

Влияние расстояния от компрессорной станции на подверженность газопроводов КРН в различных регионах

М.В. Чучкалов

кандидат технических наук,
помощник генерального директора¹
mchuchkalov@ufa-tr.gazprom.ru

А.Г. Гареев

доктор технических наук, доцент

¹ООО «Газпром трансгаз Уфа», Уфа, Россия

В статье приводятся данные о подверженности коррозионному растрескиванию под напряжением (КРН) магистральных газопроводов (МГ) в различных регионах страны. Проанализированы причины отклонения распределения аварий по трассе МГ от общей статистики в ряде регионов. Показано, что причиной такого отклонения является чрезмерная упрочненность стали и отклонение от норм строительства.

Материалы и методы

Применены методы математической статистики, включая приемы разведочного анализа.

Ключевые слова

компрессорная станция, газопровод, коррозионное растрескивание под напряжением

Повышение безопасности эксплуатации линейной части магистральных газопроводов связано со своевременным проведением диагностических и ремонтных мероприятий, включая внутритрубную дефектоскопию, стресс-тест, электрометрические методы диагностики, переизоляцию трубопроводов на участках МГ, подверженных КРН. Поэтому вопросы, связанные с выявлением таких участков и разработкой на этой основе планов диагностики КРН и проведения ремонтных работ, являются актуальными. В статье приводятся данные о подверженности МГ КРН в различных регионах страны. Проанализированы причины отклонения распределения аварий по трассе МГ от общей статистики в ряде регионов. Для этого были обработаны данные по отказам линейной части МГ с использованием методов математической статистики [1, 2], включая приемы разведочного анализа [3]. Обобщенные результаты предварительной обработки статистических данных в виде «ящиков с усами» приведены на рис. 1.

Результаты исследования показали, что распределение аварий по трассе не является равномерным. Медиана и выборочное среднее смещены в сторону компрессорной станции (КС), что объясняется более жесткими условиями работы МГ вблизи КС (повышенная температура и давление). Это свидетельствует об идентичности развития КРН в СССР в 80-е годы [4] и за рубежом

в 70-е годы XX века [5]. Однако в ряде регионов имеется отклонение от этой отмеченной закономерности. Так, причиной отклонения на Востоке Западной Сибири является широкое использование при строительстве МГ чрезмерно упрочненных сталей группы прочности К60, 17Г2СФ (без ограничения предела прочности). Известно, что порог трещиностойкости напрямую связан с прочностными характеристиками сталей. По-видимому, условия, необходимые для протекания КРН таких сталей, выполняются не только на выходе из КС, но и по всей трассе. Ограниченное использование таких сталей (14Г2САФ, 17Г2СФ) на Европейском Севере, наряду с умеренно упрочненными, привело к незначительному смещению подверженности МГ КРН в зависимости от расстояния от КС. Отклонение же от отмеченной особенности на Юге Европы может быть связано с повышенной температурой транспорта газа, а также протеканием аномального растворения, зафиксированного авторами на прилегающих участках МГ в Казахстане [6]. Подверженность КРН ряда участков МГ, удаленных от КС, на Уфимском плато связана с нарушением строительных норм. Это привело к возникновению поперечного КРН.

Для нахождения аналитической зависимости распределения аварий по трассе МГ выбирались функции распределения. Далее с помощью регрессионного анализа подбирались их параметры. Всего была

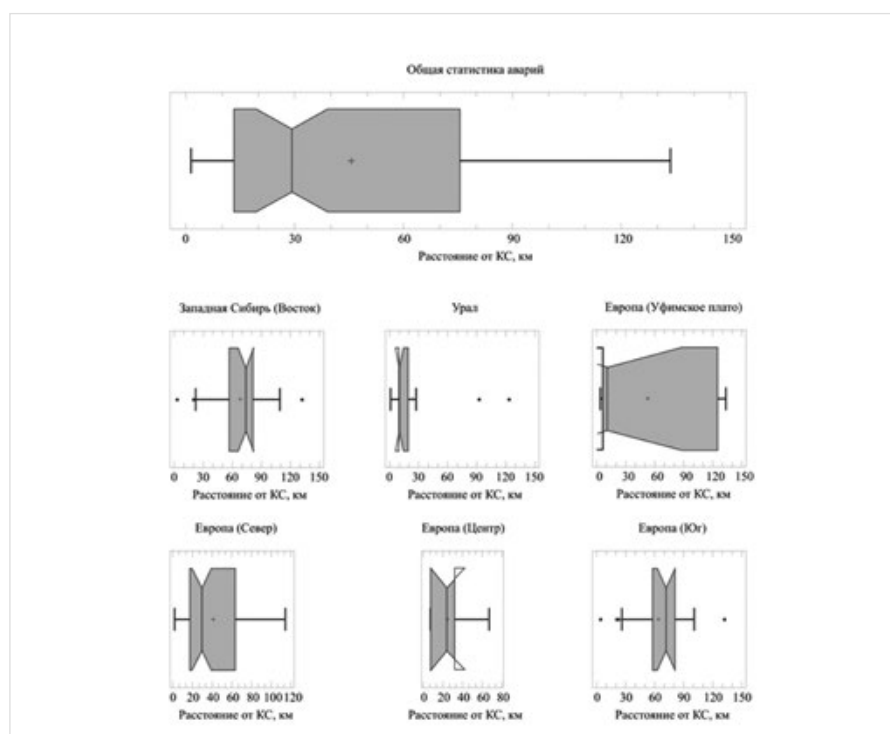


Рис. 1 — Зависимость количества аварий от удаления от компрессорной станции в ряде регионов страны

протестирована принадлежность выборок 46 распределением. В качестве критерия выбора использовался критерий согласия Колмогорова-Смирнова ($\alpha = 0,05$). В результате тестирования было установлено, что для описания распределения отказов в зависимости от расстояния от КС могут быть использованы следующие распределения: однопараметрическое экспоненциальное, описывающее разрушения при неизменном воздействии деградационного фактора; двухпараметрическое экспоненциальное, описывающее разрушения при неизменном воздействии деградационного фактора и имеющее нижний пороговый уровень; нормальное, описывающее разрушения, происходящие под воздействием нескольких факторов. Характеристики перечисленных распределений приведены в таб. 1.

На рис. 2 приведены частотные гистограммы с подобранными функциями распределения. Для общей статистики аварий там же приведена нормальная вероятностная сетка.

Найденные параметры распределений приведены в таб. 2.

Размерность параметров: $[\lambda] = 1/\text{км}$; $[\theta]$, $[\bar{x}]$, $[\sigma] = \text{км}$. К-С — критерий согласия Колмогорова-Смирнова ($\alpha = 0,05$). Тесты на нормальность: ММ — метод моментов (величины эксцентриситета и эксцесса находятся в пределах -2...2), Ш-В — тест Шапиро-Вилка ($\alpha = 0,05$). Знак «+» — условия теста выполнены, «-» — условия теста не выполнены.

Как следует из результатов анализа, при действии на МГ одного фактора частота отказов по длине трассы описывается экспоненциальным распределением. При воздействии дополнительных факторов, таких как чрезмерная упругость стали, отклонение от строительных норм распределение отказов подчиняется нормальному распределению.

Отмеченные особенности позволяют планировать порядок проведения диагностических и ремонтных мероприятий, включая внутритрубную дефектоскопию, стресс-тест, электрометрические методы диагностики, переизоляцию трубопроводов на участках МГ, подверженных КРН. Так на участках, имеющих экспоненциальное распределение аварий, такие мероприятия в первую очередь необходимо проводить на первых десятках километров от КС. Для участков, имеющих нормальное распределение, необходим учет дополнительных факторов, например, рельефа местности, наличия участков МГ из чрезмерно упругих сталей. При проектировании новых МГ необходимо избегать использования чрезмерно упругих сталей.

Итоги

Общая частота аварий и аварий в ряде регионов описывается экспоненциальным распределением. Это позволяет планировать очередность диагностики и ремонта МГ.

При наличии дополнительных факторов, таких как чрезмерная упругость стали, отклонение от строительных норм, статистика аварий подчиняется нормальному закону распределения. В этом случае при

Распределение	Плотность вероятности	Среднее	Дисперсия	Область определения
Экспоненциальное	$f(x) = \lambda e^{-\lambda x}$	$\bar{x} = \frac{1}{\lambda}$	$\sigma = \frac{1}{\lambda^2}$	$x > 0$
Экспоненциальное (2 параметра)	$f(x) = \lambda e^{-\lambda(x-\theta)}$	$\bar{x} = \theta + \frac{1}{\lambda}$	$\sigma = \frac{1}{\lambda^2}$	$x > \theta$
Нормальное	$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$	$\bar{x}$	σ^2	$-\infty < x < \infty$

Таб. 1 — Характеристики подобранных распределений

Общее количество аварий

Распределение	Экспоненциальное	Экспоненциальное (2 параметра)	Нормальное
Параметры	$\lambda = 0,022$	$\lambda = 0,027$ $\theta = 1,0$	$\bar{x} = 45,2$ $\sigma = 37,7$
Тесты на норм.			ММ (-), Ш-В (-)
Тест К-С	(+)	(+)	(-)
Западная Сибирь (Восток)			
Параметры	$\lambda = 0,015$	$\lambda = 0,015$ $\theta = 3,0$	$\bar{x} = 68,0$ $\sigma = 29,1$
Тесты на норм.			ММ (+), Ш-В (+)
Тест К-С	(-)	(-)	(+)
Урал			
Параметры	$\lambda = 0,043$	$\lambda = 0,045$ $\theta = 1,0$	$\bar{x} = 23,2$ $\sigma = 33,0$
Тесты на норм.			ММ (-), Ш-В (-)
Тест К-С	(+)	(+)	(-)
Европа (Уфимское плато)			
Параметры	$\lambda = 0,019$	$\lambda = 0,020$ $\theta = 3,0$	$\bar{x} = 52,3$ $\sigma = 63,0$
Тесты на норм.			ММ (+), Ш-В (-)
Тест К-С	(-)	(+)	(+)
Европа (Север)			
Параметры	$\lambda = 0,025$	$\lambda = 0,025$ $\theta = 1,0$	$\bar{x} = 40,4$ $\sigma = 30,1$
Тесты на норм.			ММ (+), Ш-В (-)
Тест К-С	(+)	(+)	(-)
Европа (Центр)			
Параметры	$\lambda = 0,041$	$\lambda = 0,056$ $\theta = 6,5$	$\bar{x} = 24,2$ $\sigma = 21,2$
Тесты на норм.			ММ (+), Ш-В (-)
Тест К-С	(+)	(+)	(+)
Европа (Юг)			
Параметры	$\lambda = 0,016$	$\lambda = 0,016$ $\theta = 3,0$	$\bar{x} = 64,3$ $\sigma = 30,8$
Тесты на норм.			ММ (+), Ш-В (-)
Тест К-С	(-)	(-)	(+)

Таб. 2 — Параметры использованных распределений

планировании мероприятий по повышению надежности участка МГ необходим учет этих дополнительных факторов.

Выводы

В связи с тем, что статистика разрушений МГ, целиком построенных из чрезмерно упругих сталей, подчиняется нормальному закону распределения при проектировании новых МГ необходимо избегать использования труб из таких сталей.

Список используемой литературы

1. Тюрин Ю.М., Макаров А.А. Анализ данных на компьютере. 3-е изд., перераб. и доп. М: ИНФРА-М, 2003. 544 с.
2. Гареев А.Г. Основы обработки и визуализации экспериментальных данных:

учеб. пособие. Уфа: УГНТУ, 2004. 82 с.

3. Дж.Тьюки Анализ результатов наблюдений. Разведочный анализ. М.: Мир, 1981. 693 с.
4. Абдуллин И.Г., Гареев А.Г., Мостовой А.В. Коррозионно-механическая стойкость нефтегазовых трубопроводных систем: диагностика и прогнозирование долговечности. Уфа: Гилем, 1997. 177 с.
5. Almquist W.E. Control of stress corrosion cracking is probed. Oil&GasJournal, 1979, pp. 68–73.
6. Гареев А.Г., Чучкалов М.В., Климов П.В. и др. Повышение безопасности эксплуатации газонефтепроводов в условиях коррозионно-механических воздействий. СПб.: Недра, 2012. 220 с.

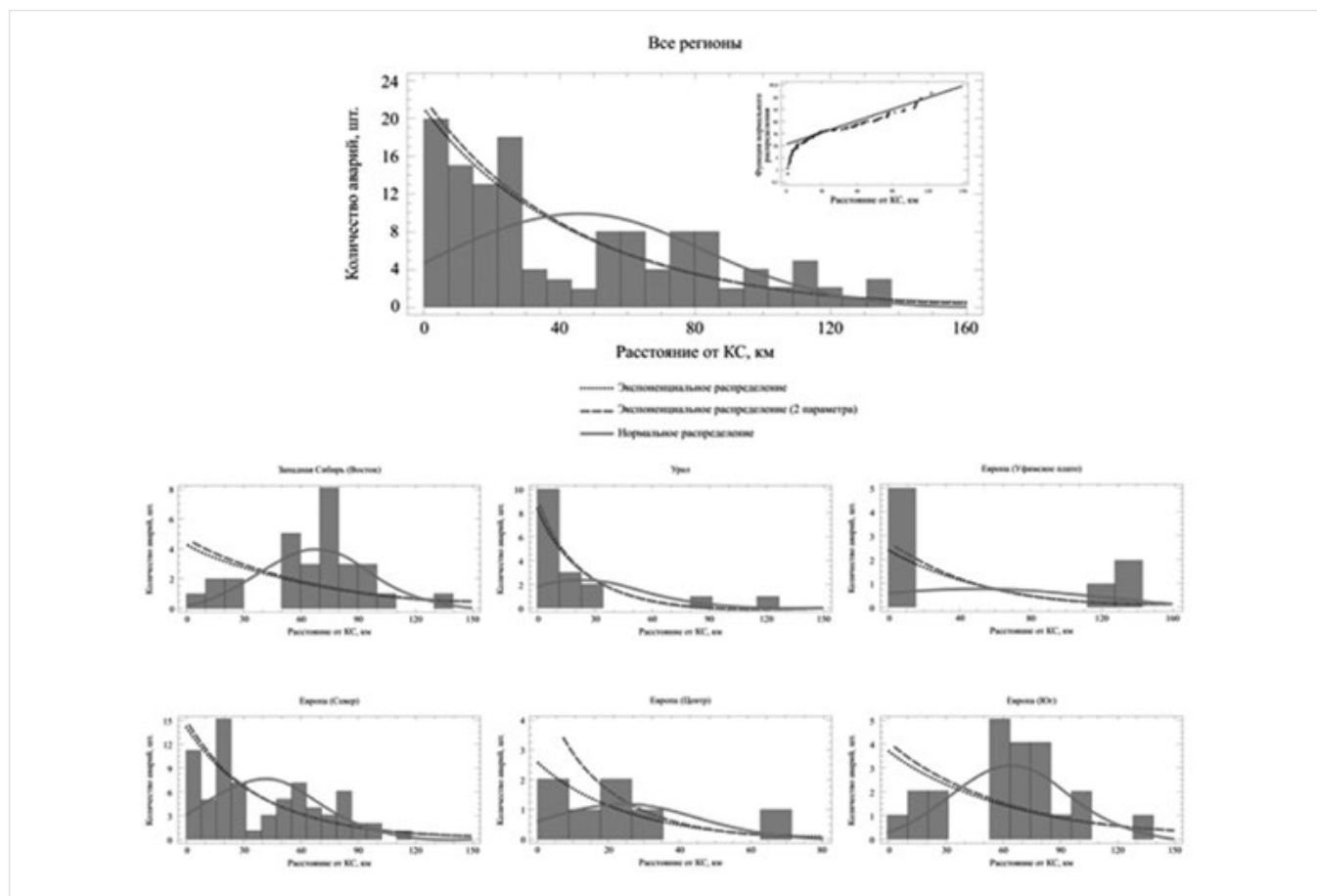


Рис. 2 — Частотные гистограммы аварий для различных регионов

ENGLISH

PIPELINE

The influence of distance between compressor station on the vulnerability of gas pipelines SCC in different regions

UDC 622.692.4: 620.193

Authors:

Mikhail V. Chuchkalov — c. of t. sc., the director assistant; mchuchkalov@ufa-tr.gazprom.ru

Alexey G. Gareev — d. of t. sc., docent

¹OJSC Gazprom transgas Ufa, Ufa, Russian Federation

Abstract

The article presents data on exposure to stress corrosion cracking (SCC) high pressure gas pipelines (GP) in the different regions of the country. The causes of deviation of the distribution of accidents GP from general statistics in a number of regions was found. It is shown that the reason for the deviation is excessive hardening of steel and the deviation from the norms of construction.

Materials and methods

Applied mathematical statistics methods,

including methods of exploratory analysis.

Results

The overall frequency of accidents and crashes in some regions described by the exponential distribution. This allows you to schedule the order of diagnostics and repair gas pipelines. If there are additional factors such as excessive hardening of steel, deviation from building codes, accident statistics is subject to the normal law of distribution. In this case, when planning activities to improve the reliability of gas pipeline is required the inclusion of these

additional factors.

Conclusions

Due to the fact that the statistics of destruction of pipelines, entirely constructed from excessive hardening of steel, located over the normal distribution law when designing new gas pipelines to avoid the use of steel pipes.

Keywords

compressor station, gas pipeline, stress corrosion cracking

References

1. Tyurin Y.M., Makarov A.A. *Analiz dannykh na komp'yutere* [Data analysis on the computer 3-rd ed., rev. and exp.]. Moscow: INFRA-M, 2003, 544 p.
2. Gareev A.G. *Osnovy obrabotki i vizualizatsii eksperimental'nykh dannykh: ucheb. posobie* [Fundamentals of experimental data processing and visualization: tutorial]. Ufa: Ufa State Petroleum Technological University, 2004, 82 p.
3. Tukey J. *Analiz rezul'tatov nablyudeniya. Razvedochnyy analiz* [Analysis of monitoring results. Exploratory analysis]. Moscow: Mir, 1981, 693 p.
4. Abdullin I.G., Gareev A.G., Mostovoy A.V. *Korroziionno-mekhanicheskaya stoykost' neftegazovykh truboprovodnykh sistem: diagnostika i prognozirovaniye dolgovечnosti* [Corrosion-mechanical resistance of oil and gas pipeline systems: diagnosis and prediction of durability]. Ufa: Gilem, 1997, 177 p.
5. Almquist W.E. Control of stress corrosion cracking is probed. *Oil&Gas Journal*, 1979, pp. 68–73.
6. Gareev A.G., Chuchkalov M.V., Klimov P.V. and others. *Povysheniye bezopasnosti ekspluatatsii gazonefteprovodov v usloviyakh korroziionno-mekhanicheskikh vozdeystviy* [Improving the safety of gas and oil pipeline with corrosion-mechanical effects]. St. Petersburg: Nedra, 2012, 220 p.