

Обоснование оптимального количества отключающих устройств в системах газораспределения с учетом показателей надежности

Виктор Андреевич Жила, Елена Борисовна Соловьева

Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, г. Москва, Россия, solovyva@mail.ru

Аннотация. Определены показатели надежности, которые основаны на значениях параметров потока отказов и вероятности выхода из строя элементов систем газораспределения. Полученные значения показателей надежности позволяют обосновать оптимальное количество отключающих устройств. При этом сокращается ущерб для потребителей сельского хозяйства при их отключении от системы газораспределения.

Ключевые слова: газораспределение, газопотребление, надежность, отключающая арматура, газопровод, среднее давление, зависимость, проектирование, безопасность.

Для цитирования: Жила В. А., Соловьева Е. Б. Обоснование оптимального количества отключающих устройств в системах газораспределения с учетом показателей надежности // Аграрный научный журнал. 2021. № 10. С. 98–102. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2021i10pp98-102>.

AGRICULTURAL ENGINEERING

Original article

Justification of the optimal number of disconnecting devices in gas distribution systems, taking into account reliability indicators

Viktor A. Zhila, Elena B. Solovyova

National Research Moscow State University of Civil Engineering. Moscow, Russia. solovyva@mail.ru

Abstract. The reliability indicators are determined, which are based on the values of the parameters of the flow of failures and the probability of failure of the elements of gas distribution systems. The obtained values of the reliability indicators make it possible to substantiate the optimal number of disconnecting devices. At the same time, the damage to agricultural consumers is reduced when they are disconnected from the gas distribution system.

Keywords: gas distribution, gas consumption, reliability, shut-off valves, gas pipeline, medium pressure, addiction, design, security.

For citation: Zhila V. A., Solovyova E. B. Justification of the optimal number of disconnecting devices in gas distribution systems, taking into account reliability indicators. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2021;(10): 98–102 (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2021i10pp98-102>.

Введение. Система газораспределения должна быть запроектирована, настроена и эксплуатироваться таким образом, чтобы любые изменения, возникающие в ее элементах, не отражались на подаче газа сельскохозяйственным объектам и жилым зданиям. При проектировании используются различные способы повышения надежности работы системы газораспределения [1, 2]. В данном случае выбирается оптимальное количество отключающих устройств, при котором достигается максимальное значение величины показателя надежности и минимум затрат на установку отключающих задвижек.

В настоящее время системы газораспределения требуют особого внимания с точки зрения обеспечения безопасности. При проектировании это достигается переходом от тупиковых схем к кольцевым. При этом, если показатели надежности будут получены ниже нормативных, необходимо определить оптимальное количество отключающих устройств, которое позволит исключить возникновение утечек газа.

Системы газораспределения характеризуются надежностью снабжением газа потребителей и определяются на основе статистических данных, возникающих на подземных газопроводах низкого, среднего и высокого давления.

В среднем за год на объектах газораспределения и газопотребления происходит около 40 аварий, часть из них приходится на Саратовскую область (рис. 1).

Многолетний опыт эксплуатации подземных газопроводов позволил сделать вывод, что основными причинами возникновения аварий явились в 23 случаях (59 %) механические повреждения газопроводов вследствие нарушения Правил охраны газораспределительных сетей, утвержденных Постановлением Правительства Российской Федерации от 20.11.2000 № 878. Сгруппируем все данные в виде рис. 2.

Основной задачей эксплуатации систем газораспределения является обеспечение непрерывной подачи газа потребителям [3]. При этом возникают проблемы, связанные с отключением абонентов на время проведения ремонтных работ.

Нужно запроектировать систему газораспределения так, чтобы недоподача газа была незначительна при отключении потребителей от газовых сетей в аварийных случаях.



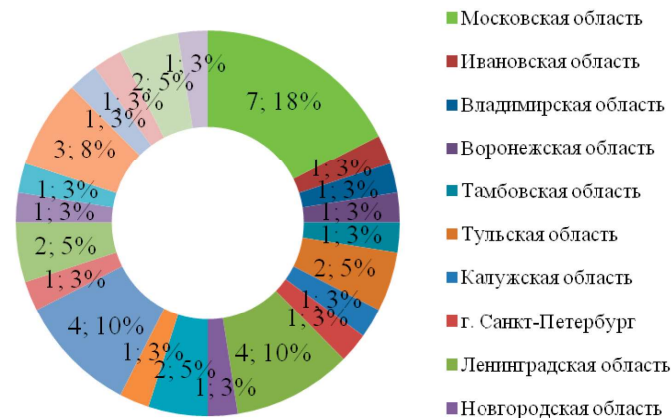


Рис. 1. Распределение аварий по субъектам Российской Федерации



Рис. 2. Основные факторы риска и причины аварий

Нужно запроектировать систему газораспределения так, чтобы недоподача газа была незначительна при отключении потребителей от газовых сетей в аварийных случаях.

Для систем газораспределения недопустимо отключение газа для потребителей, т.к. в этом случае после проведения ремонтных работ необходимо обеспечить трудоемкий и сложный процесс пуска газа.

На городских распределительных газопроводах аварии могут возникать от механических (во время строительства), коррозионных воздействий или трещин в сварных стыках и их разрывы.

Методика исследований. При анализе повреждений на подземных газопроводах необходимо обратить внимание на влияние утечек газа. Утечки газа, которые приводят к взрывам, отравлениям, продолжительным отключениям сельскохозяйственным объектам, относят к отказам, которые используются в расчетах показателей надежности [4, 6].

Отказы характеризуются величиной параметра потока отказов ($\omega = \text{const}$). Их определяют на основе статистических данных повреждений по формуле (1).

$$\omega = \sum_{i=1}^N m_i / (Nt), \quad (1)$$

где N – количество наблюдаемых элементов; m_i – количество отказов.

Параметр потока отказов газопровода относят к 1 км длины. В этом случае применимо выражение (2):

$$\omega = \omega_r l, \quad (2)$$

где ω_r – параметр потока отказов, отнесенный к 1 км; l – длина газопровода, км.

Надежность систем оценивается вероятностно-временными характеристиками. Вероятность m отказов за время t в простейшем потоке событий $P_m(t)$ распределяется по закону Пуассона:

$$P_0(t) = \frac{(\omega t)^m}{m!} \cdot e^{-\omega t}; m = 0; 1; 2; \dots \quad (3)$$

Для обоснования выбора оптимального количества отключающих устройств на газопроводах необходимо сравнить два показателя: капитальные затраты на установку дополнительных отключающих устройств, которые приведут к уменьшению количества потребителей от системы газораспределения; возникновение значительных величин ущерба для потребителей на время проведения ремонтных работ.

С учетом значений параметров потоков отказов и связанным с этим снижением подачи газа потребителям произведен расчет универсального показателя надежности.

$$R_{\text{сист}}(t) = 1 - (1 - e^{-\sum \omega_i t}) (\sum_{\text{уч}} \frac{\Delta Q_i \omega_i}{Q_0 \sum \omega_i} + \sum_{\text{задв}} \frac{\Delta Q_i \omega_i}{Q_0 \sum \omega_i}), \quad (4)$$

где ΔQ – недоотпуск газа потребителям на время проведения ремонтных работ, м³/ч; Q_0 – расчетный расход газа, м³/ч; ω_i – параметр потока отказов.



Расчет кольцевой газовой сети среднего давления предусматривает определение диаметра кольца [5]. Затем выполняется расчет показателя надежности с учетом параметров потоков линейной части и задвижек. В качестве расчетной схемы примем кольцо, показанное на рис. 3.

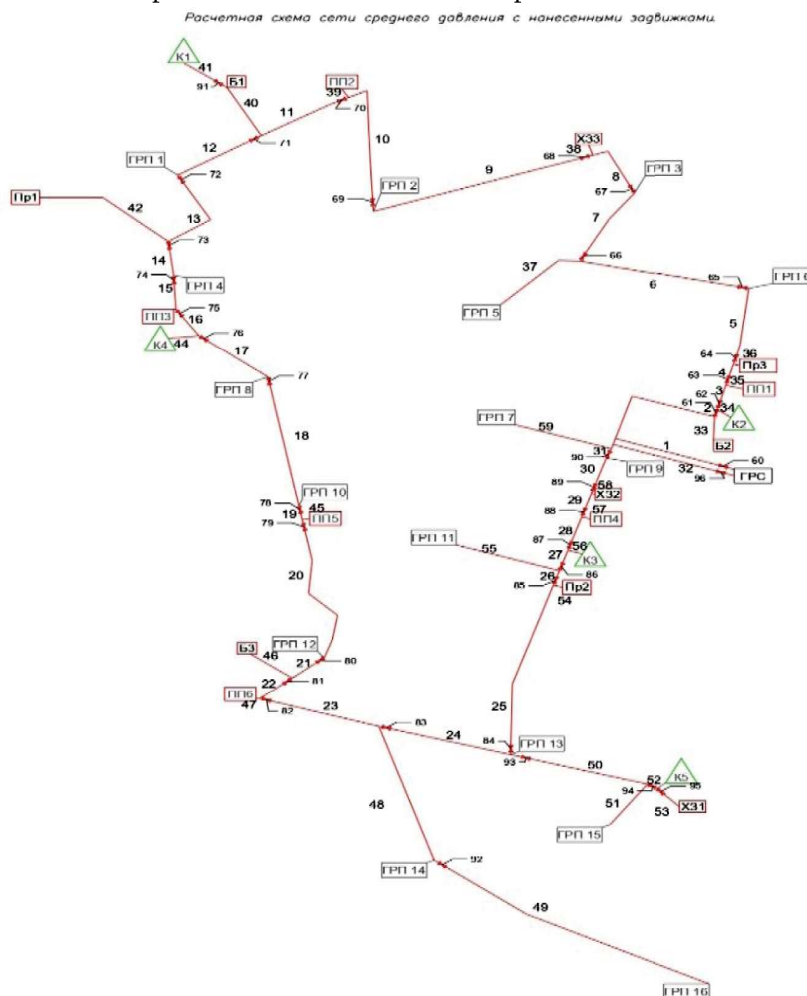


Рис. 3. Кольцевой газопровод

Результаты исследований. Все секционирующие задвижки на рисунке пронумерованы 60...96, участки пронумерованы 1...59.

Параметр потока отказов для всех задвижек принят постоянным

Время наблюдения $t=10$ лет

В расчетах рассматриваем 4 различных случая расположения отключающей арматуры и постепенно изменяем ее количество:

1. Учитывая конфигурацию выбранной системы и месторасположение потребителей, обосновано оптимальное количество устройств, которые могут с минимальными затратами отключать потребителей от системы
2. Срок службы элементов системы газораспределения до первого ремонта принять 10 лет.
3. При расчете показателей надежности принято различные варианты, учитывающие ущерб для потребителей, которые подключены к системе газораспределения.
4. Учитываем, что расстояние между сельскохозяйственными объектами и жилыми домами мало отличается друг от друга.

Для удобства расчетов составим и рассчитаем таблицу для участков газопровода и отдельно для отключающих устройств (табл. 1).

При расчете величины $\omega_i/\sum\omega_i$ сумма взята для всех 96 аварийных ситуаций, возникающих при отказах как участков, так и задвижек.

Сумма параметров потока отказов для всех задвижек составит

$$\sum\omega_z = 0,0005 \cdot 36 = 0,018.$$

Общая сумма параметров потока отказа:

$$\sum\omega_i = 0,0602 + 0,018 = 0,0782.$$

Учет всех аварийных ситуаций, возникающих на подземных газопроводах, позволил определить расчетное значение отношения аварийности на участке к суммарной величине повреждений (табл. 2).

$$\frac{\omega_z}{\sum\omega_i} = \frac{0,005}{0,0782} = 0,0064.$$



Расчет надежности участков сети

Расчетные участки газопроводов аварийной ситуации	Длина участка L , км	ω_i , 1/год	$\omega_i / \Sigma \omega_i$	Снижение подачи газа потребителям ΔQ_j , м³/ч	$\frac{\Delta Q_j}{Q_0}$	$\frac{\Delta Q_j \cdot \omega_i}{Q_0 \cdot \Sigma \omega_i}$
1	1,43	0,00358	0,045736583	635	0,0058495	0,000268
2	0,05	0,00013	0,001631165	7 665	0,0706104	0,000115
3	0,17	0,00042	0,005373249	13 590	0,1251917	0,000673
4	0,15	0,00037	0,004669609	84	0,0007757	0,000004
5	0,52	0,00129	0,016471567	3413	0,0314386	0,000518
6	0,92	0,00230	0,029424934	1244	0,0114586	0,000337
7	0,54	0,00135	0,017303141	1034	0,0095247	0,000165
8	0,40	0,00100	0,012729483	161	0,0014832	0,000019
9	1,23	0,00308	0,039339858	1148	0,0105761	0,000416
...	...	...	...	...	...	...
55	0,58	0,00144	0,018454551	445,2	0,0041012	0,000076
56	0,08	0,0002	0,00255869	6632	0,0610943	0,000156
57	0,05	0,00012	0,001535214	4 419	0,0407074	0,000062
58	0,02	0,00005	0,000575705	383	0,0035244	0,000002
59	0,54	0,00135	0,01720719	148	0,0013627	0,000023
Сумма		0,0602				0,0199

Таблица 2

Расчеты для отключающих устройств

Расчетные участки газопроводов аварийной ситуации	Снижение подачи газа потребителям ΔQ_j , м³/ч	$\frac{\Delta Q_j}{Q_0}$	Расчетные участки газопроводов аварийной ситуации	Снижение подачи газа потребителям ΔQ_j , м³/ч	$\frac{\Delta Q_j}{Q_0}$
60	635	0,00585	79	738	0,00680
61	7665	0,07061	80	267	0,00246
62	13590	0,12519	81	5529	0,05093
63	84	0,00078	82	2931	0,02700
64	3413	0,03144	83	11991	0,11046
65	1244	0,01146	84	200	0,00184
66	1034	0,00952	85	445	0,00410
67	161	0,00148	86	6632	0,06109
68	1148	0,01058	87	4419	0,04071
69	6911	0,06366	88	383	0,00352
70	6794	0,06258	89	159	0,00146
71	1708	0,01573	90	148	0,00136
72	157	0,00145	91	6294	0,05798
73	1259	0,01160	92	1663	0,01532
74	10897	0,10039	93	10689	0,09847
75	10592	0,09757	94	9279	0,08548
76	981	0,00904	95	301	0,00277
77	1450	0,01336	96	148	0,00136
78	4988	0,04595	–	–	–
Сумма для участков		0,68825			0,57314

Суммирующий член в уравнении для $R_{\text{сист}}$ состоит из аварийных ситуаций, связанных с отказами участков газопроводов и отказов, задвижек. Таким образом, уравнение для определения показателя надежности принимает следующий вид:

$$R = 1 - (1 - e^{-0,0782 \cdot 10}) \cdot (0,0199 + 0,0064 \cdot 1,2614) = 0,9848.$$

Для 27 задвижек:

$$R = 1 - (1 - e^{-0,0737 \cdot 10}) \cdot (0,04831 + 0,0068 \cdot 1,1269) = 0,97.$$

Для 23 задвижек:

$$R = 1 - (1 - e^{-0,0717 \cdot 10}) \cdot (0,08926 + 0,007 \cdot 0,9166) = 0,95.$$

Для 0 задвижек:

$$R = 1 - (1 - e^{-0,0602 \cdot 10}) \cdot (1 + 0) = 0,55.$$

По итогам расчетов строим график зависимости значения надежности и затрат на установку отключающих устройств (табл. 3, рис. 4).



Расчетные данные

№	Учет расчетных участков	Качество системы R	Затраты на установку отключающих устройств, млн руб.
I	0	0,55	0
II	23	0,95	22
III	27	0,97	25,8
IV	36	0,98	34,4

График зависимости надежности и затрат на установку отключающих устройств

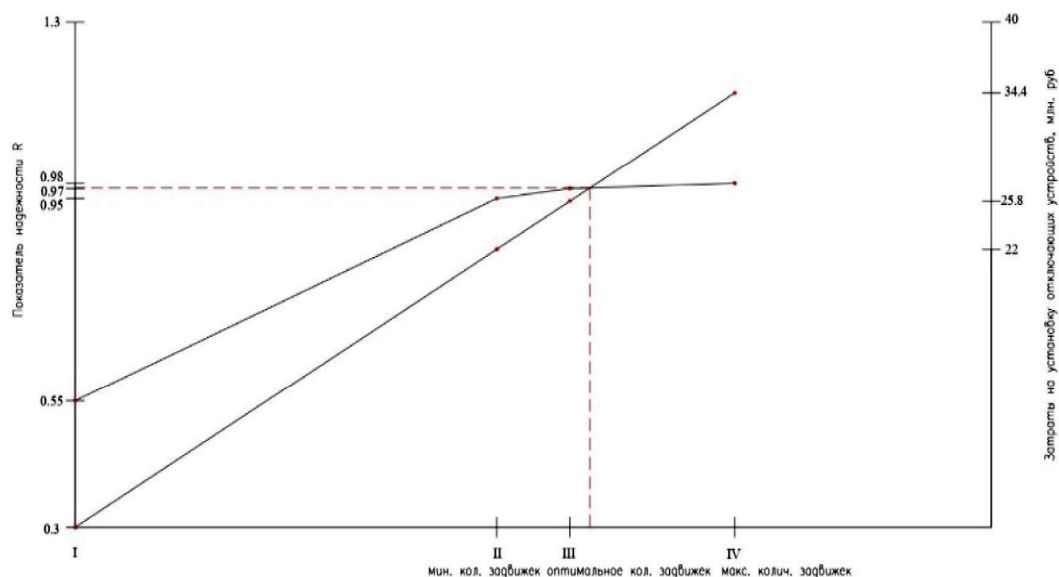


Рис. 4. Зависимость надежности и затрат на установку отключающих устройств

Заклучение. Принимая во внимание, что в расчетах принято условие установки в системе газораспределения задвижек с постоянным диаметром, то расходы на одну задвижку во всех вариантах одинаковы. Поэтому оптимально принимаем количество отключающих устройств 28 штук с затратами на их установку 26,8 млн руб. и показателем надежности 0,97 в соответствии с рис. 4.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Приказ Ростехнадзора от 15.11.2013 № 542 «Об утверждении федеральных норм и правил в области промышленной безопасности «Правила безопасности сетей газораспределения и газопотребления». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/499061806>
2. Постановление Правительства РФ от 29.10.2010 № 870 (ред. от 23.06.2011) «Об утверждении технического регламента о безопасности сетей газораспределения и газопотребления». – URL: <https://docs.cntd.ru/document/902243701>.
3. Национальный стандарт РФ ГОСТ Р 59 961-2012 Системы газораспределительные. Сети газопотребления. Общие требования к эксплуатации. – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095024>.
4. Жила В.А. Газоснабжение. М., 2014.
5. Соловьева Е.Б., Лученинова Д.А., Федорова Т.А. Выбор оптимальной системы газораспределения // Аграрный научный журнал. 2018. № 4. С. 59–62.
6. Комплексное энерготехнологическое использование газа и охрана воздушного бассейна / Е. Е. Новгородский [и др.]. М., 1997. 366 с.
7. СП 62.13330.2011 Газораспределительные системы. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200084535>.
8. Жила В.А., Гусарова Е.А., Гулюкин М.Д. Надежность газораспределительных систем // Научное обозрение. 2017. № 20. С. 38–44.

REFERENCES

1. Order of Rostekhnadzor dated November 15, 2013 No. 542 “On approval of federal norms and rules in the field of industrial safety“ Safety rules for gas distribution and gas consumption networks. ”- URL: <https://docs.cntd.ru/document/499061806>
2. Decree of the Government of the Russian Federation of October 29, 2010 No. 870 (as amended on June 23, 2011) “On approval of technical regulations on the safety of gas distribution and gas consumption networks”. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902243701>.
3. National standard of the Russian Federation GOST R 59 961-2012 Gas distribution systems. Gas consumption networks. General requirements for operation. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095024>.
4. Zhila V. A. Gas supply. Moscow; 2014.
5. Solovyova E. B., Lucheninova D. A., Fedorova T. A. The choice of the optimal gas distribution system. Agrarian scientific journal. 2018; 4: P. 59–62.
6. Integrated energy technology use of gas and air basin protection / E. E. Novgorodsky et al. Moscow, 1997. 366 p.
7. SP 62.13330.2011 Gas distribution systems. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200084535>.
8. Vein V. A., Gusarova E. A., Gulyukin M. D. Reliability of gas distribution systems. Scientific review. 2017; 20: 38–44.

