

УДК 66.026

В.И. Городниченко<sup>1</sup>, В.Е. Грязин<sup>2</sup><sup>1</sup> ЭАЦ «Оргремдигаз» ОАО «Оргэнергогаз» (Москва, Россия).<sup>2</sup> ООО «Газпром ВНИИГАЗ» (Москва, Россия).

## Повышение уровня надежности газотранспортной системы в зависимости от планируемых объемов капитального ремонта

Магистральные газопроводы эксплуатируются в условиях переменных эксплуатационных нагрузок (изменяющееся внутреннее давление, циклические продольные нагрузки, связанные с сезонной климатической и гидрологической изменчивостью) и воздействий природных и техногенных факторов (коррозионные и стресс-коррозионные процессы, сейсמודинамические и оползневые воздействия, механические воздействия третьих лиц и т.п.). С учетом длительной эксплуатации изоляционное покрытие, основной металл и сварные соединения линейной части магистральных газопроводов (ЛЧ МГ) претерпевают изменения свойств, образуются и развиваются дефекты и повреждения, которые приводят к снижению несущей способности ЛЧ МГ, долговечности (ресурса), повышению вероятности отказов, уменьшению пропускной способности ЛЧ МГ. Для поддержания МГ в работоспособном состоянии используется стратегия выборочного ремонта ЛЧ МГ и ремонт методом переизоляции с заменой труб. В результате удается стабилизировать количество выявляемых опасных дефектов и снизить аварийность на газопроводах. Однако прогноз изменения технического состояния ЛЧ МГ и анализ динамики ввода МГ в эксплуатацию в сочетании со статистикой аварийности на МГ в зависимости от сроков их эксплуатации указывает на необходимость проведения более масштабных ремонтных работ.

Для оценки уровня надежности газотранспортной системы (ГТС) в зависимости от объемов капитального ремонта ЛЧ МГ методом переизоляции разработана вероятностная модель аварийности на ГТС, получена зависимость аварийности на ГТС от объемов планируемого капитального ремонта и определены объемы капитального ремонта ЛЧ МГ, необходимые для поддержания показателей надежности ГТС на уровне требований международного стандарта ISO/DIS 16708.

**Ключевые слова:** капитальный ремонт, газотранспортная система, линейная часть, магистральный газопровод, частота аварий.

.....

V.I. Gorodnichenko<sup>1</sup>, V.Ye. Gryazin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Orgremdigaz Expert and Analytical Center Orgenergogaz JSC (Moscow, Russia).

<sup>2</sup> Gazprom VNIIGAZ LLC (Moscow, Russia).

## Improved reliability level of the gas transportation system, depending on the scope of planned overhaul

Main gas pipelines are operated under variable operating loads (internal pressure variation, cyclic longitudinal stresses associated with seasonal climate and hydrological variability) and the effects of natural and anthropogenic factors (corrosion and stress corrosion processes, seismodynamic and landslide impact, mechanical actions of third parties, etc.). Taking into account the long-term operation the insulation coating, base metal and welded joints of the linear part of main gas pipelines (MGP LP) are changing their properties, defects and damages are formed and developed that lead to a decrease in the load capacity of the MGP LP, durability (life), increase the failure rate, reduce MGP LP capacity. To maintain MGP operable a strategy of MGP linear part selective repair and repair method by re-insulation with pipes replacement are used. As a result, we succeed in stabilizing the number of detected dangerous defects and reduce accidents on gas pipelines. However, the forecast of the MGP linear part technical condition change and analysis of MGP linear part commissioning in conjunction with the accidents rate statistics depending on the their operation terms, shows the need for more large-scale repairs.

To assess the level of reliability of the gas transportation system (GTS), depending on MGP linear part overhaul by re-isolation a probabilistic model of GTS accidents rate was developed, the dependence of accidents rate on

the GTS from the of planned overhaul scope and the scope of MGP linear part were determined that are necessary to maintain the reliability indicators of gas transport system at the level of international standard requirements ISO/DIS 16708.

**Keywords:** overhaul, gas transportation system, linear part, main gas pipeline, accidents frequency.

Как показывает статистика, несмотря на общее старение ГТС, за счет выборочного ремонта, а также выполнения капитального ремонта по программам переизоляции частота аварий на линейной части магистральных газопроводов уменьшается. Но анализ динамики изменения количества ежегодно обнаруживаемых дефектов показывает, что в перспективе поддержание работоспособного состояния, способного обеспечить заданную производительность ГТС только за счет выборочного ремонта, будет экономически не эффективно. Кроме того, при существующих объемах выборочного ремонта, когда преимущественно устраняются только критические дефекты, общее количество потенциально опасных дефектов на участках МГ остается значительным, что со временем потребует одновременного вывода значительного количества участков МГ в капитальный ремонт методом переизоляции. Поэтому для оценки уровня надежности ГТС в

зависимости от объемов капитального ремонта ЛЧ МГ методом переизоляции необходимо:

- разработать вероятностную модель аварийности на ГТС;
- определить зависимость аварийности на ГТС от объемов планируемого капитального ремонта методом переизоляции;
- рассчитать объемы капитального ремонта ЛЧ МГ методом переизоляции, необходимые для поддержания показателей надежности ГТС на уровне требований международного стандарта ISO/DIS 16708.

Аварийность на линейной части ГТС принято оценивать по частоте аварий  $\lambda$  – число аварий в год на 1 тыс. км ЛЧ МГ. Частота аварий  $\lambda$  является случайной величиной, распределение которой имеет нестационарный характер по времени, что обусловлено изменением технического состояния ЛЧ МГ из-за старения (увеличение аварийности) и проводимых ремонтных работ (умень-

шение аварийности). Следовательно, значение случайной величины  $\lambda$ , характеризующей аварийность одного года эксплуатации ЛЧ МГ использовать для оценки уровня надежности ГТС и его прогнозирования некорректно. Для этих целей необходимо использовать среднее значение частоты аварий за несколько лет.

При разработке статистической модели распределения аварийности на отдельных участках ЛЧ МГ предполагается, что частота аварий на конкретном линейном участке МГ является случайной величиной, она определяется техническим состоянием участка и может существенно отличаться от среднестатистического значения частоты аварий ГТС. Для описания распределения случайной величины  $\lambda$  был принят закон распределения Рэля. Этот закон используется по следующим причинам:

- частота аварий на линейном участке МГ не может быть отрицательной величиной;

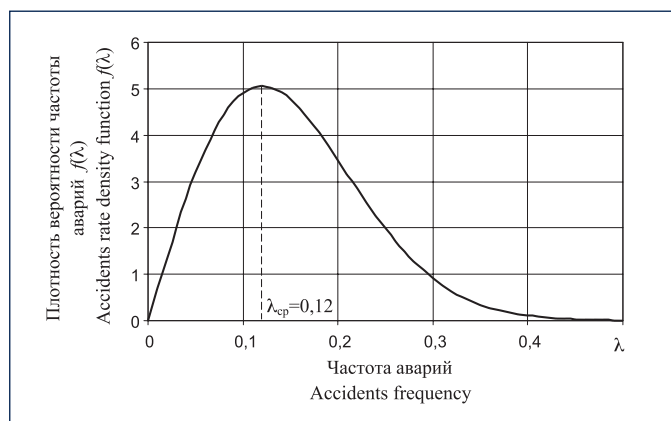


Рис. 1. График плотности распределения частоты аварий на линейных участках МГ без учета объемов капитального ремонта методом переизоляции

Fig. 1. Frequency curve of accidents rate at linear sections main gas pipeline excluding overhaul works scope with re-isolation

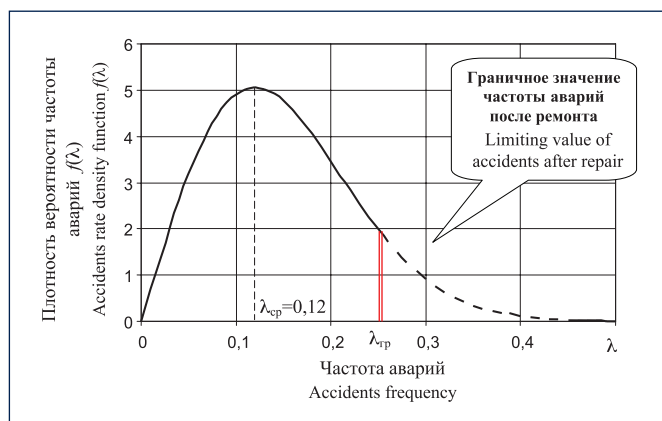


Рис. 2. График плотности распределения частоты аварий на линейных участках МГ с учетом объемов капитального ремонта методом переизоляции

Fig. 2. Frequency curve of accidents rate at linear sections main gas pipeline with overhaul works scope with re-isolation

Ссылка для цитирования (for references):

Городниченко В.И., Грязин В.Е. Повышение уровня надежности газотранспортной системы в зависимости от планируемых объемов капитального ремонта // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2015. № 11. С. 137–139.

Gorodnichenko V.I., Gryazin V.Ye. Improved reliability level of the gas transportation system, depending on the scope of planned overhaul (In Russ.). *Territorija «NEFTEGAZ» = Oil and Gas Territory*, 2015, No. 11. P. 137–139.

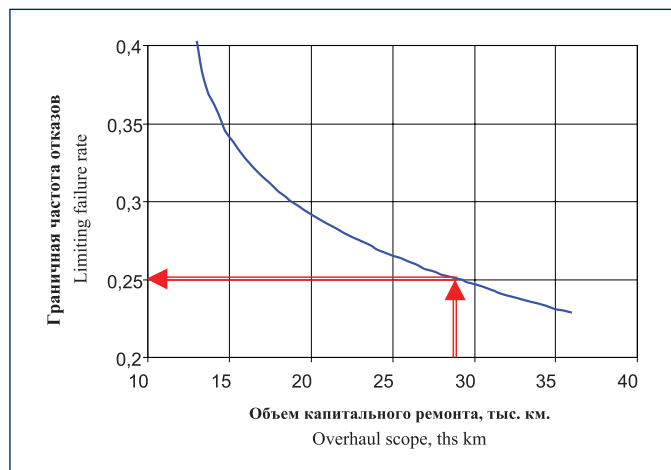


Рис. 3. График граничного значения частоты аварий в зависимости от планируемых объемов ремонтных работ

Fig. 3. Dependency diagram of limiting value of accidents on the scope of planned repair works

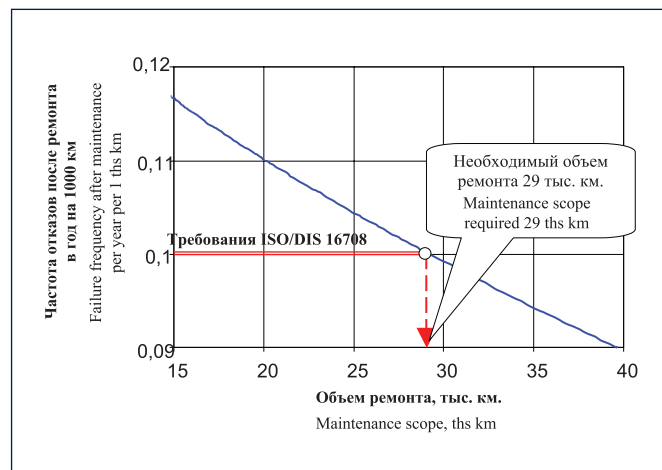


Рис. 4. Зависимость частоты аварий от объемов ремонтных работ

Fig. 4. Dependence of accidents frequency on maintenance works scopes

- наибольшее число линейных участков МГ имеет частоту аварий, близкую к среднестатистической для всей ГТС величине  $\lambda_{cp}$ ;
  - частота аварий на наиболее дефектных участках может во много раз превышать среднестатистическую частоту аварий  $\lambda_{cp}$ .
- Плотность вероятности частоты аварий на линейных участках МГ для принятого закона распределения Рэлея определяется по формуле

$$f(\lambda) = \frac{\lambda p_i}{\lambda_{cp}^2} \cdot \exp\left(-\frac{\lambda^2}{2 \cdot \lambda_{cp}^2}\right)$$

где  $\lambda$  – частота аварий на линейных участках МГ;  $\lambda_{cp}$  – среднестатистическая частота аварий.

Распределение плотности вероятности частоты аварий на линейных участках МГ  $\lambda$  для закона распределения Рэлея без учета планируемого объема ремонтных работ приведено на рисунке 1.

При расчете зависимости аварийности на ГТС от объемов планируемого капитального ремонта методом переизоляции считается, что при формировании пообъектных планов капитального ремонта ЛЧ МГ в первую очередь в план будут включены наиболее дефектные участки с наибольшей ожидаемой частотой аварий. С учетом объема ремонтных работ распределение плотности вероятности частоты аварий на линейных участках МГ  $\lambda$  приведено на рисунке 2, на котором  $\lambda_{rp}$  – граничное

значение частоты аварий на линейных участках МГ после выполнения ремонта по Программе капитального ремонта методом переизоляции 2011–2015 гг. (после капитального ремонта наиболее дефектных участков, с наибольшей частотой аварий).

Граничное значение частоты аварий определяется по формуле

$$\lambda_{rp} = \lambda_{cp} \cdot \sqrt{-2 \cdot \ln\left(\frac{\bar{L}_p - \bar{L}_p^{2004-2010}}{\bar{L}_p}\right)}$$

где  $\lambda_{rp}$  – среднестатистическая частота аварий;  $\bar{L}_p$  – отношение протяженности планируемых к ремонту участков МГ за период 2011–2015 гг. к общей протяженности ГТС;  $\bar{L}_p^{2004-2010} = 0,09$  – отношение протяженности отремонтированных участков МГ за период 2004–2010 гг. к общей протяженности ГТС.

На рисунке 3 приведены результаты расчета граничных значений частоты аварий на линейных участках МГ в зависимости от объемов планируемых в 2011–2015 гг. ремонтных работ.

Значение среднестатистической частоты аварий на ГТС в зависимости от объемов капитального ремонта методом переизоляции 2011–2015 гг.  $\lambda_{cp}^p$  можно определить по формуле

$$\lambda_{cp}^p = \int_0^{\lambda_{rp}} f(\lambda) \cdot \lambda \cdot d\lambda$$

где  $f(\lambda)$  – плотность распределения частоты аварий;  $\lambda_{rp}$  – граничное значение частоты аварий на линейных участках

МГ после ремонта наиболее дефектных участков (при  $\bar{L}_p = 0,09$   $\lambda_{rp} = \infty$ ).

В расчетах учитывалось, что на отремонтированных линейных участках частота аварий будет значительно ниже среднестатистической, но не равна нулю, так как сохраняется вероятность аварий, обусловленных воздействием третьих лиц, природными воздействиями, нарушениями режимов эксплуатации. По статистическим данным, доля таких аварий составляет в среднем 25% от всех аварий на ЛЧ МГ.

Результаты расчета ожидаемой частоты аварий в зависимости от объемов планируемого капитального ремонта методом переизоляции (граничного значения частоты аварий) представлены на рисунке 4. График зависимости частоты аварий от объемов капитального ремонта методом переизоляции показывает, что для достижения аварийности на ГТС, сопоставимой с уровнем требований международного стандарта ISO/DIS 16708 (приемлемым уровнем считается интенсивность аварий, равная 0,1 аварии на 1000 км в год), необходимо вывести в 2011–2015 гг. в капитальный ремонт методом переизоляции порядка 29 тыс. км ГТС.

Таким образом, предложенная вероятностная модель аварийности на ГТС позволяет оценивать уровень надежности ГТС в зависимости от планируемых (выполненных) объемов капитального ремонта методом переизоляции.