

2001. – 170 с. 4 Сосновский Л. А. Механика износоусталостного повреждения. – Гомель: УО «БелГУТ», 2007. – 434 с. 5 Джонсон К. Механика контактного взаимодействия. – М.: Мир, 1989, – 510 с. 6 Тюрин С. А., Щербаков С. С., Сосновский Л. А. Сравнительное исследование коэффициентов трения при качении и контактно-механической усталости // Заводская лаборатория. – 2005. – Т. 71. – № 2. – С. 48–51. 7 Щербаков С. С. Об одном требовании к выбору коэффициента трения в силовой системе // Заводская лаборатория. – 2005. – Т. 71. – № 2. – С.46–48.

УДК 620.178.16

Костюченко А.А., Бордовский А.М., Воробьев В.В.

ОСОБЕННОСТИ ДЕФОРМИРОВАНИЯ И РАЗРУШЕНИЯ ТРУБ НЕФТЕПРОВОДОВ

*РУП «Гомельтранснефть Дружба»
Гомель, Беларусь*

Исследования авторов [1-2] и данные обследований нефтепроводов внутритрубными диагностическими снарядами в 2004-2006 г.г. показали, что для трубопроводов с периодом работы более 30 лет существует проблема накопления и развития внутренних коррозионных дефектов стенки трубы. Опасные тенденции, связанные с накоплением коррозионных повреждений, уже вынудили предприятие наметить и провести ряд дорогостоящих мероприятий по замене участков нефтепроводов, например, резервных ниток подводных переходов.

На рисунке 1 представлено количество коррозионных дефектов и их распределение по трассе нефтепровода Мозырь-Брест -1 с 233 по 441 км, как наиболее полно характеризующего важность данной проблемы и необходимость разработки и внедрения комплекса упреждающих мероприятий. На данный момент большинство из выявленных дефектов не опасны.

Повреждения носят локальный характер и не превышают величин потери металла в 10-20 % от толщины стенки трубы. Но, даже если предположить, что коррозия равномерная, а ее скорость не возрастает со временем, видно, что уже в ближайшие 5-7 лет принятие мер грозит остановкой работы данного участка нефтепровода.

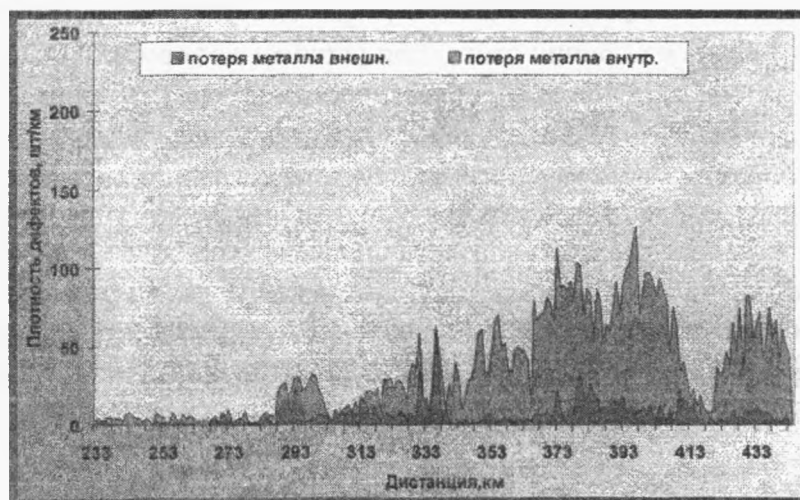


Рисунок 1 – Распределение коррозионных дефектов по длине нефтепровода Мозырь-Брест-1

С целью определения опасности внутренних коррозионных дефектов были проведены натурные испытания отрезка трубы.

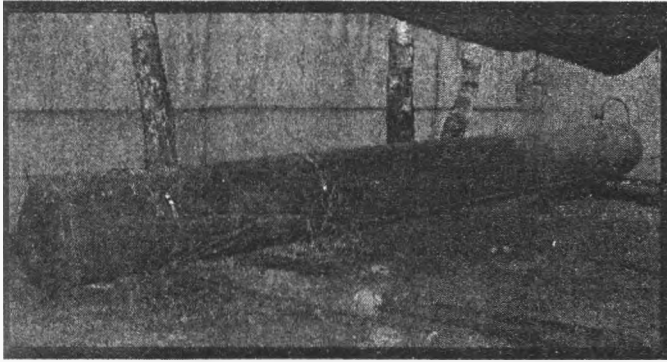


Рисунок 2 – Трубная плеть, подготовленная к гидроиспытаниям

Плеть длиной 7 м, диаметром 630 мм и толщиной стенки 9 мм была вырезана из демонтированной резервной нитки подводного перехода нефтепровода Мозырь-Брест-1 через реку Ствига (см. рисунок 2). Неразрушающий контроль сварных соединений плети не выявил дефектов швов выше браковочного уровня. В основном металле плети, методом толщинометрии, было выявлено пятно с утонением стенки на 10-40 % и площадью 0,5 м², предположительно внутренний коррозионный дефект. При осмотре про-

дольного сварного шва плети обнаружена трещина длиной 35 мм и шириной раскрытия до 0,5 мм. На внешней поверхности плети коррозионных или иных повреждений не обнаружено.

Для проведения гидроиспытаний натурального отрезка трубы внутренним давлением была разработана методика, включающая: технологию подготовки плети к испытаниям, монтаж системы нагружения внутренним давлением, составление программы нагружения, монтаж и проверку системы сбора информации о величинах деформаций металла в характерных точках плети в ходе гидроиспытаний (принят метод тензометрирования), гидроиспытания, обработку результатов.

Гидроиспытания проводили в несколько этапов нагружения и с использованием различных по мощности насосных станций (станция насосная ПНС-1-24 при давлении до 10 МПа и наступления предела текучести в локальных точках плети и опрессовочного агрегат ЦА-320 при давлении свыше 10 МПа для достижения разрушающего давления), что позволило подробно и с минимальной погрешностью зафиксировать кинетику процесса разрушения трубы

Исходя из имеющихся исходных данных тензорезисторы были установлены:

- по сечению трубы 8 тензорезисторов, равномерно распределенных начиная от продольного сварного шва и 1 дополнительный тензорезистор с другой стороны сварного шва;
- у дефекта поперечного шва 2 тензорезистора;
- 18 тензорезисторов по контуру дефекта и в точках максимального утонения стенки;
- по 1 тензорезистору у трещины в продольном шве;
- 3 тензорезистора в месте локального утонения стенки плети.

Предельное состояние трубной плети, по критерию «течь перед разрушением», достигнуто при внутреннем давлении в трубе равном 13,7 МПа. Свищ образовался в изна-

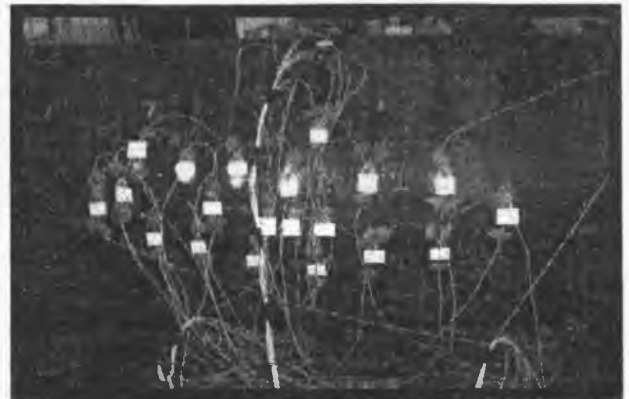


Рисунок 3 – Оконтуренный, с помощью тензодатчиков, внутренний дефект трубы

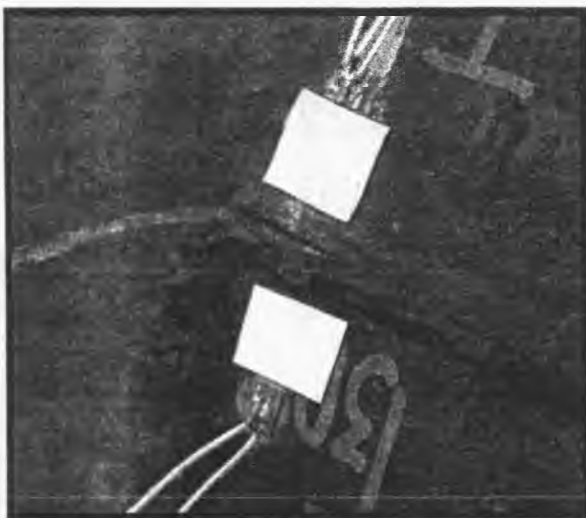


Рисунок 4 – Свищ по трещине при остаточном давлении в трубе

начально присутствовавшем дефекте (трещина в сварном продольном шве глубина 9 мм (90 % от толщины шва) и длиной 45 мм) (рисунок 5). Свищ был вышлифован, сварной шов восстановлен, испытания продолжены.

Предельное состояние трубной плети, по критерию «разрушение», произошло при внутреннем давлении в плети равном 14,3 МПа. Очаг разрушения – изначально присутствовавший коррозионный дефект трубы, расположенный с внутренней поверхности стенки (минимальная остаточная толщина металла - 6,6 мм, толщина стенки трубы 9,5 мм) (см. рисунок 5).

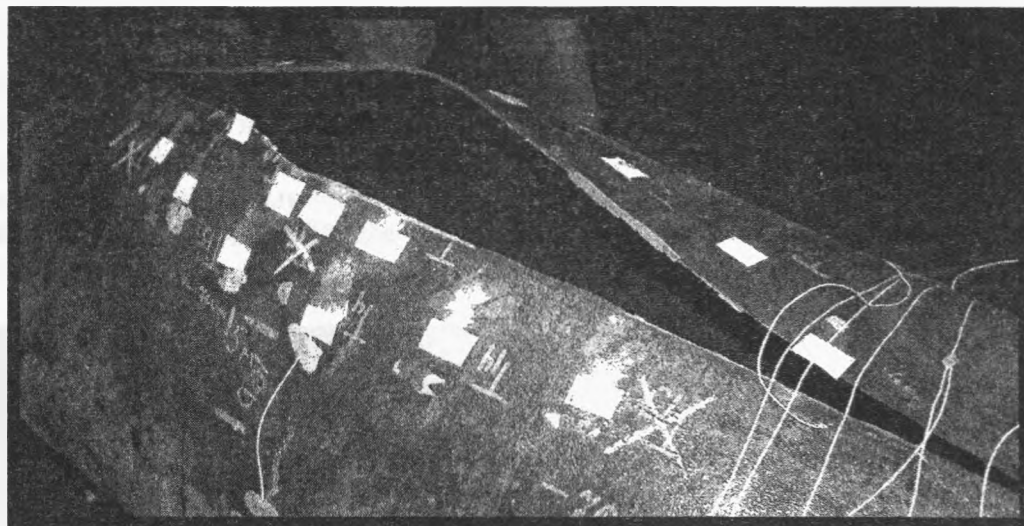


Рисунок 5 – Разрыв трубы по коррозионному дефекту

Напряжение в металле трубы, при котором произошло разрушение плети, близко к пределу прочности стали (520-590 МПа), указанному в заводском сертификате на трубы (494 МПа).

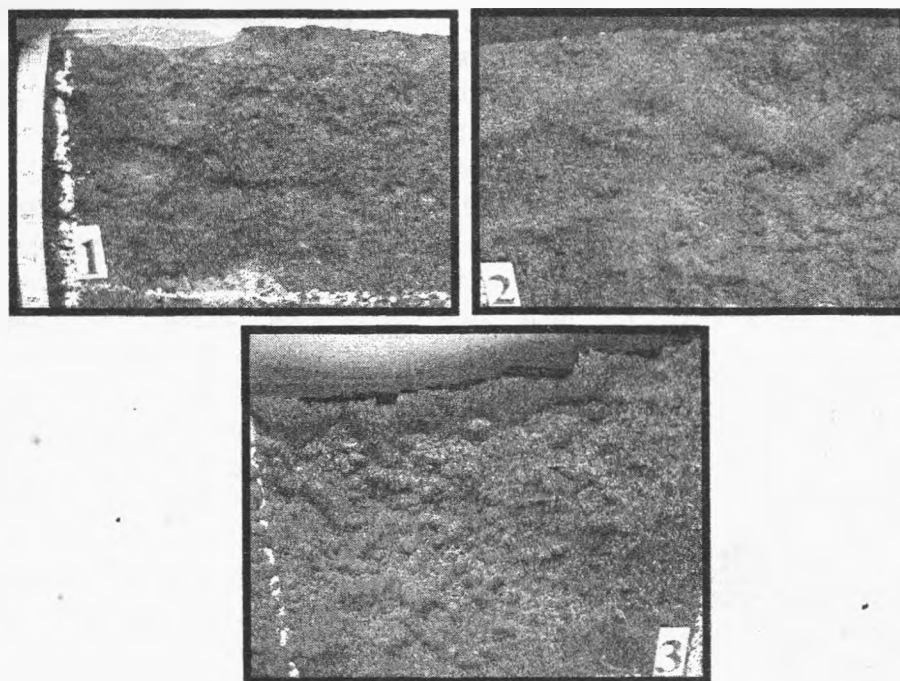


Рисунок 6 – Зона 2 фрагмента трубы из очага разрушения

Общий вид разрушения плети типичен для нефтепроводов – трещина прошла вдоль продольной образующей трубы. Однако разрушение произошло нетипично: не вдоль сварного шва, что наблюдается обычно, а по протяженному внутреннему пятну коррозионного повреждения. В очаге разрушения и в зоне распространения трещины вид излома хрупкий. В очаге разрушения присутствуют следы пластической деформации. Кромки разрыва длитель-

но эксплуатируемых труб имеют «рваную» структуру. Прочность сварного продольного шва оказалась выше, чем прочность металла в зоне локального пятна язвенной коррозии, даже несмотря на то, что сварной шов имеет значительный коэффициент концентрации напряжений, допустимые внутренние (неплошности) дефекты.

Внутренняя поверхность основного металла трубы подвержена равномерной коррозии, а в зоне разрушения (рисунок 6) – язвенной коррозии. Повсеместно на внутренней поверхности трубы присутствуют пластовые отложения, состоящие из продуктов коррозии металла трубы взаимодействующего со средой. Глубина равномерной коррозии основного металла незначительна (составляет не более 0,5 мм за весь период эксплуатации). В зоне язвенной коррозии максимальная измеренная глубина язв, канавок ножевой коррозии относительно внутренней поверхности оставила 5,2 мм, а минимальная толщина остаточного металла – 4,3 мм.

Основное заключение, которое следует из результатов испытаний, состоит в том, что для труб, период эксплуатации которых превышает срок амортизации, возможно изменение критерия предельного состояния: оно достигается не в зоне сварных швов, а в области протяженного коррозионного повреждения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бордовский А.М., Воробьев В.В., Сосновский Л.А. Прочностная надежность линейной части нефтепроводов. – Гомель: НПО ТРИБОФАТИКА, 2004. - 114 с. 2. Коррозионное разрушение поверхностей магистральных труб нефтепровода после длительной эксплуатации / Андрияшин В.А., Костюченко А.А., Комаров А.И., Воробьев В.В. // Защита металлов. № 1. - Т. 421.– 2006. – С. 52-56

УДК 539.538

Махутов Н. А., Сосновский Л. А.

ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ И ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ МАШИН И ОБОРУДОВАНИЯ

*ИМАШ РАН им. А. А. Благонравова Москва, Россия
ООО «НПО ТРИБОФАТИКА» Гомель, Беларусь*

В наиболее ответственных и массовых – силовых системах машин и оборудования развивается комплексное – износоусталостное повреждение [1–3]. В таблице 1 дана классификация таких повреждений, а на рисунке 1 показан конкретный пример анализа работоспособности одной из них.

Таблица 1 – Типичные силовые системы и их комплексное повреждение

Типичная силовая система	Комплексное повреждение и разрушение	Определение	Зона реализации в системе колесо / рельс
Шейка коленчатого вала / шатунная головка с подшипником скольжения	Фрикционно-механическая усталость	Износоусталостное повреждение, обусловленное кинетическим взаимодействием явлений механической усталости и трения скольжения	В зоне взаимодействия гребня колеса с боковой поверхностью головки рельса
Колесо / железнодорожный рельс	Контактно-механическая усталость	Износоусталостное повреждение, обусловленное кинетическим взаимодействием явлений механической усталости и трения качения (трения качения с проскальзыванием)	В зоне взаимодействия колеса с головкой рельса на дорожке качения