

УДК 628.144.22

А. Я. НАЙМАНОВ, Г. С. ТУРЧИНА

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

**УЧЕТ НЕРАВНОЗНАЧНОСТИ РАЗЛИЧНЫХ УЧАСТКОВ
ВОДОПРОВОДНОЙ СЕТИ ПРИ РАСЧЕТЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ
ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

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.

надежность, вероятность безотказной работы, кольцевая водопроводная сеть

На сегодня существует множество конфигураций водопроводных сетей, обладающих разными уровнями показателей долговечности, безотказности, ремонтпригодности, сохраняемости. Необходимо обеспечить наибольшую надежность сети.

Чтобы понять, сколь надежна та или иная система, необходимо произвести расчёт. На сегодня существует несколько способов справиться с поставленной задачей, например:

1. Расчет на основании составленного графа системы с последующим приведением к системе дифференциальных уравнений Колмогорова.
2. Расчет с помощью булевой алгебры и составления логических уравнений.
3. Рассмотрение системы с точки зрения марковских процессов как систему массового обслуживания.
4. Приведение системы к последовательно-параллельной схеме с последующим решением с помощью декомпозиции и эквивалентирования.

Каждый из этих методов имеет свои плюсы и минусы, и все же один недостаток объединяет все эти способы – это отсутствие учета неравнозначности различных участков одной и той же сети. Да, частично эта проблема решается, например, при расчете с помощью так называемой булевой алгебры. Тогда, при способе расчета минимальными сечениями, возможен учет важности местоположения одного участка в сравнении с другими. Частично эта же методика нашла свое отображение при расчете системы, сведенной к схеме с последовательно-параллельными элементами. Однако ни в одном из приведенных способов не ведется учет неравнозначности участков в связи с проходящим через их сечение количеством воды [1–3].

Решение проблемы неравнозначности участков попытаемся выполнить на примере сети, состоящей из 2х колец. Материал для трубопроводов – пластик ПЭ 100 SDR 17 ГОСТ 18599-2001. Расчетный расход на участках подбираем в зависимости от узлового расхода (рис. 1).

Для обеспечения подачи воды предлагается подбор диаметров труб выполнять не по расчетным расходам, а по приведенным расходам на участках. Эти расходы введены исходя из того, что при аварии на каком-либо участке существует необходимость пропустить сумму выходящих из узла объемов воды (не менее 70 % от требуемого) дополнительно через другие участки. Тогда необходимо на участке сети предусматривать трубопроводы с увеличенным диаметром. Вот эти увеличенные (приведенные) расходы по участкам для подбора диаметров для данного примера представлены на рис. 2.

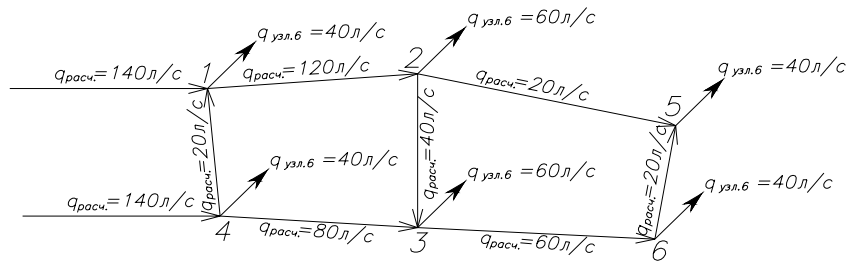


Рисунок 1 – Схема сети водоснабжения, состоящая из двух колец с распределенными узловыми и расчетными расходами.

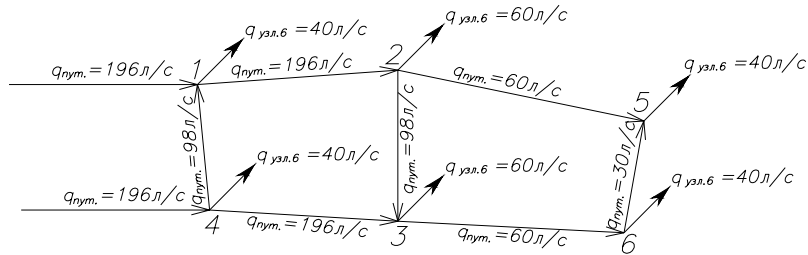


Рисунок 2 – Схема сети водоснабжения из двух колец с учетом увеличения расхода при аварии на каком-либо участке (с приведенными расходами).

Выбранные по приведенным расходам диаметры труб представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Расход и диаметры трубопроводов по участкам с учетом увеличения диаметров участков на случай аварии

№ участков	Длина участка, м	Приведенный расход, л/с	Диаметр, мм
Водовод 1	2 000	196	450
Водовод 2	2 000	196	450
1–2	800	196	450
2–3	600	98	355
3–4	750	196	450
4–1	500	98	355
2–5	1 000	60	280
5–6	450	30	225
6–3	900	60	280

Не все участки имеют равную значимость для данной конкретной системы. Например, отказ участков 1–2, 1–4, 4–3, выходящих из узлов подключения водоводов, имеют большие последствия для сети, чем отключение участков 2–5, 5–6, 3–6. Дополнительно к этому в любой системе водоснабжения через разные участки проходит различное количество воды, следовательно, участки неравнозначны.

Для учета такой неравнозначности в газовых сетях А. А. Ионин рассматривал долю недопдачи газа от каждого участка в случае их отказа [4, 5]. Однако в случае расчета систем водоснабжения следует учитывать возможность пропуска дополнительных расходов воды через другие участки. Эта возможность зависит от диаметра трубопроводов. Следовательно, можно провести расчет коэффициента значимости на основании величины сечений трубопроводов.

В качестве коэффициента значимости Z_i предлагается принять долю общей пропускной способности сети, которая приходится на данный участок. Для каждого участка он равен отношению безразмерного сечения трубопровода к сумме безразмерных сечений трубопроводов всех участков сети.

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

где S_i – безразмерные сечения трубопроводов для каждого участка, составят:

$$\sum S_i = \frac{f_i}{F_o},$$

где $f_i = \frac{\pi d_i^2}{4}$ – сечение каждого участка;
 d_i – диаметр трубопровода на участке;

$F_o = \frac{\pi d_o^2}{4} = \frac{Q}{V_o}$ – сечение для условного диаметра трубопровода общего расхода;

очевидно, что $S_i = \frac{d_i^2}{d_o^2}$;

Q – общий расход воды, л/с;

$Q = 280$ л/с;

V_o – средняя скорость течения воды, принятая равной 1 м/с;

$F_o = \frac{0,28}{1} = 0,28 \text{ м}^2$ – для рассчитываемой системы.

$$d_o = \sqrt{\frac{F_o \cdot 4}{\pi}} = \sqrt{\frac{0,28 \cdot 4}{3,14}} = 0,6 \text{ м} = 600 \text{ мм}.$$

Полученные значения S_i и Z_i для каждого участка сведем в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчетные значения безразмерных сечений и коэффициентов значимости для каждого участка двухкольцевой сети из примера рис. 2 и табл. 1

№ участков	Диаметр, мм	S_i	Z_i
1–2	450	0,563	0,234
2–3	355	0,350	0,145
3–4	450	0,563	0,234
4–1	355	0,350	0,145
2–5	280	0,218	0,091
5–6	225	0,141	0,06
6–3	280	0,218	0,091
		$\sum S_i = 2,403$	$\sum Z_i = 1$

Важно также отметить, что, практически, всегда значения $S_i \geq 1$. Единственный случай, исключаящий данную особенность, – это когда система представляет собой одну линию трубопровода, не меняющего свой диаметр на всем своем протяжении (например, один водовод).



Схема водовода, при котором $S_i = 1$.

Однако если система имеет однокольцевую схему водоснабжения, то диаметры, соответственно, должны будут подобраны так, чтобы в случае отключения какого-либо участка через другие участки можно было передать не меньше 70 % от необходимого количества воды, т. е., имеем 4 трубопровода равного диаметра, каждый из которых сможет обеспечивать 0,7Q воды.

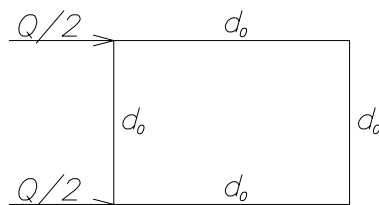


Схема однокольцевой водопроводной сети, где $\sum S_i \approx 4$.

Для удобства и быстроты расчета конструктивной надежности в большинстве случаев принято считать наиболее рациональным способ приведения к последовательно-параллельной структурно-логической схеме с последующим решением с помощью декомпозиции и эквивалентирования.

Вероятность безотказной работы участка находим по формуле [6]:

$P_i = e^{-(\lambda_i l_i t)}$, а с учетом значимости участка в работе всей сети (доля вклада участка в надежность всей сети):

$P_{iz} = Z_i e^{-(\lambda_i l_i t)} = Z_i P_i$, – доля показателя вероятности безотказной работы, приходящейся на данный участок от общей вероятности отказа системы, где:

λ – интенсивность отказов труб из данного материала, 1/год·км;

l_i – длина участка, км;

t – расчетный срок эксплуатации, обычно для новых трубопроводов принимается $t = 1$ год.

Расчетные значения вероятности безотказной работы для каждого участка с учетом коэффициента значимости и без него сведены в таблице 3.

Таблица 3 – Расчетные значения вероятности безотказной работы для каждого участка с учетом коэффициента значимости и без него

№ п/п	№ участка	λ , 1/год·км	l_i , км	t , год	λ_i , 1/год·км	P_i	$Q_i = (1-P_i)$	Z_i	$P_{iz} = Z \cdot P_i$
1	1-2	0,02	0,8	1	0,016	0,984129	0,01587	0,234	0,230286
2	2-3	0,02	0,6	1	0,012	0,988073	0,01193	0,145	0,143271
3	3-4	0,02	0,75	1	0,015	0,985113	0,01489	0,234	0,230516
4	4-1	0,02	0,5	1	0,010	0,990051	0,00995	0,145	0,143557
5	2-5	0,02	1	1	0,020	0,980201	0,01980	0,091	0,089198
6	5-6	0,02	0,45	1	0,009	0,991041	0,00896	0,06	0,059462
7	6-3	0,02	0,9	1	0,018	0,982163	0,01784	0,091	0,089377
			$\Sigma l_i = 5$		$\Sigma \lambda_i = 0,1$	$P_{(сист)} = 0,999998$		$\Sigma Z_i = 1$	$\Sigma P_{iz} = 0,98567$

Далее необходимо построить структурно-логическую схему сети. Учтем при этом, что отказ одного участка сети не приводит к отказу нескольких других участков. Таким образом, видимо, все участки сети следует соединить параллельно. Однако одновременный отказ участков сети, прилегающих к точкам ввода воды от НС-II, приводит к полному отказу сети. Получаем структурно-логическую схему, которая приведена на рис. 3. Для вычисления параметров надежности применяем метод эквивалентирования и декомпозиции [6].

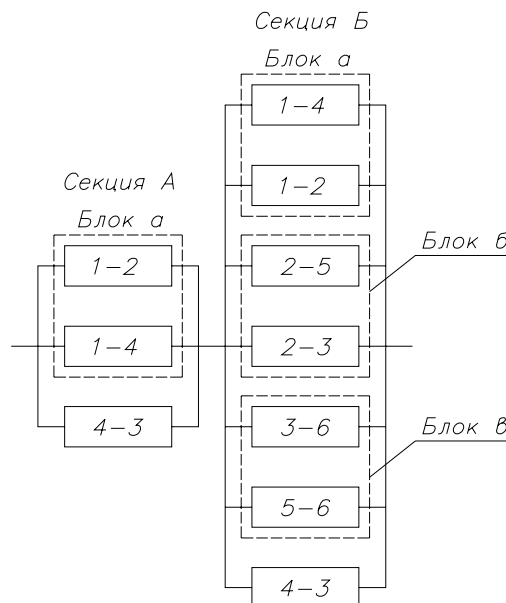


Рисунок 3 – Структурно-логическая схема расчетной двухкольцевой сети водоснабжения.

Произведем расчет для системы водоснабжения с учетом коэффициента значимости (Z) и без него. С учетом коэффициента значимости (Z):

$$P_{1-2,1-4} = 1 - [(1 - P_{1-2}) \cdot (1 - P_{1-4})] = 0,340784; P_a = P_{1-2,1-4}; P_{a,4-3} = 1 - [(1 - P_a) \cdot (1 - P_{4-3})] = 0,492744;$$

$$P_{2-5,2-3} = 1 - [(1 - P_{2-5}) \cdot (1 - P_{2-3})] = 0,219690; P_{3-6,5-6} = 1 - [(1 - P_{3-6}) \cdot (1 - P_{5-6})] = 0,143524;$$

$$P_{\bar{6}} = P_{2-5,2-3}; P_{\bar{a}} = P_{3-6,5-6}; P_{a,\bar{6}} = 1 - [(1 - P_a) \cdot (1 - P_{\bar{6}})] = 0,485607; P_{\bar{a},4-3} = 1 - [(1 - P_{\bar{a}}) \cdot (1 - P_{4-3})] = 0,340956;$$

$$P_{a,\bar{6},\bar{a},4-3} = 1 - [(1 - P_{a,4-3}) \cdot (1 - P_{\bar{6},\bar{a}})] = 0,660992; P_{a,4-3,\bar{a},\bar{6},\bar{a},4-3} = 1 - [(1 - P_{a,4-3}) \cdot (1 - P_{a,\bar{6},\bar{a},4-3})] = 0,325700.$$

Без учета коэффициента значимости (Z):

$$P_{1-2,1-4} = 1 - [(1 - P_{1-2}) \cdot (1 - P_{1-4})] = 0,999842; P_a = P_{1-2,1-4}; P_{a,4-3} = 1 - [(1 - P_a) \cdot (1 - P_{4-3})] = 0,999998;$$

$$P_{2-5,2-3} = 1 - [(1 - P_{2-5}) \cdot (1 - P_{2-3})] = 0,999764; P_{3-6,5-6} = 1 - [(1 - P_{3-6}) \cdot (1 - P_{5-6})] = 0,999840;$$

$$P_{\bar{6}} = P_{2-5,2-3}; P_{\bar{a}} = P_{3-6,5-6};$$

$$P_{a,\bar{6}} = 1 - [(1 - P_a) \cdot (1 - P_{\bar{6}})] = 0,999999; P_{\bar{a},4-3} = 1 - [(1 - P_{\bar{a}}) \cdot (1 - P_{4-3})] = 0,999998;$$

$$P_{a,\bar{6},\bar{a},4-3} = 1 - [(1 - P_{a,4-3}) \cdot (1 - P_{\bar{6},\bar{a}})] = 0,999999; P_{a,4-3,\bar{a},\bar{6},\bar{a},4-3} = 1 - [(1 - P_{a,4-3}) \cdot (1 - P_{a,\bar{6},\bar{a},4-3})] = 0,999998.$$

В результате разница в показателях составит 0,674298. Очевидно, такая методика учета коэффициента значимости дает заниженное значение надежности. Более целесообразным можно считать за вероятность безотказной работы сети величину ΣP_{iz} .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гальперин Е. М. Расчет кольцевых водопроводных сетей с учетом надежности функционирования [Текст] : [монография] / Е. М. Гальперин. – Саратов : Изд-во СГУ, 1989. – 104 с.
2. Ионин, А. А. Надежность тепловых сетей [Текст] / А. А. Ионин. – М. : Стройиздат, 1989. – 336 с.
3. Ильин, Ю. А. Надежность водопроводных сооружений и оборудования [Текст] / Ю. А. Ильин. – М. : Стройиздат, 1985. – 240 с.
4. Надежность городских систем газоснабжения [Текст] / А. А. Ионин, К. С. Алибеков, В. А. Жила, С. С. Затицян. – М. : Стройиздат, 1980. – 231 с.
5. Ионин, А. А. Газоснабжение [Текст] / А. А. Ионин. – М. : Стройиздат, 1989. – 439 с.
6. ДСТУ 2862-94. Надійність техніки. Методи розрахунку показників надійності. Загальні вимоги [Текст]. – Введ. 01.01.1997. – К. : Держстандарт України, 1995. – 90 с.

Получено 09.04.2015

А. Я. НАЙМАНОВ, Г. С. ТУРЧИНА
УРАХУВАННЯ НЕРІВНОЗНАЧНОСТІ РІЗНИХ ДІЛЯНОК ВОДОПРОВІДНОЇ
МЕРЕЖІ ПРИ РОЗРАХУНКУ НАДІЙНОСТІ СИСТЕМ ВОДОПОСТАЧАННЯ
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Стаття присвячена проблемі неврахованої нерівнозначності різних ділянок в системах водопостачання при розрахунку параметрів водопостачання. Як одне з рішень даної проблеми розглядається можливість введення коефіцієнта значущості при розрахунку надійності всієї системи водопостачання.
надійність, вірогідність безвідмовної роботи, кільцева водопровідна мережа

NAIMANOV AUBEKIR, GALINA TURCHINA
ACCOUNT OF UNEQUIVALENTNESS OF DIFFERENT AREAS OF PLUMBING
NETWORK AT THE CALCULATION OF FAILSAFETY WATER-SUPPLY
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The article is devoted to the problem of untaken into account unequivalentness of different areas in the water systems at the calculation of parameters of water-supply. As one of decisions of this problem possibility of introduction of coefficient of meaningfulness is examined at the calculation of failsafety all the water-supply.
reliability, probability of faultless work, ring plumbing network