УДК 628.16

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ КОЛЬЦЕВОЙ ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ С УЧЕТОМ ЗНАЧИМОСТИ УЧАСТКОВ

Найманов А.Я., Турчина Г.С.
Донбасская национальная академия строительства и архитектуры,
г. Макеевка

Стаття присвячена проблемі неврахованої нерівнозначності різних ділянок в кільцевих системах водопостачання при розрахунку параметрів водопостачання. Як одне з рішень даної проблеми розглядається можливість введення коефіцієнта значущості при розрахунку надійності всієї системи водопостачання. Запропанована методика оцінки надійності кільцевої водопровідної мережі з урахуванням надійності ділянок.

Ключові слова. *Надійність, вірогідність безвідмовної роботи, кільцева водопровідна мережа*

Статья посвящена проблеме неучтенной неравнозначности различных участков в кольцевых водопроводных сетях при расчете параметров надежности водоснабжения. В качестве одного из решений данной проблемы рассматривается возможность введения коэффициента значимости участка при расчете надежности системы водоснабжения. Предложена методика оценки надежности кольцевой водопроводной сети с учетом надежности участков.

Ключевые слова. *Надежность, вероятность безотказной работы, кольцевая водопроводная сеть*

The article is devoted to the problem of unaccounted inequivalence of different sections of the ring water supply networks at the calculation of parameters reliability of water supply. The possibility of introduction of coefficient of relevance sections at the calculation of reliability of water supply systems is considered as one of decisions of this problem. The method for assessing the reliability of the ring water supply network with account for reliability of sections is proposed.

Keywords. *Reliability, probability of faultless work, ring plumbing network*

Задача оценки надежности водопроводной сети до настоящего времени не имеет общепринятого решения. Это затрудняет выработку правил построения наиболее надежных схем сетей, да и назначение

диаметров трубопроводов производится с недостаточным учетом обеспечения надежности. К наиболее известным работам по надежности кольцевых сетей следует отнести труды Гальперина Е.М., Евдокимова, Рябченко И.Н., Ионина А.А., Ткачука А.А., Новохатнего В.Г. [1-6]. В частности Ионин А.А. предложил значимость участка сети оценивать по величине относительного (нормализованного) расхода q_{in}.

$$q_{in} = \frac{q_i}{Q},$$

где q_i – расчетный расход воды на участках сети, л/с;
Q – общий расход воды, подаваемой в сеть.

На наш взгляд более объективным показателем роли участка следует считать величину относительного сечения труб на участке сети C_i.

$$C_i = \frac{f_i}{F} = \frac{d_i^2}{D^2},$$

здесь d_i и f_i – диаметр и площадь сечения труб на участке;
D и F – условный диаметр и площадь сечения трубопровода для пропуска всего подаваемого в сеть расхода воды Q при скорости течения *V = 1 м/с*.

Сумма величин C_i всех участков кольцевой сети в какой-то мере может служить показателем рациональности устройства сети. В самом деле, чем больше эта сумма, тем больше затрачено труб для подачи воды. Учтем, что $\sum C_i$ обычно изменяется от 1 (для тупиковой сети в одну линию) до 4 (для однокольцевой сети, все участки которой должны иметь диаметр D из условия надежности). Такая изменчивость делает данный параметр не вполне удобным. Удобнее значимость участка Z_i оценивать по величине отношения:

$$Z_i = \frac{C_i}{\sum C_i}$$

Данная величина может изменяться от 0 до 1. Чем выше значимость участка, тем сильнее его отказ влияет на надежность сети.

За отказ сети может приниматься снижение расхода воды более, чем на 30% согласно требований СНиП 2.04.02-84 и ДБН В.2.5-74:2013. Кстати, это же требование может быть использовано и для назначения диаметров труб на участках, выходящих из любого узла сети. При аварии на любом из выходящих из узла участков общий расход воды, отводимый из узла, должен быть не менее 70% расчетного значения. На практике это значит, что при двух выходящих участках диаметр каждого из них должен быть назначен по 70%-м

суммарного расчетного воды на этих участках. Таким образом, сеть приобретает резерв пропускной способности, но ценой увеличения ее стоимости. Для уменьшения стоимости возможно уменьшенное количество колец магистральной сети, принимая длину стороны кольца близкой к максимально допускаемому нормами пределу, т.е. до 1500 м.

В структурно-логической схеме кольцевой сети все участки могут быть показаны как параллельно соединенные элементы [7]. Это связано с тем, что отказ одного участка не ведет к отказу других участков. Параметры надежности каждого участка могут быть легко вычислены по известным формулам:

- количество отказов участка $n_i = \lambda l_i t$;
- общее количество отказов в сети $N = \sum n_i$;
- вероятность безотказной работы и вероятность отказа $P_i = e^{-\lambda l_i t}$; $Q_i = 1 - P_i$;
- коэффициент готовности $Кг_i = \dfrac{\mu}{\mu + \lambda l_i}$;

здесь λ – интенсивность отказов, $\dfrac{1}{год \cdot км}$, зависит λ от материала труб;

l_i – длина участка, км;

t – время эксплуатации, для новых трубопроводов принимается t = 1 год;

μ – интенсивность восстановления, $\dfrac{1}{год}$.

Дальнейший ход процедуры оценки надежности сети имеет различные трактовки. Одним из возможных вариантов является использование предложения о параллельном соединении всех участков сети в структурно-логической схеме. В этом случае вычисление параметров надежности сети (Р и Кг) осуществляется по известным формулам для систем с параллельным соединением элементов при постоянном резервировании. Однако, безоговорочному принятию данного решения препятствует неодинаковая значимость участков.

Логично предположить, что каждый участок влияет на общую интенсивность отказов сети в соответствии со своей значимостью. Тогда $\lambda_{сети} = \sum(\lambda_i \cdot Z_i)$.

Далее вычисляется вероятность безотказной работы сети:

$$P_{сети} = e^{-\lambda_{сети} t}$$

Коэффициент готовности сети (с учетом того, что $\mu_{сети} = r\mu$) составит:

$$Кг_{(сети)} = \frac{r\mu}{r\mu + \lambda_{сети}}$$, где:

r – количество ремонтных бригад.

Средняя наработка сети на отказ и среднее время восстановления:

$$T_{о(сети)} = \frac{1}{\lambda_{сети}}, \quad T_в = \frac{1}{r\mu};$$

Для примера вычислены параметры надежности для условной сети (рис.1) из полиэтиленовых труб. Результаты расчетов приведены в табл. 1. Диаметр трубопровода для пропуска всего расхода воды, подаваемого в сеть (280 л/с) составляет D = 600 мм.

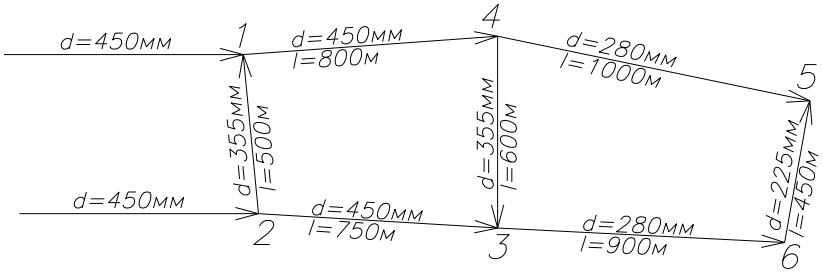

Рис. 1. Схема условной сети из полиэтиленовых труб (для полиэтиленовых труб принято $\lambda = 0{,}02 \frac{1}{км \cdot год}$).

Таблица1. Результатов расчета параметров надежности условной сети из полиэтиленовых труб

(D = 600 мм, $\lambda = 0{,}02\dfrac{1}{км \cdot год}$, $\mu = 219\dfrac{1}{год}$, t = 1 год)

№ участков	Диаметр труб на участке, d_i, мм	$C_i = \left(\dfrac{d_i}{D}\right)^2$	$Z_i = \dfrac{C_i}{\sum C_i}$	Длина участка l_i, км	$\lambda_i = \lambda_i \cdot l_i$	$\lambda_i \cdot Z_i$	$P_i = e^{-\lambda l_i t}$	$Кг_{(i)} = \dfrac{\mu}{\mu + \lambda l_i}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1-2	355	0,35	0,145	0,50	0,010	0,00145	0,990051	0,999954
2-3	450	0,563	0,234	0,75	0,015	0,00354	0,985113	0,999932
3-4	355	0,35	0,145	0,60	0,012	0,00174	0,988073	0,999945
4-1	450	0,563	0,234	0,80	0,016	0,00374	0,984129	0,999927
4-5	280	0,218	0,091	1,00	0,020	0,00182	0,980201	0,999909
5-6	225	0,141	0,06	0,45	0,009	0,00054	0,991041	0,999959
3-6	280	0,218	0,091	0,90	0,018	0,00164	0,982161	0,999918
		$\sum C_i = 2{,}403$	$\sum Z_i = 1$	$\sum l_i = 5$	$\sum \lambda_i = 0{,}10$	$\sum \lambda_i \cdot Z_i =$ $= 0{,}01444$	$ПР_i = 0{,}904845$ $ПКг_i = 0{,}999544$	

Итак, $\lambda_{сети} = \lambda_i \cdot Z_i = 0{,}01444 \ \frac{1}{год \cdot км}$;

$$P_{сети} = e^{-\lambda l_i t} = e^{-0{,}01444 \cdot 1} = 0{,}9856617;$$

$$T_{о(сети)} = \frac{1}{\lambda_{сети}} = 69{,}24\,лет, \ T_в = \frac{1}{\mu} = 0{,}004566\ лет = 40\,час.;$$

$$Кг_{(сети)} = \frac{\mu}{\mu + \lambda_{сети}} = 0{,}999934;$$

Величина $P_{сети}$ значительно выше величины произведения вероятностей безотказной работы участков $ПР_i$. Это значит, что $P_{сети}$ не является результатом последовательного соединения участков. В то же время подсчет величины $P_{сети}$ при чисто параллельном соединении всех участков дает величину $P_{сети(П)}$ = 0,999999. Следовательно, величина $P_{сети}$ соответствует сочетанию параллельного и последовательного соединения участков в структурной схеме сети. Аналогичный результат дает и сравнение величины $Кг_{(сети)}$ и $ПКг_{(i)}$. Можно считать, предложенная методика оценки надежности кольцевой сети с учетом надежности участков может быть использована в практических целях.

1. Гальперин Е.М. Расчет кольцевых водопроводных сетей с учетом надежности функционирования. – Саратов: Издательство Саратовского университета, 1989. – 104 с.
2. Евдокимов А.Г., Тевяшев А.Д., Дубровский В.В., Моделирование и оптимизация потокораспределения в инженерных сетях. – М.: Стройиздат, 1990.
3. Рябченко И.Н. Автоматизоване управління потокорозподілом систем подачі й розподілу води у штатних та аварійних режимах роботи. Автореф. д-ра техн.. наук: Херсон, ХДТУ, 2003.
4. Ионин А.А. Надежность систем тепловых сетей. – Москва: Стройиздат, 1989.– 265 с.: ил.– (НК: Надежность и качество).
5. Ткачук А.А. Структурно-функціональне удосконалення систем подачі та розподілу води. Автореф. д-ра техн.. наук.: Рівно, НУВГП, 2007.
6. Новохатній В.Г. Надійність функціонування подавально-розподільного комплексу систем водопостачання. Автореф. д-ра техн.. наук: Київ, КНУБА, 2012.
7. Найманов А.Я. Особенности оценки надежности кольцевой сети водопроводной сети // Водоснабжение и санитарная техника, 2006, №12.