

К вопросам оценки надеж- ности систем водоснабжения и водоотведения

С начала 1990-х годов в нашей стране формируется новая система нормативных документов в соответствии с новыми экономическими условиями, законодательством и структурой управления на базе действующих норм и правил в строительной области Российской Федерации. Правила регулирования отношений, связанные с разработкой, принятием, применением и исполнением требований к процессам проектирования (включая изыскания), производства, строительства, монтажа, наладки, эксплуатации, хранения, перевозки, реализации и утилизации объектов утверждены Федеральным законом №184-ФЗ [1] как совокупность взаимосвязанных документов, принимаемых компетентными органами исполнительной власти и управления строительством, предприятиями и организациями. Главная направленность вновь разрабатываемых нормативных документов системы — защита прав и интересов потребителей строительной продукции, общества, государства, а также их безопасности.

Для централизованных систем водоснабжения понятие безопасности включает в себя обеспечение требуемых показателей качества воды, экологической безопасности, пожаробезопасности в течение процесса эксплуатации. К показателям качества относятся не только гигиенические параметры состава питьевой воды, но и надежность самой системы.

Понятие надежности для граждан, а особенно для специалистов в области водоснабжения и водоотведения (ВиВ), имеет такое же значение, как характеристика оборудования: насосов, двигателей, запорно-регулирующей арматуры, аппаратуры. Параметры надежности любого объекта не просто задаются, а экспериментально и теоретически обосновываются. Обывательский подход ко всему

окружающему не позволяет по сей день многим инженерам осознать, что обеспечение и сохранение надежности при проектировании, изготовлении, эксплуатации объекта — это не «изложение» требований, отождествляющих перечень мероприятий по достижению каких-то целей, а количественная оценка свойства рассматриваемого объекта в выполнении заданных функций.

Для централизованных систем водоснабжения понятие безопасности включает в себя обеспечение требуемых показателей качества воды, экологической безопасности, пожаробезопасности в течение процесса эксплуатации

Еще в 1970-е годы ведущими специалистами по проектированию, строительству и эксплуатации систем водоснабжения и водоотведения отмечалась необходимость научного подхода к надежности данных систем [2]. Благо что упомянутые предложения сегодня учтены в требованиях Постановления Правительства РФ №87 [3]. Можно согласиться с автором статьи [4], что в документе [3] не перечислены методы оценки надежности проектируемых систем водоснабжения и водоотведения. Тем не менее, это первый документ, в котором официально утверждено требование по количественной оценке надежности объекта (системы водоснабжения, водоотведения, теплоснабжения и т.д.), как свойства любого изделия, выпускаемого производителем: промышленным предприятием, проектной организацией или научно-исследовательским институтом.

Рецензия эксперта на статью получена 07.12.2024 [The expert review of the article was received on December 7, 2024]

УДК 628.147.1+628.247. Научная специальность: 2.1.4.

К вопросам оценки надежности систем водоснабжения и водоотведения

Л. Г. Дерюшев, к.т.н., доцент, кафедра строительства систем и сооружений водоснабжения и водоотведения, Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (РГГРУ, г. Москва)

Постановка задачи — обосновать требования по оценке надежности систем и сооружений объектов водоснабжения и водоотведения. Результаты — по данным анализа нормативных требований по проектированию, строительству, эксплуатации объектов систем водоснабжения и водоотведения, исследований и разработки методов оценки их надежности обоснованы предложения по редактированию разделов оценки надежности действующих сводов правил проектирования наружных систем водоснабжения и водоотведения. Выводы — значимость полученных результатов для строительной отрасли состоит в сокращении материальных затрат, повышении безотказности обеспечения требований потребителей по подаче и отводу воды.

Ключевые слова: системы водоснабжения и водоотведения, надежность, нормативные требования.

UDC 628.147.1+628.247. Scientific specialty: 2.1.4.

On the issues of assessing the reliability of water supply and sanitation systems

L. G. Deryushev, PhD, Associate Professor, the Department of Construction of Water Supply and Sanitation Systems and Structures, Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University (Moscow)

Problem statement — the task is to substantiate the requirements for assessing the reliability of systems and structures of water supply and sanitation facilities. Results — based on the analysis of regulatory requirements for the design, construction, operation of water supply and sanitation facilities, research and development of methods for assessing their reliability, proposals for editing sections of the reliability assessment of existing codes of rules for the design of outdoor water supply and sanitation systems are substantiated. Conclusions — the significance of the results obtained for the construction industry consists in reducing material costs, increasing the reliability of ensuring consumer requirements for water supply and drainage.

Keywords: water supply and sanitation systems, reliability, regulatory requirements.

По сей день в нормативных документах по проектированию и строительству систем ВиВ понятие надежности объекта (системы, сооружения, оборудования) формулируется как условный показатель качества. На стадии формирования новых сводов правил в 1995 году содержание п. 4.4 СНиП 2.04.02–84* [5] по классификации систем водоснабжения было отредактировано и приведено к такому виду: «централизованные системы водоснабжения по степени обеспеченности подачи воды подразделяются на три категории: I, II, III» (бесперебойная подача и допустимое снижение подачи воды $\Delta Q \leq 30\%$ на срок $t \leq 3$ суток; с перебоями и интервалом времени снижения подачи воды потребителям $\Delta Q \leq 30\%$ на срок $t \leq 10$ суток; с интервалами перебоя $t \leq 10$ суток и снижения подачи воды потребителям $\Delta Q \leq 30\%$ на срок $t \leq 24$ суток).

В своде правил для систем водоотведения классификация последних четко не оговорена, но приведено требование (п. 4.18 СП 32.13330.2018 [6]): «Надежность системы водоотведения, определяемая по ГОСТ 27751, характеризуется сохранением расчетной пропускной способности и степени очистки сточных вод при изменении в расчетных диапазонах расходов сточных вод и состава загрязняющих веществ... условий сброса их в водные объекты, в условиях перебоев в электроснабжении, возможных аварий на коммуникациях, оборудовании и сооружениях, производства плановых ремонтных работ, ситуаций, связанных с особыми природными условиями (сейсмичность, карстовые явления, просадочность грунтов, многолетнемерзлые грунты...)».

Данный ГОСТ не «...устанавливает общие принципы обеспечения надежности строительных конструкций и оснований», а формулирует требования по расчету прочности строительных конструкций для ситуаций: установившейся, переходной, аварийной и т.д. (п. 3.10 ГОСТ 27721–2014 [7]). Поэтому в печати нередко можно встретить высказывания типа: «...Могу с полной ответственностью утверждать, что...», хотя почти никто из специалистов-технологов и проектировщиков не владеет (и автор статьи — не исключение) методами оценки надежности систем ВиВ. «И не потому, что сами по себе эти методы плохи или недостоверны, а по причине того, что они не изучаются в ВУЗах, не описаны в учебниках, не отражены в нормативных документах...» [4].

Теория надежности — это система определенных идей, математических моделей и методов, направленных на решение проблем предсказания, оценки и оптими-



зации различных показателей надежности (например, вероятности безотказной работы, среднего времени безотказной работы, вероятности того, что система будет исправна в некоторый заданный или произвольный момент времени, и пр.) [8, 9]. Теория надежности едина, как для оценки надежности летательных аппаратов, так и объектов ВиВ. В большинстве случаев надежность функционирования объекта существенно зависит от организации, которая охватывает замену отказавших элементов, ремонт, проверки и т.п.

Надежность — есть вероятность того, что устройство выполняет свои функции в соответствии с заданными требованиями в течение времени t .

Если система должна подавать 100% воды, то и оценивать надо эту способность, а не рассчитывать возможную подачу воды системы при заданных показателях надежности ее элементов. Вместо того, чтобы усваивать и применять готовые методы оценки качества технических объектов, направление по нормированию требований надежности систем ВиВ дискредитируется. Нет доступа к достоверной информации по эксплуатации объектов ВиВ. Если и публикуются какие-то отрывки статистических данных по наработкам на отказ элементов систем ВиВ, то они, как правило, не убедительны. Чаще эти публикации имеют форму рекламы, а не объективных данных о надежности изделий.

Например, в период заполнения отчетственного рынка полимерными трубами поставщики «гарантировали» срок службы полиэтиленовых труб $T_{\text{сл}} = 200$ лет, хотя те и 50 лет не эксплуатировались в различных странах мира. До сих пор приводятся отчетные данные об интенсивности отказов трубопроводов $\lambda = 1/T_0$, как количество отказов за год на единицу длины [км]. Подобные данные противоречат здравому смыслу, хотя их и удобнее

составлять. В этом несложно убедиться на следующем примере. Допустим, что стальной трубопровод длиной L имеет интенсивность отказов $\lambda = 0,5\text{--}0,93$ 1/(год·км).

Если длина трубопровода составляет $L = 5$ км, то $T_0 = 1/(\lambda L) = 0,4\text{--}0,2$ года; при $L = 6$ м $T_0 = 333\text{--}179$ лет; при $L = 1$ м $T_0 = 2000\text{--}1075$ лет.

Поскольку основным показателем надежности трубопровода является долговечность, которая оценивается сроком службы $T_{\text{сл}}$, то интервалы функционирования Δt_i его элемента при выполнении заданных функций, можно фиксировать только по периодам работы ремонтного участка трубопровода (с момента укладки до даты замены). Срок службы ремонтного участка трубопроводной системы должен оцениваться [10]:

$$T_{\text{сл}} \leq T_0 + \frac{t_a \sigma}{\sqrt{N-1}}, \quad (1)$$

где $T_{\text{сл}}$ — нормируемый срок службы; T_0 — среднее время наработки на отказ; t_a — квантиль распределения Стьюдента; σ — среднее квадратичное отклонение наработки на отказ; N — объем выборки наблюдений; $(N-1)$ — число степеней свободы.

За отказ трубопровода (ремонтного участка) следует принимать событие, связанное с исключением его из работы для замены или ремонта поврежденных труб, а не произвольное (любое) отключение трубопровода из работы — на время t более трех суток для устранения неисправностей. Если повреждение связано с износом трубы, то необходимо перекладывать (реконструировать) весь ремонтный участок трубопровода. Смысл данного определения заключается в том, что при оценке надежности трубопровода необходимо учитывать качество конструкции, материалов, из которых он изготовлен, и изменение его свойств во времени при заданных условиях функционирования и эксплуатации. Единственным способом выявления закономерностей возникновения отказов и времени восстановления трубопроводов является сбор и обработка статистических материалов по их эксплуатации. Значимость и практическое использование результатов статистических оценок времени восстановления ремонтных участков трубопроводных систем определяются возможностью оценки вероятности их восстановления за время t .

Исходя из этого возможно оценить работу и достаточность оснащения ремонтно-восстановительных бригад, ремонтно-пригодность трубопроводов, совершенствовать нормы технического обслуживания трубопроводов.

Уровень надежности системы ВиВ должен назначаться в процессе ее проектирования, строительства и эксплуатации, о чем неоднократно высказывались ведущие ученые и руководители организаций по строительству и эксплуатации объектов водоснабжения России и зарубежных стран [2, 11–13]. На стадии проектирования можно избежать серьезных проблем в будущем при выполнении мероприятий по обеспечению надежности уже действующей системы.

Специалисты заводов-изготовителей труб констатируют, что правильно смонтированный и эксплуатируемый трубопровод из любого материала может служить 50–100 лет и более. Например, из правил Немецкой ассоциации по газу и воде (DVGW), а также Ассоциации сантехников (SEA) исключены различия по материалам труб [12]. Трубопровод из любого вида труб должен служить назначенный срок ($T_{\text{сл}} \geq 50$ лет) [12]. Надежность трубопроводной сети целесообразно оценивать не по количеству суммарных повреждений в системе, а по наработке на отказ T_0 каждого ремонтного участка сети с момента укладки труб до их отказа (с указанием условий функционирования, диаметра, материала трубопровода, и т.д.) на интервале $(0; t_0)$.

Оценка надежности объектов требует квалифицированного подхода для решения поставленных задач, в этом никто не сомневается. Нужны не только специалисты, но и условия доступа к отчетной документации по эксплуатации объектов, законы, которые бы мотивировали организации соблюдать требования потребителей по подаче и отводу воды, а муниципальные управления контролировать достоверность отчетных данных. Необходимо обосновать основные показатели надежности систем ВиВ, а также их предельные интервалы [14]. Наличие в действующих строительных нормах [5] требований по «...заданию определенного количества резервных агрегатов на

Оценка оптимальности любого объекта систем ВиВ должна выполняться не только по параметрам его стоимости, но и с учетом уровня выполнения заданных функций, который назначается показателями надежности

насосных станциях в зависимости от категории... предусматривать в резервуарах чистой воды аварийный объем воды... закладывать водопроводные сети» [4] не отражает уровни надежности сооружений систем водоснабжения, а только формулируют перечень возможных мероприятий по обеспечению требований потребителей к подаче или отводу воды (бесперебойности, проценту снижения подачи воды). По сей день на очистных сооружениях фильтры, отстойники не резервируются. И только попытка напоминания о необходимости резервирования сооружений на станциях очистки воды вызывает у некоторых специалистов не то что недоумение, а просто безудержный гнев. Фильтры очистных сооружений должны работать равномерно, с заданным циклом остановки на промывку или профилактику, а не форсированно; при увеличении скорости фильтрования снижается качество очистки воды. Даже если очистные сооружения работают не круглосуточно, это не исключает опасения, что за время ремонта или перегрузки одного из фильтров не возникнет необходимость в интенсификации работы оставшихся сооружений и оборудования. Более подробно все пояснения приведены в [15], с учетом которых требования по расчету фильтров в СП [5] были пересмотрены. Что касается указаний [4] по классификации элементов в системе очистки воды, то отметим, что рабочие и резервные элементы в любой системе не классифицируются по признаку периода простоя. Все элементы резервируемой системы могут взаимозаменяться, ремон-

тироваться, ставится на профилактику. Если элемент не обладает готовностью включаться в работу при необходимости, то он не является резервным элементом системы. Все периоды жизни систем и сооружений ВиВ должны учитываться и оцениваться количественно по установленным во всем мире правилам, формируемым на базе теории надежности [16–17], а не произвольно по усмотрению «опытных» специалистов.

Оценка оптимальности любого объекта систем ВиВ должна выполняться не только по параметрам его стоимости:

$$\Pi = (EK + C) \rightarrow \min$$

(где Π — приведенные затраты, руб/год; E — нормативный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений; K — капитальные вложения, руб.; C — эксплуатационные затраты, руб/год), но и с учетом уровня выполнения заданных функций, который назначается показателями надежности: $P(t)$ — вероятностью безотказной работы за время t ; $T_{\text{сл}}$ — нормируемым сроком службы; K_r — коэффициентом готовности и т.д.

Заключение

1. Требования по оценке надежности систем и сооружений водоснабжения и водоотведения должны соблюдаться не только по условиям выполнения постановлений Правительства РФ, но и необходимости совершенствования теоретических подходов по формированию методов проектирования, строительства и эксплуатации объектов ВиВ.
2. Необходимо восстановить требования по составлению ежегодных отчетов организаций по эксплуатации стратегических объектов ВиВ и обеспечению доступа к их статистической информации.
3. Предлагается выполнить редактирование разделов оценки надежности действующих сводов правил проектирования наружных систем водоснабжения и водоотведения с учетом требований Постановления Правительства РФ №87 [3].

1. О техническом регулировании: Федеральный закон РФ от 27.12.2002 №184-ФЗ.
2. Проблемы надежности систем водоснабжения: Тезисы докладов Первой Всесоюз. конф. по надежности систем водоснабжения (24–26.10.1973, г. Москва). — М.: Минобразования СССР; Изд-во МИСИ, 1973. 184 с.
3. Положение о составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию: Постановление Правительства РФ от 16.02.2008 №87.
4. Рушников А.Ю. Ответ на рецензию Л.Г. Дерюшева «К вопросу оценки расчетных расходов воды для отраслевых объектов» [на статью А.Ю. Рушникова «О расчетной производительности станций водоподготовки»] // Журнал СОК. 2024. №6. С. 26–27.
5. СП 31.13330.2021. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения [СНИП 2.04.02–84*] / Дата введ.: 28.01.2022.

7. ГОСТ 27751–2014. Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения (с Изм. №1) / Дата введ.: 01.07.2015.
8. Барлоу Р. Прошан Ф. Математическая теория надежности. Пер. с англ. И.А. Ушакова; под ред. Б.В. Гнеденко. — М.: Изд-во «Советское радио», 1969. 488 с.
9. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. — М.: Наука; Гл. ред. физ.-мат. лит., 1965. 524 с.
10. Дунин-Барковский И.В., Смирнов Н.В. Теория вероятностей и математическая статистика в технике (общая часть). — М.: Гос. изд-во техн.-теор. лит., 1955. 362 с.
11. Абрамов Н.Н. Надежность систем водоснабжения. — М.: Стройиздат, 1979. 231 с.
12. СП 32.13330.2018. Канализация. Наружные сети и сооружения [СНИП 2.04.03–85] (с Изм. №1–3) / Дата введ.: 26.06.2019.

12. Herz R.K. Ageing processes and rehabilitation needs of drinking water. Journal of Water Supply: Research and Technology — AQUA. 1996. Vol. 47. No. 6. Pp. 221–231.
13. Хэвиленд Р. Инженерная надежность и расчет на долговечность. Пер. с англ. Б.А. Чумаченко; под ред. Г.Н. Баласанова. — М.-Л.: Энергия. 1966. 232 с.
14. Дерюшев Л.Г. Надежность сооружений систем водоснабжения: учеб. пособие. — М.: Минобразования России; Изд-во МГСУ, 2015. 280 с.
15. Дерюшев Л.Г. К вопросу обеспечения надежности фильтровальных станций систем водоснабжения // Водоочистка. Водоподготовка. Водоснабжение, 2019. №3. С. 40–43.
16. ГОСТ Р 53480–2009. Надежность в технике. Термины и определения (с попр.) / Дата введ.: 01.01.2011.
17. ГОСТ 27.003–90. Надежность в технике. Состав и общие правила задания требований по надежности / Дата введ.: 01.01.1992.

References — see page 96.

On the issues of assessing the reliability of water supply and sanitation systems. Pp. 16–18.

Leonid G. Deryushev, PhD, Associate Professor, the Department of Construction of Water Supply and Sanitation Systems and Structures, Sergo Ordzhonikidze Russian State Geological Exploration University (Moscow)

1. *O tekhnicheskoy regulirovani* [On technical regulation]. *Federal'nyy zakon RF ot 27.12.2002 №184-FZ* [Federal Law of the Russian Federation No. 184-FL of December 27, 2002]. [In Russian]
2. *Problemy nadezhnosti sistem vodosnabzheniya* [Problems of reliability of water supply systems]. *Tezisy dokladov Pervoy Vsesoyuz. konf. po nadezhnosti sistem vodosnabzheniya (24–26.10.1973, g. Moskva)* [Abstracts of reports of the First All-Union Conference on the reliability of water supply systems. October 24–26, 1973]. Moscow. *Minobrazovaniya SSSR* [USSR Ministry of Education]; *Izd-vo MISI* [Publishing House of the Moscow Civil Engineering Institute]. 1973. 184 p. [In Russian]
3. *Polozhenie o sostave razdelov proektnoy dokumentatsii i trebovaniyakh k ikh sodержaniyu* [Regulation on the composition of sections of design documentation and requirements for their content]. *Postanovlenie Pravitel'stva RF ot 16.02.2008 №87* [Resolution of the Government of the Russian Federation No. 87 of February 16, 2008]. [In Russian]
4. *A.Yu. Rushnikov. Otvet na retsenziju L.G. Deryusheva "K voprosu otsenki raschetnykh rashodov vody dlya otraslevykh ob'ektov"* [Response to the "On the issue of assessing the estimated water consumption for industry facilities" review of L.G. Deryushev]. *Zhurnal Santehnika, otoplenie, konditsionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2024. No. 6. Pp. 26–27. [In Russian]
5. *SP 31.13330.2021* [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 31.13330.2021]. *Vodosnabzhenie. Naruzhnye seti i sooruzheniya* [SNiP 2.04.02–84*] [Water supply. External networks and structures (Building Rules & Regulations (National Codes and Standards of Russia) No. 2.04.02–84*)]. Date of impl.: January 28, 2022. [In Russian]
6. *SP 32.13330.2018* [The Code of Practice on Design and Construction (The Code of Practice of Russia) No. 32.13330.2018]. *Kanalizatsiya. Naruzhnye seti i sooruzheniya* [SNiP 2.04.03–85] (s *Izm. №1–3*) [Sewerage. External networks and structures (Building Rules & Regulations (National Codes and Standards of Russia) No. 2.04.03–85)]. Date of impl.: June 26, 2019. [In Russian]
7. *GOST 27751–2014* [State Industry Standard of Russia No. 27751–2014]. *Nadezhnost' stroitel'nykh konstruktсий i osnovaniy. Osnovnye polozheniya (s Izm. №1)* [Reliability of building structures and foundations. Basic provisions (with Amendment No. 1)]. Date of impl.: July 1, 2015. [In Russian]
8. Barlou R. Proshan F. *Matematicheskaya teoriya nadezhnosti* [Mathematical theory of reliability]. Transl. from English by I.A. Ushakov. Edited by B.V. Gnedenko. Moscow. *Izd-vo "Sovetskoe radio"* ["The Soviet Radio" Publishing House]. 1969. 488 p. [In Russian]
9. B.V. Gnedenko, Yu.K. Belyaev, A.D. Soloviev. *Matematicheskie metody v teorii nadezhnosti* [Mathematical methods in reliability theory]. Moscow. *Nauka* ["The Science" Publishers]; *Gl. red. fiz.-mat. lit.* [Main Editorial Board of Physical and Mathematical Literature of the USSR]. 1965. 524 p. [In Russian]
10. I.V. Dunin-Barkovsky, N.V. Smirnov. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika v tekhnike (obshchaya chast')* [Probability theory and mathematical statistics in engineering (general part)]. Moscow. *Gos. izd-vo tekhn.-teor. lit.* [State Publishing House of Technical and Theoretical Literature of the USSR]. 1955. 362 p. [In Russian]
11. N.N. Abramov. *Nadezhnost' sistem vodosnabzheniya* [Reliability of water supply systems]. Moscow. *Stroizdat* [Publishing House of Literature on the Construction and Architecture ("Stroizdat" Publishers)]. 1979. 231 p. [In Russian]
12. R.K. Herz. Ageing processes and rehabilitation needs of drinking water. *Journal of Water Supply: Research and Technology — AQUA*. 1996. Vol. 47. No. 6. Pp. 221–231.
13. R. Haviland. *Inzhenernaya nadezhnost' i raschet na dolgovечnost'* [Engineering reliability and durability calculation]. Transl. from English by B.A. Chumachenko. Edited by G.N. Balasanov. Moscow. *Jenergija* ["An Energy" Publishers]. 1966. 232 p. [In Russian]
14. L.G. Deryushev. *Nadezhnost' sooruzheniy sistem vodosnabzheniya: ucheb. posobie* [Reliability of water supply system structures: A tutorial]. Moscow. *Minobrazovanie Rossii* [Ministry of Education of the Russian Federation]; *Izd-vo MGSU* [Publishing House of Moscow State University of Civil Engineering]. 2015. 280 p. [In Russian]
15. L.G. Deryushev. *K voprosu obespecheniya nadezhnosti fil'troval'nykh stantsiy sistem vodosnabzheniya* [On the issue of ensuring the reliability of filtration stations of water supply systems]. *Vodoochistka. Vodopodgotovka. Vodosnabzhenie* ["Water purification. Water treatment. Water supply," Magazine]. 2019. No. 3. Pp. 40–43. [In Russian]
16. *GOST R 53480–2009* [State Industry Standard of Russia No. 53480–2009]. *Nadezhnost' v tekhnike. Terminy i opredeleniya (s popr.)* [Reliability in engineering. Terms and definitions (with amendment)]. Date of impl.: January 1, 2011. [In Russian]
17. *GOST 27.003–90* [State Industry Standard of Russia No. 27.003–90]. *Nadezhnost' v tekhnike. Sostav i obshchie pravila zadaniya trebovaniy po nadezhnosti* [Reliability in engineering. Composition and general rules for setting reliability requirements]. Date of impl.: January 1, 1992. [In Russian]