

УДК 372.881.1

DOI: 10.46548/21vek-2021-1054-0008

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА МОНИТОРИНГА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ ИСТОЧНИКОВ ВОДОСНАБЖЕНИЯ В НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТАХ РЕГИОНА

© 2021

Костин Алексей Владимирович, начальник

*Управление цифрового развития, информационных технологий и связи Пензенской области
(440000, Россия, г. Пенза, ул. Московская, 75, e-mail: kostin@obl.penza.net)*

Гучкин Илья Игоревич, инженер

*Государственное бюджетное учреждение «Безопасный регион»
(440000, Россия, г. Пенза, ул. Куприна/Сборная, д. 1/2А, e-mail: i.guchkin@br.pnzreg.ru)*

Аннотация. Для водоснабжения населенных пунктов Пензенской области используется значительное количество источников воды различного типа: артезианских скважин, каптажей на поверхностных водоемах и др., включенных в коммунальные водопроводные системы. В реестре буровых скважин для подъема воды, зарегистрированных в территориальном фонде геологической информации по Приволжскому Федеральному округу, порядка 1,5 тысяч скважин являются действующими в Пензенской области и включенными в коммунальные водопроводные сети, около 800 из них – в водопроводные системы населенных пунктов с населением менее 20 тысяч человек). Нарушение функционирования источника воды несет прямую угрозу жизнеобеспечению населенного пункта, нормальному функционированию гуманитарных и хозяйственных процессов. Поэтому мониторинг и прогнозирование состояния источников водоснабжения жизненно необходимы для подготовки соответствующих планово-предупредительных мероприятий. Цель публикации – ознакомить читателя с разработанной математической модели прогнозирования состояния источников водоснабжения и автоматизированной информационной системы, обеспечивающей сбор и накопление в базе данных информации о состоянии источников водоснабжения, обработку сведений о каждом источнике и вычисление значений предлагаемого обобщенного показателя, учитывающего оценки надежности, финансовых затрат на восстановление работоспособности и критичности отказа источников водоснабжения. Разработаны модель данных, программный комплекс сбора данных с использованием сети Интернет, математическая модель прогнозирования, средства визуализации для представления статистических данных и результатов прогнозирования на электронной карте.

Ключевые слова: система водоснабжения, информационная система мониторинга, прогнозирование, моделирование, информационная система сбора данных.

AUTOMATED INFORMATION SYSTEM FOR MONITORING AND FORECASTING THE STATE OF WATER SUPPLY SOURCES IN SMALL SETTLEMENTS IN THE REGION

© 2021

Kostin Aleksey Vladimirovich, head

*Administration of digital development, information technologies and communications of the Penza region
(440000, Russia, Penza, Moskovskaya St., 75, e-mail: kostin@obl.penza.net)*

Guchkin Ilya Igorevich, engineer

*State budgetary Institution «Safe Region»
(440000, Russia, Penza, Kuprina str./Sbornaja St., d. 1/2A, e-mail: i.guchkin@br.pnzreg.ru)*

Abstract. For water supply of settlements of the Penza region, a significant number of water sources of various types are used: artesian wells, captages on surface reservoirs, etc., included in municipal water supply systems. In the register of drilling wells for lifting water registered in the territorial fund of geological information for the Volga Federal District, about 1.5 thousand wells are operating in the Penza region and are included in the municipal water supply networks, about 800 of them are in the water supply systems of settlements with a population of less than 20 thousand people). Violation of the functioning of the water source poses a direct threat to the life support of the settlement, the normal functioning of humanitarian and economic processes. Therefore, monitoring and forecasting the state of water supply sources is vital for the preparation of appropriate preventive measures. The purpose of the article is to describe the developed mathematical model for predicting the state of water supply sources and an automated information system that provides collection and accumulation in the database of information about the state of water supply sources, processing information about each source and calculating the values of the proposed generalized indicator that takes into account the reliability estimates, financial costs for restoring the operability and criticality of failure of water supply sources. A data model, a software package for data collection using the Internet, a mathematical forecasting model, visualization tools for presenting statistical data and forecasting results on an electronic map have been developed.

Keywords: water supply system, data collection, forecasting, modeling, information system for data collection.

Введение. В настоящее время, на фоне интенсивной хозяйственной деятельности, роста экологической напряженности и дестабилизации многих геофизических процессов, большинством исследова-

телей отмечается возрастающая острота проблем сохранения, возобновления и рационального использования водных ресурсов [4, 8, 13].

На региональном уровне особенную актуальность данная проблематика приобретает для малых населенных пунктов и сельской местности, где она осложняется рядом факторов, таких как повсеместный износ материально-технической базы, отсутствие практик технически грамотной, рациональной эксплуатации, неупорядоченность отношений собственности и надзорности источников, полноты и достоверности учета и отчетности по их состоянию и эксплуатации. Генезис упомянутых проблем, носит комплексный характер, имеет социально-экономический, технический, экологический, организационный, правовой и другие аспекты.

Для решения части указанных проблем предлагается использовать систематический сбор данных с использованием информационных технологий (ИТ), в частности, с помощью разработанной информационной системы, позволяющей собирать актуальную информацию из населенных пунктов, сохранять её в базе данных и использовать для анализа состояния дел в сфере водоснабжения населенных пунктов. Набор данных по каждому источнику водоснабжения включает 44 элемента (географические координаты, адрес, организация-владелец; даты бурения, ввода в эксплуатацию и ремонтов; глубина и дебет скважины; мощность насоса и другие сведения), поэтому систематизация данных (из-за большой трудоемкости) возможна только с использованием ИТ.

Для оценки состояния (работоспособности) источников воды и прогнозирования будущего состояния в заданном периоде времени разработана математическая модель, которая использована для разработки соответствующего программного обеспечения.

По мере расширения информатизации и цифровой трансформации в практике регионального управления, в том числе, в сферах ЖКХ, ГО и ЧС, природопользования, актуальность создания централизованной информационной системы сбора данных об источниках водоснабжения с возможностями прогнозирования их состояния, и эффективность применения такой системы кардинально возрастают.

Авторы всех работ по затронутой тематике отмечают, что исключительную важность в вопросе экономики ресурсов и минимизации ущерба негативных последствий от нарушения нормального режима водоснабжения имеют мероприятия, направленные на предотвращение аварийных ситуаций. Реализации сценария раннего выявления и предотвращения факторов возникновения аварии (также, как и любого отказа, необязательно приводящего к серьезному разрушению системы) означает принципиальный выигрыш по сравнению со сценарием устранения последствий уже произошедшего отказа (и, тем более, полномасштабной аварии) [1, 3, 5, 9, 14, 19].

Большинством авторов отмечается принципиальная сложность прогнозирования отказа каждого

отдельного объекта водозабора (точного времени этого отказа, стечения факторов его вызывающего). Это справедливо и для прочих технических систем, функционирование которых в значительной степени зависит от факторов внешней среды, таких как, человеческий фактор, комплексы факторов экологической, гидрогеологической, природно-климатической природы, а также факторы работы взаимосвязанных технических систем, в частности, систем энергообеспечения [1, 4, 6, 14, 17]. Это же учитывается и находит отражение в нормативно-технической литературе [18]. Даже при условии полноты информации о поведении системы, получение качественного прогноза возникновения аварии на конкретном объекте является крайне проблематичным. Неустойчивость оценок будет практически неустранима из-за сложного взаимного влияния входных факторов друг на друга и сильного воздействия случайностей, огромное количество которых неизбежно останется вне поля внимания в силу природы моделируемых явлений. Поэтому более продуктивным представляется использование обобщенных прогнозных оценок, отражающих поведение некоторой совокупности сходных технических систем, функционирующих в относительно схожих внешних условиях. В данном случае объектом исследования является совокупность объектов водозабора в пределах территориального образования или водопроводной сети, обслуживающей один или несколько расположенных по соседству населенных пунктов. Примеры обобщенного обзора совокупности технических объектов, сходных по типу и назначению с рассматриваемыми в настоящей работе, опубликованы в [2, 7, 9]. Примеры моделирования, где конечной целью выступает создание обобщенных оценок для совокупности технических объектов, объединенных по признаку общности территориального расположения, или нахождения в системной взаимосвязи содержатся в [13, 15, 17].

Методологически большинство авторов придерживаются подхода об экспоненциальном характере нарастания интенсивности отказов в технической системе в фазе старения [1, 3, 5, 8, 16], как функции от времени жизни (или величины наработки) системы; этот тип зависимости положен в основу представляемой модели прогнозирования; прочие факторы определяют скорость изменения интенсивности отказов.

Для сбора информации о состоянии составных частей систем водоснабжения в перспективе следует переходить на сбор данных от различной датчиково-преобразующей аппаратуры по сетям ЭВМ [23 - 25], однако это потребует замены или модернизации существующего насосного оборудования, что сопряжено со значительными финансовыми затратами и решением соответствующих организационных задач.

Материалы и результаты исследования. Постановка задачи базируется на следующих положениях:

1) необходимо организовать систематический обмен данными (с использованием сети Интернет) между местными органами и ведомствами, к ком-

петенции которых относится водопользование и водоснабжение, управление ресурсной и материально-технической основой этих задач, формирование централизованной базы данных по источникам водоснабжения населения со сведениями об их состоянии (действующие, резервные и недействующие, нуждающиеся в восстановлении), об основных характеристиках, о принадлежности, о возможностях каждого источника по обеспечению потребности в питьевой воде жителей данной территории;

2) необходимо реализовать систему мониторинга состояний источников водоснабжения, обеспечивающую актуализацию накапливаемых данных и результатов расчетов с целью предупреждения негативных ситуаций с обеспеченностью водой на местах;

3) требуется разработка математической модели, которая для источников разного типа на основе данных о составе и характеристиках оборудования, об изношенности технической базы, о невыполнении требований к эксплуатации основных компонентов системы водозабора и других факторов позволяет формировать оценки состояния с обеспеченностью питьевой водой и сигналы об угрозах нормальному режиму водоснабжения;

4) имеется потребность в создании и внедрении в практику методологической базы для планирования профилактических мероприятий на объектах водоснабжения и резервирования бюджетных ресурсов для финансирования данных мероприятий, которые должны учитывать при определении их очередности и приоритетности, критичность ситуации с обеспеченностью водой в населенном пункте или территориальной единице и ожидаемый риск выхода из строя наиболее важных и дорогостоящих компонентов водозаборных систем.

Структура и функции системы мониторинга состояний источников водоснабжения. Для систематического сбора сведений о состоянии системы водоснабжения в населенных пунктах области предлагается

использовать созданную в ситуационном центре Губернатора Пензенской области в 2020 г. автоматизированную информационную систему (при участии авторов [10, 11]), которая обеспечивает сбор данных по следующему сценарию:

1. Подготовка средствами подсистемы «Конструктор форм» *web*-формы для сбора данных инициаторами запросов (исполнительные органы государственной власти региона, ИОГВ).

2. Формирование и передача по сети Интернет-запросов в органы местного самоуправления (ОМСУ) на получение информации об источниках водоснабжения.

3. Формирование исполнителями запросов (ОМСУ) отчетных данных путем заполнения *web*-форм.

4. Обработка данных, получаемых и накапливаемых в базе данных (БД) системы мониторинга, включая вычисление значений обобщенного (интегрального) показателя для источников водоснабжения.

5. Формирование количественных (в табличной форме) и картографических представлений, характеризующих источники водоснабжения.

6. Анализ полученных отчетных данных и формирование инициаторами запросов предложений по проведению планово-предупредительных мероприятий на источниках водоснабжения, по которым получены значения обобщенного показателя, указывающие на критическое состояние объекта.

Все сведения об отчетных формах, запросах инициаторов, ответах исполнителей формируются с помощью средств сервера приложений и *web*-сервера, и сохраняются в БД системы (рис. 1). На сервере приложений размещено программное обеспечение для выполнения указанных пользовательских функций, включая геоинформационную систему (ГИС) для формирования картографических представлений с условными обозначениями мест источников водоснабжения на территории региона.

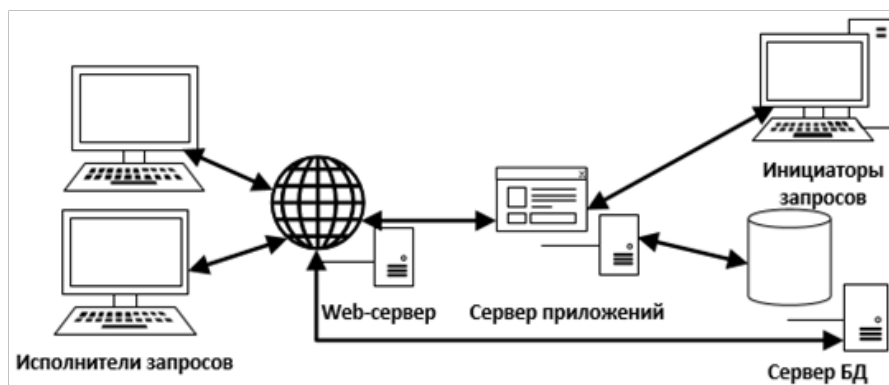


Рисунок 1 – Структура системы мониторинга состояний источников водоснабжения

Система мониторинга состояний источников водоснабжения состоит из следующих подсистем:

1. Подсистема авторизации и аутентификации обеспечивает разграничение прав доступа пользователей.

2. Подсистема сопровождения справочных данных

выполняет функции формирования иерархических справочников с возможностью ввода данных пользователями или загрузки из других источников.

3. Конструктор форм.

4. Подсистема мониторинга процесса подготовки

отчётов позволяет инициатору запросов контролировать процесс поступления отчетных данных от исполнителей.

5. Подсистема уведомлений выполняет формирование и передачу исполнителям сообщений о сроках предоставления отчетов.

6. Подсистема интеграции с геоинформационной системой (ГИС) формирует данные, необходимые для представления на электронной карте региона информации о местах и характеристиках источников водоснабжения.

7. Подсистема хранения данных (реализована в виде реляционной БД).

Модель данных предметной области содержит сущности: «Организации», «Пользователи», «Роли», «Показатели», «Измерения», «Запросы к исполнителям», «Ответы исполнителей», «Формы запросов и ответов», «История изменений», «Справочники».

Программные модули системы мониторинга источников водоснабжения построены на базе PHP-фреймворка *Laravel* 5.6.39 [20], *Vue.js* [21] с использованием системы управления базами данных *PostgreSQL* 9.6. Выполняемые PHP-скрипты для запросов к серверу БД находятся на Web-сервере (*Nginx*) [22].

Разработка математической модели для формирования оценки состояния источников водоснабжения. Для оценки состояния сооружений и оборудования, установленного на водозаборных узлах, предлагается математическая модель в форме индикативного показателя, числовое значение которого позволяет ранжировать источники водоснабжения с точки зрения риска и критичности отказа источников водоснабжения в прогнозируемом интервале времени:

$$R_j = \prod_{k=1}^3 P_{jk}, \quad (1)$$

где:

P_{jk} – нормированное значение k -й составляющей показателя j -го источника водоснабжения;

$$P_{jk} = \frac{S_{jk}^{a_k}}{\max\{S_{jk}^{a_k}\}; k=1,2,\dots,K_{ист}}, \quad (2)$$

S_{jk} – ненормированное значение k -й составляющей показателя j -го источника водоснабжения;

$K_{ист}$ – количество источников водоснабжения в рассматриваемой выборке;

a_k – «степенной коэффициент» k -й составляющей, определяющий степень её важности («вес»); значение a_k по умолчанию равно 1, при необходимости назначается экспертным путем в пределах от 0 до 1. Полученные значения показателя (1) следует отсортировать по убыванию значений, затем организовать дополнительный анализ состояния источников водоснабжения в соответствии с полученной последовательностью значений для выработки решений по проведению планово-предупредительных мероприятий. Такой подход позволит проводить целенаправленную работу по выявлению источников водоснабжения, для которых следует выполнить планово-предупредительные мероприятия.

Первая составляющая показателя R учитывает надёжностные свойства оборудования источника воды на основе принятого экспоненциального характера зависимости интенсивности отказов, соответствующей «фазе старения» технической системы [5, 8, 16]:

$Q(t) = e^{-\Lambda t}$, где параметр $\Lambda = k_0 + \sum_{l=1}^n a_{R(l)} k_{R(l)}$; значение k_0 соответствует нормативному темпу старения системы, который наблюдается при соблюдении условий эксплуатации; $k_{R(l)}$ – «факторы отклонений», которые представляет собой абсолютную разность между фактической точкой в пространстве состояний системы и ближайшей к ней точкой смоделированной «гиперплоскости», соответствующей нормативному темпу старения системы (показаны тонкими линиями, перпендикулярными к линии тренда); $a_{R(l)}$ – весовой коэффициент l -го фактора; n – количество факторов, учитываемых при анализе надежности оборудования (рис. 2).

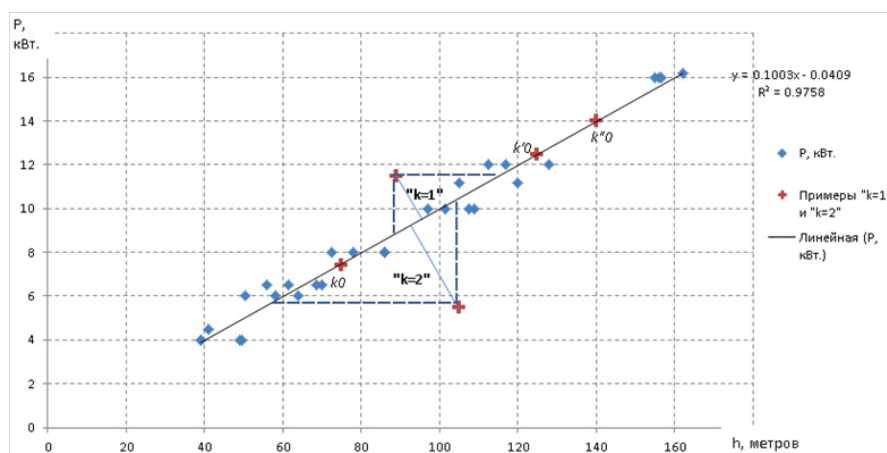


Рисунок 2 – Представление состояний системы водозабора в двумерном пространстве

Гиперплоскость, соответствующая нормативному темпу старения системы, определяется на основе различных линейных комбинаций имеющихся данных

(например, глубина скважины, дебет скважины, мощность насоса, подача насоса, среднеемесячное потребление электроэнергии) следующим образом:

- сбор данных по наблюдаемому множеству источников (объектов водозабора) средствами автоматизированной системы мониторинга;
- выбор зависимой переменной (Y) и независимых переменных;
- вычисление значений коэффициентов регрессионного уравнения (обычно, первого или второго порядка).

Например, в двумерном пространстве (h – глубина скважины и P – мощность установленного на ней насоса) красными крестами обозначены состояния пяти объектов, три из которых (k_{σ} , k'_{σ} , k''_{σ}) соответствуют «нормативному» состоянию, а два ($k=1$, $k=2$) – состояниям, отличающимся от нормативного.

Если можно получить оценки $Q_j(t)$ для отдельных компонентов объекта водозабора (колонны, насоса, резервуара и др.) с учетом разных стартовых моментов времени (бурение/восстановление колонны скважины, установка/ремонт/замена насосного оборудования и т. д.), то для источника водоснабжения в целом можно использовать модель S_{j1} в аддитивной форме:

$$S_{j1} = \sum_{i=0}^n e^{\Lambda_{ij} t_{ij}}.$$

Вторая составляющая показателя R учитывает затраты на восстановление работоспособности водозаборной системы (или профилактических мероприятий) в денежном измерении, как оценка величины затрат на восстановление функционирования составной части системы водозабора: $S_{j2} = \sum_{i=1}^n F_i$, где n – количество учитываемых составных частей (элементов) водозабора; F_i – финансовые затраты, связанные с заменой составной части (или иные затраты, зависящие от отказа элемента системы); размерность – тысяча рублей. При наличии репрезентативной выборки данных об отказах элементов систем водоснабжения для оценки показателей надежности можно использовать известные модели для восстанавливаемых объектов [16] и, в таком случае вместо суммарной величины затрат можно использовать математическое ожидание величины затрат, значение которой оценивать с учетом стоимости составных частей системы и вероятности выхода ее из строя.

Третья составляющая показателя R учитывает значимость (или критичность) отказа источника для населенного пункта и обслуживаемой им сети в целом, что определяется отношением производительности анализируемого источника (узла) к суммарной производительности водозаборных узлов, включенных в данную водопроводную систему, и нормативным количеством воды, подаваемой данной системой (исходя из количества потребителей и суточного норматива потребления): $S_{j3} = V_{\text{норм}} K_{\text{польз}} \frac{P_{\text{ист}}}{\sum_{i=1}^n P_{\text{ист},i}}$, где $V_{\text{норм}}$ – суточный норматив потребления (куб. м/чел.*сут); $K_{\text{польз}}$ – количество пользователей системы водоснабжения, к которой принадлежит анализируемый источник; $P_{\text{ист}}$ – производительность (подача) анализируемого источника (м. куб./час); $P_{\text{ист},i}$ – производительность i -го источника водоснабжения, включенного в систему водоснабжения населенного пункта.

Значения весовых коэффициентов должны назначаться с учетом приоритетов, исходя из сформулированных целей анализа состояния источников водоснабжения в каждом конкретном случае, например, если в качестве приоритета определена надежность системы водоснабжения, то следует назначить $a_1=1$, а значения остальных коэффициентов назначить из условия: $a_2+a_3=0,5$. Для выработки практических рекомендаций по назначению величин весовых коэффициентов следует провести анализ влияния их значений на значение обобщенного показателя.

Заключение. В результате выполнения первого этапа сбора данных по источникам водоснабжения с помощью автоматизированной системы мониторинга и прогнозирования получены сведения по 824 источникам водоснабжения в населенных пунктах двадцати двух районов Пензенской области (исключая города областного значения: Пенза, Заречный, Кузнецк), которые обработаны с использованием описанной в настоящей публикации математической модели, что позволило получить предварительную оценку (и прогноз) ситуации с обеспеченностью водой населенных пунктов, с последующим обобщением результатов и их группировкой. В частности, установлено, что состояние пятидесяти двух источников воды, расположенных в 8 административных районах, может быть отнесено к группе максимального риска по критерию выхода из строя систем водоснабжения, и следует провести проверку достоверности полученных из указанных районов сведений, выявления особенностей условий эксплуатации источников водоснабжения и корректировки (при необходимости) полученных сведений и результатов моделирования, затем сформулировать предложения по проведению планово-предупредительных мероприятий.

Разработанная информационная система сбора данных, предлагаемая модель и соответствующие программные средства могут служить инструментом для поддержки процессов анализа, выработки и принятия решений для региональных ИОГВ: технико-экономического обоснования и планирования бюджетного финансирования мероприятий по профилактике, ремонту, реконструкции и восстановлению систем и объектов водоснабжения, а также – возведению новых объектов в местах, где есть потребность в наращивании объема или увеличении надежности процесса водоснабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Абрамов Н. Н. Надежность систем водоснабжения. 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1984. – 216 с.
2. Анализ работы механизированного фонда скважин за первое полугодие 2019 года по НКЦДПНГ НГДУ «Уфанефть» и разработка мероприятий по увеличению МРП и СНО ГНО. Презентация. (Приложение №2 к ежемесячной отчетности о работе механизированного фонда скважин, эксплуатируемых УЭЦН (УЭЦП), ШСНУ, УШВН, УЭВН, УЭДН, ОРЭ к положению компании «требования по классификации причин отказов и порядок расследования отказов внутрискважинного оборудования механизированного фонда») [Электронный ресурс] – URL: <https://en.ppt-online.org/622622>.
3. Бондаренко В.Л., Клюкович З.А. Прогнозирование и

методика оценки ущерба при чрезвычайных ситуациях для объектов народного хозяйства: учебное пособие. Ростов-н/Д: ООО «Тера», 2001. – 80 с.

4. Бусалаев И.В. Сложные водохозяйственные системы. Алма-Ата: Наука, 1980. – 231 с.

5. Василевский А.Г., Стефанишин Д.В. Понятия, определения, критерии и подходы при анализе надежности и безопасности гидротехнических сооружений // Гидротехн. стр-во. 1990. №3. С. 49-50.

6. Вдовин Ю.И. Водоснабжение населенных пунктов на Севере. – Л.: Стройиздат. Ленингр. отд-ние, 1980. – 135 с.

7. Гаврилюк С. М. Повышение надежности поверхностных источников водоснабжения при устойчивой тенденции посадки русла в местах размещения береговых водозаборных сооружений: автореф. дис. ... канд. тех. наук (05.23.04) / Гаврилюк Сергей Михайлович; Волгоградский гос. архитектурно-строительный ун-т. – Волгоград, 2011. – 20 с.

8. Калинин В. М. Оценка безотказности и прогнозирования долговечности трубопроводов подземной прокладки [Электронный ресурс] – URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?id=3370 (дата обращения: 02.03.2021).

9. Каталог открытой геоинформации [Электронный ресурс] – URL: http://opengedata.ru/информационные_ресурсы (дата обращения: 02.03.2021).

10. Костин А.В. Автоматизация процесса сбора отчетной информации в неоднородных иерархических организационных структурах / Сб. статей V Международной научно-практической конференции «Управление и экономика: исследование и разработка». – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2019. – С. 91 – 93.

11. Костин А.В. Типизация моделей данных для представления отчетной информации / Сб. статей IX Международной научно-практической конференции «Информационные ресурсы и системы в экономике, науке и образовании». – Пенза: Приволжский Дом знаний, 2019. – С. 72 – 74.

12. Математическое моделирование и оптимизация систем тепло-, водо-, нефте- и газоснабжения / Меренков А.П., Сеннова Е.В. и др. – Новосибирск: Наука, 1992, 407 с.

13. Моделирование водозаборных скважин Thursday, June 14, 2012 [Электронный ресурс] – URL: <https://water.alick.ru/search/label/комплексная%20модель> (дата обращения: 10.03.2021).

14. Мордвинцев М.М. Эксплуатация комплексных гидроузлов: курс лекций для студ. спец. 280302-«Комплексное использование и охрана водных ресурсов». – Новочеркасская гос. мелиоративная академия, 2007. – 75 с.

15. Перельман О.М., Пещеренко С.Н., Рабинович А.И., Слепченко С.Д. Методика определения надежности погружного оборудования и опыт ее применения. – ЗАО Новомет-Пермь, г. Пермь 17с. [Электронный ресурс] – URL: https://www.novometgroup.com/science_files/452610572005.pdf (дата обращения: 12.03.2021).

16. Половко А. М., Гуров С. В. Основы теории надежности. – СПб: БХВ-Петербург, 2006. – 706 с.

17. Пяльченков Д.В. Исследование влияния параметров добывающих скважин на отказы штанговых насосных установок // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №2 (2016) [Электронный ресурс] – URL: <http://naukovedenie.ru/PDF/140TVN216.pdf> (дата обращения: 12.03.2021).

18. СНиП 2.04.02-84*. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения (с Изменением N 1, с Поправкой) Зарегистрирован Росстандартом в качестве СП 31.13330.2010. Официальное издание М.: ФГУП ЦПП, 2006. – 128 с.

19. Сумароков С.В. Математическое моделирование систем водоснабжения. – Новосибирск: Наука, 1983. – 164 с.

20. Репозиторий версий бесплатного веб-фреймворка с открытым кодом laravel-5.6. [Электронный ресурс] – URL: <https://github.com/laravel-shift/laravel-5.6> (дата обращения: 12.02.2021).

21. Vue.js – фреймворк для создания веб-приложений клиентского уровня. [Электронный ресурс] – URL: <https://ru.vuejs.org/v2/guide/> (дата обращения: 12.02.2021).

22. Nginx – веб-сервер и почтовый прокси-сервер, работающий на Unix-подобных операционных системах [Электронный ресурс] – URL: <https://nginx.org/ru/docs/> (дата обращения: 12.02.2021).

23. Hideyuki Tadokoro, Nobuyuki Nakamura, Takuma Nishimura, Kazunori Uemura, Nobuhiko Kikuchi, Masayoshi

Hatayama. Monitoring and Control Systems for the IoT in the Water Supply and Sewerage Utilities [Электронный ресурс] – URL: https://www.hitachi.com/rev/archive/2017/r2017_07/r7-03/index.html (дата обращения: 14.04.2021).

24. Mario Castro Gama, Emilio Attilio Lanfranchi, Quan Pan, Andreja Jonoski. Water distribution network model building, case study / Procedia Engineering. 13-th International Conference on Computing and Control for the Water Industry, CCWI2015, 119 (2015), pp. 573 – 582 [Электронный ресурс] – URL: <https://reader.elsevier.com/locate/procedia> (дата обращения: 16.04.2021).

25. Industrial Internet of Things: Monitoring is the ideal way to get started with digitalization [Электронный ресурс] – URL: <https://www.ksb.com/en-ch/magazine/article-overview/smart-monitoring-is-the-easy-way-to-get-started> (дата обращения: 18.04.2021).

Статья поступила в редакцию 26.03.2021

Статья принята к публикации 16.06.2021