

УДК 622.69: 620.193.4

ББК 39.7-08

Н 17

Рецензент

заслуженный деятель науки РФ, профессор, доктор технических наук  
О.И. Стеклов

Редактор – Л.П. Коробкова

Авторы: А. А. Бауэр, В. М. Кушнарченко, А. Е. Пятаев, Ю. А. Чирков,  
Д. Н. Щепинов

Н 17 Надежность трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие  
среды: монография / А.А. Бауэр, В.М. Кушнарченко, А.Е. Пятаев, Ю.А. Чирков,  
Д.Н. Щепинов. – Оренбург: ОГУ, 2015. – 592 с.

**ISBN 978-5-7410-1332-8**

В книге рассмотрены условия эксплуатации, виды и основные причины повреждений трубопроводов сероводородсодержащих нефтегазовых месторождений. Приведены методики и оборудование для оценки сопротивления материалов воздействию сероводородсодержащих сред и определения эффективности противокоррозионных мер. Даны методики оценки конструктивной прочности и потенциальной опасности дефектных участков трубопроводов, содержащих технологические дефекты и дефекты, возникшие в процессе эксплуатации трубопроводов. Представлены современные методы контроля технического состояния трубопроводов и даны рекомендации по техническому диагностированию, определению остаточного ресурса и методам обеспечения надежности трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие нефтегазовые среды.

Для научных работников и специалистов нефтяной и газовой промышленности, аспирантам и обучающимся по программам магистратуры, специалитета и бакалавриата по направлениям подготовки 151000 - Технологические машины и оборудование, а также 241000 - Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии в качестве печатного издания.

УДК 622.69: 620.193.4

ББК 39.7-08

**ISBN 978-5-7410-1332-8**

©Бауэр А.А., Кушнарченко В.М.,  
Пятаев А.Е., Чирков Ю.А.,  
Щепинов Д.Н., 2015  
© ОГУ, 2015

## Содержание

Введение.....	7
Обозначения и сокращения.....	9
1 Проблемы эксплуатации трубопроводов.....	10
1.1 Особенности эксплуатации нефтегазоконденсатопроводов.....	10
1.2 Материал труб, применяемых на сероводородсодержащих месторождениях	21
1.3 Сварка трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие среды	41
1.3.1 Термическая обработка сварных соединений.....	47
1.3.2 Контроль качества строительства трубопроводов ОНГКМ.....	57
1.3.3 Структура сварных соединений трубопроводов ОНГКМ.....	79
1.4 Отказы и повреждения трубопроводов.....	87
1.5 Отказы и повреждения запорной арматуры.....	106
2 Сопротивление сталей воздействию сероводородсодержащих сред.....	116
2.1 Сероводородная коррозия и изменение свойств сталей, контактирующих с сероводородсодержащими средами.....	116
2.2 Методы испытаний материалов на коррозионное растрескивание.....	125
2.3 Оборудование для коррозионных испытаний.....	130
2.4 Методика испытаний сталей на сероводородное растрескивание.....	151
2.5 Сопротивление сероводородному растрескиванию сталей и сварных швов...	161
2.6 Моделирование водородного растрескивания (расслоения) сталей.....	168
2.7 Оценка разрушающих давлений в водородных расслоениях.....	188
2.8 Механизм разрушения сталей при наводороживании.....	199
2.9 Методика анализа разрушения трубопроводов.....	210
3 Методы контроля дефектности трубопроводов.....	220
3.1 Анализ нормативной базы по обеспечению надежности трубопроводов.....	220
3.2 Анализ методов оценки остаточного ресурса трубопроводов.....	225
3.3 Контроль дефектности металла трубопроводов.....	232
3.3.1 Электрометрические обследования трубопроводов.....	237
3.3.2 Внутритрубная дефектоскопия трубопроводов.....	239
3.4 Дефектность металла трубопроводов.....	242

3.4.1 Несплошности металла труб.....	243
3.4.2 Водородные расслоения металла труб.....	252
3.4.3 Аномалии сварных соединений труб.....	274
3.4.4 Дефекты геометрии труб.....	280
3.4.5 Дефекты типа потеря металла - утонения стенок труб.....	281
3.4.6 Оценка скорости коррозии трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие среды.....	283
3.5 Оценка адекватности результатов внутритрубной дефектоскопии.....	285
3.5.1 Сходимость результатов контроля дефектов типа потеря металла – утонения стенок труб.....	287
3.5.2 Сходимость результатов контроля дефектов сварных соединений труб.....	290
3.5.3 Сходимость результатов контроля дефектов типа расслоения - несплошности металла труб.....	295
3.5.4 Сходимость результатов контроля дефектов геометрии труб.....	301
4 Конструктивная прочность труб и запорной арматуры.....	305
4.1 Методика стендовых испытаний труб.....	305
4.1.1 Оценка потенциальной опасности дефектов поверхности труб.....	315
4.1.2 Потенциальная опасность труб с технологическими расслоениями.....	322
4.1.3 Потенциальная опасность труб с водородными расслоениями.....	325
4.1.4 Потенциальная опасность труб с дефектами геометрии.....	337
4.1.5 Оценка потенциальной опасности труб с дефектами кольцевых швов.....	350
4.1.6 Конструктивная прочность труб с приварными патрубками.....	366
4.1.7 Конструктивная прочность труб с временными защитными конструкциями.....	374
4.2 Оценка конструктивной прочности труб и арматуры при воздействии сероводородсодержащей среды.....	380
4.2.1 Методика натурных испытаний труб и арматуры.....	380
4.2.2 Конструктивная прочность труб с дефектами поверхности.....	385
4.2.3 Конструктивная прочность труб с повышенной твердостью металла.....	390
4.2.4 Конструктивная прочность труб с покрытием.....	392

4.2.5 Конструктивная прочность запорной арматуры.....	396
4.3 Приемочные стендовые испытания трубной продукции.....	403
5 Методы обеспечения надежности трубопроводов.....	411
5.1 Ингибиторная защита трубопроводов.....	411
5.1.1 Технологии ингибиторной защиты трубопроводов.....	414
5.1.2 Аэрозольное ингибирование газопроводов.....	422
5.1.3 Оценка эффективности ингибиторов.....	429
5.2 Диагностирование трубопроводов сероводородсодержащих месторождений.....	441
5.2.1 Анализ технической документации.....	441
5.2.2 Экспертное обследование трубопроводов.....	445
5.2.3 Определение коррозионно-механических характеристик металла трубопроводов.....	452
5.2.4 Анализ результатов диагностирования и исследование НДС трубопроводов.....	454
5.2.5 Оценка остаточного ресурса трубопроводов.....	457
5.3 Оценка технического риска трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие среды.....	475
5.3.1 Методы анализа технического риска трубопроводов.....	475
5.3.2 Оценка технического риска трубопровода.....	483
5.3.3 Оценка технического риска кранового узла.....	490
5.3.4 Оценка зоны поражения при возможном раскрытии дефектов трубопроводов.....	500
5.4 Входной контроль труб, арматуры и деталей трубопроводов.....	503
5.5 Ремонт трубопроводов.....	511
5.5.1 Анализ технологий ремонтных работ.....	511
5.5.2 Технология ремонта трубопроводов, транспортирующих сероводородсодержащие среды.....	517
5.5.3 Ремонт трубопроводов установкой муфт.....	520
5.5.4 Ремонт запорной арматуры.....	536

5.5.5 Установка защитных конструкций.....	540
5.5.6 Ремонт подводных переходов.....	542
5.6 Методы ликвидации разлива нефтепродуктов.....	546
5.6.1 Границы зон ЧС с учетом оценки риска разливов нефти и нефтепродуктов.....	546
5.6.2 Локализация разлива нефтепродуктов на водной поверхности.....	548
5.6.3 Локализация разлива нефтепродуктов на водной поверхности в зимнее время.....	553
5.6.4 Сбор нефтепродуктов с поверхности земли.....	559
Заключение.....	563
Список использованных источников.....	564