

# Влияние расстояния от компрессорной станции на подверженность газопроводов различным типам КРН

**М.В. Чучкалов**

кандидат технических наук, помощник генерального директора<sup>1</sup>  
mchuchkalov@ufa-tr.gazprom.ru

**А.Г. Гареев**

доктор технических наук, доцент

<sup>1</sup>ООО «Газпром трансгаз Уфа», Уфа, Россия

**В статье приводится анализ статистики аварий линейной части магистральных газопроводов. Показано, что основной причиной ее разрушения является коррозионное растрескивание под напряжением (КРН). Обнаружены существенные особенности проявления различных типов КРН при удалении от компрессорной станции.**

## Материалы и методы

Применены методы математической статистики, включая приемы разведочного анализа.

## Ключевые слова

компрессорная станция, газопровод, коррозионное растрескивание под напряжением

Вопросы повышения безопасности магистрального транспорта природного газа напрямую связаны с разработкой методов прогнозирования и выявления факторов, снижающих их долговечность. Для этого была проанализирована статистика отказов линейной части магистральных газопроводов, произошедших в период с 1991 по 2010 годы (рисунок 1).

Как видно на приведенной диаграмме 70% аварий МГ связано с КРН. Причем на долю продольного КРН приходится 64% аварий, а поперечного — 6%.

На рисунке 2 приведена расшифровка статистики аварий, не связанных с проявлением КРН.

В связи с тем, что основной причиной разрушения МГ является КРН, дальнейшие исследования были посвящены особенностям его проявления. Для этого были применены методы математической статистики [1, 2], включая приемы разведочного анализа [3].

В результате проведенного анализа было определено, что среднее расстояние разрушения от КС составило 45 км, медиана 29 км, мода 9 км, стандартное отклонение 38 км, коэффициент вариации 83%, минимальное расстояние 1 км, максимальное расстояние 134 км, стандартизованные коэффициенты эксцентриситета (симметрии) 3,17, эксцесса (островершинности) 1,68. Следует отметить, что величины эксцентриситета и эксцесса находятся вне пределов -2...2. В нашем случае распределение отказов не может быть описано с помощью нормального распределения. Тест Шапиро-Вилка показал, что уровень значимости для нормального распределения составил только  $1,1 \cdot 10^{-16}$ , что значительно меньше 0,05, необходимого для нормального распределения с доверительной вероятностью 95%. Т.е. существует функциональная связь между количеством аварий и расстоянием до КС. Нормальная вероятностная сетка (рисунок 3) подтверждает вышесказанное. Причем наибольшее отклонение от нормальности наблюдается на первых километрах от КС.

На несимметричность распределения также указывает «ящик с усами» (рисунок 4). Как видно из рисунка 4, наибольшее количество отказов происходит на первых километрах от КС, что свидетельствует об идентичности развития КРН в России и СССР в 80-е годы XX века [4], а также зарубежом в 70-е годы XX века [5].

Для нахождения вида распределения отказов по длине газопровода и их параметров было проанализировано 15 теоретических распределений. Наилучшей моделью оказалось двухпараметрическое экспоненциальное распределение. Расчеты проводились также для

описываемого в литературе однопараметрического экспоненциального распределения [4]. Результаты приведены в таблице 1.

На рисунке 5 приведена частотная гистограмма аварий с подобранными функциями распределения.

Для проверки соответствия наблюдений указанным распределениям использовался критерий согласия Колмогорова-Смирнова. Результаты расчета приведены в таблице 2.

Как следует из таблицы, уровень значимости для рассматриваемых экспоненциальных распределений превышает 0,05, что с доверительной вероятностью 95% позволяет их использование для описания статистики аварий.

Известно, что КРН проявляется как в классическом виде (продольное КРН), так и в виде поперечного КРН. Для выявления закономерностей развития этих типов КРН был проведен анализ отдельных выборок.

В результате анализа аварий по причине поперечного КРН было определено, что среднее расстояние от КС составило 98 км, медиана 100 км, мода 87 км, стандартное отклонение 34 км, коэффициент вариации 83%, минимальное расстояние 1 км, максимальное расстояние 134 км, стандартизованные коэффициенты эксцентриситета (симметрии) 1,23, эксцесса (островершинности) 0,62. Следует отметить, что величины эксцентриситета и эксцесса находятся в пределах -2...2. В нашем случае распределение отказов может быть описано с помощью нормального распределения.

Тест Шапиро-Вилка показал, что уровень значимости для нормального распределения составил 0,28, что значительно больше 0,05, необходимого для нормального распределения с доверительной вероятности 95%. Т.е. не существует функциональной связи между количеством аварий и расстоянием до КС. Нормальная вероятностная сетка (рисунок 6) подтверждает вышесказанное.

На рисунке 7 приведен «ящик с усами» для исследованной выборки.

Как видно из приведенного графика, наибольшее количество аварий зарегистрировано на большом расстоянии от КС, что не может явиться следствием воздействия только эксплуатационных факторов, таких как температура, давление, вибрация, на кинетику развития разрушения.

Для нахождения вида распределения отказов по длине газопровода и их параметров было проанализировано 15 теоретических распределений. Наилучшей моделью оказалось нормальное распределение. Расчеты проводились также для одно- и двухпараметрических экспоненциальных распределений. Результаты приведены в таблице 3.

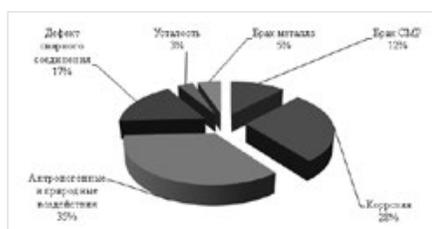


Рис. 1 — Анализ статистики аварий линейной части МГ

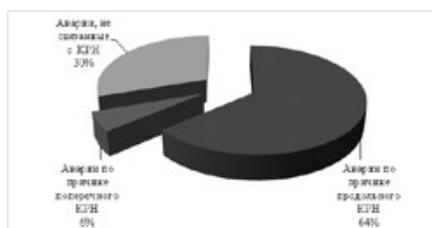


Рис. 2 — Статистика аварий линейной части МГ, не связанных с КРН

На рисунке 8 приведена частотная гистограмма аварий с подобранными функциями распределения.

Для проверки соответствия наблюдений указанным распределениям использовался критерий согласия Колмогорова-Смирнова. Результаты расчета приведены в таблице 4.

Как следует из таблицы, уровень значимости для двух рассматриваемых распределений превышает 0,05, однако уровень значимости нормального распределения значительно превышает уровень значимости, найденный для двухпараметрического экспоненциального распределения.

График отклонений квантилей теоретических распределений от экспериментальных данных (рисунок 9) подтвердил правомерность использования нормального распределения для описания привязки КРН к КС.

В связи с тем, что распределение аварий по причине поперечного КРН отличается от распределения общего количества аварий, была проанализирована статистика аварий, произошедших только в результате продольного КРН.

В результате анализа было определено, что среднее расстояние от КС составило 40 км, медиана 27 км, стандартное отклонение 34 км, коэффициент вариации 83%, минимальное расстояние 1 км, максимальное расстояние 123 км, стандартизованные коэффициенты эксцентриситета (симметрии) 3,10, эксцесса (островершинности) 1,62. Следует отметить, что величины эксцентриситета и эксцесса находятся вне пределов  $-2...2$ . В нашем случае распределение отказов не может быть описано с помощью нормального распределения. Тест Шапиро-Вилка показал, что уровень значимости для нормального распределения составил только  $5,6 \cdot 10^{-15}$ , что значительно меньше 0,05, необходимого для нормального распределения с доверительной вероятностью 95%. Т.е., как и для общей статистики аварий, существует функциональная связь между количеством аварий и расстоянием до КС. Нормальная вероятностная сетка (рисунок 10) подтверждает вышесказанное. Причем наибольшее отклонение от нормальности наблюдается на первых километрах от КС.

На несимметричность распределения также указывает «ящик с усами» (рисунок 11).

Как видно из рисунка 11 наибольшее количество отказов происходит на первых километрах.

Для нахождения вида распределения отказов по длине газопровода и их параметров было проанализировано 15 теоретических распределений. Наилучшей моделью оказалось двухпараметрическое экспоненциальное распределение. Результаты приведены в таблице 5.

На рисунке 12 приведена частотная гистограмма аварий с подобранными функциями распределения.

Для проверки соответствия наблюдений указанным распределениям использовался критерий согласия Колмогорова-Смирнова. Результаты расчета приведены в таблице 6.

Экспоненциальное	Экспоненциальное (2 параметра)	Нормальное
Среднее = 45,2	Фактор масштаба = 0,0226	Среднее = 45,2
	Низший пороговый уровень = 1,0	Стандартное отклонение = 37,7

Таб. 1 — Параметры распределений

Распределение статистики	Экспоненциальное	Экспоненциальное (2 параметра)	Нормальное
D+	0,0516	0,0543	0,1741
D-	0,0995	0,1004	0,1205
DN	0,0995	0,1004	0,1741
Уровень значимости	0,1528	0,1456	0,0008

Таб. 2 — Результаты тестирования выборки с помощью критерия Колмогорова-Смирнова

Экспоненциальное	Экспоненциальное (2 параметра)	Нормальное
Среднее = 98,1	Фактор масштаба = 0,0145	Среднее = 98,1
	Низший пороговый уровень = 29,0	Стандартное отклонение = 33,7

Таб. 3 — Параметры распределений

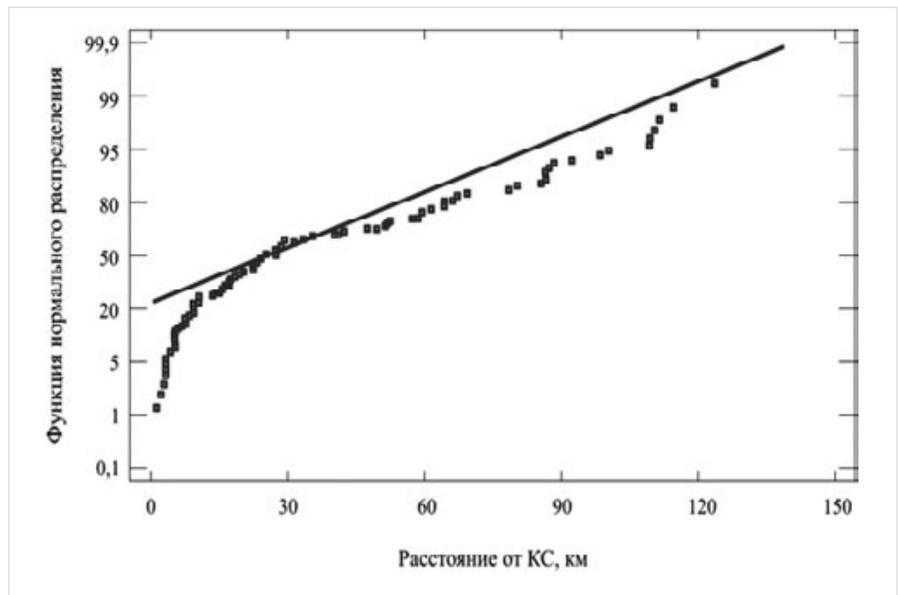


Рис. 3 — Нормальная вероятностная сетка общей статистики аварий по причине КРН

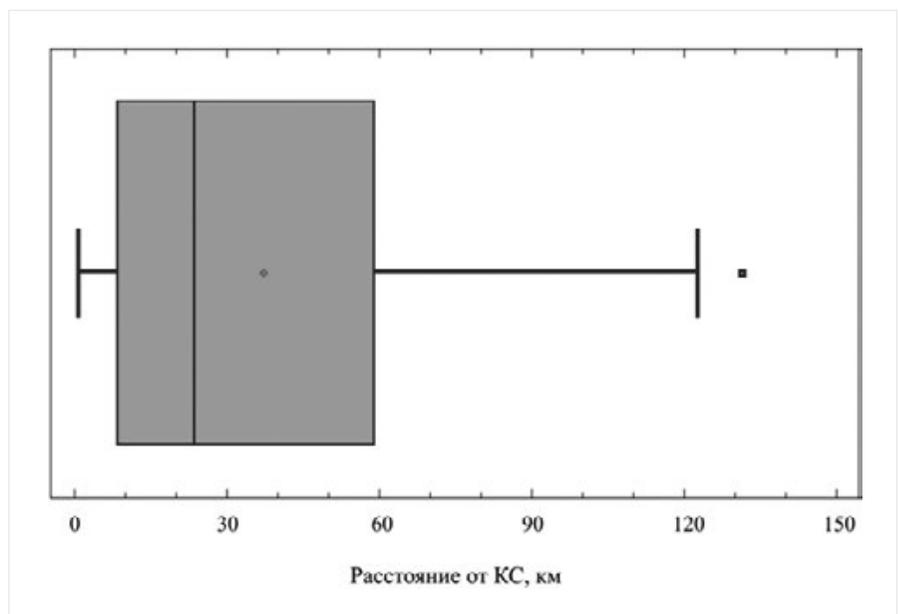


Рис. 4 — «Ящик с усами» для общей статистики аварий по причине КРН

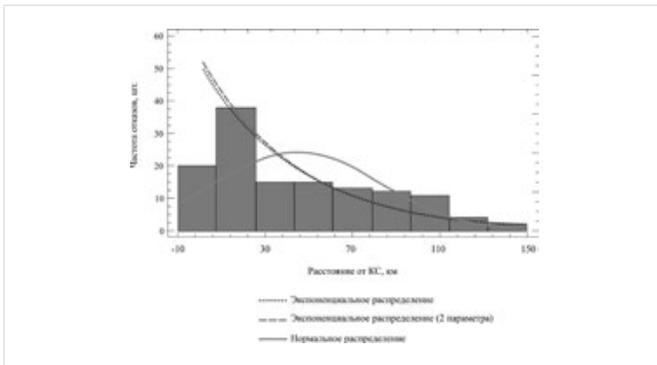


Рис. 5 — Частотная гистограмма общей статистики аварий по причине КРН с подобранными функциями распределения

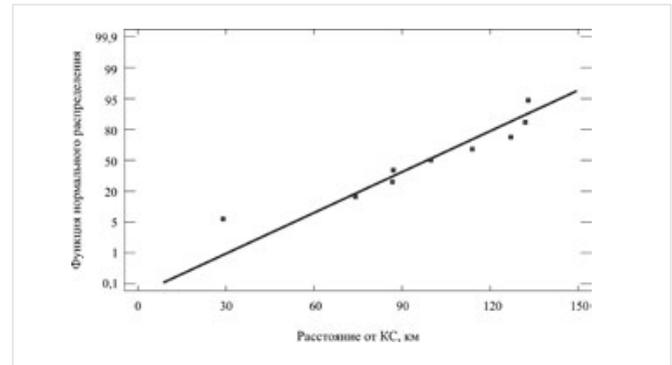


Рис. 6 — Нормальная вероятностная сетка аварий по причине поперечного КРН

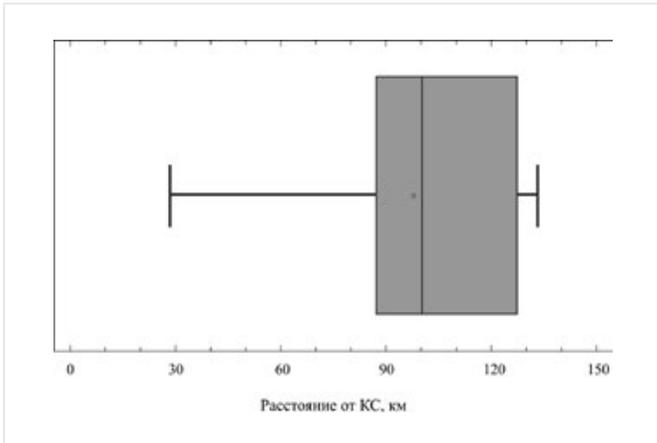


Рис. 7 — Ящик с усами для аварий по причине поперечного КРН

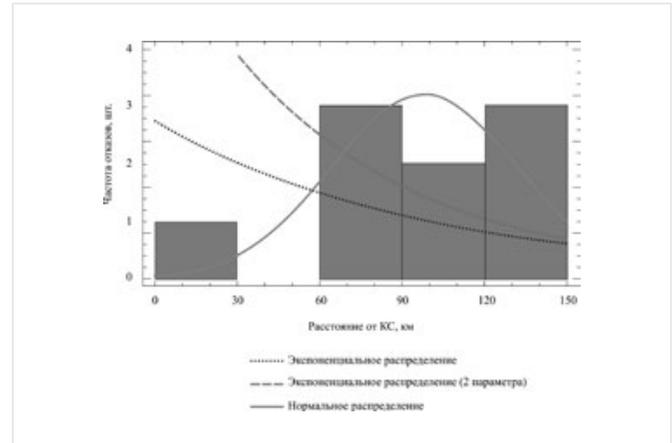


Рис. 8 — Частотная гистограмма аварий по причине поперечного КРН с подобранными функциями распределения

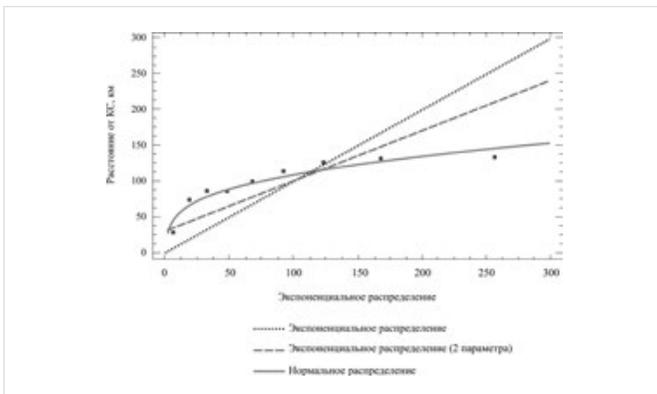


Рис. 9 — График отклонений экспериментальных данных от квантилей теоретических распределений

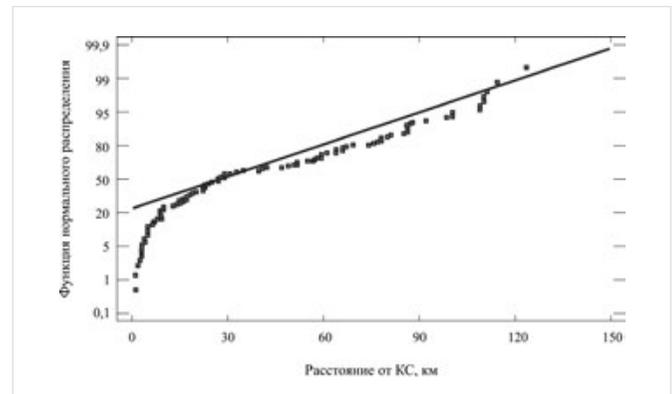


Рис. 10 — Нормальная вероятностная сетка аварий по причине продольного КРН

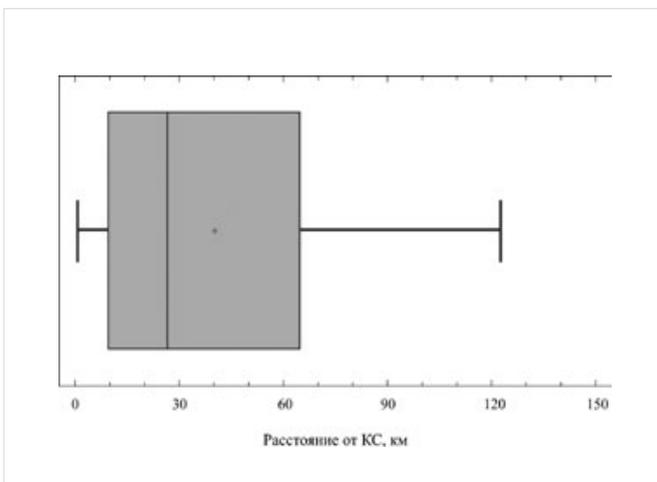


Рис. 11 — «Ящик с усами» для статистики аварий по причине продольного КРН

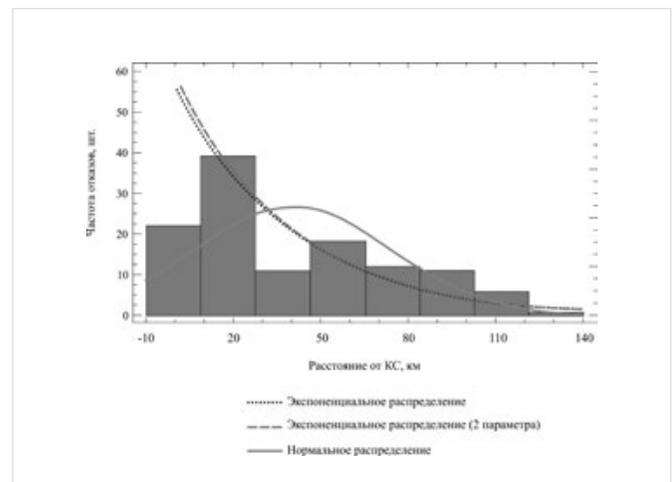


Рис. 12 — Частотная гистограмма аварий по причине продольного КРН с подобранными функциями распределения

Как следует из таблицы, уровень значимости для рассматриваемых экспоненциальных распределений превышает 0,05, что с доверительной вероятностью 95% позволяет их использование для описания статистики аварий.

На основании проведенных исследований могут быть сделаны следующие выводы.

Основной причиной (70%) разрушения линейной части МГ является КРН. Причем на долю продольного КРН приходится 64% аварий, а поперечного — 6%.

#### Итоги

Общая частота аварий и аварий по причине продольного КРН зависит от расстояния от КС и описывается с помощью экспоненциального распределения. Причем расчетные характеристики этого распределения имеют практически одинаковую статистическую значимость. Это, по-видимому, связано с тем, что трещины КРН в большинстве случаев развивается продольно (перпендикулярно максимальным кольцевым растягивающим напряжениям). Привязка КРН к КС вероятно связана с воздействием температуры, давления и вибраций на кинетику развития КРН (величины этих характеристик снижаются по мере удаления МГ от КС).

#### Выводы

Отмеченная особенность проявления продольного КРН дает возможность планирования мероприятий по его мониторингу.

При обнаружении поперечного КРН необходим поиск и устранение дополнительных факторов, вызвавших разрушение.

#### Список использованной литературы

1. Тюрин Ю.М., Макаров А.А. Анализ данных на

Распределение статистики	Экспоненциальное	Экспоненциальное (2 параметра)	Нормальное
D+	0,2578	0,2221	0,1499
D-	0,4187	0,3674	0,1484
DN	0,4187	0,3674	0,1499
Уровень значимости	0,0855	0,1761	0,9875

Таб. 4 — Результаты тестирования выборки с помощью теста Колмогорова-Смирнова

Экспоненциальное	Экспоненциальное (2 параметра)	Нормальное
Среднее = 40,4	Фактор масштаба = 0,025 Низший пороговый уровень = 1,0	Среднее = 40,4 Стандартное отклонение = 33,6

Таб. 5 — Параметры распределений

Распределение статистики	Экспоненциальное	Экспоненциальное (2 параметра)	Нормальное
D+	0,0511	0,0540	0,1743
D-	0,1005	0,1024	0,1205
DN	0,1005	0,1024	0,1743
Уровень значимости	0,1770	0,1615	0,0014

Таб. 6 — Результаты тестирования выборки с помощью критерия Колмогорова-Смирнова

- |   |   |
|---|---|
| <p>компьютере — 3-е изд., перераб. и доп. М.: ИНФРА-М, 2003. 544 с.</p> <p>2. Гареев А.Г. Основы обработки и визуализации экспериментальных данных: учеб. Пособие. Уфа: УГНТУ, 2004. 82 с.</p> <p>3. Тьюки Дж. Анализ результатов наблюдений. Разведочный анализ. М.: Мир, 1981. 693 с.</p> <p>4. Абдуллин И.Г., Гареев А.Г., Мостовой А.В.</p> | <p>Коррозионно-механическая стойкость нефтегазовых трубопроводных систем: диагностика и прогнозирование долговечности. Уфа: Гилем, 1997. 177 с.</p> <p>5. Almquist W.E. Control of stress corrosion cracking is probed. Oil&amp;Gas Journal, 1979, issue 22, pp. 68–73.</p> |
|---|---|

ENGLISH

PIPELINE

## The influence of distance between compressor station on the gas pipeline's vulnerability to different types of SCC

UDC 622.692.4:620.193

#### Authors:

**Mikhail V.Chuchkalov** — c. of t. sc., the director assistant; [mchuchkalov@ufa-tr.gazprom.ru](mailto:mchuchkalov@ufa-tr.gazprom.ru)

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

‘OJSC «Gazprom transgas Ufa», Ufa, Russian Federation

#### Abstract

This article provides an analysis of accident statistics the linear part of main gas pipelines (MGP). It is shown that the main cause of its destruction is stress corrosion cracking (SCC). Discovered essential features of different types of SCC as you move away from compressor station (CS).

#### Materials and methods

Applied mathematical statistics methods, including methods of exploratory analysis.

#### Results

The overall frequency of accidents and accidents due to longitudinal SCC depends on

the distance from the CS and is described by an exponential distribution. The design features of this distribution have almost identical statistical significance. This is probably due to the fact that cracks have developed in most cases SCC longitudinally (perpendicular to the maximum tensile stress ring). Binding to the CS is probably reactive with the influence of temperature, pressure and vibration on kinetics of SCC (values of these characteristics are reduced as MGP from the CS).

The frequency of accidents because of SCC, an equal or exceeding the bending strains of ring does not depend on the distance from the CS and is described by a normal distribution. Using this distribution describes the processes under

the influence of several independent factors. To them, along with the distance from the CS is a deviation from the design decisions in the construction of karst phenomena, erosion ditches, etc.

#### Conclusions

Marked features of longitudinal SCC enables planning for its monitoring. Upon detection of transverse SCC requires finding and fixing additional factors that caused the destruction.

#### Keywords

compressor station, gas pipeline, stress corrosion cracking

#### References

1. Tyurin Y.M., Makarov A.A. *Analiz dannykh na komp'yutere — 3-e izd., pererab. i dop* [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 nablyudeniy. 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'* [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, issue 22, pp. 68–73.