

УДК 811.111: 696.2.046

**Ю. А. ГОЛОВАЧ, В. И. ЗАХАРОВ**

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

## **РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ ТУПИКОВОЙ ГАЗОВОЙ СЕТИ**

Выполнен анализ повреждений подземных распределительных газопроводов г. Горловка. Получены значения удельного параметра потока отказа на основании статистических данных. Получены зависимости удельного параметра потока отказов от диаметра газопровода. Произведено сравнение вероятности безотказной работы, определенной с учетом зависимостей параметра потока отказов от диаметров газопроводов, полученных по исходным данным из технической литературы и статистическим данным для тупиковой газовой сети.

**надежность, вероятность безотказной работы, газовая сеть, диаметр газопровода, параметр потока отказов**

### **ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ**

Украина владеет одной из наибольших газотранспортных систем в Европе, ежегодно поставляя своим потребителям около 50 млрд м<sup>3</sup> природного газа и транспортирует 84 млрд м<sup>3</sup> российского газа в 19 стран Европы. Газовые сети, вследствие их значительной протяженности, в частности, подземного вида прокладки, а также наличия значительного числа разрушающих факторов, являются наиболее повреждаемыми элементами. Повышение их технологической и эксплуатационной надежности является важной задачей, требующей новой достоверной информации для принятия правильных инженерных решений и недопущения ошибок, которые могут привести к перерасходу материальных и финансовых ресурсов, рабочего времени, возникновению аварийных ситуации и отказов. В этих условиях средством повышения надежности становится использование инструментов управления надежностью на основе данных о реальном техническом состоянии газовых сетей.

### **АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ**

В отличие от систем теплоснабжения, для которых согласно [1] приведены нормативные минимально допустимые показатели вероятности безотказной работы, для систем газоснабжения нормативные значения показателей надежности отсутствуют. Уровень надежности сети определяется на основании расчетов показателей надежностей и сравнении их с показателями, принимаемыми за нормативные [2, 3], приведенными в технической литературе.

Вероятность безотказной работы, принятая в нормативной литературе [4], определяется параметром потока отказов и расчетным периодом времени:

$$P(t) = e^{-\sum_1^i \omega_i T}, \quad (1)$$

где  $i$  – параметр потока отказов  $i$ -го элемента (газопровода, задвижки), (1/год);  
 $T$  – расчетный период времени, лет.

Анализ технической литературы показал, что существует зависимость параметра потока отказов от диаметра газопроводов. Зависимости параметра потока отказов от диаметров были получены в работе [5], при этом значения удельной интенсивностей отказов принимались из [6]. Данные значения являются обобщенными, не учитывающими такие важные факторы, как характер местности, почвенно-климатические условия, наличие всевозможных динамических нагрузок и др. В связи с этим представляет интерес определение значений параметра потока отказов газопроводов на основании реальных статических данных, получение зависимостей параметра потока отказов от диаметров труб,

сравнение их с приведенными в технической литературе и последующим определением вероятности безотказной работы сети.

**Целью данной работы** является анализ влияния параметра потока отказов на значение показателя надежности на основании собранных статистических данных в г. Горловка.

Зависимости удельного параметра потока отказов от диаметра были получены на основании анализа отказов (утечек) газопроводов.

Горловка является городом областного значения в Донецкой области с разветвленной сетью газопроводов. Особенностью данного региона является наличие горнодобывающей промышленности, что в свою очередь сказывается на повреждаемости газопроводов.

Анализ повреждений подземных распределительных газопроводов г. Горловки за период 1996 – первую половину 2011 показал, что 64 процента всех утечек подземных газопроводов приходится на коррозионные повреждения, 22 % – влияние горных подработок, 9 % – разрыв сварного шва и 5 % – механические повреждения (рисунок 1).

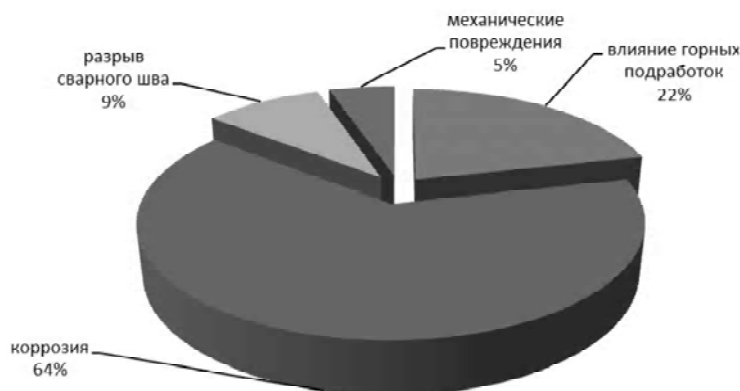


Рисунок 1 – Причины утечек из подземных распределительных газопроводов.

Распределение утечек по годам, а также в зависимости от диаметра представлено на рисунках 2 и 3.

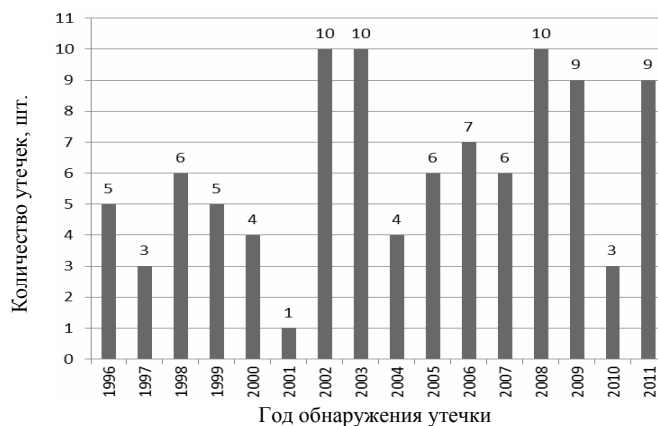


Рисунок 2 – Распределение утечек из подземных газопроводов по годам.

Удельный параметр потока отказов был рассчитан по формуле

$$w_i = \frac{n}{T \cdot L}, \tag{2}$$

где  $n$  – количество утечек на газопроводе  $i$ -го диаметра, шт.;  
 $T$  – расчетный период времени, лет;  
 $L$  – общая протяженность газопроводов  $i$ -го диаметра, м.

На основе обработанных статистических данных были рассчитаны средние удельные значения параметра потока отказов распределительных газопроводов, результаты расчетов сведены в таблицу 1.

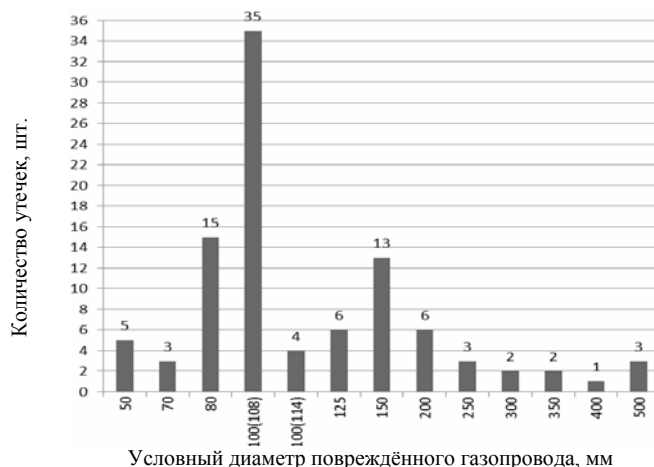


Рисунок 3 – Распределение утечек из подземных газопроводов по диаметрам.

Таблица 1 – Определение удельного параметра потока отказов газопроводов в зависимости от диаметра

Диаметр газопровода, мм	Протяженность газопроводов L, м	Количество утечек n, шт.	Удельный параметр потока отказов w, 1/(м·год)
57×3	5 512	5	$58,6 \cdot 10^{-6}$
76×3	4 140	3	$46,7 \cdot 10^{-6}$
89×4	14 441	15	$67,0 \cdot 10^{-6}$
108×4	43 581	35	$51,8 \cdot 10^{-6}$
114×4	7 856	4	$32,8 \cdot 10^{-6}$
133×4	12 933	6	$29,9 \cdot 10^{-6}$
159×4,5	28 866	13	$29,1 \cdot 10^{-6}$
219×6	23 169	6	$16,7 \cdot 10^{-6}$
273×7	12 212	3	$15,8 \cdot 10^{-6}$
325×8	21 129	2	$6,1 \cdot 10^{-6}$
377×8	3 481	2	$37,1 \cdot 10^{-6}$
429×9	9 324	1	$6,9 \cdot 10^{-6}$
530×9	17 334	3	$11,2 \cdot 10^{-6}$

Из таблицы видно, что параметр потока отказов достигает максимума на диаметре 89×3мм и постепенно убывает до диаметра 325×8 мм, после чего меняется скачкообразно. В таблице 2 приведены сравнительные значения удельных интенсивностей отказов, полученных из [6] и удельных параметров потока отказов, полученных на основании статистических данных и приведенных в таблице 1.

Таблица 2 – Значения удельных интенсивностей отказов и удельных параметров потока отказов газопроводов

Условный диаметр $D_v$ , мм	Наружный диаметр × толщина стенки $D_n \times S$ , мм	Интенсивность отказов $\lambda \cdot 10^6$ , 1/(м·год)	Параметр потока отказов w, 1/(м·год)
80	89×3 (89×4)	307	67
100	108×4	38	51,8
125	133×4	20	29,9
150	159×4,5	1	29,1

На основании данных, приведенных в таблице 1, были составлены исходные данные для получения зависимости удельного параметра потока отказов от значений средних диаметров ( $D_{cp}$ ), при этом данные брались для промежутка диаметров 89×4 мм – 325×8 мм, где прослеживается убывание удельного параметра потока отказов.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 3.

При помощи программы CurveExpert 1.3 было получено, что данные зависимости удельного параметра отказов от среднего диаметра газопровода описывается уравнением

Таблица 3 – Зависимость удельного параметра потока отказов от диаметра газопровода

Наружный диаметр $D_n$ , мм	Условный диаметр $D_v$ , мм	Средний диаметр $D_{cp}$ , мм	Удельный параметр потока отказов $\lambda \cdot 10^6$ , 1/(м·год)
89×4	80	85	67
108×4	100	104	51,8
114×4	100	110	32,8
133×4	125	129	29,9
159×4,5	150	154,5	29,1
219×6	200	213	16,7
273×7	250	266	15,8
325×8	300	317	6,1

$$w \cdot 10^6 = \frac{1}{0,000365 D_{cp} - 0,01603}, \quad (3)$$

На рисунке 4 показано, как полученные зависимости аппроксимируют исходные данные, представленные в таблице 1.

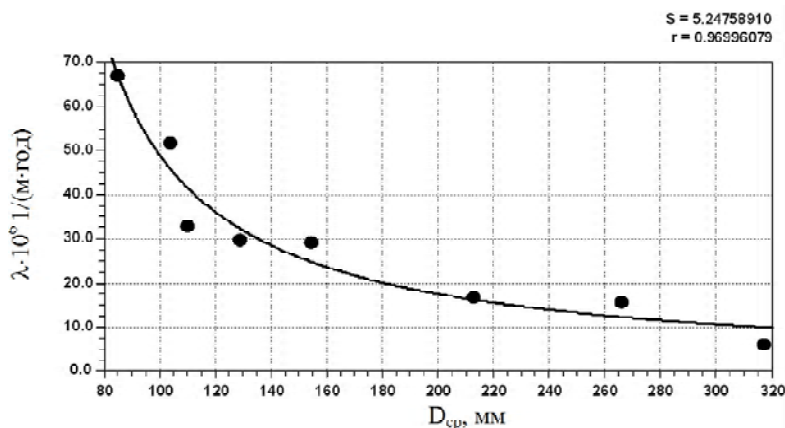


Рисунок 4 – Зависимость интенсивности отказов от среднего диаметра газопровода.

Зависимость удельной интенсивности отказов от значений средних диаметров, которые приняты согласно [6], может быть, в соответствии с [5], представлена уравнением

$$\lambda = 0,0031 \cdot e^{988,28/D_{cp}} / 10^6. \quad (4)$$

На основании полученных зависимостей была рассчитана вероятность безотказной работы тупиковой газовой сети, представленной на рисунке 5, по методике, приведенной в [6] и рассмотренной в [7] в зависимости от схемы соединения элементов – параллельного или последовательного. Расчетный период времени принимался равным 10 годам. Результаты расчета приведены в таблице 4, 5.

## ВЫВОДЫ

1. Анализ статистических данных об утечках на подземных распределительных газопроводах показал, что существует зависимость параметра потока отказов от диаметра газопроводов.

2. Значения параметра потока отказов, полученные на основании статистических данных г. Горловка, в значительной степени отличаются от значений удельных интенсивностей отказов, приведенных в технической литературе.

3. Рассмотрена тупиковая сеть, для которой определена вероятность безотказной работы с учетом зависимости удельного параметра потока отказов от среднего диаметра газопровода (3) и с учетом зависимости удельной интенсивности отказов от среднего диаметра газопровода (4). Значение вероятности безотказной работы, которая определена с учетом зависимости (3) практически вдвое превышает значение вероятности безотказной работы, которая определена с учетом зависимости (4).

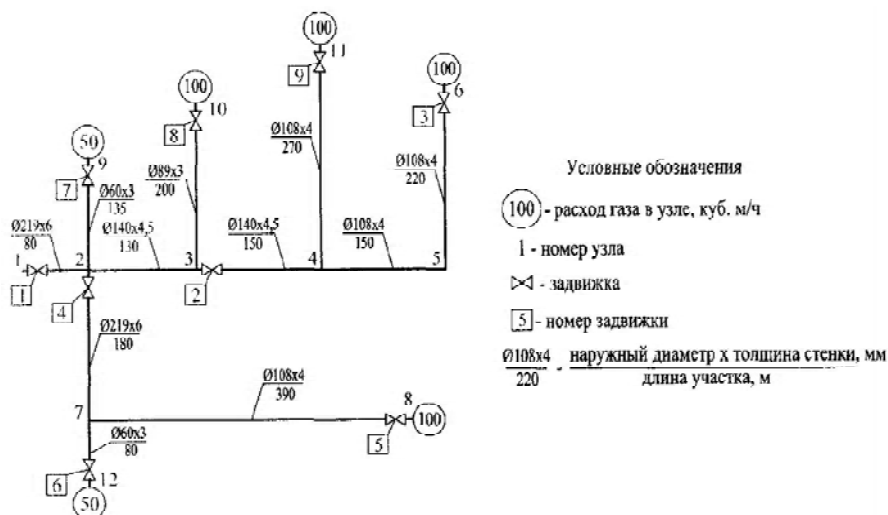


Рисунок 5 – Тупиковая разветвленная газовая сеть.

Таблица 4 – Определение вероятности безотказной работы зон сети с учетом зависимости (3)

№ участка / задвижки	Наружный диаметр $D_n$ , мм	Толщина стенки $\delta$ , мм	Длина участка, $L_{тк}$ , м	Параметр потока отказов $\omega_{тк}$ , 1/(год·м) ( $\omega_3$ , 1/год)	$\omega_{тк} \cdot L_{тк}$ , 1/год ( $\omega_3$ , 1/год)	Вероятность безотказной работы зоны P
Первая зона						
1–2	219	6	80	1,62035E-05	0,001296	0,7526
2–3	140	4,5	130	2,99155E-05	0,003889	
2–9	60	3	135	6,66889E-05	0,009003	
3–10	89	3	200	6,66889E-05	0,013338	
Задвижка № 1				0,0003	0,0003	
Задвижка № 7				0,0003	0,0003	
Задвижка № 8				0,0003	0,0003	
Сумма					0,02843	
Вторая зона						
3–4	140	4,5	150	2,99155E-05	0,004487	0,7077
4–5	108	4	150	4,55996E-05	0,00684	
5–6	108	4	220	4,55996E-05	0,010032	
4–11	108	4	270	4,55996E-05	0,012312	
Задвижка № 9				0,0003	0,0003	
Задвижка № 2				0,0003	0,0003	
Задвижка № 3				0,0003	0,0003	
Сумма						
Третья зона						
2–7	114	4	180	4,14594E-05	0,007463	0,7299
7–8	108	4	390	4,55996E-05	0,017784	
7–12	60	3	80	6,66889E-05	0,005335	
Задвижка № 4				0,0003	0,0003	
Задвижка № 5				0,0003	0,0003	
Задвижка № 6				0,0003	0,0003	
Сумма						
Вероятность безотказной работы сети						0,6932

4. Продолжение дальнейших исследований в данной области предусматривает сбор статистического материала о повреждении газопроводов различных диаметров и толщин стенок газопровода, на основании чего будут уточнены зависимости параметра потока отказов от величины диаметра газопроводов.

Таблица 5 – Определение вероятности безотказной работы зон сети с учетом зависимости (4)

№ участка / задвижки	Наружный диаметр $D_{\text{н}}$ , мм	Толщина стенки $\delta$ , мм	Длина участка, $L_{\text{тк}}$ , м	Параметр потока отказов $\omega_{\text{тк}}$ , 1/(год·м) ( $\omega_{\text{з}}$ , 1/год)	$\omega_{\text{тк}} \cdot L_{\text{тк}}$ , 1/год ( $\omega_{\text{з}}$ , 1/год)	Вероятность безотказной работы зоны Р	
Первая зона							
1–2	219	6	80	3,20927E-07	2,56742E-05	0,3564	
2–3	140	4,5	130	4,55956E-06	0,000592743		
2–9	60	3	135	0,000303468	0,040968121		
3–10	89	3	200	0,000303468	0,060693513		
Задвижка № 1				0,0003	0,0003		
Задвижка № 7				0,0003	0,0003		
Задвижка № 8				0,0003	0,0003		
Сумма					0,10318		
Вторая зона							
3–4	140	4,5	150	4,55956E-06	0,000683934		0,7154
4–5	108	4	150	4,15268E-05	0,006229021		
5–6	108	4	220	4,15268E-05	0,009135897		
4–11	108	4	270	4,15268E-05	0,011212238		
Задвижка № 9				0,0003	0,0003		
Задвижка № 2				0,0003	0,0003		
Задвижка № 3				0,0003	0,0003		
Сумма					0,02816		
Третья зона							
2–7	114	4	180	2,47298E-05	0,004451371	0,7358	
7–8	108	4	390	4,15268E-05	0,016195454		
7–12	60	3	80	0,000303468	0,024277405		
Задвижка № 4				0,0003	0,0003		
Задвижка № 5				0,0003	0,0003		
Задвижка № 6				0,0003	0,0003		
Сумма					0,04582		
Вероятность безотказной работы сети						0,3242	

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- ДБН В.2.5-39:2008. Інженерне обладнання будинків і споруд. Зовнішні мережі та споруди. Теплові мережі [Текст]. – На заміну СНиП 2.94.07-86 ; чинні з 2009-01-07. – К. : Мінрегіонбуд України, 2009. – 57 с.
- Надежность городских систем газоснабжения [Текст] / А. А. Ионин, К. С. Алебеков, В. А. Жила, С. С. Затицян ; под ред. А. А. Ионина. – М. : Стройиздат, 1980. – 231 с.
- Ионин, А. А. Газоснабжение [Текст] : Учебник для ВУЗов / А. А. Ионин. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Стройиздат, 1989. – 439 с.
- ДСТУ 2862-94. Надійність техніки. Методи розрахунків показників надійності. Загальні вимоги [Текст]. – Чинний з 1997-01-01. – К. : Держстандарт України, 1994. – 39 с. – (Національний стандарт України)
- Головач, Ю. А. Анализ зависимости параметра потока отказов от диаметра газопроводов [Текст] / Ю. А. Головач, В. И. Захаров // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2010. – Вип. 2010-6(86) : Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 117–122.
- Варфоломеев, В. А. Справочник по проектированию, строительству и эксплуатации систем газоснабжения [Текст] / В. А. Варфоломеев, Я. М. Торчинский, Р. Н. Шевченко. – К. : Будівельник, 1988. – 238 с.
- Головач, Ю. А. Определение показателей надежности работы распределительных газопроводов [Текст] / Ю. А. Головач, В. И. Захаров // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури : зб. наук. праць / Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України, ДонНАБА. – Макіївка, 2010. – Вип. 2011-5(91) : Інженерні системи та техногенна безпека. – С. 43–49.

Получено 05.03.2014

Ю. О. ГОЛОВАЧ, В. І. ЗАХАРОВ  
РОЗРАХУНОК НАДІЙНОСТІ ТУПИКОВОЇ ГАЗОВОЇ МЕРЕЖІ  
Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Виконано аналіз пошкоджень підземних розподільних газопроводів м. Горлівка. Отримано значення питомого параметра потоку відмов на підставі статистичних даних. Отримані залежності питомого параметра потоку відмов від діаметра газопроводу. Зроблено порівняння ймовірності безвідмовної роботи, визначеної з урахуванням залежностей параметра потоку відмов від діаметрів газопроводів, отриманих за вихідними даними з технічної літератури та статистичними даними для тупикової газОВОЇ мережі.

**надійність, ймовірність безвідмовної роботи, газова мережа, діаметр газопроводу, параметр потоку відмов**

YULIA GOLOVACH, VICTOR ZAKHAROV  
CALCULATION OF DEPENDABILITY OF DEADLOCK GAS NETWORK  
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The analysis of the damages of underground distribution pipelines of Gorlovka has been carried out. The values of the specific failure intensity on the basis of statistical data has been obtained. Dependences of the specific failure intensity of the pipeline diameter have been obtained. The comparison of the reliability function, calculated with accounting of dependence of the failure intensity of the pipeline diameter, received by initial data obtained from the technical literature and statistical data for the deadlock gas network has been done.

**dependability, reliability function, gas network , the pipeline diameter, failure intensity**

**Головач Юлія Олександрівна** – асистент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: надійність розподільних систем газопостачання.

**Захаров Віктор Іванович** – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання і вентиляції Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: розподіл природного газу в умовах дефіциту газу; оперативне керування системами газопостачання; раціональне використання газоподібного палива.

**Головач Юлія Александровна** – ассистент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: надежность распределительных сетей газоснабжения.

**Захаров Виктор Иванович** – кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: распределение природного газа в условиях дефицита газа; оперативное управление системами газоснабжения; рациональное использование газообразного топлива.

**Golovach Yulia** – the assistant, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: dependability of the distribution systems of gas supply.

**Zakharov Victor** – PhD (Eng.), an Associate Professor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: distribution of natural gas in the conditions of deficiency of gas, gas supply operating control, rational using of gas fuel.