ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ТРУБОПРОВОДНЫХ КОНСТРУКЦИЙ С ТРЕЩИНОПОДОБНЫМИ ДЕФЕКТАМИ

заместитель начальника лаборатории Е.Н. Овсянников,
директор Центр В.М. Силкин,
начальник лаборатории В.П. Столов.
Корпоративный научно-технический Центр управления техническим состоянием и целостностью ГТС,
лаборатория надежности и ресурса ГТС

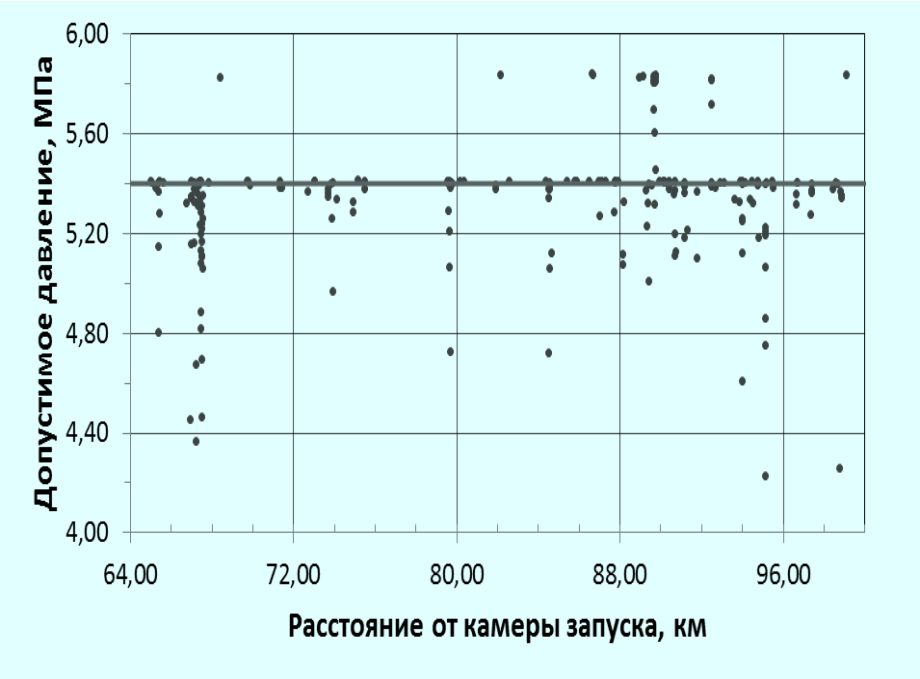
IV Международный научно-практический семинар «Повышение надежности магистральных газопроводов, подверженных КРН» 6 – 8 июня 2018 г.

Актуальность работы

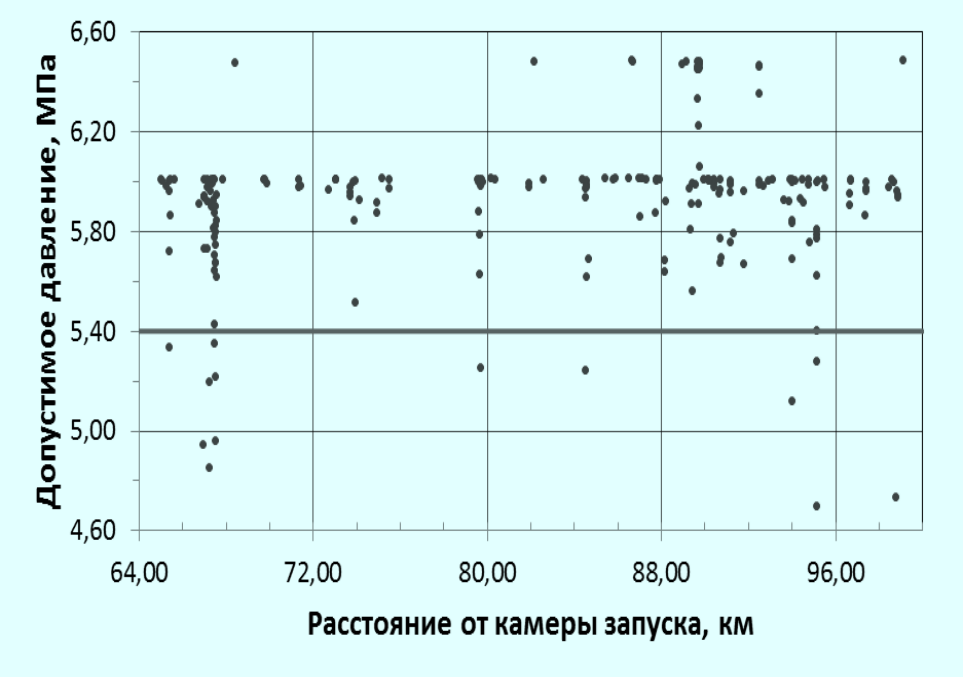
В настоящее время в ПАО «Газпром» внедряется и совершенствуется Система управления техническим состоянием и целостностью газотранспортной системы (СУТСЦ ГТС). Главная цель СУТСЦ ГТС – обеспечение требуемых надежности и безопасности эксплуатации магистральных газопроводов на основе объективного адресного планирования управляющих воздействий и оптимального распределения финансовых затрат.

Планирование долгосрочных Программ технического обслуживания, технического диагностирования и ремонта объектов ГТС в рамках СУТСЦ основано на количественной оценке показателей технического состояния, надежности и техногенного риска эксплуатации. В докладе представлена методика оценки показателей технического состояния и надежности участков газопроводов с трещиноподобными дефектами и даны рекомендации по области её применения.

Актуальность работы



Устранению подлежит 125 дефектов



Устранению подлежит 13 дефектов

Инженерная модель оценки вероятности безотказной работы элементов линейной части магистральных газопроводов, основанная на теории нестационарных случайных процессов

Принятые допущения:

- несущая способность трубы является стационарным случайным процессом с параметрами $\overline{R}(t) = \overline{R}$ и среднеквадратическим отклонением $\sigma_R(t) = \sigma_R$
- нагрузка является нестационарным случайным процессом с монотонно возрастающим математическим ожиданием $\mathbb{Q}(t) = \frac{\mathbb{Q}}{1-\omega(t)}$, ($\mathbb{Q}$ - случайная величина, $\omega(t)$ - неслучайная монотонно возрастающая функция поврежденности элемента).
- вид законов распределения несущей способности и нагрузки по времени не изменятся, и в любом сечении процесса является нормальным.

Инженерная модель оценки вероятности безотказной работы элементов линейной части магистральных газопроводов, основанная на теории нестационарных случайных процессов

$$P(t) = \frac{1}{2} + \Phi\left(\frac{\overline{K}(t)-1}{\sqrt{\overline{K}^2(t)\cdot\nu_R{}^2+\nu_{\mathbb{Q}}{}^2}}\right),$$

где $\overline{\mathrm{K}}(t) = \frac{\overline{R}}{\overline{\mathbb{Q}}(t)} = \frac{\overline{R}}{\overline{\mathbb{Q}}/(1-\omega(t))} = K_{пр}\cdot(1-\omega(t))$ - математическое ожидание коэффициента запаса;

$\overline{R}$ - среднее значение несущей способности;

$\overline{\mathbb{Q}}(t) = \frac{\overline{\mathbb{Q}}}{1-\omega(t)}$ - монотонно возрастающее среднее значение нагрузки;

$\nu_R = \frac{\sigma_R}{\overline{R}}$ - коэффициенты вариации несущей способности;

$\nu_{\mathbb{Q}} = \frac{\sigma_{\mathbb{Q}}(t)}{\overline{\mathbb{Q}}(t)} = \frac{\sigma_{\mathbb{Q}}/(1-\omega(t))}{\overline{\mathbb{Q}}/(1-\omega(t))} = \frac{\sigma_{\mathbb{Q}}}{\overline{\mathbb{Q}}}$ - коэффициент вариации нагрузки;

$\Phi(U(t)) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_0^{U(t)} e^{-\frac{x^2}{2}}dx$ - функция нормального распределения

Инженерная модель оценки вероятности безотказной работы элементов линейной части магистральных газопроводов, основанная на теории нестационарных случайных процессов

$$f(t) = -P(t)' = \frac{K_{пр} \cdot \omega'(t) \cdot \left(K(t) \cdot \nu_R{}^2 + \nu_{\mathbb{Q}}{}^2\right)}{\sqrt{2\pi}\left(K^2(t) \cdot \nu_R{}^2 + \nu_{\mathbb{Q}}{}^2\right)^{3/2}} exp\left(-\frac{U^2(t)}{2}\right), \qquad \lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)}$$

Конечно-разностная аппроксимация плотности распределения времени безотказной работы:

$$\hat{f}(t) = -\frac{P(t+\Delta t) - P(t)}{\Delta t} = \frac{P(t) - P(t+\Delta t)}{\Delta t}.$$

Конечно-разностная аппроксимация интенсивности отказов:

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{1}{\Delta t}\left(\frac{P(t) - P(t+\Delta t)}{P(t)}\right) = \frac{1}{\Delta t}\left(1 - \frac{P(t+\Delta t)}{P(t)}\right).$$

Вероятность отказа в интервале времени от t до t+Δt:

$$q(t, t+\Delta t) = 1 - \frac{P(t+\Delta t)}{P(t)}$$

Инженерная модель оценки несущей способности труб большого диаметра с продольными трещинами

Модель I

$$\omega = \varepsilon \cdot \left[1 - exp\left(-\frac{\varepsilon}{\alpha \cdot (1+\varepsilon)} \cdot l\right)\right]$$

$$l = \frac{L}{\sqrt{D \cdot t}} \qquad \varepsilon = \frac{d}{t} \qquad \alpha = \frac{8}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{\sqrt{t} \cdot K_c}{D \cdot \sigma_T}}$$

$$[\omega] = 1 - \frac{\sigma_{\text{Н}}}{\sigma_T}$$

$$l = \alpha \cdot \frac{1+\varepsilon}{\varepsilon} \cdot ln\left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon - [\omega]}\right)$$

Инженерная модель оценки несущей способности труб большого диаметра с продольными трещинами

Модель II

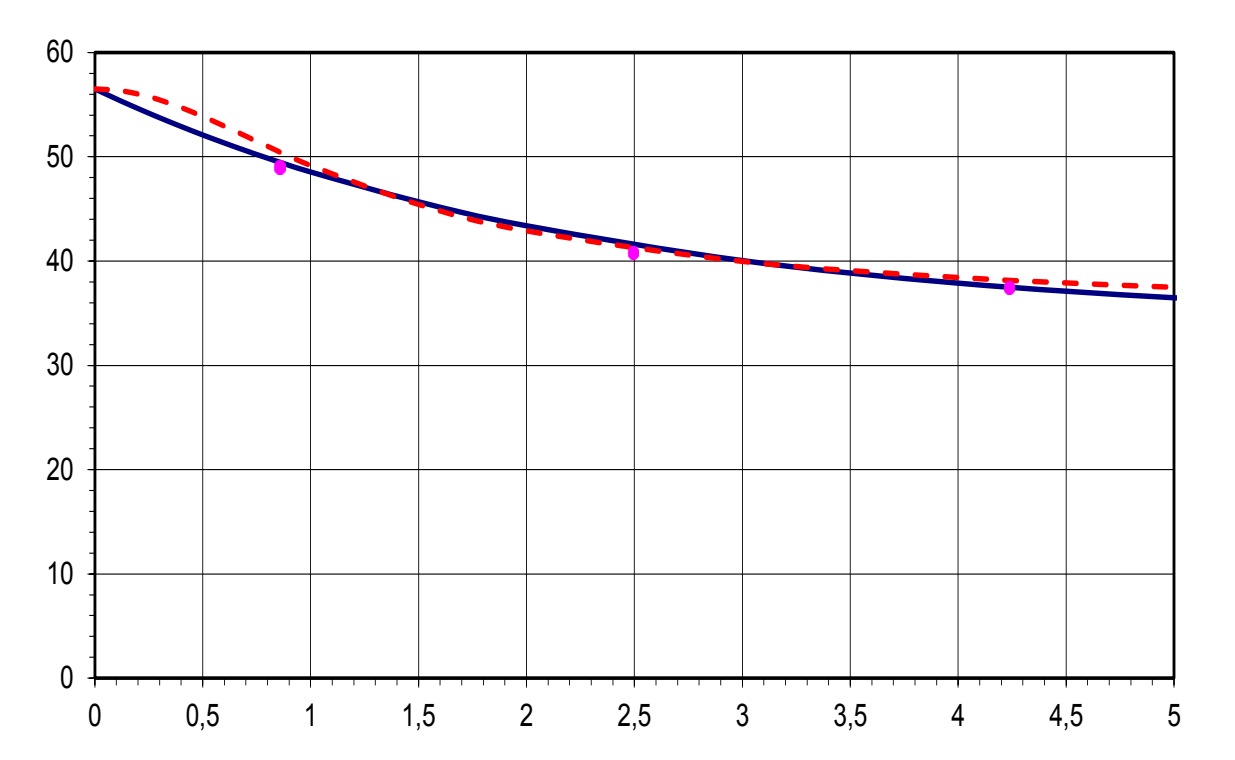
$$\omega = \varepsilon \cdot \frac{Q - 1}{Q - \varepsilon}$$

$$Q = \sqrt{1 + \frac{1}{\alpha^2} \cdot \frac{\varepsilon}{1 + \varepsilon} \cdot l^2}$$

$$l = \alpha \cdot \left\{ \frac{1 + \varepsilon}{\varepsilon} \cdot \left[\left(\frac{\varepsilon \cdot (1 - [\omega])}{\varepsilon - [\omega]} \right)^2 - 1 \right] \right\}^{1/2}$$

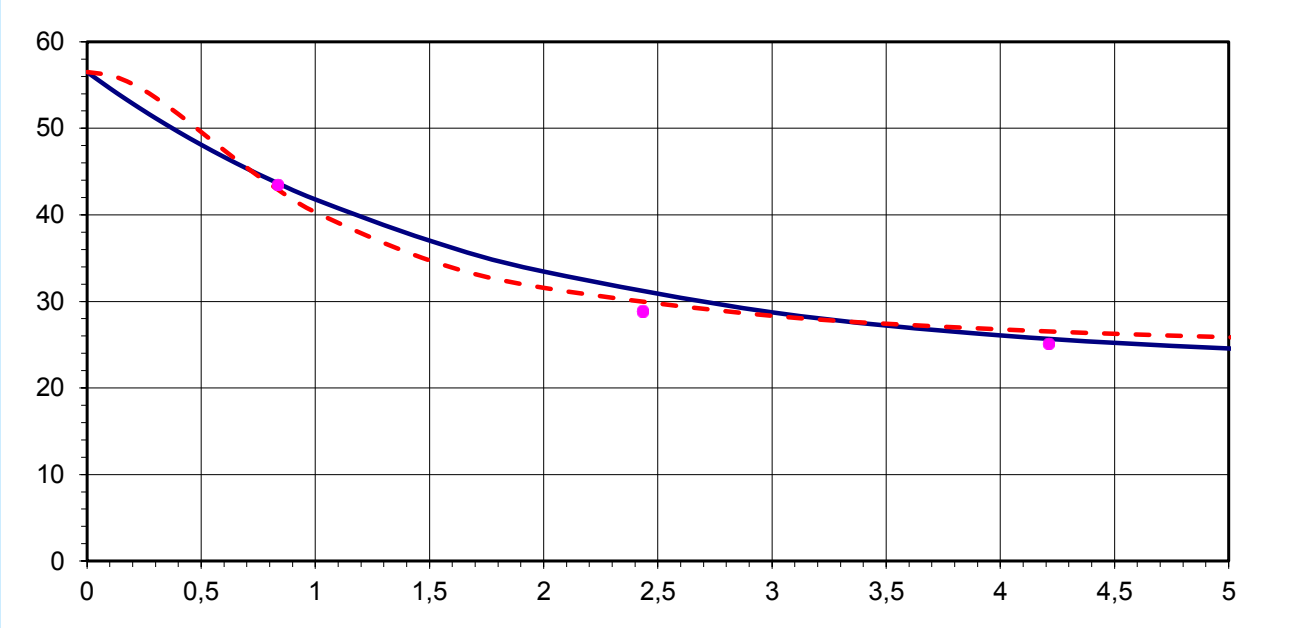
Результаты верификации разработанных моделей

$\varepsilon = 0{,}4$



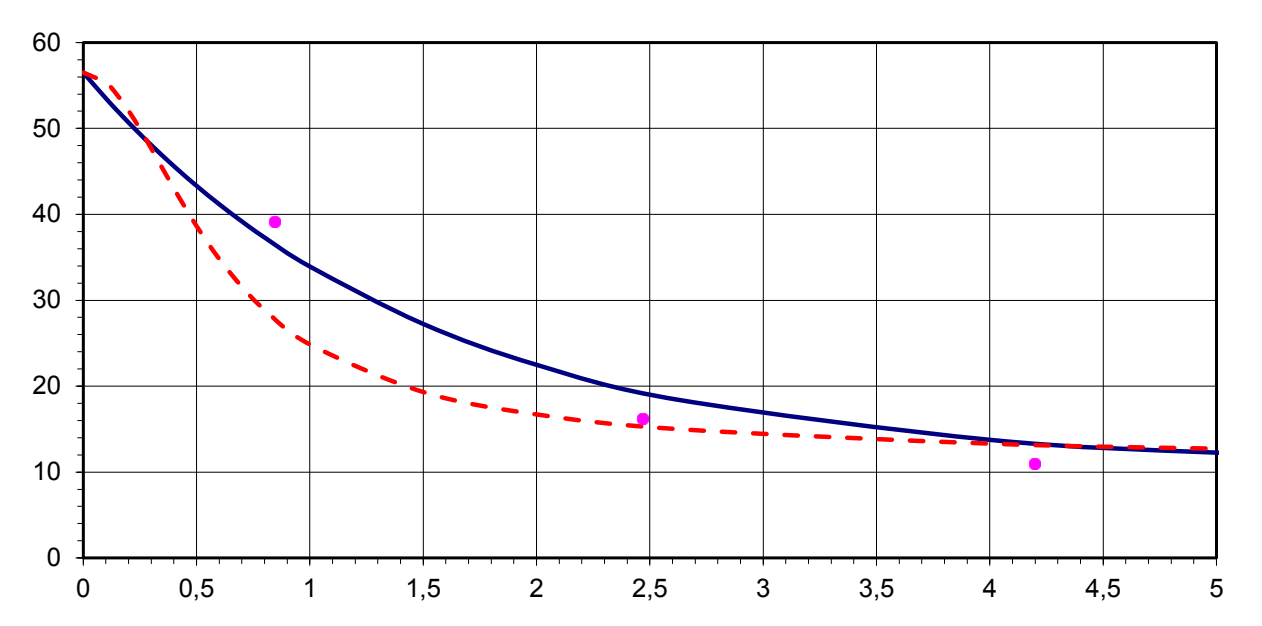
Результаты верификации разработанных моделей

$\varepsilon = 0{,}6$



Результаты верификации разработанных моделей

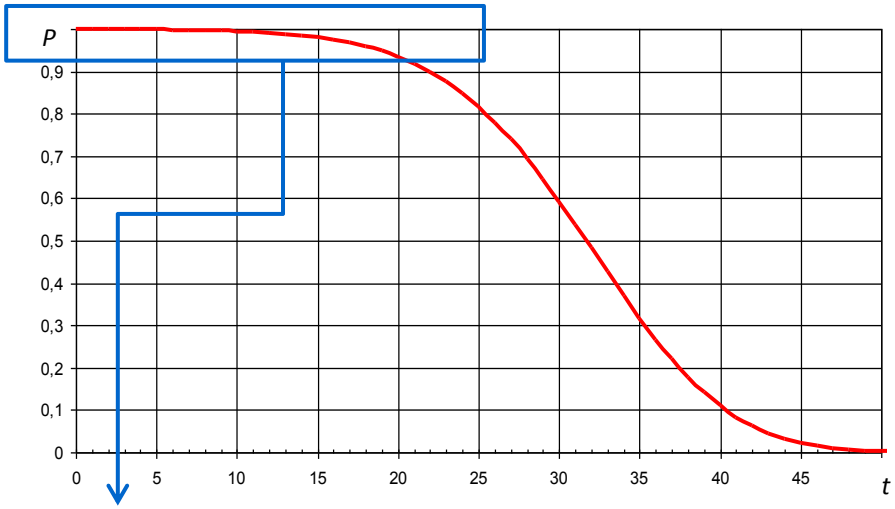
$\varepsilon = 0{,}81$

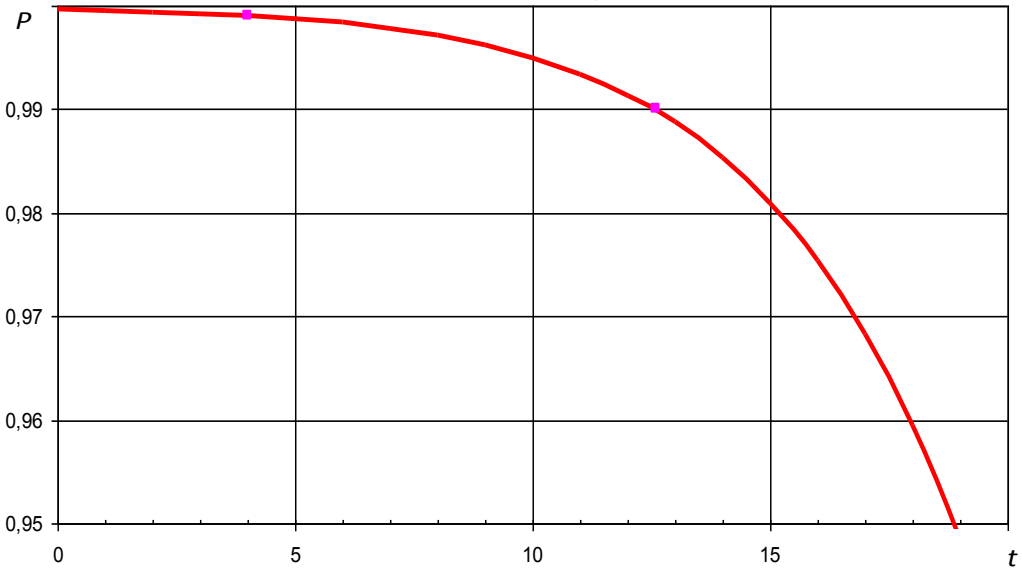


Результаты расчета и прогнозирования показателей надежности трубы с дефектами

Исходные данные:

- диаметр трубы 1420 мм;
- предел прочности 590 МПа;
- коэффициент надежности по материалу 1,34;
- толщина стенки 18,7 мм (I категория);
- длина дефекта 350 мм;
- глубина 6 мм;
- скорость роста дефекта в глубину 0,2 мм/год;
- скорость роста дефекта в длину 10 мм/год.





Результаты расчета и прогнозирования показателей надежности трубы с дефектами

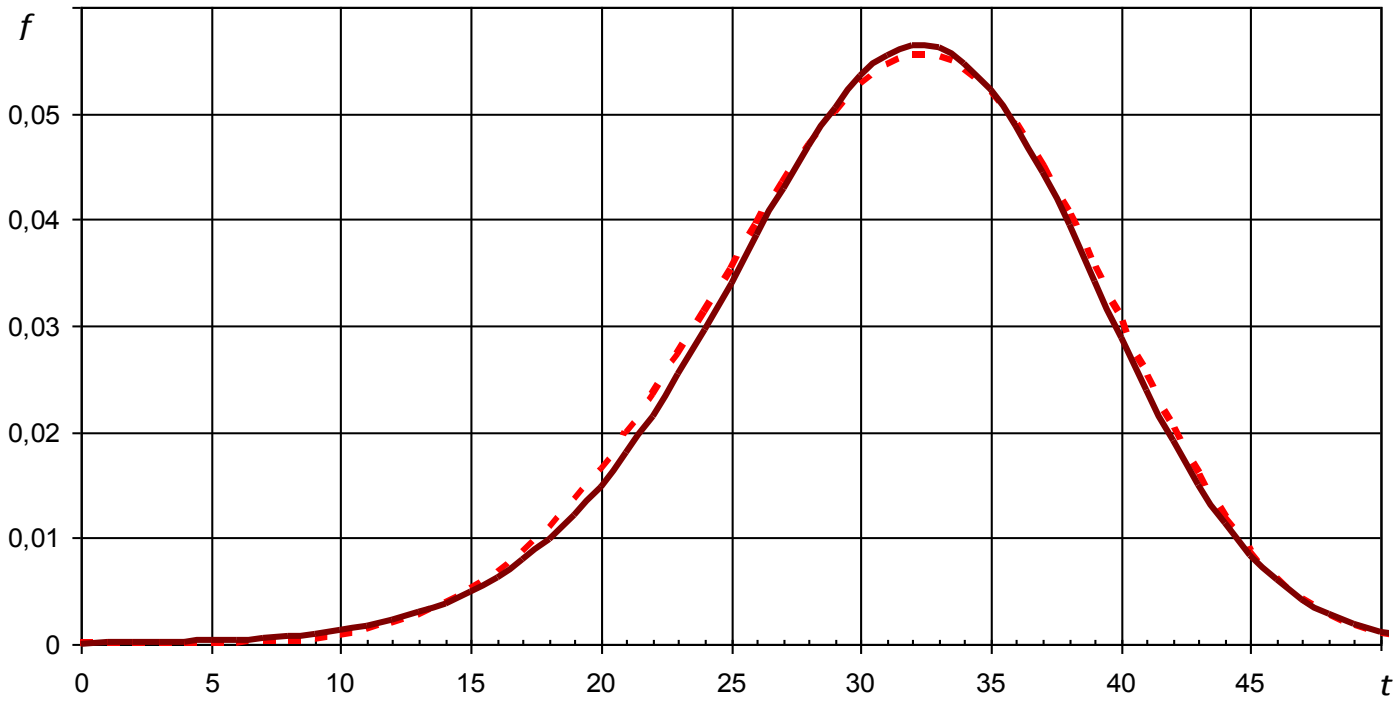
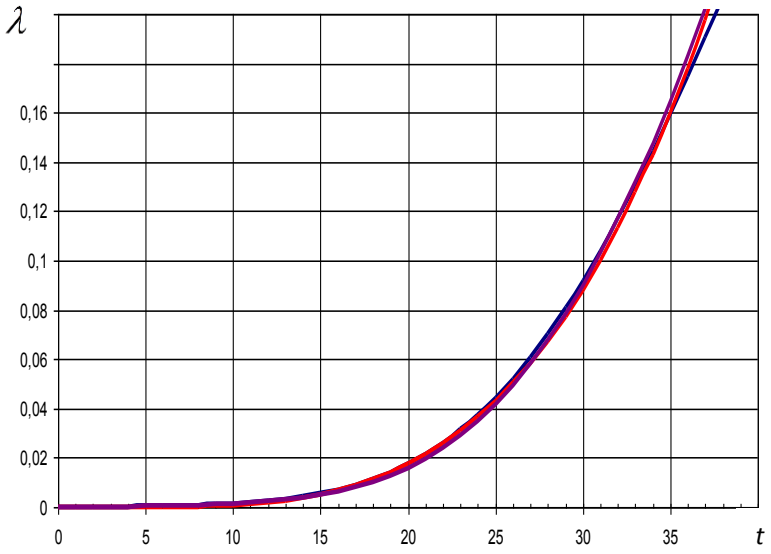


График функции плотности распределения времени безотказной работы

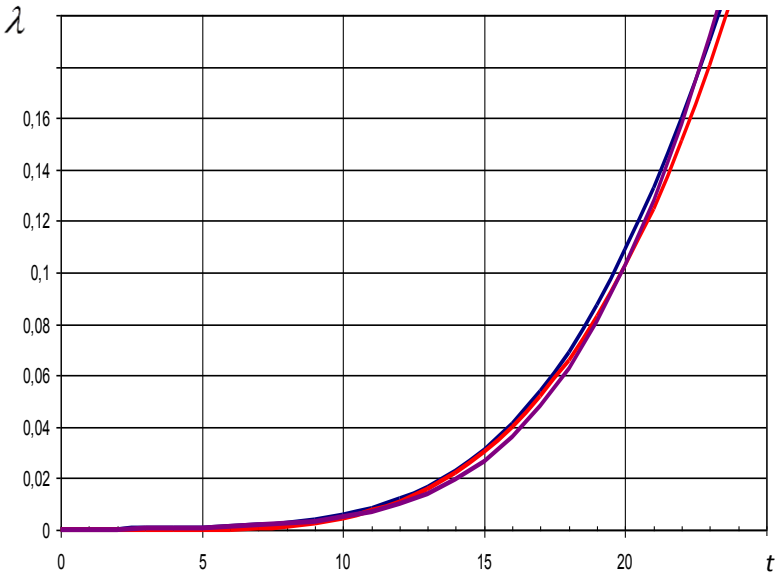
$$f(t) = \frac{\alpha(t-\theta)^{\alpha-1}}{\beta^{\alpha}} \cdot \exp\left(-\left(\frac{t-\theta}{\beta}\right)^{\alpha}\right)$$

$\alpha = 4{,}5$, $\theta = 3$ *года*, $\beta = 31{,}1$ *года*

Результаты расчета и прогнозирования показателей надежности трубы с дефектами



Зависимости от времени интенсивности отказов и вероятности отказа за год



Зависимости от времени интенсивности отказов и вероятности отказа за год при скорости коррозии 0,3 мм/год.

$\alpha = 4{,}5$, $\theta = 3$ *года*, $\beta = 21$ *год*

$$\lambda(t) = \frac{\alpha(t-\theta)^{\alpha-1}}{\beta^{\alpha}}$$

Заключение

Разработанная методика позволяет с учетом скорости роста дефектов оценивать на текущий момент и прогнозировать на будущее необходимый спектр показателей технического состояния и надежности участков газопроводов по ограниченному объему исходных данных. Она также предусматривает возможность определения вероятности отказа участка за год, на основе которой в рамках Системы управления техническим состоянием и целостностью может быть проведен расчет риска при эксплуатации участков линейной части магистральных газопроводов.