

РАЗРАБОТКА И ВНЕДРЕНИЕ КОМПЛЕКСА ИННОВАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ НЕФТЕПРОВОДОВ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩИХ ИХ ЭФФЕКТИВНОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ ПОСЛЕ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Общество с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский институт трубопроводного транспорта» (ООО «НИИ Транснефть»)

Авторский коллектив:

1.	Неганов Дмитрий Александрович , руководитель работы, кандидат технических наук, первый заместитель генерального директора ООО «НИИ Транснефть».
2.	Зорин Николай Евгеньевич , кандидат технических наук, заведующий лабораторией оценки надежности объектов трубопроводного транспорта ООО «НИИ Транснефть».
3.	Козырев Олег Александрович , кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории прочностных расчетов ООО «НИИ Транснефть».
4.	Скородумов Сергей Валериевич , кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории труб и соединительных деталей ООО «НИИ Транснефть».
5.	Зорин Александр Евгеньевич , доктор технических наук, профессор кафедры «Проектирование и эксплуатация магистральных газонефтепроводов» Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Ухтинский государственный технический университет».

Для эффективного управления параметрами надежности и безопасности системы магистральных трубопроводов ПАО «Транснефть» авторами работы предложена новая концепция их обслуживания, основанная на получении и использовании широкого спектра информации о конструктивных и технологических особенностях анализируемых объектов, действующих нагрузках, времени эксплуатации, фактических характеристиках материала и т.д. для оценки комплексных показателей их технического состояния, ранжируя которые назначаются эффективные ремонтно-восстановительные мероприятия.

Одним из ключевых элементов указанной концепции являются данные о фактических механических характеристиках металла трубопроводов. Однако в полной мере обеспечить их получение не представляется возможным ввиду высокой протяженности магистральных нефтепроводов, разнообразия условий их эксплуатации, примененных при строительстве марок сталей, типоразмеров труб и технологий сварки.

В этой связи была предложена методология учета различных уровней исходных данных, характеризующих сопротивляемость трубопровода разрушению (таблица 1). Она основана на применении дифференцированных коэффициентов запаса по несущей способности и долговечности труб, с учетом полноты и достоверности используемой для их расчетов информации.

Для получения исходных данных различных уровней были проведены комплексные исследования и предложен ряд инновационных решений.

Так, для получения **исходных данных II уровня** разработан способ неразрушающей экспресс-диагностики структурного состояния металла, основанный на получении и сравнении массива значений поверхностной микротвердости металла в исследуемом и в исходном состоянии, который позволяет оценить упрочнение металла, наличие в нем микротрещин и нежелательных структурных изменений. Для реализации способа создан не имеющий аналогов переносной диагностический комплекс, включающий блок подготовки поверхности и автоматизированный микротвердомер «MicroLab-Z1»

(рисунок 1), позволяющий оперативно оценивать состояние металла труб, без необходимости вырезки из них образцов.

Таблица 1 – Значение коэффициентов запаса по несущей способности и долговечности труб в зависимости от уровня исходных данных

Исходные данные	Состав исходных данных	Коэффициент запаса
I Уровень	Сертификатные свойства металла труб; химический состав металла труб; технология сварки труб	$K_I = 2,0$
II Уровень	Металлофизические характеристики металла труб (параметры структурно-фазового состояния, степень упрочнения и охрупчивания, структурная поврежденность и т. д.).	$K_{II} = 1,8$
III Уровень	Фактические стандартные свойства металла труб.	$K_{III} = 1,6$
IV Уровень	Параметры сопротивляемости разрушению, полученные при лабораторном моделировании нагружения металла труб внутренним давлением.	$K_{IV} = 1,5$
V Уровень	Параметры сопротивляемости разрушению, полученные при проведении натурных испытаний трубных плетей.	$K_V = 1,4$



Рисунок 1 – Автоматизированный микротвердомер «MicroLab-Z1»

Для получения исходных данных III уровня проведены комплексные стандартные, унифицированные и специальные исследования более 25 000 образцов, вырезанных из основного металла и сварных соединений различных сталей новых и эксплуатируемых труб. В результате создана База данных фактических механических характеристик металла труб, а также разработаны модели прогнозирования стандартных свойств и параметров долговечности

металла сварных соединений по исходным данным более низкого уровня и экстраполяции результатов проведенных испытаний, для оценки свойств различных участков нефтетранспортной системы ПАО «Транснефть».

С целью повышения достоверности испытаний металла труб на ударный изгиб разработана новая методика. Использование ГОСТ 9454-78 показало свою неэффективность, поскольку при изготовлении регламентированных образцов вырезается поверхностный, наиболее информативный слой труб, что в конечном итоге не позволяет корректно оценить текущее состояние металла. При испытании образцов специально разработанной конструкции (рисунок 2, а) указанная проблема решается.

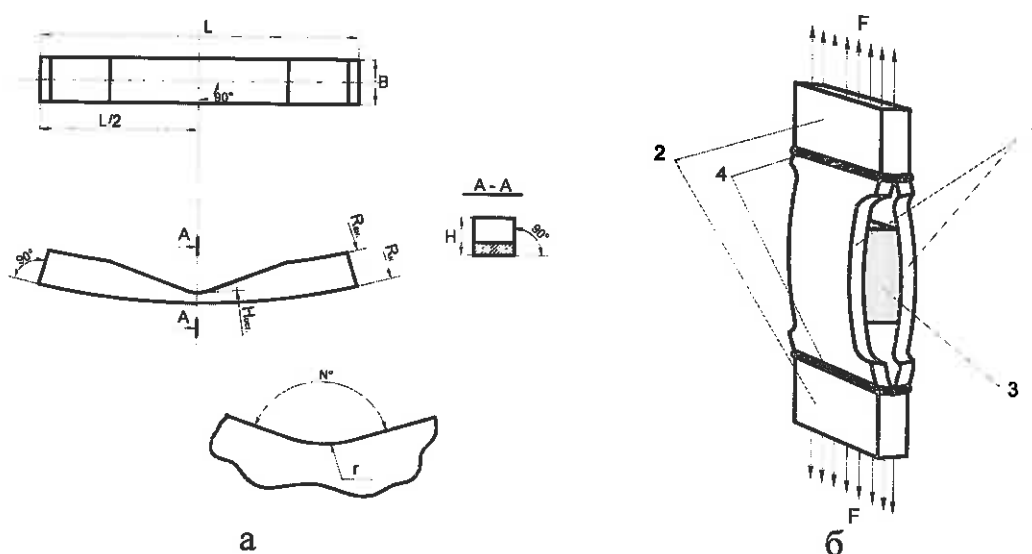


Рисунок 2 – Разработанные конструкции испытательных образцов

а – образец для испытаний металла труб на ударный изгиб; б – образец для моделирования нагружения металла труб внутренним давлением

Для получения **исходных данных IV уровня** разработана методика лабораторного моделирования процесса нагружения труб внутренним давлением, основанная на применении специальной конструкции образца (рисунок 2, б). Ее использование позволяет заменить трудоемкие и дорогостоящие натурные испытания трубных плетей, сохранив при этом ключевые особенности нагружения трубопроводов, а также расширить спектр проводимых экспериментальных исследований.

С целью повышения достоверности результатов, получаемых с использованием указанной методики, разработана модель учета масштабного фактора, основанная на установленном эмпирическом выражении для вычисления коэффициента влияния энергии упругой деформации металла (K_W) на сопротивляемость труб разрушению:

$$K_W = \frac{1}{e^{100W_{уд}}} + \frac{1}{1 + e^{-100W_{уд}}} - 0,5, \quad (1)$$

где $W_{уд}$ - удельная энергия упругой деформации металла, МДж/м.

Для получения исходных данных V уровня на специально сконструированном стенде проведены испытания около 1000 трубных секций 36 марок сталей, результаты которых также включены в рассмотренную Базу данных фактических механических характеристик металла труб.

Для учета при проведении расчетов фактической нагруженности локального сечения нефтепровода от внутреннего давления реализованы алгоритмы сбора и обработки данных давления, получаемых от систем телемеханики в реальном времени.

Представленные методические подходы и технические средства внедрены на предприятиях, занимающихся обслуживанием трубопроводных систем и легли в основу созданной методологии планирования работ по замене участков нефтепроводов ПАО «Транснефть».

Достигнутый экономический эффект от внедрения результатов работы за период с 2015 по 2018 год составил 145 548 931,99 рублей.

Показав свою эффективность на отдельных участках магистральных нефтепроводов, разработанная концепция в дальнейшем будет внедрена при обслуживании без малого 70 тыс. км национальной нефтетранспортной системы.

Такой подход в долгосрочной перспективе приводит к многократной экономии и делает ПАО «Транснефть» лидером в части научно-технических компетенций эффективного обслуживания протяженных трубопроводных систем как в России, так и в мире.