

На правах рукописи

СКОРОМНЫЙ ВЯЧЕСЛАВ ИВАНОВИЧ

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ПОВЫШЕНИЯ
БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ НЕФТЕСБОРНЫХ
ТРУБОПРОВОДОВ**

Специальность 05.26.03 – «Пожарная и промышленная безопасность»
(нефтегазовая отрасль)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

УФА – 2004

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Трубопроводные системы сбора нефти и попутного газа по условиям их эксплуатации согласно Федеральному закону от 21.07.97 №116-ФЗ «О промышленной эксплуатации производственных объектов» отнесены к категории опасных промышленных объектов. Их безопасная эксплуатация может быть обеспечена, в первую очередь, изучением причин разрушения трубопроводов системы сбора нефти и попутного газа, лабораторным исследованием природы взаимодействия металла трубы и агрессивных компонентов, присутствующих в добываемых продуктах, и разработкой на этой основе мероприятий по замедлению процесса коррозионного и коррозионно-механического разрушения нефтепромыслового оборудования.

Опыт эксплуатации трубопроводов и резервуаров сбора нефти показывает, что наиболее опасными видами разрушения являются канавочное коррозионно-механическое разрушение и коррозионная усталость. Защита нефтепромысловых трубопроводов от канавочной (ручейковой) коррозии, вызванной взаимодействием металла трубы и перекачиваемой коррозионно-активной среды, является актуальной в настоящее время во многих регионах России, особенно на месторождениях Западной Сибири. С увеличением срока эксплуатации месторождений возрастает объем добываемой минерализованной воды, закачанной в пласт для поддержания пластового давления. При этом возрастает опасность внутренней коррозии трубопроводов, резервуаров и другого оборудования. Причем разрушение ряда трубопроводных систем происходит в срок менее одного года после ввода трубопровода в эксплуатацию. Кроме того, указанные металлоконструкции эксплуатируются под воздействием механических напряжений, включая циклические, интенсифицирующих коррозионное и коррозионно-механическое разрушение металла.

В диссертации на основании анализа результатов исследований отечественных и зарубежных ученых по проблеме канавочной коррозии и работ автора

в области защиты промысловых трубопроводов исследованы условия возникновения и развития канавочного разрушения в трассовых условиях, взаимодействие металла и коррозионной среды, влияние циклических напряжений на остаточный ресурс металлоконструкций.

Несмотря на большой объем публикаций по проблеме повышения безопасной эксплуатации трубопроводов системы сбора сырой нефти, некоторые вопросы все же остаются неизученными. Среди них можно выделить следующие:

- требует дальнейшего исследования влияние профиля трассы на частоту порывов трубопроводов;
- необходимо более глубокое изучение механизма взаимодействия металла труб и коррозионной среды в условиях канавочной коррозии;
- необходимо оценить остаточный ресурс трубопроводов, подвергающихся воздействию циклических напряжений;
- требуется разработка новых методов и средств борьбы с канавочным разрушением.

В связи с вышеизложенным **целью работы** является разработка методов и средств повышения безопасности эксплуатации нефтесборных трубопроводов, подверженных канавочной коррозии.

Реализация цели диссертационной работы осуществляется путем постановки и решения следующих основных задач:

1. Изучение условий возникновения и развития канавочного разрушения трубопроводов системы сбора нефти, включая нахождение корреляции между профилем трассы и количеством порывов труб, и выявление закона распределения отказов.
2. Углубленное изучение механизма разрушения трубопроводов сбора нефти в лабораторных условиях.
3. Определение остаточного ресурса трубопроводов в условиях циклического воздействия.

4. Разработка мероприятий по снижению риска порывов нефтесборных трубопроводов.

Блок-схема решаемых в диссертационной работе задач представлена на рис. 1.

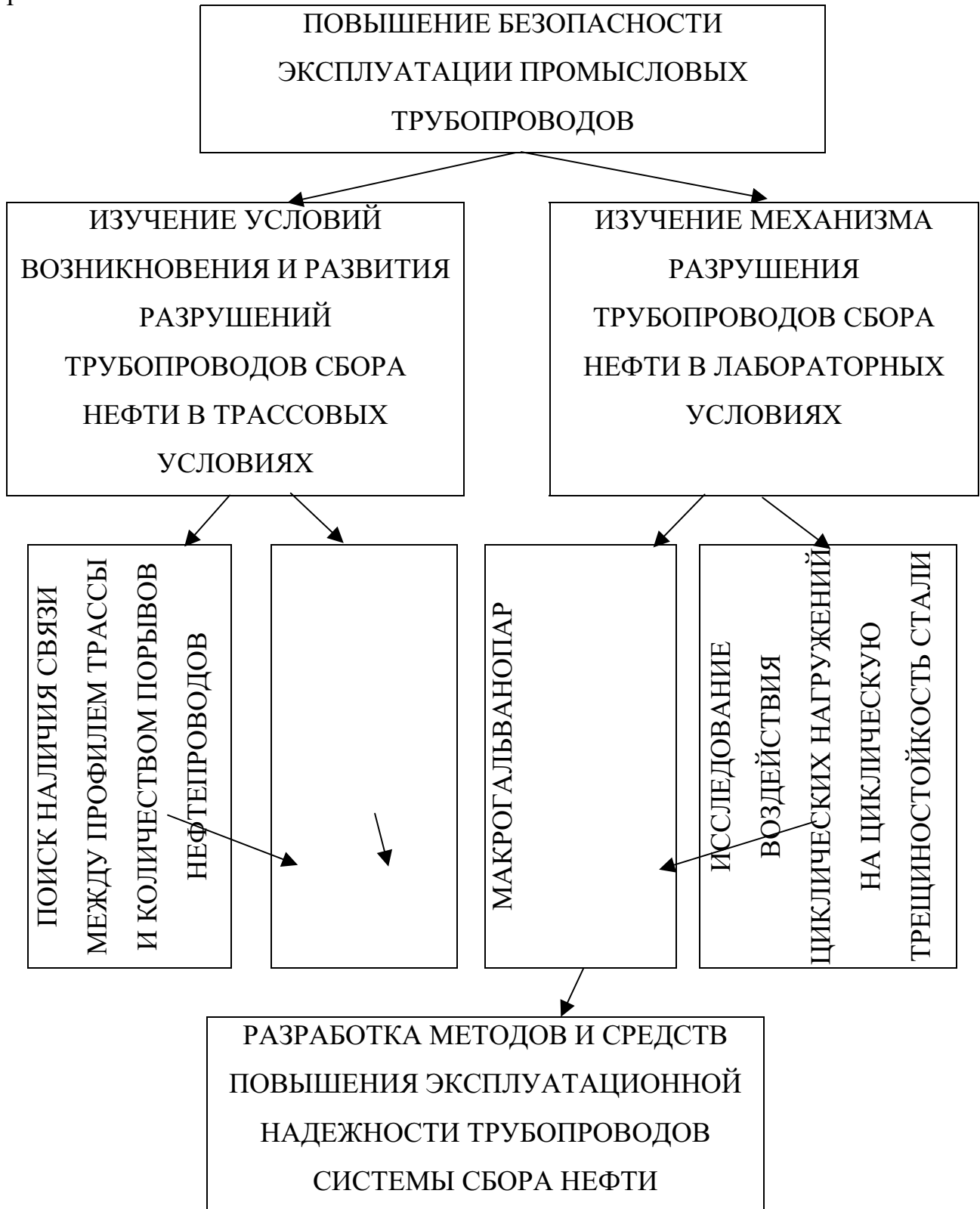


Рис. 1. Блок – схема решаемых в диссертационной работе задач

Научная новизна

- Исследование влияния профиля трассы, определяющего режим течения нефтегазоводяной смеси, не выявило корреляции между характерными особенностями рельефа (спуски, подъемы, горизонтальные участки) и частотой отказов нефтепроводов;
- показано, что отказы нефтесборных трубопроводов подчиняются экспоненциальному закону распределения с выявленным в диссертации его параметром;
- на основе теории макрогальванопар, с использованием представлений механохимии металлов, определены скорости локальной канавочной коррозии, соответствующие реально наблюдаемым;
- на основании ранее проведенных исследований и результатов изучения циклической трещиностойкости стали, проведенного в работе, определены параметры процесса, необходимые для расчета остаточного ресурса металлоконструкций.

Практическая значимость и реализация результатов работы

- Разработанный герметик внедрен в практику эксплуатации ООО «Тюменьтрансгаз»;
- разработанное диспергирующее устройство, повышающее безопасность эксплуатации трубопроводов, используется в разработках РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина;
- разработанная «Методика расчета остаточного ресурса трубопроводов и оборудования систем сбора и распределения нефти и природного газа, эксплуатирующегося в условиях механохимических воздействий», предназначенная для расчета остаточного ресурса трубопроводов и оборудования систем сбора и распределения нефти и природного газа, используется в ОАО «Магнитогорскмежрайгаз» и ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ОАО «ММК»);
- результаты работы используются в УГНТУ при подготовке и переподго-

товке специалистов нефтегазового профиля.

На защиту выносятся теоретические обобщения известных и полученных автором результатов исследований в области повышения безопасной эксплуатации трубопроводов системы сбора нефти.

Апробация работы

Результаты работы докладывались на следующих республиканских и международных научно-технических конференциях: «Технологические проблемы развития машиностроения в Башкортостане» (Уфа, 2001); «Машиноведение, конструкционные материалы и технологии» (Уфа, 2002); «Коррозия металлов: диагностика, предупреждение, защита и ресурс» (Уфа, 2002); «Инновационные проблемы развития машиностроения в Башкортостане» (Уфа, 2003); «Новоселовские чтения» (Уфа, 2004).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 11 печатных работ, в числе которых 2 патента России, 8 статей и тезисов докладов.

Диссертационные исследования проводились в соответствии с ГНТП АН РБ по теме «Структурно-энергетическое состояние металлов и долговечность напряженно-деформированных металлоконструкций в условиях механохимической коррозии» за 2001-2004 гг.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, списка литературы из 102 наименований и двух приложений. Диссертация содержит 115 страниц машинописного текста (без приложений) и включает 32 рисунка, 16 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении приведена общая характеристика работы, сформулированы цель и основные задачи исследования.

В первой главе проведен анализ опубликованных работ по проблеме канавочной коррозии трубопроводов системы сбора нефти. При этом было выяв-

лено, что большинство промысловых трубопроводов транспортирует высокообводненную нефть. В составе пластовой воды имеются компоненты с высокой степенью коррозионной активности. Процессы коррозии интенсифицируются вследствие работы макрогальванопар «металл - продукты коррозии» или «металл – окалина», образующихся при коррозии металла, протекающей под воздействием расслоенного потока газодонефтяной смеси. Кроме этого, в районе формирования канавки, в нижней части поверхности трубопровода, происходят процессы наклепа или пластификации металла. Такие локальные изменения механических свойств стали также приводят к образованию макрогальванопар. Вследствие действия знакопеременных нагрузок на трубопровод механохимическая активность металла возрастает. Кроме того, при воздействии на металл циклических напряжений, возникающих при изменении режимов перекачки, возможно развитие усталостного разрушения металла. Несмотря на большое количество проведенных исследований, до настоящего времени нет эффективных методов и средств для предотвращения этого явления. Восстановление вышедших из строя трубопроводов осуществляется либо заменой трубопровода в целом или его участка, либо путем ремонта с использованием хомутов. Для предотвращения разрушения перспективным представляется применение труб с внутренней противокоррозионной изоляцией, использование пластиковых армированных или чугунных труб, ингибирование и эмульгирование добываемой жидкости, использование отстойников для сбора пластовой воды. Еще одним способом предотвращения канавочной коррозии является перевод режима транспорта жидкости в режим, исключаящий расслоение водогазонефтяной эмульсии. Однако на промыслах, при сложившейся практике эксплуатации систем, этот метод практически нереализуем, главным образом из-за нестационарности режимов добычи и транспорта добываемой продукции.

Во второй главе рассмотрены особенности проявления канавочной коррозии в трассовых условиях. На рис. 2 приведен разлив нефти, произошедший вследствие канавочной коррозии трубопровода.

Проведенными в работе исследованиями впервые показано, что при различных давлениях расслоение эмульсии может происходить не только на восходящих участках трубопровода, но и на нисходящих и горизонтальных участках.



Рис. 2. Последствие канавочной коррозии

В частности, распределение отказов межпромыслового напорного нефтепровода длиной 8 км «ТНК Нягань», проложенного в пересеченной местности, приведено на рис. 3. На этом же рисунке схематически приводится рельеф местности. Вершины приведенного профиля соответствуют горизонтальным участкам трассы на ее возвышенных местах, впадины – горизонтальным участкам в низинах. Как видно из приведенных данных, порывы трубопровода практически равновероятно происходят по всей длине трассы независимо от топографии местности. То есть расслоение жидкости, приводящее к образованию канавочной коррозии, необязательно приурочивается, как это считалось до настоящего времени, к восходящим участкам трассы. Последнее можно объяснить пульсирующим характером транспорта добываемой продукции.

На рис. 4 приведено распределение отказов межпромыслового напорного нефтепровода за период 2000 – начало 2001 гг. Следует отметить, что срок эксплуатации ряда труб составил менее года.

Проведенный статистический анализ отказов показал, что среднее значе-

ние выборки составляет 6,17; дисперсия 81,8; стандартное отклонение – 9,0; величина эксцентриситета – 4,3; эксцесса – 6,2. Тестирование выборки с помощью критерия согласия Колмогорова – Смирнова (20 законов распределения) показало (табл. 1), что с вероятностью более 90% она может принадлежать только двум распределениям: нормальному со средним, равным 6,17, и стандартным отклонением 9,0 и экспоненциальному с параметром $\lambda = 6,18$ (1/мес).

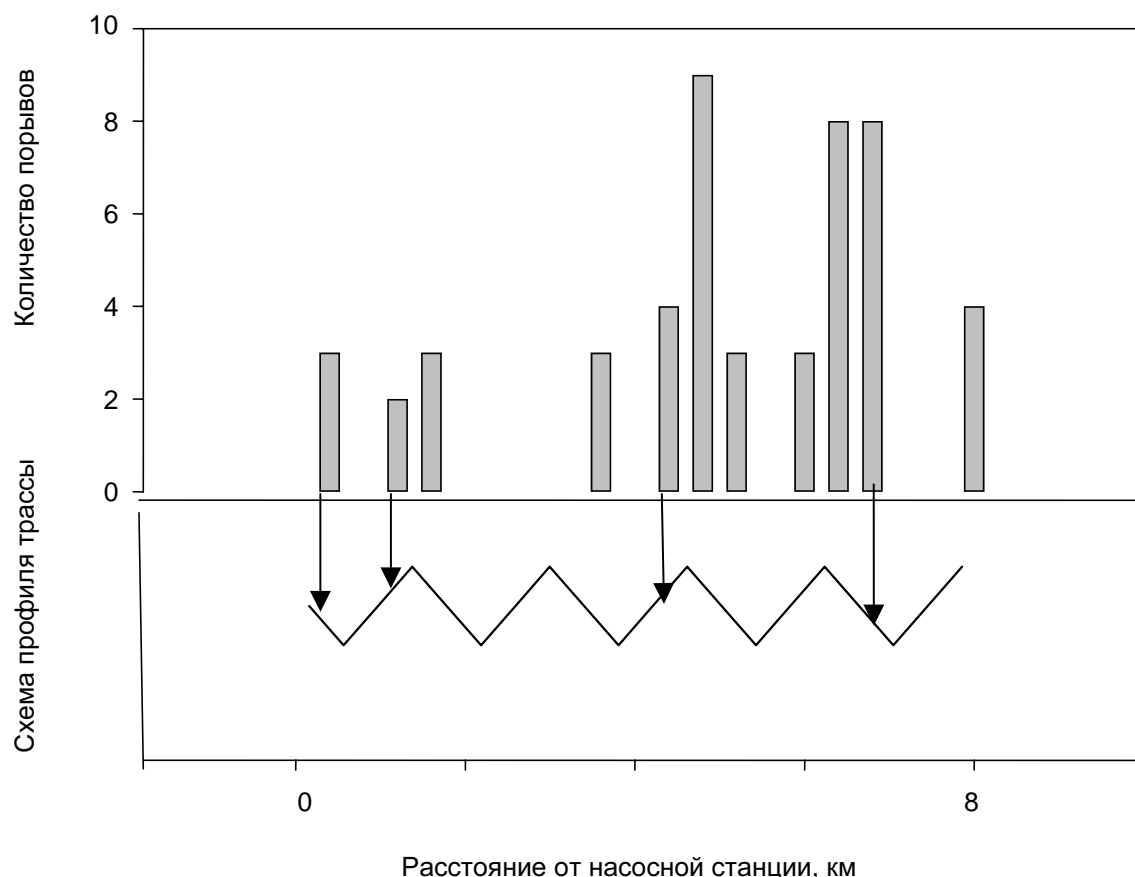


Рис. 3. Распределение отказов по длине нефтепровода Ду 219х6 мм в зависимости от особенностей рельефа местности

Таблица 1

Результаты тестирования выборки по критерию Колмогорова-Смирнова

Параметры статистики	Нормальное распределение	Экспоненциальное распределение
Dn+	0,226	0,253
Dn-	0,247	0,056
Dn	0,247	0,253
Уровень значимости	0,25	0,228

Величины эксцесса и эксцентриситета находятся вне области $-2...2$, присущей нормальному распределению. Поэтому в соответствии с методом момен-

тов распределение выборки не может быть отнесено к нормальному.

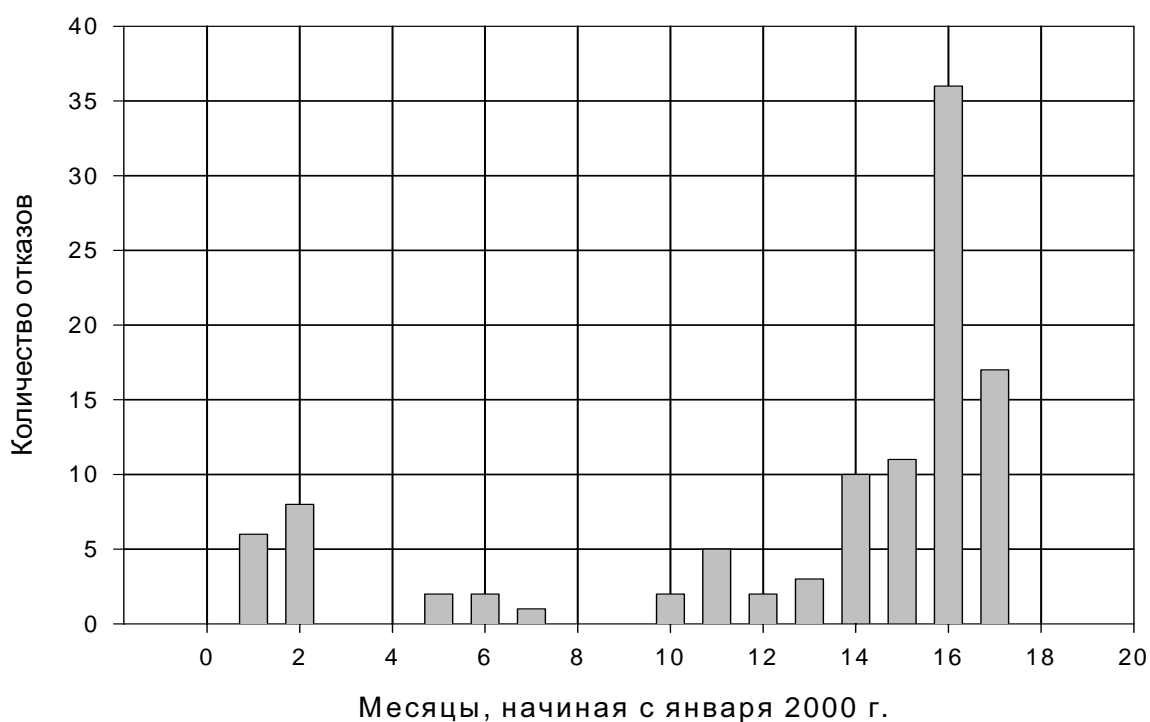


Рис. 4. Распределение отказов нефтепровода по месяцам 2000 – 2001 гг.

Экспоненциальное распределение отказов характерно для многих технических систем, в том числе для трубопроводных, связанных с транспортом нефти.

Последние, как правило, относятся к нерезервированным системам, в которых отказ каждого элемента (трубы) происходит независимо и приводит к отказу всей системы. Установленный экспоненциальный закон распределения порывов открывает возможность прогнозирования отказов таких трубопроводных систем на основании стандартных алгоритмов теории надежности.

По мере увеличения времени разработки месторождения нефти добываемая продукция становится все более обводненной, в связи с чем повышается ее коррозионная активность. Сказанное, в определенной степени, объясняет возрастающую частоту порывов нефтепроводов за анализируемый период (см. рис. 4). Для увеличения времени их безопасной эксплуатации проведены углубленные исследования механизма канавочной коррозии и разработаны методы и средства по его предотвращению и снижению последствий разрушения трубопроводов. Результаты этих исследований приводятся ниже.

В третьей главе рассмотрены результаты исследований электрохимиче-

ских и физико-механических свойств металла труб отказавших трубопроводов. При измерении стационарных электродных потенциалов металла отмеченных выше характерных участков установлено, что электродный потенциал оголенного металла вблизи «канавки» чаще всего является более электроотрицательным по отношению к потенциалам других участков. Поэтому на внутренней поверхности трубы возникает макрогальванопара «окалина-металл трубы», причем анодом этой пары в этом случае служит оголенный металл трубы, а катодом - слой металлургической окалины и технологических отложений. Разность потенциалов в условиях эксплуатации при контакте высокоминерализованной пластовой воды с поверхностью металла в начальный момент может вызвать электрохимическую коррозию металла с высокой скоростью проникновения.

Распределение микротвердости (Н) и электродных потенциалов (φ) по сечению образцов, отобранных из отказавших трубопроводов системы сбора нефти «ТНК Нягань», представлено на рис. 5 - 6. Приведенные данные свидетельствуют о гетерогенности распределения микротвердости и электродных потенциалов вблизи канавки. Возникающие при этом макрогальванопары усиливают коррозию стенки трубы. При этом наибольшая скорость коррозии отмечается по берегам канавки, что подтверждается непосредственным измерением скорости коррозии с помощью снятия поляризационных кривых. На рис. 5 видно, что данный эффект проявляется наиболее ярко при наличии вблизи канавки сварного шва. Это приводит к локализации макрогальванопары с большой ЭДС. В такой гальванопаре, как видно из рис. 5, металл канавки с примыкающим к нему сварным швом является анодом с малой площадью. Из рис. 6 видно, что макрогальванопара, образованная металлом дна канавки без примыкающего к ней сварного шва и основным металлом, имеет большую площадь. Последнее объясняет более интенсивное развитие коррозионно-механического разрушения при наличии сварного шва вблизи канавки.

В связи с изложенным следует избегать попадания продольного шва на

опорную поверхность трубы.

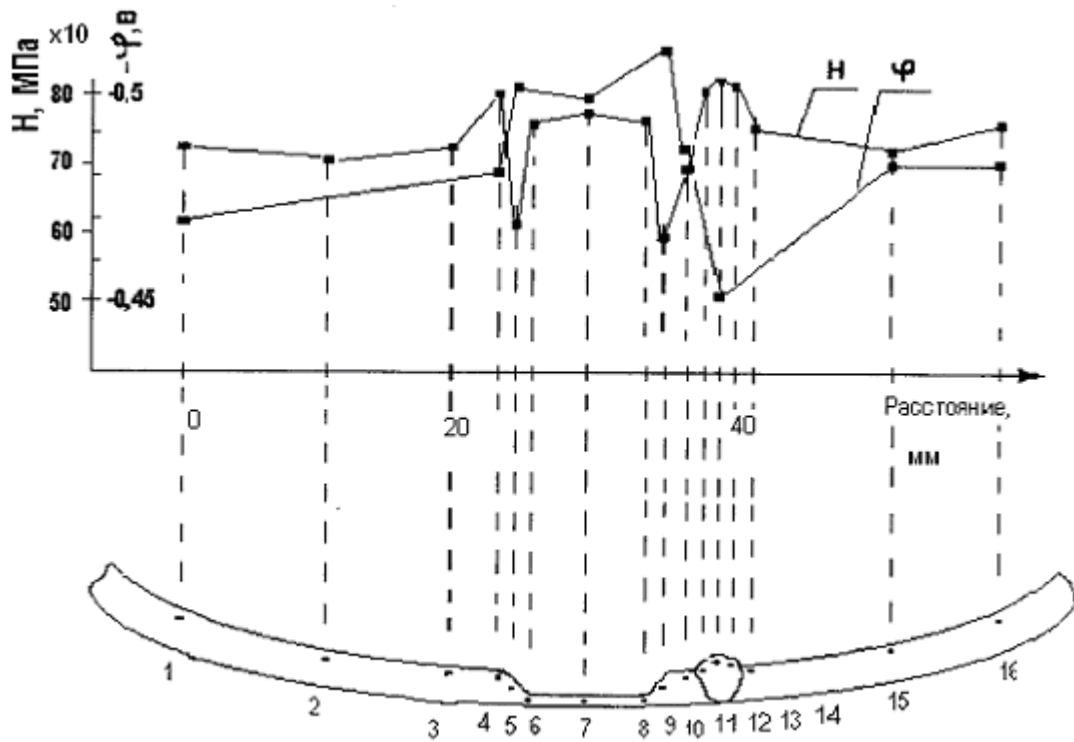


Рис. 5. Распределение микротвердости и электродных потенциалов по сечению образца с канавкой вблизи сварного шва

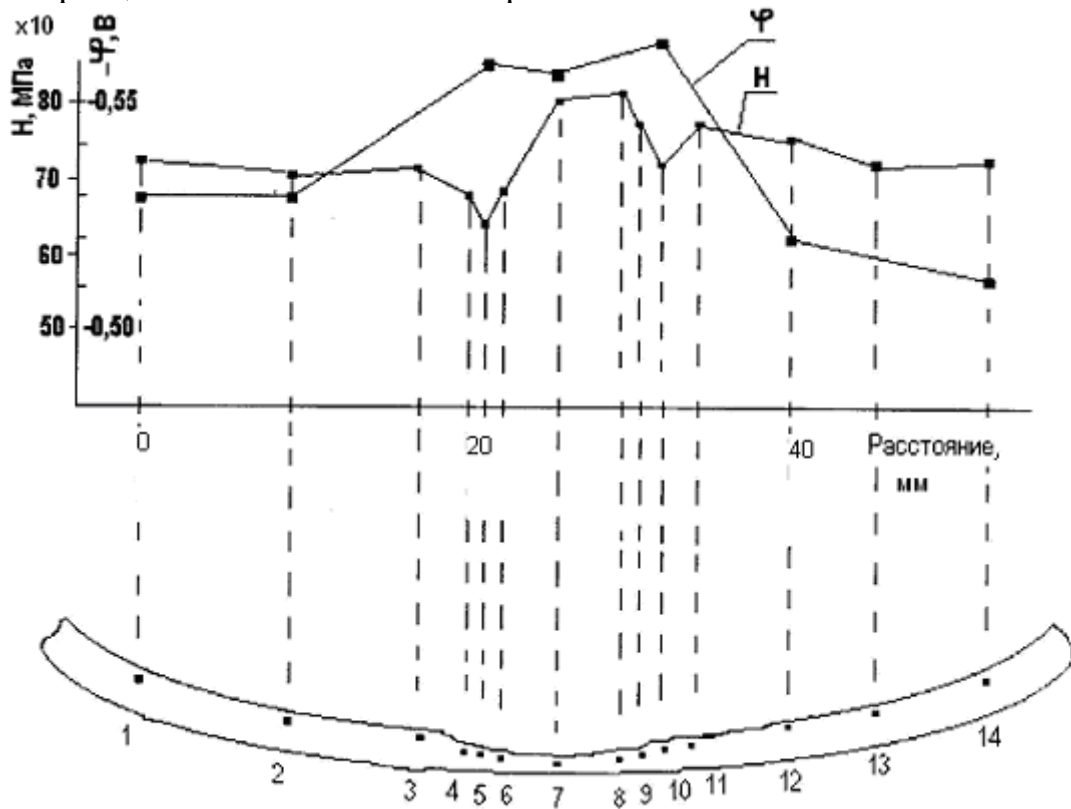


Рис.6. Распределение микротвердости и электродных потенциалов по сечению образца

Для дальнейшего изучения закономерностей развития канавочного разрушения в западносибирском регионе были проведены исследования разрушения нефтесборных труб, отобранных из право- и левобережных месторождений р. Оби. При этом был обнаружен ряд не отмечаемых ранее эффектов. В частности, это в первую очередь относится к распределению микротвердости, указывающей на локальное упрочнение или разупрочнение (пластифицирование) стали в области канавки. Указанные виды проявления данного эффекта приведены на рис. 7. При этом распределения микротвердости в окрестностях канавки были получены на металле, отобранном из различных нефтесборных коллекторов Западной Сибири. Видно, что последний претерпевает или упрочнение (1) или пластифицирование (2). С позиции классических представлений механохимии металлов любое коррозионное воздействие сопровождается пластифицированием металла. Однако параллельно с этим процессом протекает упрочнение металла, обусловленное абразивным воздействием механических примесей, охрупчивающим действием водорода и т. д. Превалирование упрочнения или разупрочнения металла в первую очередь обусловлено составом перекачиваемой среды и режимом ее транспорта.

Аналитически распределение микротвердости вдоль канавки может быть описано с помощью функций переходных процессов. В частности, для кривой (1) найдено аналитическое выражение и определены его эмпирические параметры (a, b, c, d):

$$y = a + 0,5 \cdot b \cdot \left(1 + \operatorname{erf} \frac{x - c}{\sqrt{2} \cdot d} \right).$$

Для определения скорости коррозии были сняты поляризационные потенциодинамические кривые внутри канавки и на поверхности металла, не подверженного коррозии (рис. 8). Основные коррозионные характеристики (тафелевские константы A_a , B_a анодного и A_k , B_k катодного процесса, величина стационарного потенциала $\varphi_{ст}$, балл коррозионной стойкости и скорость коррозии) приведены в табл. 2.

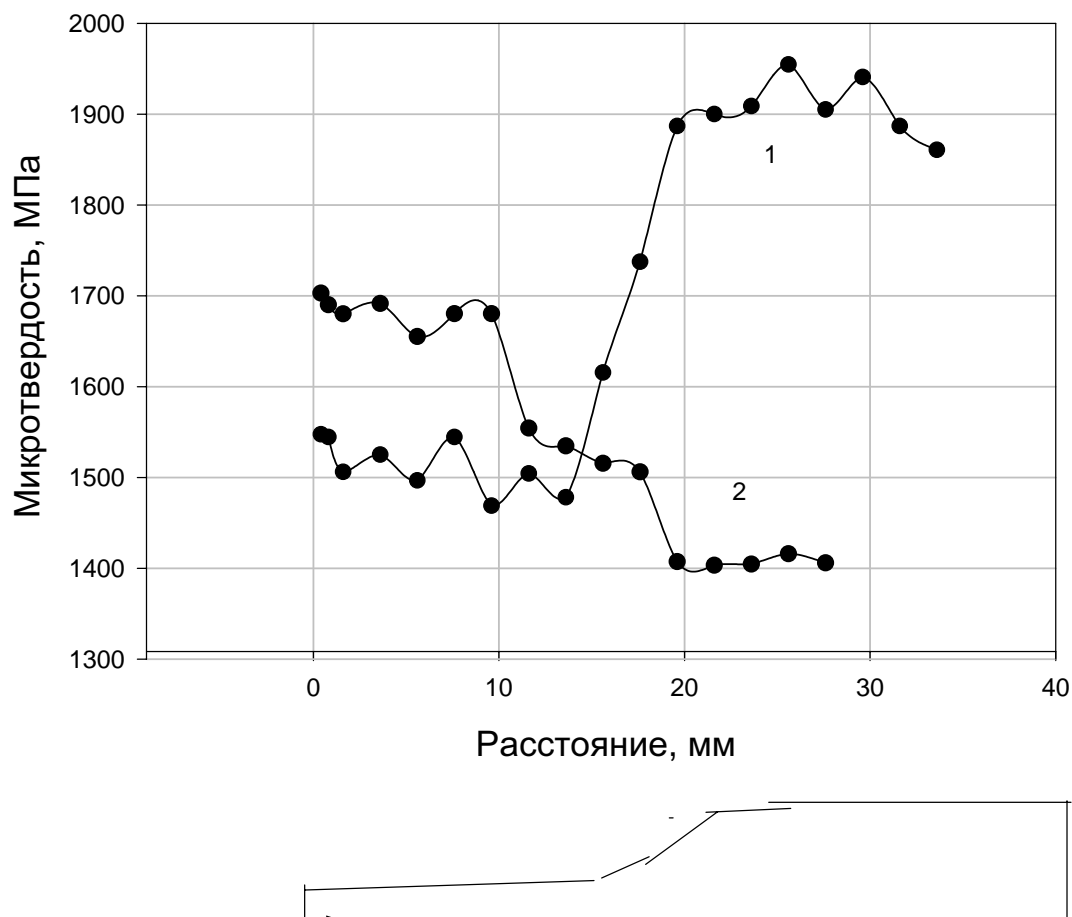


Рис. 7. Распределение микротвердости по сечению канавок

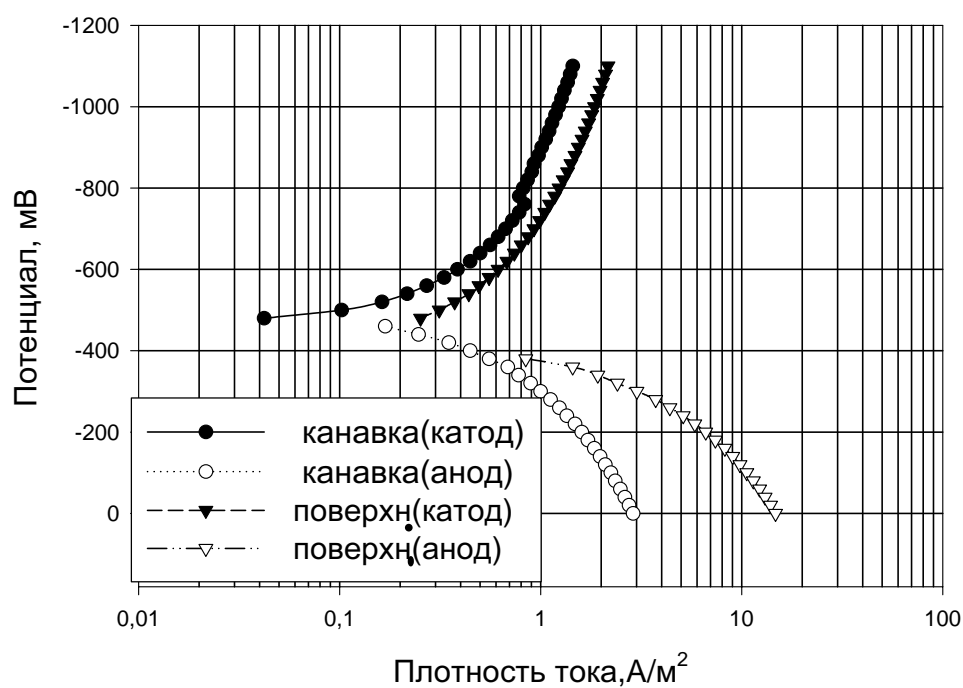


Рис. 8. Потенциодинамические поляризационные кривые образца ВСт 3, отобранного из аварийного участка нефтесборного трубопровода

Таблица 2

Коррозионные характеристики ВСт 3 при $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$

Параметры	Внутри канавки	На поверхности стали
A_a , мВ	-288	-113
B_a , мВ	473	383
A_k , мВ	-820	-719
B_k , мВ	-568	-494
$\varphi_{ст}$, мВ	-460	-400
Балл стойкости	6	6
Скорость коррозии, мм/год	0,35	0,23

Как видно из приведенных данных, скорости коррозии ниже, чем наблюдаемые на практике. Это, по мнению автора, связано с работой макрогальванопар. Поэтому в работе произведен расчет скорости коррозии с учетом воздействия образующихся в процессе эксплуатации макрогальванопар. Результаты одного из таких расчетов (температура $20\text{ }^{\circ}\text{C}$) приведены в табл. 3.

Таблица 3

Коррозионные характеристики макрогальванопары

Балл стойкости	7
Скорость коррозии, мм/год	0,8

Как видно из таблицы, скорости коррозии, определенные с помощью теории макрогальванопар, близки к наблюдаемым на практике. Однако результаты обследования отказов реальных объектов показывают, что нефтепроводы могут разрушаться со скоростями, большими, чем определенные в результате проведенных лабораторных исследований. Используя принципы механохимии металлов, примененные ранее при исследовании канавочной коррозии, можно утверждать, что с учетом концентрации напряжений в канавке ее скорость способна возрасти более чем в 2 раза. То есть, с учетом рассчитанных в работе скоростей коррозии, которые составляют 0,7 - 1,2 мм/год, реальные скорости коррозии нефтепроводов в условиях механохимического воздействия могут быть более 2 мм/год, что и подтверждается результатами анализа отказов нефтепроводов.

В четвертой главе рассмотрены вопросы циклического разрушения нефтегазовых трубопроводов. Одним из опасных видов коррозионно-механического разрушения трубопроводов является малоцикловая коррозионно-

ная усталость. Это связано с тем, что наряду со статической труба испытывает циклически изменяющуюся нагрузку, что может вызвать малоцикловую коррозионную усталость трубопроводов. Для определения остаточного ресурса трубопровода с коррозионно-усталостной трещиной были проведены исследования циклической трещиностойкости стали 20 в условиях, моделирующих натурные (нейтральный и подкисленный HCl раствор 3% NaCl). Величина деформации ε составляла 0,23%. Образец испытывался по схеме чистого изгиба, по асимметричному циклу нагружения с частотой 50 циклов за минуту.

Зависимости скорости роста трещин от коэффициента интенсивности напряжений представлены на рис. 9.

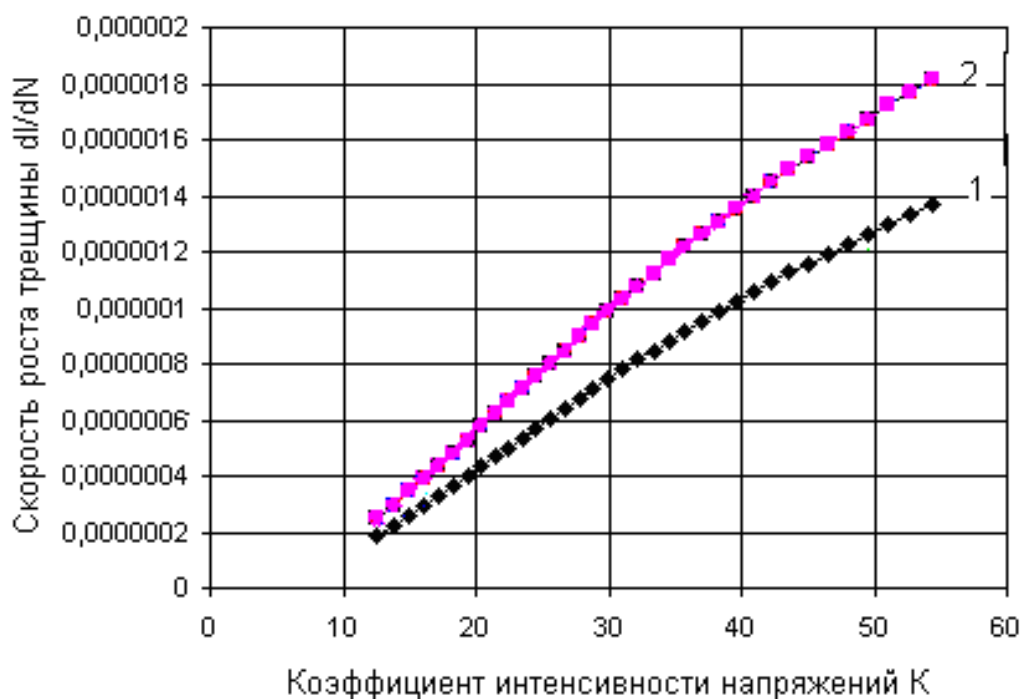


Рис. 9. Зависимость скорости роста трещины (м/цикл) от коэффициента интенсивности напряжений ($\text{МПа} \cdot \sqrt{\text{м}}$): 1 – среда 3% NaCl; 2 – среда 3% NaCl+1% HCl

В настоящее время зависимость скорости роста трещины от коэффициента интенсивности напряжений описывается с помощью степенной функции Пэриса - Эрдогана (показатель степени больше единицы). Однако, как показали результаты исследований кафедры МЗК УГНТУ, наилучшим приближением является аппроксимация экспериментальных данных логарифмической функцией или степенной, с показателем степени меньше единицы (предпочтительно – об-

ратной параболой). Для проверки результатов теоретических исследований кафедры МЗК УГНТУ в работе был проведен статистический анализ экспериментальных данных отечественных и зарубежных исследователей, подтвердивший правомерность использования указанных выше зависимостей. В табл. 4 приведены результаты обработки данных, полученных Вебстером и др. для коррозионной усталости стали в морской воде (r – коэффициент корреляции).

Таблица 4

Результаты обработки литературных данных циклической трещиностойкости стали в морской воде

Условия	Модель					
	$\frac{dl}{dN} = a + b \cdot \ln \sqrt{\Delta K}$			$\frac{dl}{dN} = a + b \cdot \sqrt{\Delta K}$		
Параметры	a	b	r	a	b	r
Морская вода	4,5 e-6	1,5 e-6	0,92	-2,1 e-6	4,6 e-7	0,94
Морская вода с H ₂ S	4,1e-6	2.0e-6	0,92	1,1e-6	1,2e-6	0,93
Морская вода с H ₂ S+(-850 мВ, МСЭ)	-1,4e-5	6,3e-6	0,94	5,9e-6	2,3e-6	0,92
Морская вода с H ₂ S+(-1100 мВ, МСЭ)	-1,5e-5	6,1e-6	0,95	7,3e-6	2,3e-6	0,96

На основании результатов статистической обработки экспериментальных данных (см. рис. 9) с учетом вышеизложенного был подобран вид зависимости dL/dN от ΔK , наиболее адекватно отражающей экспериментальную модель, и определены ее параметры (табл. 5).

$$\frac{dl}{dN} = a + b \cdot \sqrt{\Delta K}$$

где a , м/цикл и b , (м/цикл)·(1/√МПа√м) – эмпирические коэффициенты;

ΔK – размах коэффициента интенсивности напряжения, МПа·√м ;

N – число циклов;

l – глубина трещины, м.

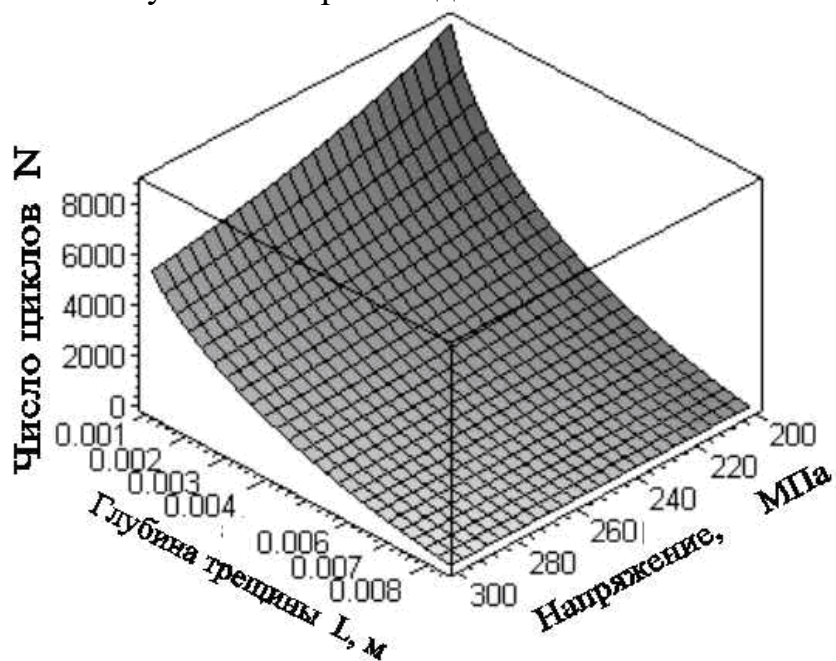
Результаты проведенных исследований легли в основу «Методики расчета остаточного ресурса трубопроводов и оборудования систем сбора и распределения нефти и природного газа, эксплуатирующегося в условиях механохимических воздействий».

Таблица 5

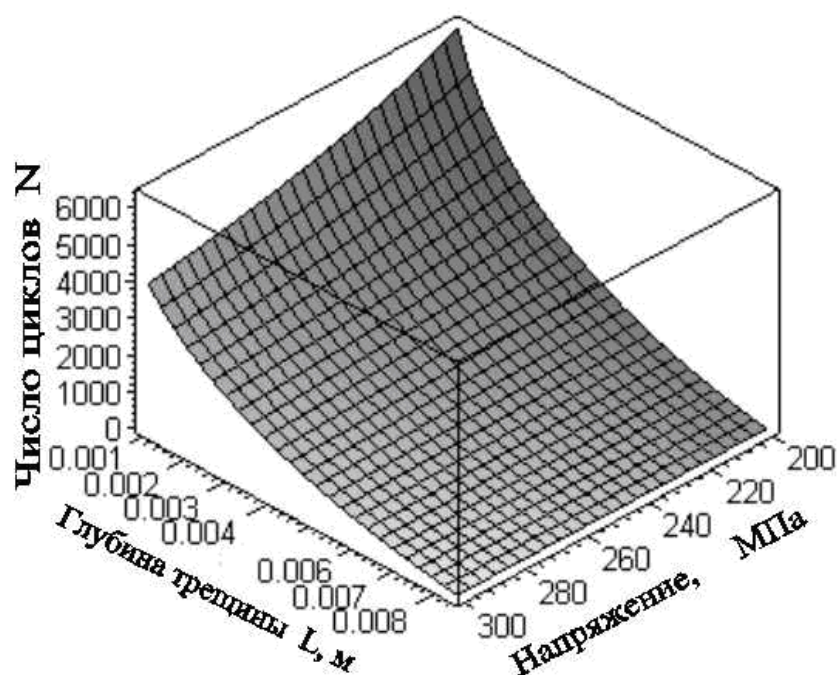
Значения эмпирических коэффициентов

Условия эксперимента	a	b
Среда 3% NaCl	-1,0-06	3,2E-07
Среда 3% NaCl+1% HCl	-1,3E-06	4,2E-07

На рис. 10 приведен остаточный ресурс металлоконструкций, рассчитанный на основании полученных в работе данных.



а



б

Рис. 10. Зависимость количества циклов до разрушения от напряжения и от глубины трещины: а – среда 3% NaCl; б – среда 3% NaCl+1% HCl

Пятая глава посвящена вопросам предотвращения канавочного разрушения нефтепроводов системы сбора нефти и уменьшению последствий таких инцидентов. Как было показано выше, мероприятия, используемые на практике, не в состоянии полностью снять проблему канавочной коррозии, значительно снижающей безопасную эксплуатацию трубопроводов. Это связано, в первую очередь, с малой эффективностью используемых в настоящее время мероприятий в условиях расслоенного режима течения добываемой жидкости. Исходя из анализа имеющихся данных, можно утверждать, что радикальный метод борьбы с рассматриваемым явлением - переход от расслоенного режима течения к турбулентному. Однако, анализ промысловых данных, приведенный в первой главе, показывает, что отказы равновероятны на спусках, подъемах и горизонтальных участках трубопроводов. Поэтому известными технологическими методами не удастся предотвратить разрушения нефтесборных трубопроводов.

Для решения этой задачи автором предлагается использование устройства для защиты от коррозии в виде диспергатора, установленного в нефтесборный трубопровод. На данное техническое решение получен патент России. Известные технологические методы защиты от коррозии трубопроводов, преобразующие расслоенный поток в эмульсию путем изменения его гидродинамических характеристик (изменение давления, диаметра трубопровода и т.д.), как показано выше, не в состоянии обеспечить создание стабильной эмульсии.

Для преобразования потока предлагается использовать диспергатор, образованный соосно установленным в нефтепроводе конфузуром и двумя симметрично встроенными в конфузур цилиндрическими камерами, оси которых перпендикулярны оси конфузурора.

На рис. 11 показана схема расположения диспергатора в нефтепроводе.

На рис.12 приведено продольное сечение нефтепровода с установленным в нем диспергатором.

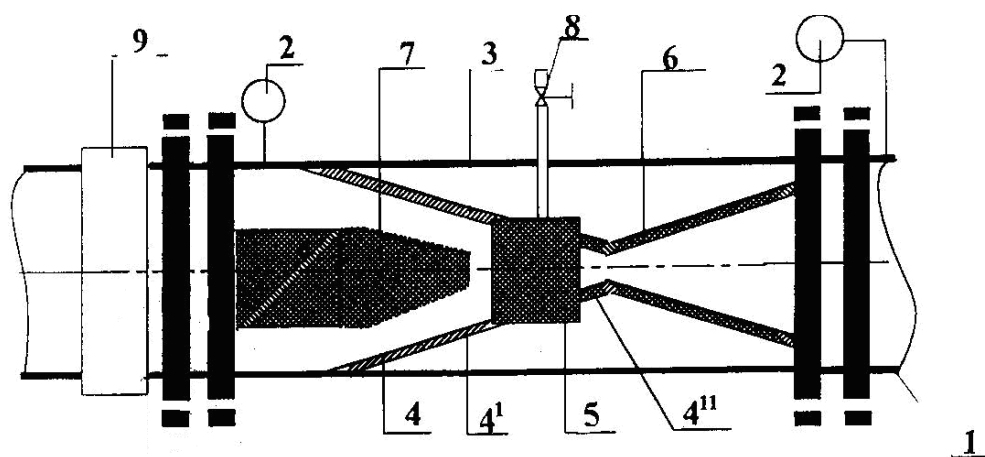


Рис. 11. Расположение диспергатора в нефтепроводе: 1 – нефтепровод; 2 - датчики коррозии; 3 - диспергатор; 4 - конфузор, 4¹ - входной канал, 4¹¹ - конец конфузорного участка; 5 - цилиндрические камеры; 6 - диффузор; 7 - рассека- тель; 8 - источник подачи газа; 9 - устройство расслоения рабочей среды на нефть и воду

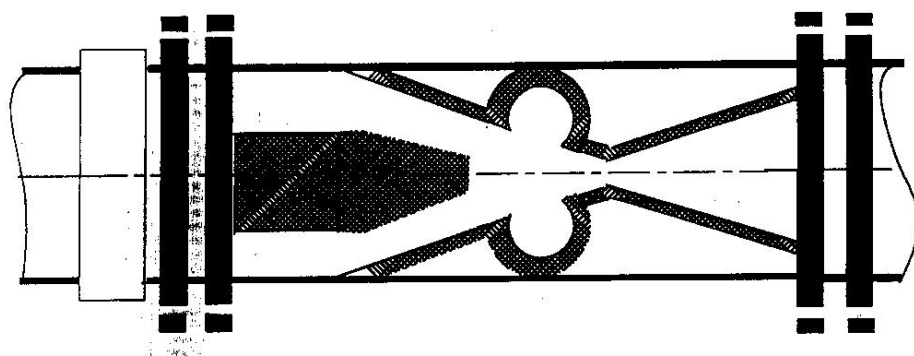


Рис. 12. Продольное сечение нефтепровода с установленным в нем диспергатором

В работе рассмотрены различные схемы включения данного устройства в действующий нефтепровод.

Проведенными лабораторными исследованиями показано, что эффект го- могенизации водонефтяной эмульсии сохраняется в течение 15 – 20 минут. Это при известных режимах транспорта сырья позволяет оценить частоту установки диспергаторов по длине трубопроводов на опасных участках.

Как было отмечено выше, по мере увеличения времени разработки место- рождения нефти добываемая продукция становится все более обводненной, в связи с чем повышается ее коррозионная активность. Сказанное, в определен- ной степени, объясняет возрастающую частоту порывов нефтепроводов за ана- лизируемый период и, как следствие, загрязнение почвы и водоемов сырой

нефтью. Для снижения времени ликвидации последствия нарушения герметичности трубопроводов в работе предлагается новая патентно чистая уплотнительная композиция, позволяющая существенно повысить надежность запорной арматуры и, соответственно, снизить количество разливаемой вследствие канавочной коррозии нефти, существенным образом влияющей на пожарную и экологическую безопасность нефтепромысла в целом.

На основании проведенных исследований могут быть сделаны следующие **основные выводы:**

1. В результате анализа эксплуатационной документации и реального канавочного разрушения в трассовых условиях установлено, что оно равновероятно может происходить на различных участках трассы нефтесборных трубопроводов (спуски, подъемы, горизонтальные участки). Это требует проведения мероприятий по защите таких трубопроводов, проложенных в различных трассовых условиях.

2. Установленный в работе экспоненциальный закон распределения инцидентов, связанных с канавочной коррозией трубопроводов, и его параметра ($\lambda=6$ 1/мес) позволяет определить время их безопасной эксплуатации.

3. Изучение свойств металла отказавших нефтепроводов различных месторождений Западной Сибири показало, что металл внутри канавки, находится как в упрочненном, так и в пластифицированном состоянии в зависимости от состава транспортируемой среды. Определенная в лабораторных условиях скорость проникновения канавочного разрушения соответствует наблюдаемой на практике (1 – 3 мм/год). Наличие в окрестности канавки сварного шва приводит к локализации процесса коррозии металла и, соответственно, к интенсификации процесса разрушения труб.

4. Математическая обработка литературных данных и проведенных в работе лабораторных исследований показала, что в условиях циклического нагружения нефтесборных коллекторов наиболее адекватной моделью для описания усталостных разрушений является зависимость обратной параболы. На ос-

новании полученных данных рассчитан остаточный ресурс трубопроводов, эксплуатирующихся в указанных условиях.

5. Предложенные в работе методы и средства борьбы с канавочной коррозией в виде методики расчета остаточного ресурса нефтесборных трубопроводов, устройства гомогенизации потока и уплотнительная смазка для улучшения системы герметизации запорной арматуры позволяют снизить риск разрушения нефтепроводов системы сбора сырой нефти, уменьшить последствия таких инцидентов и тем самым повысить пожарную и экологическую безопасность нефтесборных коллекторов.

Основные результаты опубликованы в следующих печатных работах:

1. Скоромный В.И., Гареев А.Г. Актуальные вопросы борьбы с канавочной коррозией// Технологические проблемы развития машиностроения в Башкортостане: Сб. науч. тр. - Уфа: Гилем, 2001.- С.68 - 69.

2. Скоромный В.И., Гареев А.Г. Проблемы борьбы с коррозией нефтепромысловых трубопроводов// Мировое сообщество: проблемы и пути решения: Сб. науч. ст.- Уфа: УГНТУ, 2002.-№12.- С.94-98.

3. Абдуллин И.Г., Гареев А.Г., Худяков М.А. Шнайдер А.А., Скоромный В.И. Циклическая трещиностойкость стали 20 в условиях, моделирующих эксплуатационные// Машиноведение, конструкционные материалы и технологии: Сб. науч. тр. - Уфа: Гилем, 2002.- С.120-132.

4. Абдуллин И.Г., Гареев А.Г., Скоромный В.И. К вопросу о механизме канавочного разрушения трубопроводов системы сбора нефти// Коррозия металлов: диагностика, предупреждение, защита и ресурс: Сб. науч. ст.- Уфа: УГНТУ, 2002.- С.84-85.

5. Скоромный В.И. Коррозионно-механические разрушения промышленных трубопроводов// Коррозия металлов: диагностика, предупреждение, защита и ресурс: Сб. науч. ст.- Уфа: УГНТУ, 2002.- С.90-93.

6. Скоромный В.И. Исследования свойств герметика для запорной арматуры ГЗА-1// Коррозия металлов: диагностика, предупреждение, защита и ресурс: Сб. науч. ст.- Уфа: УГНТУ, 2002.- С.102.

7. Пат. №2175440 РФ. Уплотнительная смазка для запорной арматуры трубопроводов/ А.И. Демченко (РФ), А.Г. Коненков (РФ), А.П. Детков (РФ), В.И. Скоромный (РФ), Г.Е. Зайцев (РФ), М.Ю. Кильянов (РФ). Заявлено 13.06.01. Оpubл. 20.04.02, Б.И. № 11.

8. Гареев А.Г., Скоромный В.И. Подбор аналитической зависимости для определения циклической трещиностойкости конструкционных материалов// Инновационные проблемы развития машиностроения в Башкортостане: Сб. науч. тр.– Уфа: Гилем, 2003.- С.174-175.

9. Пат. №2211994 РФ. Устройство для защиты от коррозии/ В.И. Скоромный (РФ), И.М. Колесников (РФ), С.И. Колесников (РФ), М.Ю. Кильянов (РФ), И.Г. Абдуллин (РФ), А.Г. Гареев (РФ). Заявлено 17.07.02. Оpubл. 10.09.03, Б.И. №25.

10. Гареев А.Г., Абдуллин И. Г., Худяков М.А., Шнайдер А.А., Скоромный В.И. Определение трещиностойкости стали 20 в коррозионных средах// Материалы 2-й Международной научно-технической конференции «Новоселовские чтения». - Уфа: УГНТУ, 2004. - Вып. 2. – С. 100.

11. Гареев А.Г., Абдуллин И. Г., Худяков М.А., Шнайдер А.А., Скоромный В.И. Определение трещиностойкости стали 20// Материалы Новоселовских чтений: Сб. науч. тр. - Уфа: УГНТУ, 2004. - Вып. 2. – С. 245-254.