

УДК 226-027.45

**С.В. Дейнеко, Р.Р. Щербаков**

Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина, г. Москва

## **КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ОБЕСПЕЧЕНИЮ НАДЕЖНОСТИ ГАЗОНЕФТЕПРОВОДОВ КАК СОСТАВЛЯЮЩЕЙ МОНИТОРИНГА ПРОМЫШЛЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

В данной статье рассмотрен комплексный подход к оценке и обеспечению надежности объектов трубопроводного транспорта газа, нефти и нефтепродуктов.

**Ключевые слова:** система газонефтепроводов; структурные модели-схемы надежности.

**S.V. Deineko, R.R. Scherbakov**

National University of Oil and Gas «Gubkin University», Moscow

## **COMPREHENSIVE APPROACH TO ENSURING THE RELIABILITY OF GAS-OIL PIPELINES AS A COMPONENT OF INDUSTRIAL SAFETY MONITORING**

This article discusses an integrated approach to assessing and ensuring the reliability of pipeline transportation facilities for gas, oil and oil products.

**Keywords:** gas and oil pipeline system; structural models-schemes of reliability.

Снижение вероятности появления отказов и аварий при дальнейшем развитии сложной системы газонефтепроводов обусловлено мониторингом промышленной безопасности, т.е. постоянным слежением за техническим состоянием и уровнем ее надежности.

Комплексный подход основан на мониторинге промышленной безопасности системы магистральных газонефтепроводов (ГНП) с учетом специфики обеспечения надежности на каждом этапе их жизненного цикла [1]. Предлагается также на основании рассмотрения системы «труба-окружающая среда» учитывать разную физику причин возникновения отказов (гидравлическую, химическую, механическую и другие) на основании комплексного критерия предельного состояния объекта.

Развитие основных направлений обеспечения мониторинга промышленной безопасности газонефтепроводов предполагает:

- Проведение базовых диагностических обследований [2, 3].
- Проведение расширенных диагностических обследований, мониторинг.
- Экспертизу промышленной безопасности газопроводов как единого целого.

- Оценку надежности и определение допустимого уровня риска аварий газонефтепроводов.
- Управление уровнем надежности и риска.
- Управление технической диагностикой и планирование ремонта оборудования и трубопроводов.

Система экспертизы промышленной безопасности газонефтепроводов приводится на рис. 1.

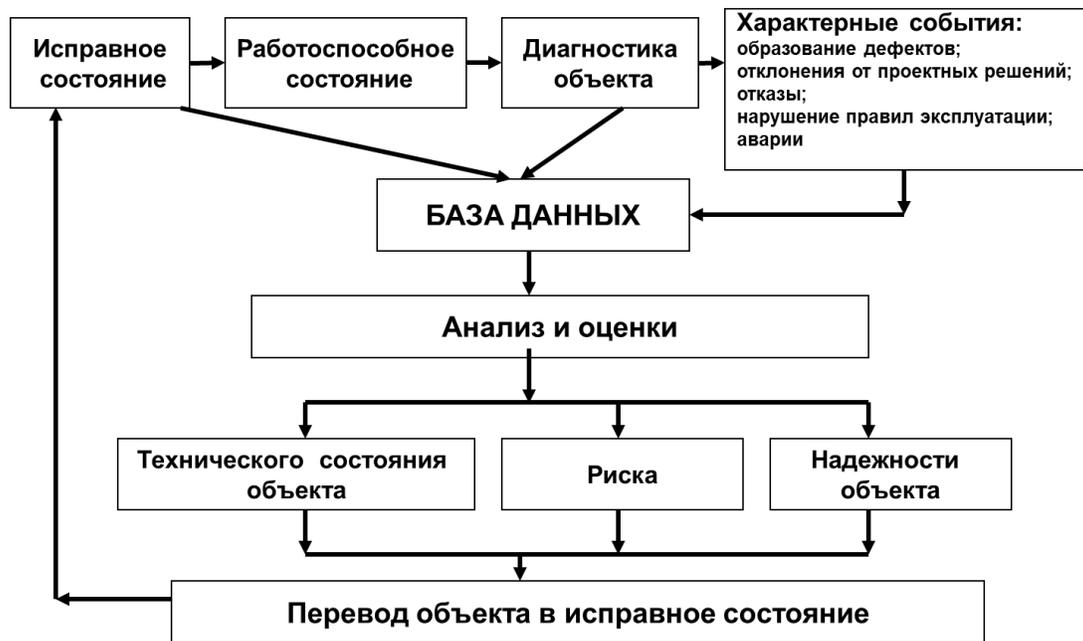


Рисунок 1 – Система экспертизы промышленной безопасности газонефтепроводов

В систему мониторинга промышленной безопасности входит надежность газопроводов.

Надежность, согласно этапам жизненного цикла магистральных газопроводов, подразделяется на следующие виды:

- конструктивную (конструкционную), которая соответствует этапу проектирования,
- технологическую (эксплуатационную), которая соответствует этапу эксплуатации.

Ограничения появления негативных факторов на стадии эксплуатации, которые могут привести к отказам или авариям, таких, как повышение давление сверх допустимого, образование гидратных пробок, внутренняя и внешняя коррозии, потеря проектного положения трубопровода (появление сложно-напряженного состояния трубопровода) предусматриваются конструктивными

решениями на стадии проектирования трубопроводов. Таким образом, определяется конструктивная надежность.

Технологическая надежность предполагает построение моделей. Причем возможны два подхода для построения моделей – «дифференциальный» и «интегральный».

**Дифференциальный метод** детально рассматривает конкретную физическую причину появления отказа во время эксплуатации магистрального трубопровода. Например, отдельно строятся гидравлические модели, «коррозионные» модели, механические модели – появление сложно-напряженного состояния трубопровода (потеря несущей способности грунта в процессе эксплуатации трубопровода). Таким образом, проблема обеспечения надежности магистрального газопровода представляется в виде решения весьма сложных отдельных задач, т.е. построения сложных аналитических моделей процессов, происходящих с трубопроводом во время его эксплуатации.

**Интегральный метод** пытается решить проблему обеспечения надежности за счет построения статистических моделей, т.е. учесть все факторы, которые могут быть даже не известны (например, воздействие человеческого фактора, тектоники и других) в одной статистической модели, построенной на основании обработки статистических данных отказов магистрального газопровода.

В данной статье рассматривается интегральный метод, основанный на «инженерным подходов» – методология оценки надежности систем магистральных трубопроводов на основании структурных моделей-схем надежности [4].

Основная идея методологии заключается в том, что восстанавливаемый объект приводится к эквивалентному не восстанавливаемому объекту. Отдельно рассматриваются два основных свойства объекта *безотказность и ремонтпригодность*, т.е. отдельно рассматриваются интервалы работоспособности и простоя во времени. Интервалы работоспособности описываются функциями надежности, среди которых определяется «средняя». Также поступают с интервалами простоя во времени.

Процедура восстановления объекта разбивается на этапы, характеризующимися следующими моментами времени: момент отказа; обнаружение отказа; локализация отказа; начало ремонта; окончание ремонта; включение элемента после проверок [5].

Рассматриваемая методология состоит из алгоритма использования отдельных методик разных этапов исследования, анализа и оценки надежности сложных трубопроводно-транспортных систем.

Рассматриваемая методология состоит из семи этапов. Описание этапов оценки эксплуатационной надежности систем газонефтепроводов представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Этапы оценки эксплуатационной надежности систем газонефтепроводов

№	Название этапа	Описание этапа методологии
1	<p>Построение структурной модели надежности системы ГНП на базе анализа факторов, влияющих на надежность системы.</p>	<p>Формулируется постановка задачи надежности системы газопроводов. Проводиться анализ и определяются факторы, влияющие на надежность системы. Анализ включает описание условий функционирования системы. Формулируется критерий отказа системы, основой которого является определение требуемого уровня подробности рассмотрения системы. Поскольку в теории надежности провести четкое разделение системы на простые и сложные достаточно трудно, поэтому выделяются только существенные факторы, влияющие на надежность системы.</p> <p>На данном этапе применяются допущения и ограничения, исходя из которых, строится структурная модель-схема надежности системы газопроводов с последовательно-параллельными соединениями элементов на базе правил приводимых и неприводимых систем. Определяется структурная функция работоспособности системы.</p>
2	<p>Сбор и обработка статистических данных об отказах объектов системы ГНП за период наблюдения. Построение вариационного ряда.</p>	<p>Производится сбор и обработка наблюдений по отказам элементов системы газопроводов на основе конкретных статистических методов анализа данных. Проверяется однородность исследуемых данных, т.е. устанавливается принадлежность результатов наблюдений одной и той же генеральной совокупности. Очень важной задачей на данном этапе является построение вариационного ряда – статистического распределения вероятности безотказной работы объекта исследования в рассматриваемом интервале времени. Результатом второго этапа является получение эмпирической модели надежности, полученные данные которой представляются в виде таблицы.</p>
3	<p>Выдвижение гипотезы о законе распределения случайной величины – о теоретическом распределении вероятности безотказной работы объекта исследования.</p>	<p>определяется переход от реальной исследуемой системы к ее математической абстракции, т.е. построение математической модели надежности исследуемого объекта. Для этих целей используется качественная оценка статистической информации на базе ее графического представления с учетом характерных законов распределения отказов, присущих конкретным Элементом системы газопроводов.</p> <p>Итогом исследования на данном этапе является выдвижение гипотезы о виде закона распределения случайной величины – о теоретическом распределении вероятности безотказной работы.</p>
4	<p>Построение теоретической модели надежности (функции надежности) объекта исследования.</p>	<p>Выбирается метод и среда компьютерного моделирования. В настоящее время существует широкий набор компьютерных систем, позволяющих строить модели надежности объектов газопроводов. В качестве среды компьютерного моделирования можно использовать как статистические специализированные компьютерные системы, так и пакеты анализа данных в Excel или системы компьютерной математики.</p>

		Результатом компьютерного моделирования является построение теоретических моделей надежности (функции надежности) и восстановления (функции восстановления) объекта исследования, на основе которых вычисляются первичные и комплексные параметры надежности исследуемой модели.
5	Проверка гипотезы: соответствия построенной теоретической модели надежности действительности, т.е. проверка модели на адекватность действительности.	Проводятся исследования соответствия теоретической модели надежности действительности (проверка модели на адекватность действительности), т.е. производится проверка гипотез. Для этих целей используются корреляционный анализ и критерии согласия. Корректность корреляционного анализа гарантируется критериями надежности расчетных статистических характеристик для разных статистик (большой и малой), если расчетное значение коэффициента корреляции больше или равно нижней границы надежности связи, зависящей от объема выборки.
6	Расчет количественных параметров и характеристик теоретической модели надежности объекта. Прогноз.	Вычисляются количественные параметры и характеристики надежности исследуемого объекта на базе построенных моделей. Определяются интенсивность отказов, интенсивность восстановления, математическое ожидание наработки между отказами, среднее время (математическое ожидание) восстановления объекта исследования, коэффициент готовности, коэффициент вынужденного простоя, коэффициент технического использования и т.п. На данном этапе делается прогноз оценки надежности исследуемого объекта системы газонефтепроводов.
7	Разработка управляющего воздействия на повышение надежности системы ГП на базе технико-экономического анализа.	Осуществляется выработка управляющего воздействия на повышение надежности объектов систем на базе технико-экономического анализа.

## Выводы

1.Методика построения моделей надежности сооружений систем магистральных ГНП методом компьютерного моделирования апробирована на статистических данных магистрального газопровода «Мирное-Изобильное» и КС «Истье» магистрального газопровода Средняя Азия-Центр.

2.На основе представленной методологии организован учебный процесс по курсу «Технологическая надежность газонефтепроводов» по подготовке бакалавров и магистров, разработаны отдельные учебные модули для подготовки и переподготовки специалистов по линии ФПК. Внедрение методологии в учебный процесс реализовано также в виде компьютерных задачника по оценке надежности газонефтепроводов и лабораторного практикума.

3.Методология и отдельные методики исследования надежности используются на практике для решения задач проектирования и эксплуатации

газопроводов при дипломном проектировании и для работы над магистерскими диссертациями по направлению «Обеспечение надежности систем трубопроводного транспорта» в Российском государственном университете нефти и газа (национальном исследовательском университете) имени И.М. Губкина.

### Список литературы

1. Дейнеко С.В. Обеспечение надежности систем трубопроводного транспорта нефти и газа. – М.: Издательство «Техника», ТУМА ГРУПП, 2011. – 176 с.

2. Коваленко А.Н., Уланов В.В., Шестаков Р.А. [Электронный ресурс] // Методы неразрушающего контроля и диагностики газонефтепроводов Часть 1: учебное пособие: сайт.- URL: <http://elib.gubkin.ru/content/23048> (дата обращения: 14.11.2020).

3. Коваленко А.Н., Уланов В.В., Шестаков Р.А. [Электронный ресурс] // Методы неразрушающего контроля и диагностики газонефтепроводов Часть 2: учебное пособие: сайт.- URL: <http://elib.gubkin.ru/content/23050> (дата обращения: 24.12.2018).

4. Дейнеко С.В. Методология анализа и оценки надежности систем трубопроводов с использованием структурных моделей. — Надежность, 2009, №2, с.41-48.

5 . Сухарев М.Г. Математическая теория надежности и её инженерные приложения: Учебное пособие. М.:РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2005. 61 с.

### Сведения об авторах

**Дейнеко Светлана Витальевна** – ученое звание доцент, кандидат технических наук, доцент кафедры «Проектирование и эксплуатация газонефтепроводов», Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина», Москва, email: [deinekosv@yandex.ru](mailto:deinekosv@yandex.ru), [dsv@gubkin.ru](mailto:dsv@gubkin.ru)

**Щербakov Роман Радикович** – аспирант Российского государственного университета нефти и газа (национального исследовательского университета) имени И.М. Губкина», Москва, email: [scherbakov.rr@yandex.ru](mailto:scherbakov.rr@yandex.ru); [shcherbakov@qualitet-expert.ru](mailto:shcherbakov@qualitet-expert.ru)

### About the authors

**Deineko Svaetlana Vitalievna** - academic title of associate professor, Ph.D. in Technical sciences, associate professor of the Design and operation of gas and oil pipelines department, National University of Oil and Gas «Gubkin University», Moscow, email: [deinekosv@yandex.ru](mailto:deinekosv@yandex.ru), [dsv@gubkin.ru](mailto:dsv@gubkin.ru)

**Scherbakov Roman Radikovich** - Postgraduate of National University of Oil and Gas «Gubkin University», Moscow, email: [scherbakov.rr@yandex.ru](mailto:scherbakov.rr@yandex.ru); [shcherbakov@qualitet-expert.ru](mailto:shcherbakov@qualitet-expert.ru)