**Алексеев, Алексей Викторович. Разработка бестраншейной технологии восстановления изношенных трубопроводов установкой внутренней оболочки : диссертация ... кандидата технических наук : 25.00.19 / Алексеев Алексей Викторович; [Место защиты: Ин-т проблем трансп. энергоресурсов].- Уфа, 2013.- 166 с.: ил. РГБ ОД, 61 13-5/847**

**Государственное унитарное предприятие**

**“Институт проблем транспорта энергоресурсов”**

**(ГУП “ИПТЭР”)**

**На правах рукописи**

**Алексеев Алексей Викторович**

**РАЗРАБОТКА БЕСТРАНШЕЙНОЙ ТЕХНОЛОГИИ**

**ВОССТАНОВЛЕНИЯ ИЗНОШЕННЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

**УСТАНОВКОЙ ВНУТРЕННЕЙ ОБОЛОЧКИ**

**Диссертация на соискание ученой степени**

**кандидата технических наук по специальности**

**25.00.19 - Строительство и эксплуатация**

**нефтегазопроводов, баз и хранилищ;**

**Научный руководитель - доктор технических наук, профессор**

**Гумеров Кабир Мухаметович**

**Уфа-2013**

**Введение 4**

**1 БЕСТРАНШЕЙНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОНТА ТРУБО-ПРОВОДОВ 10**

**1.1 Особенности стальных и пластмассовых трубопроводов 10**

**1.2 Санация как способ защиты подземных трубопроводов 14**

**1.3 Технологии бестраншейного восстановления трубопроводов . 16**

**1.4 Опыт ремонта трубопроводов бестраншейными методами .... 19**

**2 МОДЕЛИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ВНУТРЕННЕЙ ОБО¬**

**ЛОЧКИ ПРИ РЕМОНТЕ ТРУБОПРОВОДА МЕТОДОМ СА-НИРОВАНИЯ 30**

**2.1 Расчётная модель внутренней оболочки трубопровода 30**

**2.2 Метод конечных элементов для оболочки, основные допуще¬ния и математический аппарат 33**

**2.3 Решение системы уравнений методом аппроксимации 41**

**2.4 Алгоритм и программы решения задачи о напряженно-деформированном состоянии оболочки, проверка сходимости 47**

**2.5 Роль адгезии оболочки к внутренней поверхности трубы 53**

**2.6 Оболочка на участке с продольным дефектом трубы 56**

**2.7 Оболочка в зоне компактного дефекта трубы 61**

**Выводы по разделу 2 68**

**3 ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ТРУБОПРОВОДА, ВОССТАНОВ¬**

**ЛЕННОГО УСТАНОВКОЙ ВНУТРЕНЕЙ ГИБКОЙ ОБО¬ЛОЧКИ 69**

**3.1 Факторы, определяющие прочность восстановленных трубо¬проводов с внутренней оболочкой 69**

**3.2 Основные закономерности деформирования оболочки на де¬фектных участках труб 70**

**3.3 Оценка прочности оболочки на дефектном участке трубы .... 80**

**3.4 Упрощённая оценка прочности оболочки в трубе 87**

**3.5 Испытание оболочки на прочность 89**

**Выводы по разделу 3 91**

**4 ИССЛЕДОВАНИЕ И ВЫБОР МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ИЗГО¬**

**ТОВЛЕНИЯ ГИБКИХ ПОЛИМЕРНЫХ ОБОЛОЧЕК (РУКА¬ВОВ) 92**

**4.1 Условия эксплуатации трубопроводов, санированных внут¬ренней оболочкой 94**

**4.2 Классификация полимерных оболочек 98**

**4.3 Конструкция рукавного покрытия для санации трубопроводов 100**

**4.4 Выбор армирующего материала для изготовления рукава 102**

**4.5 Материалы для пропитки полимерного рукава 106**

**4.6 Исследование коррозионной стойкости полимерного покры¬тия рукава 114**

**4.7 Испытание технологии санирования 118**

**Выводы по разделу 4 121**

**5 НОРМАТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ РЕМОН¬**

**ТА НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ МЕТО¬ДОМ САНАЦИИ 123**

**5.1 Технические условия на рукава из полимерных материалов**

**для восстановления внутренней поверхности трубопроводов 124**

**5.2 Технические требования по ремонту промысловых трубопро¬**

**водов путём внутритрубной установки гибких полимерных рукавов 131**

**5.3 Технические условия “Концевые фланцевые участки трубо¬**

**проводов, санированных гибким полимерным рукавом и фа¬сонные вставки к ним” 143**

**5.4 Технические условия “Гладкие концевые участки трубопро¬**

**водов, санированных гибким полимерным рукавом и соеди-нительные детали к ним при использовании сварки” 144**

**Выводы по разделу 5 147**

**ОБЩИЕ ВЫВОДЫ 148**

**ЛИТЕРАТУРА 150**

**Приложение 1. Расчётная программа “Оболочка”. Решение**

**задач о напряженно-деформированном состоянии и прочности санированных трубопроводов 158**

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана математическая модель гибкой внутренней оболочки, находящейся под действием внутреннего давления в трубопроводе со сквоз­ными дефектами разных форм: кольцевыми, продольными, компактными. Модель основана на методах конечных элементов, последовательных при­ближений и итераций, позволяет исследовать закономерности формирования напряженно-деформированного состояния и прочности изношенного трубо­провода, восстановленного методом санации.
2. Установлены закономерности деформирования гибкой внутренней оболочки и формирования полей напряжений в зависимости от размеров труб и их дефектов, физико-механических свойств и адгезии внутренней оболочки, рабочего давления в трубопроводе. Установлено, что: предельное состояние оболочки наступает по двум причинам: вследствие перехода в не­устойчивое состояние или достижения предельных значений деформаций. Прочность оболочки приблизительно пропорциональна толщине стенки и пределу текучести оболочки, обратно пропорциональна размеру дефекта трубы.
3. Путём анализа теоретических результатов найдена упрощённая рас­чётная схема для оценки прочности оболочки в трубопроводе. Данная схема и полученная на её основе формула позволяет решать ряд важных для прак­тики задач: подбирать материалы для оболочки по механическим свойствам и определять допустимое рабочее давление после ремонта.
4. Экспериментальными исследованиями установлено, что наиболее эффективна двухслойная оболочка, состоящая из защитной пленки из термо­пласта (поливинилхлорид или полиэтилен) и волокнистого армирующего ма­териала (полиэфирное полотно или стеклоткань), пропитанного эпоксидной композицией “Эпофом-1С”. Такая оболочка является в процессе ремонта технологичной, в процессе эксплуатации прочной и стойкой к воздействию всех сред, характерных для нефтегазопромысловых трубопроводов.
5. Испытания показали, что применение рекомендованных материалов будет эффективным при ремонте нефтепромысловых трубопроводов мето­дом санации и обеспечит получение необходимого эффекта, а именно: вос­станавливает прочность и герметичность изношенных трубопроводов; обес­печивает антикоррозионную защиту материала труб от воздействия перека­чиваемой среды; обеспечивает защиту внутренней поверхности труб от абра­зивного износа.
6. Результаты исследований легли в основу комплекса нормативно­технических документов (технических условий и инструкций), регламенти­рующих этапы изготовления оболочек и выполнения ремонтных работ на нефтегазопромысловых трубопроводах бестраншейным методом. Разрабо­танные документы позволяют выполнять ремонт трубопроводов на недос­тупных и труднодоступных участках, таких как переходы через различные препятствия и сложные коммуникации, а также участки, проложенные мето­дами микротоннелирования, наклонно-направленного бурения, подводные участки и другие.

I