессом в системах водоснабжения и водоотведения.

Сложный и комплексный характер процесса управления требует описания большого количества технологических и организационных характеристик, поэтому оценка и управление качеством продукции систем ВиВ должны осуществляться не только в оперативном режиме, также должны учитываться и перспективы развития стратегических и оперативно-технических составляющих процесса управления качеством водоподготовки и очистки сточных вод.

Тенденции к развитию государственно-частного партнерства делают возможным участие частного инвестора в развитии систем ВиВ. В работе [34] рассмотрены различные схемы организации водоснабжения на примере австралийских мегаполисов. В Китае [35] создаются ассоциации потребителей для распределения обязанностей по управлению водными ресурсами с целью повышения эффективности использования воды. В нашей стране пока нет однозначно положительного мнения о переходе систем ВиВ в частные руки. В первую очередь, этот переход оценивается с точки зрения безопасности потребителей (отключение от водоснабжения и т. п.) [36].

Следует понимать, что частные инвесторы заинтересованы в гарантиях возврата средств, инвестированных в системы ВиВ. Это потребует дальнейшего совершенствования системы долгосрочного тарифообразования и регулирования, базирующейся на применении не только методов учета затрат, но и дисконтированных методов учета будущих доходов. Система тарифного регулирования должна координировать показатели надежности

и качества оказываемых услуг со стратегическими решениями, ориентированными на повышение уровня эффективности, конкурентоспособности и экономической безопасности систем ВиВ, являющихся частью инфраструктурных комплексов муниципальных образований.

Таким образом, результаты анализа типовых и специфических проблем и резервов технологических процессов водоснабжения и водоотведения должны быть использованы не только для разработки организационно-технических мероприятий на конкретном предприятии ВиВ, но и могут быть приняты во внимание при формировании региональных и муниципальных инвестиционных программ. В этом аспекте одной из первоочередных представляется задача формирования системы частных и интегральных показателей, характеризующих уровни безопасности систем ВиВ.

Конкретные частные показатели могут входить в группы, имеющие определенные весовые коэффициенты, что позволит сформировать интегральные показатели, на основании которых можно делать обобщенные выводы о состоянии безопасности и эффективности систем. Нормативные значения показателей должны быть установлены на основании соответствующих исследований или широкого профессионального обсуждения.

В работе [24] представлены составляющие (показатели) «идеальной» системы водоснабжения, большую часть которых (с учетом выражения в цифрах, а не в варианте $\rightarrow 0$) можно принять за основу для выбора нормативных уровней. Аналогично возможно определить такие составляющие для системы водоотведения. Ниже, в качестве примера, приведены некоторые из предлагаемых показателей по составляющим безопасности систем ВиВ. Подчеркнем, что в данной статье не ставится задача полного представления всех показателей, а приведенные примеры направлены на обсуждение предложений.

Так, в группу показателей технической составляющей безопасности могут быть включены:

- количество повреждений (аварий) на 1 км водопроводных или канализационных сетей;
- среднее время проведения ремонтных работ и устранения аварийных ситуаций;
- наличие аварийных запасов реагентов, материалов и оборудования;
- обеспеченность водозаборных сооружений, насосных станций, станций водоподготовки и очистных сооружений резервными источниками электроэнергии;
- удельные расходы реагентов, материалов, электроэнергии на 1 м³ обработанной воды или сточных вод;
- зависимость от поставщиков, логистика.

В группу показателей технологической составляющей безопасности целесообразно включить следующие показатели:

- наличие и соблюдение установленных правовых режимов в зонах санитарной охраны водисточников;
- наличие резервных источников водоснабжения, емкостей;
- соответствие показателей качества очищенной воды и сточных вод нормативным требованиям, в т. ч. при возникновении чрезвычайных ситуаций;
- наличие систем биоиндикации качества очищенной воды и сточных вод;
- возможность обработки расходов воды и сточных вод, отклоняющихся от проектных значений в большую и меньшую сторону, без ущерба качеству;
- процент использования воды на собственные нужды системы водоснабжения или водоотведения;
- повторное использование промывных вод фильтровальных сооружений;
- обработка осадков станций водоподготовки и очистки сточных вод, условия их складирования, возможность использования;
- наличие проектов по технологической модернизации систем водоснабжения и водоотведения.

Следующая группа – показатели экономической составляющей безопасности систем ВиВ:

- удельные затраты на 1 м³ поднятой, обработанной воды или очищенных сточных вод;
- коэффициент обеспеченности собственными оборотными средствами (доля собственных оборотных средств в оборотных активах);
- рентабельность активов (характеризует степень эффективности использования имущества предприятия ВиВ);
- коэффициент текущей ликвидности [37];
- норма чистой прибыли (характеризует уровень доходности хозяйственной деятельности предприятия).

В группу показателей социальной составляющей безопасности могут быть включены:

- процент проб воды, не соответствующих нормативным требованиям;
- количество зафиксированных случаев отсутствия воды у потребителя или ее недостаточного напора;
- динамика стоимости услуг систем ВиВ для потребителей;
- кадровая обеспеченность (наличие на предприятии системы подготовки специалистов – обучение, повышение квалификации, переподготовка, стажировки, а также уровень квалификации специалистов и анализ возрастной структуры);
- социальная обеспеченность работников предприятия.

Управление уровнями безопасности систем ВиВ с учетом современных реалий требует широкого внедрения передовых информационных технологий, позволяющих обрабатывать большие объемы данных, значительно быстрее и эффективнее принимать оптимальные решения, влиять на технологические процессы.

В группу показателей информационной составляющей безопасности могут быть включены:

- наличие электронных версий (электронных карт, математических моделей и др.) сетей водопровода и канализации, отдельных сооружений и комплексов, позволяющих проводить гидравлические расчеты, моделировать различные ситуации (изменение входных параметров, аварии и т. п.) в режиме реального времени. Это же программное обеспечение можно использовать для обучения персонала;
- возможность получения первичной информации о состоянии сетей и сооружений ВиВ и обработки больших массивов данных;
- защищенность систем передачи, получения и обработки данных от взлома или разрушения.

На рис. 3 представлен фрагмент системы показателей, иллюстрирующий уровень экологической безопасности ВиВ. Безусловно, эти показатели не претендуют на абсолютизацию и полноту представления.



Для построения структурированной совокупности показателей, характеризующих уровень безопасности и эффективности, можно воспользоваться рекомендациями и методиками [38]. На основании этих рекомендаций может быть построена и система показателей для оценки уровня безопасности и эффективности водоснабжения и водоотведения.

Совокупности показателей для оценки уровней могут быть представлены не только в виде иерархических структур, но и в матричной форме. Так, например, в работе [39] речь идет о возможности применения динамической системы сбалансированных показателей (DBSC), что может значительно улучшить процесс планирования. Моделирование ориентировано на выявление причинно-следственных связей между результатами деятельности компании и возможными рычагами воздействия.

Таким образом, можно утверждать, что решение задачи повышения уровней эффективности и безопасности систем ВиВ следует связать с необходимостью разработки динамической совокупности показателей, описывающей многочисленные структурные взаимосвязи, возникающие в процессе водоподготовки и очистки сточных вод, и определяющей оперативные-тактические и стратегические параметры. Решение этой задачи позволит приступить к разработке структурной динамической модели управления процессами водоснабжения и водоотведения.

Исследование современного состояния, анализ основных тенденций и попытка формирования научного взгляда на функционирование и развитие систем ВиВ показали, что в процессе управления необходимо учитывать следующее:

- водные ресурсы относятся к важнейшим, жизненно необходимым ресурсам, от которых зависит функционирование и развитие производственно-экономических и социальных систем;
- системы водоснабжения и водоотведения, рассматриваемые в качестве элементов инфраструктурного комплекса производственно-экономических и социальных систем, сами являются сложными структурами с большим количеством внутренних и внешних взаимосвязей;
- подробный анализ функционирования систем водоснабжения и водоотведения делает целесообразным выделение в их составе основных и вспомогательных элементов;
- элементы системы, реализующие вспомогательные функции, допустимо рассматривать в качестве инфраструктурных элементов по отношению к основным звеньям;
- кумулятивные риски, синергетические эффекты и динамический характер процессов в экономике затрудняют процессы управления системами ВиВ и могут приводить к появлению негативных эффектов, снижающих

безопасность не только отдельной инфраструктурной единицы, но и отрицательно влияющих на уровень безопасности потребителей;

– безопасность и эффективность систем ВиВ в значительной степени оказывается зависимой от воздействия большого количества технических, технологических, социальных, экономических и других факторов;

– экономические составляющие безопасности систем ВиВ могут быть улучшены путем оптимизации управленческих и производственных издержек;

– эффективность управления системами ВиВ влияет не только на безопасность функционирования технологической цепочки водоподготовки и очистки сточных вод, но и на безопасность обслуживаемых производственно-экономических и социальных систем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время, несмотря на прогресс в технологическом развитии, значительное количество экологических, организационно-экономических и технических проблем в сфере повышения эффективности и безопасности систем водоснабжения и водоотведения остаются нерешенными. Постоянно усложняющийся уровень социально-экономических отношений требует применения методов системного решения возникающих проблем.

В результате проведенного исследования разработан комплексный подход к безопасности систем, позволивший оценить проблемы, определить основные причины, снижающие их безопасность и эффективность. Выявлены резервы, которые имеются на отдельных стадиях функционирования систем и могут быть воплощены на практике на предприятиях водоснабжения и водоотведения. Показана необходимость изменения отношения к отрасли водоснабжения и водоотведения, в т. ч. с точки зрения подготовки кадров.

На основе системного подхода сформулированы показатели по составляющим комплексной безопасности систем водоснабжения и водоотведения, отражающие безопасность для потребителей воды и окружающей среды. Оценка и управление безопасностью и качеством продукции систем водоснабжения и водоотведения должны осуществляться на основе динамической модели, описывающей структурные взаимосвязи, возникающие в технологических процессах.

Представлены показатели, характеризующие приведенные в статье характеристики безопасности систем водоснабжения и водоотведения. Предложено провести обсуждение и дополнение выдвинутых показателей для создания единой системы интегральной оценки безопасности и эффективности систем водоснабжения и водоотведения.

Для дальнейшей разработки обсуждаемых вопросов авторами определены следующие направления: системное описание технологических звеньев

и в целом систем водоснабжения и водоотведения; разработка структурированной совокупности частных и интегральных показателей, характеризующих уровни безопасности систем водоснабжения и водоотведения; сравнительный анализ и оценка перспектив внедрения инновационных технологий; исследование взаимосвязи понятий безопасность и эффективность систем водоснабжения и водоотведения; оценка перспектив развития и стратегическое планирование систем водоснабжения и водоотведения, учитывающее совокупное действие детерминированных и случайных факторов для повышения эффективности их функционирования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. СП 31.13330.2012. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Акт. ред. СНиП 2.04.02-84*. М.: Минрегион России, 2012. 154 с.
2. «О федеральной целевой программе «Чистая вода» на 2011–2017 годы». Постановление Правительства РФ от 22 декабря 2010 г. № 1092. Режим доступа: <http://base1.gostedu.ru/60/60216/>.
3. *Онищенко Г.Г.* О состоянии и мерах по обеспечению безопасности хозяйственно-питьевого водоснабжения населения Российской Федерации // Гигиена и санитария. 2010. № 3. С. 4–7.
4. *Онищенко Г.Г.* О санитарно-эпидемиологическом состоянии окружающей среды // Гигиена и санитария. 2013. № 2. С. 4–10.
5. *Гаев А.Я., Бадрунов В.И., Алферов И.Н., Гацков В.Г., Килин Ю.А.* О хозяйственно-питьевом водоснабжении населения за счет подземных вод // Разведка и охрана недр. 2009. № 9. С. 84–86.
6. *Robert M. Clark.* Securing water and wastewater systems: global perspectives // *Water and Environment Journal*. 2014. Vol. 28. No 4. P. 449–458.
7. *Мирошникова Л.В.* Совершенствование управления инновациями в отраслях городского хозяйства – естественных монополистах (водоснабжение и водоотведение) // Транспортное дело России. 2011. № 4. С. 150–152.
8. *Лернер А.Д.* О нормировании удельного водопотребления населением и оценка неучтенных расходов систем водоснабжения // Вестник Тихоокеанского государственного университета. 2008. № 1(8). С. 153–160.
9. *Белогорский А.А., Лапшин В.К.* Тенденции и перспективы применения мембранных технологий в системах водоснабжения и водоотведения // Энергосбережение и водоподготовка. 2006. № 3(41). С. 9–11.
10. *Christine Kübeck, Carsten Hansen, Axel Bergmann, Stefan Kamphausen, Christoph König and Wolfgang van Berk.* Model Based Raw Water Quality Management – Manganese Mobilization Induced by Bank Filtration Clean. // *Soil, Air, Water*. 2009. Vol. 37. No 12. P. 945–954.
11. *Furness D.T., Hoggett L.A., Judd S.J.* Thermochemical Treatment of Sewage Sludge // *Water and Environment Journal*. 2000. Vol. 14. No 1. P. 57–65.
12. *Власов Д., Смирнов А., Григорьев А.* На страже здоровья горожан // *Вода Magazine*. № 4. 2014. Режим доступа: <http://www.mosvodokanal.ru/forexperts/articles/6571>.

13. Сученко В.Н., Гришин Д.К., Тами Аль-Харамии. Водоснабжение населения как социально значимое благо // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер. Инженерные исследования. 2010. № 2. С. 61–66.
14. James F. Booker, Richard E. Howitt, Arim. Michelsen, Robert A. Young. Economics and the modeling of water resources and policies // Natural resource modeling. 2012. Vol. 25. No 1. P. 168–218.
15. Виноградов С.Д. Водоснабжение – одна из важнейших задач первоочередного жизнеобеспечения населения в чрезвычайных ситуациях // Стратегия гражданской защиты: проблемы и исследования. 2013. Т. 3. № 2. С. 533–537.
16. Malcolm Abbott and Bruce Cohen. Structural reform and productivity in the water and wastewater industry: Emerging issues // Water resources research. 2010. Vol. 46. P. 1–8.
17. О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2014 году / гос. доклад. М.: НИА-Природа, 2015. 70 с. Режим доступа: <http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/dad/gosdokl.pdf>.
18. Manju Rawat, Umesh Kumar Singh, Subramanian V. Movement of toxic metals from small-scale industrial areas: a case study from Delhi, India // Int. J. of Environment and Waste Management. 2010. Vol. 5. No 3/4. P. 224–236.
19. Eman A.E. Badr, Asmaa A.E., Safaa A.E. Badr. Heavy metals in drinking water and human health, Egypt // Nutrition & Food Science. 2011. Vol. 41. No 3. P. 210–217.
20. Suho Bae, Moon-gi Jeong, Seong-gin Moon. Effects of institutional arrangements in local water supply services in Korea // Papers in Regional Science. 2015. Vol. 94. No 4. P. 849–868.
21. Towards effective water reuse: drivers, challenges and strategies shaping the organisational management of reclaimed water in Jordan // Geographical Journal. 2013. Vol. 179 (1). P. 61–73.
22. Василенко С.А. Экологическая безопасность водоснабжения. Харьков: Райдер, 2006. 320 с.
23. Василенко С.А. Экологическая безопасность систем питьевого водоснабжения: систематизация методологических принципов // Водное хозяйство России. 2009. № 2. С. 68–77.
24. Василенко С.А. Системотехнические закономерности развития коммунального водного хозяйства // Водное хозяйство России. 2013. № 5. С. 86–97.
25. Насонкина Н.Г., Сахновская В.Н. Системный анализ оценки экологической безопасности систем водоснабжения и водоотведения // Современное промышленное и гражданское строительство. 2009. Т. 5. № 3. С. 113–123.
26. О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2013 году / гос. доклад. М.: НИА-Природа, 2014. 270 с. Режим доступа: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=142254&print=Y>.
27. О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2012 году / гос. доклад, М.: НИА-Природа, 2013. 370 с. Режим доступа: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=133935&print=Y>.
28. Инвестиционный проект «Реконструкция системы водоснабжения в г. Перми». Режим доступа: <http://www.regionz.ru/index.php?ds=483021>.
29. Инвестиционная программа «Развитие систем водоснабжения и водоотведения Екатеринбургского муниципального унитарного предприятия водопроводно-

- канализационного хозяйства (МУП «Водоканал») на 2007–2020 годы». Режим доступа: <https://www.водоканалекб.рф/images/Project/strategicheskie/IPV/IPV.pdf>.
30. Инвестиционная программа «Строительство, реконструкция и модернизация объектов систем водоснабжения и водоотведения муниципального унитарного предприятия «Производственное объединение водоснабжения и водоотведения» г. Челябинска на 2016–2025 годы». Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/432944583?block=22>.
 31. National Infrastructure Plan 2014. HM Treasury. 2014. 139 p. Режим доступа: <https://www.gov.uk/government/publications/national-infrastructure-plan-2014>.
 32. Water Supply in Japan. Режим доступа: http://www.mhlw.go.jp/english/policy/health/water_supply/menu.html.
 33. *Eila Salomaa, Gary Watkins*. Environmental Performance and Compliance Costs for Industrial Wastewater Treatment – an International Comparison // Sustainable Development. 2011. Vol. 19. No 5. P. 325–336.
 34. Malcolm Abbott and Bruce Cohen. Industry structure issues in the water and wastewater sectors in Australia // Economic Papers. 2010. Vol. 29. No 1. P. 48–63.
 35. *Jinxia Wang, Jikun Huang, Lijuan Zhang, Qiuqiong Huang, Scott Rozelle*. Water Governance and Water Use Efficiency: The Five Principles of WUA Management and Performance in China // Journal of the American Water Resources Association. 2010. Vol. 46. No 4. P. 665–685.
 36. *Хомченко Д.Ю.* Частно-государственное партнерство в водной отрасли // Сб. выступлений на конф. «Водоснабжение крупных городов на примере Москвы: вызовы времени и пути развития». М., 2014. С. 21–24.
 37. *Савицкая Г.В.* Анализ хозяйственной деятельности предприятия: 4-е изд., перераб. и доп. Минск: Новое знание, 2000. 688 с.
 38. Конкурентоспособность социально-экономических систем: вызовы нового времени / Криворотов В.В и др., под науч. ред. А.И. Татаркина. М.: Экономика, 2014. 464 с.
 39. *Carmine Bianchia and Giovan Battista Montemaggiore*. Enhancing strategy design and planning in public utilities through «dynamic» balanced scorecards: insights from a project in a city water company // System Dynamics Review. Vol. 24. No 2. P. 175–213.

Сведения об авторах:

Аникин Юрий Викторович, канд. хим. наук, доцент, кафедра водного хозяйства и технологии воды, Строительный институт, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира 21; e-mail: anikin-urfu@yandex.ru

Шилков Владимир Ильич, канд. экон. наук, доцент, кафедра экономической безопасности производственных комплексов, Высшая школа экономики и менеджмента, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира 21; e-mail: Shilkov-urfu@yandex.ru

Никифоров Александр Федорович, д-р хим. наук, профессор, кафедра водного хозяйства и технологии воды, Строительный институт, ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина», Россия, 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира 21; e-mail: alex.f.nikiforov@mail.ru