

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКЦИОННЫХ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК СЕТИ ВОДОСНАБЖЕНИЯ НА ОЦЕНКУ ЕЕ НАДЕЖНОСТИ

Галина Сергеевна Турчина

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
ДНР, Макеевка, Россия, galina_tur4ina@mail.ru*

Аннотация. В статье рассмотрены возможные способы учета влияния от эксплуатационных, конструктивных и структурных компонентов сети подачи и распределения воды при определении параметров ее надежности. Предложен математический подход в решении задачи влияния функциональной нагрузки участков труб при нахождении параметров надежности сети. Рассмотрена возможность нахождения «слабых» мест в системе подачи и распределения воды с позиции функциональной надежности. Показана возможность учета неравнозначности влияния, оказываемого отключением различных элементов водопроводной сети. Представлен способ расчета, учитывающий влияние резервирования за счет наличия дополнительных колец в системе водоснабжения. Расчет производится с применением булевой алгебры и теории вероятности. В результате исследований представлены выводы о возможности применения представленного математического подхода в решении задач надежности кольцевых сетей.

Ключевые слова: водопроводная сеть, надежность, вероятность безотказной работы, транспортная и раздаточная функции участков кольцевой водопроводной сети

Для цитирования: Турчина Г. С. Влияние конструктивных и функциональных характеристик сети водоснабжения на оценку ее надежности // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2024. Выпуск 2024-5(169) Инженерные системы и техногенная безопасность. С. 88–95. doi: 10.71536/vd.2024.5c169.11. edn: knxtse.

Original article

INFLUENCE OF STRUCTURAL AND FUNCTIONAL CHARACTERISTICS OF THE WATER SUPPLY NETWORK ON THE ASSESSMENT OF ITS RELIABILITY

Galina S. Turchina

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture,
DPR, Makeevka, Russia, galina_tur4ina@mail.ru*

Abstract. In the article has been reviewed possible ways to take into account the influence of operational, constructional and structural components of the water supply distribution network when determining its reliability parameters. A mathematical approach is proposed to solve the problem of the influence of the functional tension of pipe sections when finding network reliability parameters. The possibility of finding «weak» points in the water supply distribution system from the point of view of functional reliability was considered. The possibility of taking into account the unequal influence from disconnecting various elements of the water supply network is shown. A calculation method is presented that takes into account the influence of redundancy due to the presence of additional loops in the water supply system. The calculation is made using Boolean algebra and probability theory. As a result of the research, conclusions are presented about possibility of using the presented mathematical approach to solving the problems of reliability of loop water supply networks.



Keywords: water supply network, reliability, probability of no failure, transport and distribution functions of loop water supply network pipelines

For citation: Turchina G. S. Influence of structural and functional characteristics of the water supply network on the assessment of its reliability. *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Engineering systems and technological safety*. 2024;5(169):88–95. (In Russ.). doi: 10.71536/vd.2024.5c169.11. edn: knxtse.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

Ввиду того, что большая часть сетей городов была проложена многие десятилетия назад, часть трубопроводов исчерпала свой срок эксплуатации и находится в аварийном состоянии. Естественно, эксплуатирующая организация проводит ремонтные работы в случае аварии и стремится поддерживать систему в работоспособном состоянии. Однако, это не отменяет того факта, что большая часть участков труб нуждается в замене, а в случае роста городов – в прокладке новых участков с поправками диаметров труб с учетом увеличенного расхода воды из-за роста численности населения. В условиях необходимости проведения большого количества ремонтных работ [1] и, как следствие, затрат на их проведение, актуальным остается учет значимости и веса отдельных участков сети для определения их влияния на общую надежность системы подачи и распределения воды. Это поможет спрогнозировать, какие трубопроводы оказывают большее влияние на бесперебойную подачу воды сетью в целом, и какие участки следует внести в перечень восстанавливаемых объектов в первую очередь, обеспечив большую устойчивость системы, в отличии от других трубопроводов. В условиях ограниченных ресурсов и экономических затрат, оценка степени влияния отдельных элементов на работоспособность сети в целом может быть достаточно важной.

На стадии проектирования или оценки существующей сети с позиции бесперебойности подачи воды потребителям, также может быть полезным оценить надежность с точки зрения резервирующей способности и конфигурации распределительной системы.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Оценку надежности водопроводной сети можно с позиции ее составляющих: функциональной, структурной и эксплуатационной.

Надежность с точки зрения структуры системы подразумевает конфигурацию сети, а также параметры и характеристики ее отдельных элементов, которые могут оказывать влияние на частоту отказов, например, длина или материал труб. Исследователи в данной области часто опираются на булеву алгебру и теорию вероятности [2–8].

Эксплуатационная надежность оценивает сеть с позиции обслуживания и восстановления. Она определяется как вероятность того, что мероприятия по ремонтно-восстановительным работам и условия эксплуатации обеспечивают безотказность системы, восстановление от повреждений конструкций, дефектов и неисправностей, и, в общем, сеть остается в работоспособном состоянии. Данный вид надежности часто опирается на системы массового обслуживания и графологию [9–12].

Сети водоснабжения, имеющие кольцевую структуру, обладают своими особенностями, учет которых необходим при проведении оценки надежности. Благодаря своей структуре, в кольцевой системе одни кольца в некоторой степени могут дублировать другие (в зависимости от их возможностей транзита), и это служит для отдельных участков сети дополнительным нагруженным резервом. В связи с этим, функциональная составляющая надежности в кольцевых сетях водоснабжения несет двойственный характер для отдельных участков. В таких системах трубопроводы выполняют одновременно две задачи: отдачу воды из системы и транспортировку жидкости к другим участкам. Большая часть из исследуемых способов определения надежности водопроводных сетей, имеющих кольцевую структуру, не учитывает эту особенность в полной мере.

ЦЕЛИ

Целью работы является оценка надежности сети водоснабжения предложенным методом расчета и представление его возможностей, учитывающих общую конфигурацию распределительной системы, и различную значимость и вес отдельных трубопроводов с позиции вклада в отказ всей сети.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Прежде, чем начать расчет структурной надежности, необходимо четко обозначить событие, которое считается отказом системы. В случае систем водоснабжения, за отказ можно считать отсутствие возможности дальнейшей передачи воды к другим трубопроводам сети ввиду неработоспособности отдельных участков. Сюда также относится невозможность транзита воды к кольцу через смежные участки, так как это можно расценивать как аварийную ситуацию, вследствие которой будет наблюдаться отсутствие воды в этом кольце. При таких условиях возможно применить метод «минимальных сечений», который в своей основе опирается на булеву алгебру. Данный метод в своих работах представлял И. А. Рябинин [13], однако в решении задач оценки надежности кольцевых систем водоснабжения подобный подход не был представлен.

Согласно словам автора [13], минимальным сечением называется набор неработоспособных элементов, отказ которых приводит к отказу системы, а восстановление работоспособности любого из них – к восстановлению работоспособности системы. Минимальных сечений может быть несколько, и в каждом не обязательно наличия всех элементов системы.

В водопроводной сети минимальным сечением может выступать цепь участков, одновременные отказы которых приведут к дальнейшему неработоспособному состоянию сети. В случае восстановления одного из элементов такой цепочки, вода сможет продолжить свое движение к последующим трубопроводам. В сети, имеющей кольцевую структуру, вода может двигаться, своего рода, в обход некоторых аварийных участков.

Для наглядности применения оценки надежности кольцевой сети с применением метода минимальных сечений была рассмотрена сеть, состоящая из трех колец (рисунок). В первое «сечение» можно выделить цепочку участков 1-2, 1-7, 2-3 и 3-4. Если по причине аварии произойдет одновременное отключение или снижение расхода воды ниже 70 % от расчетного на всех вышеназванных трубопроводах, это скажется на дальнейшей транспортировке жидкости к последующим участкам.

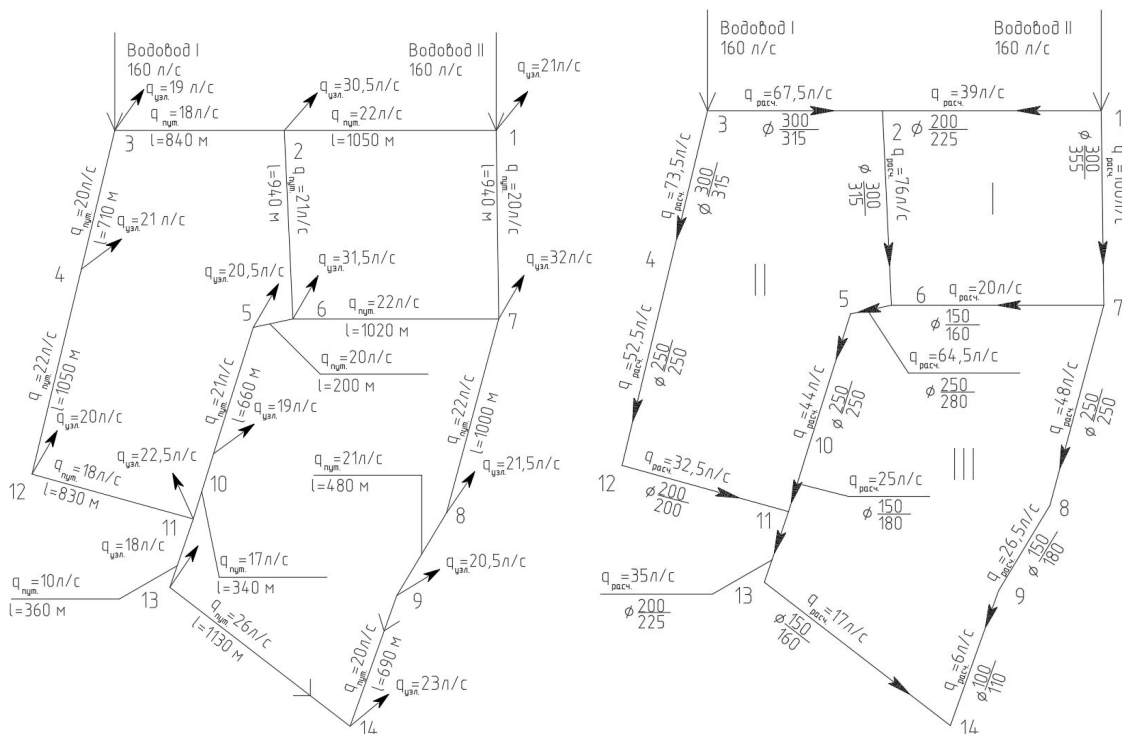


Рисунок – Схема водопроводной сети со значениями путевых и расчетных расходов, диаметров и длин участков (над чертой – чугунных, под чертой – полиэтиленовых).

В сети это далеко не единичный случай влияния отказа предшествующих трубопроводов, сказывающихся на стабильности подачи воды в последующих участках. При определенных обстоятельствах может быть достаточно одновременного снижения расхода воды на двух-трех трубопроводах, чтобы оказать существенное влияние на возможность забора воды из всех последующих участков. Как пример, одновременные

аварии на трубопроводах 1-7, 2-6 и любого из 3-4, 4-12 или 11-12 приведет к отказу всего кольца, состоящего из участков 5-6, 6-7, 7-8, 8-9, 9-14, 13-14, 11-13, 10-11 и 5-10. Таким образом, от недопдачи воды пострадают не только потребители вдоль трех вышеназванных участков, а значительно больше.

Исходя из данной позиции, можно найти цепочки неработоспособных состояний разных участков труб, и, оценив влияние на общую структуру, определить «сечения», отказ которых будет иметь влияние на всю дальнейшую распределительную систему.

Посредством учета конъюнктивно-дизъюнктивных связей, сеть, представленную на рисунке, можно записать в виде функции булевой алгебры

$$Q_{\text{сист}} = ((Q_{1-2} \wedge Q_{2-6}) \vee (Q_{2-3} \wedge Q_{2-6}) \vee Q_{1-7} \vee (Q_{3-4} \wedge Q_{4-12} \wedge Q_{11-12})) \wedge ((Q_{2-6} \wedge Q_{6-7}) \vee (Q_{2-6} \wedge Q_{5-6} \wedge Q_{5-10} \wedge Q_{10-11}) \vee (Q_{3-4} \wedge Q_{4-12} \wedge Q_{11-12})) \wedge (\text{Водовод 1} \vee Q_{1-2} \vee (Q_{1-7} \wedge Q_{6-7}) \vee (Q_{1-7} \wedge Q_{7-8} \wedge Q_{8-9} \wedge Q_{9-14} \wedge Q_{13-14} \wedge Q_{11-13})) \wedge (\text{Водовод 2} \vee Q_{2-3} \vee (Q_{3-4} \wedge Q_{4-12} \wedge Q_{11-12} \wedge Q_{10-11} \wedge Q_{5-6}) \vee (Q_{3-4} \wedge Q_{4-12} \wedge Q_{11-12} \wedge Q_{11-13} \wedge Q_{9-14} \wedge Q_{8-9} \wedge Q_{7-8})) \wedge (Q_{1-7} \vee Q_{2-6} \vee (Q_{3-4} \wedge Q_{4-12} \wedge Q_{11-12})). \quad (1)$$

Дизъюнкции (логический оператор «или», \vee) и конъюнкции (логический оператор «и», \wedge), принятые в булевой алгебре, возможно выразить и рассчитать, соответственно, через параллельное и последовательное соединение элементов [14].

Стоит отметить, что расчет подобным образом не способен учесть вес и значимость вклада каждого участка в отказ сети. Зачастую исследователи при проведении оценки надежности сетей стремятся усреднить показатели, используя одинаковые параметры для всех трубопроводов. Однако, они отличаются по своим характеристикам, таким как: диаметр, преобладающая функция (транспортировка или забор воды), материал, местоположение в сети, длина и т. д.

Многие способы нахождения параметров надежности многокольцевых систем, представленные в работах Е. М. Гальперина, И. Ю. Круценюк, В. Г. Новохатного, основываются на предположении об идентичности труб в сетях водоснабжения, и опираются на их усредненные характеристики [7, 8, 9, 11]. Однако, такое представление далеко от существующей ситуации, и в данном направлении все еще необходимы исследования для улучшения методов расчета [5].

Некоторые ученые в своих исследованиях прямым или косвенным образом касались темы неравнозначности элементов: И. А. Рябинин, А. А. Ионин, А. В. Горопашная, Н. И. Самойленко и др. [12, 13, 16, 17]. В своем труде [15] М. Я. Панову, В. И. Щербакову и Ю. Ф. Петрову удалось заметно продвинуться в этом направлении.

Вес участка g_i показывает, на какую долю от Q (общего расхода) уменьшается отдача воды сетью при отказе данного трубопровода, $g_i \leq 0,3$ (в соответствии с [18]). Значение g_i находится в интервале от 0 до 1 ($0 \leq g_i \leq 1$), сумма всех g_i равна 1. Данный параметр хорошо отображает распределительную функцию участка

$$g_i = \frac{q_{\text{пут } i}}{Q}, \quad (2)$$

где $q_{\text{пут } i}$ – путевой расход на трубопроводе, л/с;
 Q – общий подаваемый в сеть расход воды, л/с.

Значимость участка отражает возможности участка по транзиту воды, т. е. учитывает транспортную функцию. Иными словами, Z_i показывает, на сколько от общего расхода воды Q уменьшится транзит жидкости при отказе данного трубопровода

$$Z_i = \frac{C_i}{\sum C_i}, 0 \leq Z_i \leq 1, \sum Z_i = 1, \quad (3)$$

где C_i – относительное сечение трубопровода

$$C_i = \frac{f_i}{F} = \left(\frac{d_i}{D} \right)^2, \quad (4)$$

где f_i, d_i – площадь сечения и диаметр трубопровода на участке $\text{м}^2, \text{м}$;
 F, D – площадь сечения и диаметр условного трубопровода для пропуска всего подаваемого в сеть расхода воды при скорости $v = 1 \text{ м/с}$.

Рассматривая полученные значения g_i и Z_i , можно сделать вывод, какая из функций для данного трубопровода является преобладающей. Если $g_i > Z_i$, то превалирует раздаточная функция, если $g_i < Z_i$ – транспортная. Вклад отказа i -го участка (Q_{ib}) в отказ всей сети зависит от значений Z_i и g_i

$$Q_{ib} = Q_i \cdot \left(\frac{g_i + z_i}{2} \right), \quad (5)$$

здесь Q_i – вероятность отказа трубопровода.

$$Q_i = 1 - P_i = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (6)$$

где P_i – вероятность безотказности работы i -го участка.

Значения параметра λ встречается в справочной литературе, например [4, 19].

Более детально данная методика расчета представлена в работе [20].

Параметры участков, такие как путевой расход, длина и диаметр, представлены в таблицах 1 и 2, соответственно, для сети из полиэтиленовых ($\lambda = 0,02$ (1/км·год)) и чугунных ($\lambda = 0,43$ (1/км·год)) труб (при $t = 1$ год). Затем произведен расчет вероятности безотказной работы трубопроводов P_i без учета веса и значимости отдельных участков сети и с их учетом.

Таблица 1 – Расчетные значения параметров надежности трубопроводов из полиэтилена с учетом значимости и веса (P_i) и без учета (P_{ib})

№ уч.	l , км	$q_{\text{пут.}}$, л/с	d , мм	g_i	Z_i	P_i	Q_{ib}	$P_{ib} = 1 - Q_{ib}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1-2	1,05	22	225	0,0688	0,0529	0,960793	$1,26 \cdot 10^{-03}$	0,998736
1-7	0,94	20	355	0,0625	0,1314	0,979221	$1,81 \cdot 10^{-03}$	0,998195
6-7	1,02	22	160	0,0688	0,0269	0,981378	$9,66 \cdot 10^{-04}$	0,999034
2-6	0,94	21	315	0,0656	0,1032	0,979809	$1,57 \cdot 10^{-03}$	0,998428
5-6	0,2	20	280	0,0625	0,0815	0,981378	$2,87 \cdot 10^{-04}$	0,999713
3-4	0,71	20	315	0,0625	0,1032	0,996008	$1,17 \cdot 10^{-03}$	0,998832
2-3	0,84	18	315	0,0563	0,1032	0,985902	$1,33 \cdot 10^{-03}$	0,998672
5-10	0,66	21	250	0,0656	0,0653	0,983342	$8,58 \cdot 10^{-04}$	0,999142
10-11	0,34	17	180	0,0531	0,0337	0,986888	$2,94 \cdot 10^{-04}$	0,999706
11-12	0,83	18	200	0,0563	0,0418	0,993224	$8,07 \cdot 10^{-04}$	0,999193
4-12	1,05	22	250	0,0688	0,0653	0,983539	$1,39 \cdot 10^{-03}$	0,998607
7-8	1	22	250	0,0688	0,0653	0,979221	$1,33 \cdot 10^{-03}$	0,998673
8-9	0,48	21	180	0,0656	0,0337	0,980201	$4,74 \cdot 10^{-04}$	0,999526
9-14	0,69	20	110	0,0625	0,0128	0,990447	$5,16 \cdot 10^{-04}$	0,999484
13-14	1,13	26	160	0,0813	0,0269	0,986296	$1,21 \cdot 10^{-03}$	0,998792
11-13	0,36	10	225	0,0313	0,0529	0,977656	$3,02 \cdot 10^{-04}$	0,999698
Σ	12,24	320		1,0000	1,0000			

Согласно произведенным расчетам, наименьшей надежностью обладал участок 1-2. В сети, состоящей из полиэтиленовых труб, следующими трубопроводами, имеющими низкую надежность, были 1-7, 2-6, 4-12, 2-3, 7-8, 13-14, 3-4, в сети из чугунных труб – 2-6, 1-7, 4-12, 7-8, 2-3, 3-4, 13-14. Однако, в общей своей массе расчетные значения вероятности безотказной работы, произведенные с учетом значимости и веса участков, показывают большие значения, чем без их учета.

Применив для данной конфигурации сети (рисунок 1) выражение 1, можно оценить надежность сети с учетом ее структуры.

Для этого воспользуемся формулами теории вероятности для нахождения вероятности безотказной работы, соответственно, для двух параллельно (12) и последовательно (13) соединенных элементов:

$$а) P_{a,b} = 1 - [(1 - P_a) \cdot (1 - P_b)]; \quad (12)$$

$$б) P_{a,b} = P_a \cdot P_b. \quad (13)$$

Проведя расчет согласно выражению (1), получаем следующие значения вероятности отказа системы ($Q_{\text{сист}}$): сеть, состоящая из полиэтиленовых труб, $Q_{\text{сист}} = 0,0001067$, из чугунных, $Q_{\text{сист}} = 0,4729145$.

Таблица 2 – Расчетные значения параметров надежности трубопроводов из чугуна с учетом значимости и веса (P_i) и без учета (P_{ib})

№ уч.	l , км	$q_{\text{пут.}}$, л/с	d , мм	g_i	Z_i	P_i	Q_{ib}	$P_{ib} = 1 - Q_{ib}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1-2	1,05	22	200	0,0688	0,0483	0,636702	0,021262	0,978738
1-7	0,94	20	300	0,0625	0,1084	0,667539	0,028409	0,971591
6-7	1,02	22	150	0,0688	0,0271	0,644968	0,017015	0,982985
2-6	0,94	21	300	0,0656	0,1084	0,667539	0,028928	0,971072
5-6	0,2	20	250	0,0625	0,0754	0,917602	0,005681	0,994319
3-4	0,71	20	300	0,0625	0,1084	0,736926	0,022480	0,977520
2-3	0,84	18	300	0,0563	0,1084	0,696866	0,024956	0,975044
5-10	0,66	21	250	0,0656	0,0754	0,752939	0,017421	0,982579
10-11	0,34	17	150	0,0531	0,0271	0,863998	0,005455	0,994545
11-12	0,83	18	200	0,0563	0,0483	0,699868	0,015689	0,984311
4-12	1,05	22	250	0,0688	0,0754	0,636702	0,026185	0,973815
7-8	1	22	250	0,0688	0,0754	0,650538	0,025187	0,974813
8-9	0,48	21	150	0,0656	0,0271	0,813525	0,008645	0,991355
9-14	0,69	20	100	0,0625	0,0118	0,743290	0,009537	0,990463
13-14	1,13	26	150	0,0813	0,0271	0,615174	0,020848	0,979152
11-13	0,36	10	200	0,0313	0,0483	0,856600	0,005704	0,994296
Σ	12,24	320	200	1,0000	1,000			

Вероятность безотказной работы ($P_{\text{сист}}$), соответственно, составляет: для сети из полиэтиленовых труб – 0,9998933, из чугунных – 0,5270855.

При проведении расчета согласно представленной методике, с учетом веса и значимости участков, получаются следующие значения вероятности безотказной работы ($P_{\text{сист}}$): для сети из полиэтиленовых труб – 0,9999996, из чугунных – 0,9962815.

Если в схему сети (рисунок) добавить два участка: 4-5 (длина – 900) и 9-10 (длина – 1 150 м) [21], изменив путевые, расчетные и узловые расходы согласно новому потокораспределению, можно получить конфигурацию сети с пятью кольцами.

В результате расчета подобной сети получены следующие данные:

– без учета веса и значимости участков:

а) для сети, состоящей из полиэтиленовых трубопроводов, $P_{\text{сист}} = 0,999956$;

б) для сети, состоящей из чугунных трубопроводов, $P_{\text{сист}} = 0,750139$;

– с учетом веса и значимости участков, сеть состоит:

а) из полиэтиленовых трубопроводов, $P_{\text{сист}} = 0,999999$;

б) из чугунных трубопроводов, $P_{\text{сист}} = 0,999950$.

Расчет вышеизложенным методом способен учитывать конфигурацию сети и наличие дополнительного резервирования за счет создания дополнительных колец.

ВЫВОДЫ

Согласно расчета, без учета веса и значимости получаются достаточно малые значения, отчего можно сделать представление о небольшой надежности сети, более заметно это на примере сети из чугунных труб. В подобном случае каждая четвертая авария в распределительной системе приводила бы к отказу всей сети, что не соответствует действительности. При этом учет возможности резерва трубопроводов через дополнительные кольца, веса и значимости участков приводит к получению более достоверных результатов. Полученные значения показывают недостаточную эффективность классических способов расчета надежности кольцевых водопроводных сетей. Согласно вышеизложенным данным, расчет с помощью данного метода способен не только учесть влияние функциональной составляющей участков, но и численно показать, какая из предложенных конфигураций сети будет более рациональной с точки зрения нахождения баланса между повышением надежности и капитальными затратами.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Трякина, А. С. Оценка рисков функционирования систем водоснабжения и водоотведения городов Донбасса / А. С. Трякина. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2020. – Выпуск 2020-5(145) Инженерные системы и техногенная безопасность. – С. 11–16. – URL: [https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2020/2020-5\(145\)/st_02_tryakina.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2020/2020-5(145)/st_02_tryakina.pdf) (дата обращения: 02.09.2024). – ISSN 2519 2817.
2. Алексеев, М. И. О методологии исследования надежности стареющих элементов систем водопровода и канализации / М. И. Алексеев, Ю. А. Ермолин. – Текст : непосредственный // Водоснабжение и санитарная техника. – 2002. – Выпуск № 9. – С. 2–4.
3. Журба, М. Г. Водоснабжение. Проектирование систем и сооружений : учебное пособие в 3 томах : том 1 / М. Г. Журба, Л. И. Соколов, Ж. М. Говорова. – 2 изд-е, переработанное и дополненное. – Москва : Издательство АСВ, 2004. – 288 с. – Текст : непосредственный.
4. Ильин, Ю. А. Надежность водопроводных сооружений и оборудования / Ю. А. Ильин. – Москва : Стройиздат, 1985. – [1], 241 с. – (Надежность и качество). – Текст : непосредственный.
5. Найманов, А. Я. Особенности оценки надежности кольцевой водопроводной сети / А. Я. Найманов. – Текст : непосредственный // Водоснабжение и санитарная техника. – 2006. – Выпуск № 12. – С. 11–16.
6. Найманов, А. Я. Защита от коррозии систем коммунального хозяйства / А. Я. Найманов, Н. И. Зотов, В. Н. Маслак ; Министерство образования и науки Украины, Национальная академия наук Украины. Институт экономики промышленности. – Донецк : ИЭП НАН Украины, 2001. – 79 с. – ISBN 966-02-1780-3. – Текст : непосредственный.
7. Круценюк, И. Ю. Информационная система расчета, прогнозирования и управления состоянием системы водоснабжения НПП / И. Ю. Круценюк. – Текст : непосредственный // Социально-экономическое развитие Норильского промышленного района и Таймыра : материалы региональной научно-практической конференции, Норильск, (20–22 апреля 2004 г.). – Норильск : Норильский индустриальный Институт, 2004. – С. 108–111.
8. Круценюк, И. Ю. Математические методы получения численных показателей надежности простейших комбинаций элементов системы ТВС г. Норильска / И. Ю. Круценюк. – Текст : непосредственный // Информационная среда вуза : материалы XI Международной научно-технической конференции, Иваново, 2004. – Иваново : Ивановская государственная архитектурно-строительная академия, 2004. – С. 531–535.
9. Гальперин, Е. М. Расчет кольцевых водопроводных сетей с учетом надежности функционирования / Е. М. Гальперин. – Саратов : издательство Саратовского университета, 1989. – 102 с. – ISBN 5-292-00285-2. – Текст : непосредственный.
10. Kołowrocki, K. Modelling reliability of water supply network / K. Kołowrocki, B. Tchórzewska-Cieślak, I. Piegdoń. – Текст : непосредственный // Journal of Polish Safety and Reliability Association. – 2015. – Volume 6, Number 2. – P. 125–133.
11. Водопроводные сети и сооружения : [учебное пособие для специальности 2908 «Водоснабжение, канализация, рациональное использование и охрана водных ресурсов»] / В. Г. Новохатний, Н. В. Григоренко ; Министерство высшего и среднего специального образования УССР, учебно-методический кабинет по высшему образованию, Полтавский инженерно-строительный институт. – Киев : УМКВО, 1989. – 107 с. – Текст : непосредственный.
12. Самойленко, Н. И. Функциональная надежность магистральных трубопроводных транспортных систем : монография / Н. И. Самойленко, Т. С. Сенчук. – Харьков : Издательство «ХТМТ», ХНАГХ, 2009. – 276 с. – ISBN 978-966-8603-69-5. – Текст : непосредственный.
13. Рябинин, И. А. Логико-вероятностные методы исследования надежности структурно-сложных систем / И. А. Рябинин, Г. Н. Черкесов. – Москва : Радио и связь, 1981. – 264 с. – (Б-ка инженера по надежности). – Текст : непосредственный.
14. Рябинин, И. А. О связи математической логики с теорией вероятностей / И. А. Рябинин. – Текст : непосредственный // Ученые записки РГГУ : научно-теоретический журнал. – 2008. – Выпуск № 6. – С. 170–176.
15. Модели управления функционированием систем подачи и распределения воды / М. Я. Панов, Ю. Ф. Петров, В. И. Щербак, В. Г. Стогней. – Воронеж : Воронежский ГАСУ, 2013. – 271 с. – Текст : непосредственный.
16. Горопашная, А. В. Адаптация логико-вероятностных методов оценки веса, зависимости, вклада, ущерба и активности элементов для немонотонных логических функций / А. В. Горопашная. – Текст : непосредственный // International Scientific School. Modeling and Analysis of Safety and Risk in Complex Systems, MA SR-2007, Saint-Petersburg, Russia, September 4–8. – Saint-Petersburg : [s. n.], 2007. – P. 409–412.
17. Ионин, А. А. Надежность систем тепловых сетей / А. А. Ионин. – Москва : Стройиздат, 1989. – 261 с. – (НК : Надежность и качество). – ISBN 5-274-00518-7. – Текст : непосредственный.
18. СП 31.13330.2021. Водоснабжение. Наружные сети и сооружения = Water supply. Pipelines and portable water treatment plants : издание официальное : утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 27 декабря 2021 г. № 1016 : актуализированная редакция СНиП 2.04.02-84* : дата введения 28.01.2022 / исполнитель федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН). – Москва : Минстрой России, 2021 г. – 161 с. – Текст : электронный // Минстрой России : [сайт]. – URL: <https://www.minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/02f/31.pdf> (дата обращения: 05.09.2024).
19. Защита трубопроводов от коррозии / В. С. Ромейко, В. Г. Баталов, В. Е. Бухин, И. А. Симонова ; под редакцией

- В. С. Ромейко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : ООО «Издательство ВНИИМП», 2002. – 218 с. – Текст : непосредственный.
20. Турчина, Г. С. Оценка надежности систем подачи и распределения воды с учетом дополнительных параметров / Г. С. Турчина. – Текст : электронный // Строительство и техногенная безопасность. – 2019. – Выпуск № 16 (68). – С. 73–80. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-nadezhnosti-sistem-podachi-i-raspre-deleniya-vody-s-uchetom-dopolnitelnyh-parametrov> (дата обращения: 05.09.2024).
21. Турчина, Г. С. Способы оценки надежности сети водоснабжения с учетом ее конструктивных особенностей / Г. С. Турчина, А. Я. Найманов. – Текст : электронный // Технологии очистки воды «ТЕХНОВОД-2023» : материалы XIV Международной научно-практической конференции, Кисловодск, 18–21 апреля 2023 года. – Новочеркасск : ООО «Лик», 2023. – С. 130–135. – URL: elibrary.ru/download/elibrary_54020201_71681039.pdf (дата обращения: 21.10.2024). – EDN: GJFMXM.

Информация об авторе

Турчина Галина Сергеевна – магистр; старший преподаватель кафедры городского строительства и хозяйства Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: надежность сетей, методы повышения надежности сетей водоснабжения.

Information about the author

Turchina Galina S. – MPhil; Senior lectures, Municipal Building and Economy Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: reliability of systems, methods of increasing reliability of water supply nets.

Статья поступила в редакцию 25.09.2024; одобрена после рецензирования 18.10.2024; принята к публикации 25.10.2024.

The article was submitted 25.09.2024; approved after reviewing 18.10.2024; accepted for publication 25.10.2024.