

ПРИМЕНЕНИЕ АППАРАТА НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Кармачев Д.П.

Томский политехнический университет
karmachevd@mail.ru

Введение

К надежности промышленных трубопроводов предъявляют повышенные требования с точки зрения промышленной и экологической безопасности и экономических затрат [1]. При расчете надежности и анализе отказов трубопроводов, необходимо иметь четкое представление о влиянии и о степени влияния внешних (климатические и геологические особенности зон прокладки) и внутренних (характеристики транспортируемой среды) факторов на аварийность трубопроводных систем [2].

Важно отметить, что именно оценка влияния каждого фактора по отдельности на надежность промышленных трубопроводов позволяет с большей точностью спрогнозировать отказы в процессе эксплуатации, а также применять более надежные решения при проектировании и строительстве трубопроводных систем [1].

В рамках данной работы рассмотрен пример построения графика функции интенсивности отказов, принимающей нечеткие значения, для промышленных трубопроводов в зависимости от обводненности протекающей среды (водонефтяной эмульсии).

Исходные данные

Исходные данные представляют собой времена отказов участков трубопроводов, с момента их ввода в эксплуатацию. Все исследуемые трубопроводы аналогичны по своим техническим характеристикам, которые представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристики исследуемых трубопроводов

Диаметр, мм	Толщина, мм	Материал	Глубина заложения, м
114	9	Сталь 20	1.5

Протекающая среда в исследуемых трубопроводах является водонефтяной эмульсией (ВНЭ). Значения температуры и рабочего давления среды приблизительно равны для всех исследуемых участков трубопроводов. В свою очередь, анализ исследуемых данных показал, что значение обводненности изменяется в пределах от 95% до 5%.

Лабораторные исследования и опыт эксплуатации указывают на то, что с ростом обводненности процент аварийности трубопроводов, связанный с внутренней коррозией, возрастает [3]. На аналогичную

зависимость также указывает гистограмма распределения отказов, полученная в результате обработки исходных данных, промышленных трубопроводов для различных интервалов обводненности (рис. 1)

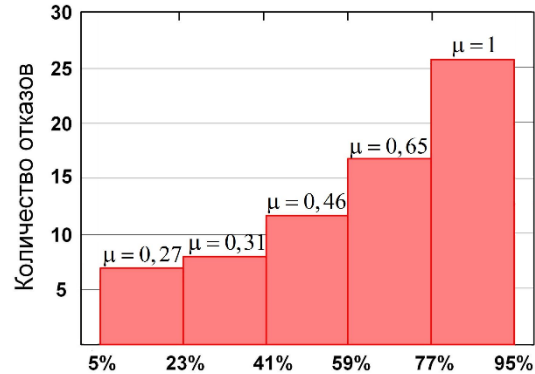


Рис. 1. Гистограмма плотности распределения отказов промышленных трубопроводов

Систематизировать информацию об отказах и проследить влияние и степень влияния обводненности ВНЭ на аварийность промышленных трубопроводов можно, применив математический аппарат нечетких множеств.

Получение графика функции интенсивности отказов, принимающей нечеткие значения

Интенсивность отказов (ИО) является одним из основных показателей надёжности, позволяющим в частности выявлять фазы жизненного цикла системы в зависимости от поведения кривой интенсивности [4]. Функция интенсивности отказов определяется как

$$\lambda(\theta, t) = \frac{-P'(\theta, t)}{P(\theta, t)}, \quad (1)$$

где $P(\theta, t)$ - функция вероятности безотказной работы (ВБР) с вектором параметров θ [4].

Для отказов трубопроводов характерна постоянная или монотонно-возрастающая функция интенсивности отказов [5]. Поэтому для описания данных об отказах в качестве модели надежности (МН) было выбрано распределение Вейбулла-Гнеденко [4].

Функция ВБР для МН Вейбулла-Гнеденко определяется выражением

$$P(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta}, \quad (2)$$

где $\eta > 0$ и $\beta > 0$ - параметры масштаба и формы соответственно.

С учетом выражений (1) и (2) функция ИО для данного распределения будет определяться по формуле

$$\lambda_V(\beta, \eta, t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta} \right)^{\beta-1}. \quad (3)$$

Предполагается, что по трубопроводам, ресурсы наработки которых при отказах попали в один интервал (рис. 1), протекала аналогичная по своим характеристикам ВНЭ, за исключением обводненности. Исходя из этого, с помощью метода максимального правдоподобия получаем

точечные оценки $\hat{\theta}_j$ значений параметров $\theta_j, j=1..n$ для j-го интервала гистограммы.

Подставляя полученные значения параметров в выражение (3), строим n различных функций интенсивности отказов. На основе гистограммы определяем значения функции принадлежности, соответствующие каждому столбцу гистограммы (рис.1). Строим функцию ИО, принимающую нечеткие значения в каждый момент времени.

График нечеткой $\lambda(\theta, t)$ является поверхностью в пространстве \mathbb{R}^3 (рис. 2, 3).

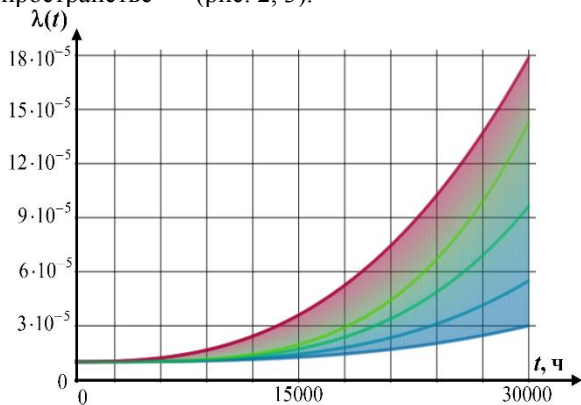


Рис. 2. График функции ИО (вид сверху)

Следует отметить, что сечение функции нечеткой $\lambda(\theta, t)$ плоскостью $t = t^*$ позволит найти нечеткую интенсивность отказов в момент времени t^* . Используя изложенную в данной работе процедуру построения и применяя формулу (2), можно также получить нечеткую функцию ВБР и другие показатели надежности.

Данная процедура построения универсальна и применима для получения нечетких функций ВБР и интенсивности отказов для трубопроводов, на аварийность которых влияют другие изменяющиеся внутренние и внешние факторы. Кроме того, рассмотренная в рамках данной работы процедура построения, также применима при анализе отказов технических систем, машин и изделий, функционирующих в изменяющихся условиях внешней среды и эксплуатируемых в различных режимах [6, 7].

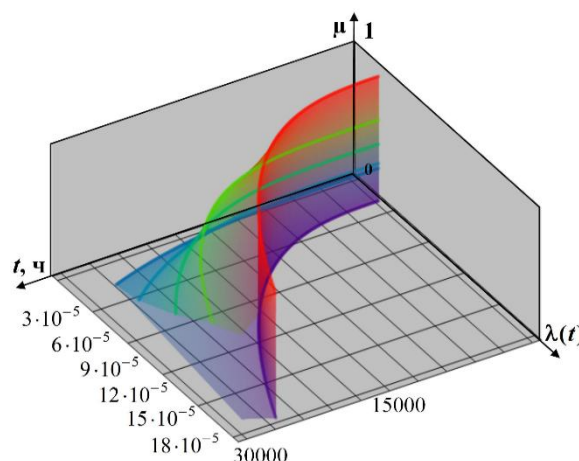


Рис. 3. График функции ИО (изометрическая проекция)

Заключение

Применение аппарата нечетких множеств при построении графиков функций надежности позволяет учесть в рамках одной модели степень влияния различных факторов на аварийность в процессе эксплуатации. Полученные в результате данной процедуры графики функций не являются «панацеей», но их комплексный анализ совместно с лабораторными исследованиями позволят точнее спрогнозировать отказы и определить самые надежные решения при проектировании и эксплуатации трубопроводных систем.

Список использованных источников

1. Э.М. Ясин, В.Л. Березин, К.Е. Расцепкин. Надежность магистральных трубопроводов. – М.: Недра, 1975. – 140 с.
2. В.В. Рождественский и др. Работоспособность линейной части трубопроводов. НТО. Проектирование и строительство трубопроводов и газопромысловых сооружений – М.: ВНИИЭгазпром, 1973. – 108 с.
3. Г.П. Фетисов, В.М. Матюнин, М.Г. Карпман. Материаловедение и технология металлов: учебник для студентов машиностроительных специальностей вузов – М.: Высшая школа, 2005 – 862 с.
4. В.А. Острейковский. Теория надежности: учебник для вузов – М.: Высшая школа, 2003 – 463 с.
5. Ф.С. Мустафин, Л.И. Быков, А.Г. Гумеров и др. Промысловые трубопроводы и оборудование: учебное пособие для вузов – М.: Недра, 2004 – 664 с.
6. А.А. Ефремов. Вычисление нечеткой вероятности безотказной работы систем с нечеткими параметрами моделей надежности // Доклады ТУСУР. - 2015. - №2 (36). - С.136-140.
7. А.Т. Нгуен, А.А. Ефремов. Компьютерное моделирование показателей нечеткой надежности // Доклады ТУСУР. - 2016. – Т. 19. - №1. - С.57-62