ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р

XXXX – XXXX

(проект, первая редакция)

Нефтяная, нефтехимическая и газовая промышленность

РЕМОНТ ТРУБОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Оценка и проектирование, выполнение, испытание и контроль

(ISO 24817:2017, NEQ)

Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его утверждения

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
201_

Предисловие

1. РАЗРАБОТАН Обществом с ограниченной ответственностью «ИНТРАЛАЙН» (ООО «ИНТРАЛАЙН»)

2. ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 23 «Нефтяная и газовая промышленность» ПК 4 «Газораспределение и газопотребление»

3. УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от «____» _____20___г. №_____.

4. В настоящем стандарте учетены основные нормативные положения международного стандарта ИСО 24817:2017 «Нефтяная, нефтехимическая и газовая промышленность. Ремонт трубопроводных сетей с использованием композитных материалов. Оценка и проектирование, выполнение, испытание и контроль» (ISO 24817:2017 «Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Composite repairs for pipework – Qualification and design, installation, testing and inspection», NEQ)

5. ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ « О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок – в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования – на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет.

©Стандартинформ, 201_

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения ……..……. 1
2 Нормативные ссылки ……..……. 1
3 Термины и определения..…… 3
4 Сокращения ……..…… 6
5 Общие положения…… 6
5.1 Случаи применения ремонтной системы…… 7
5.2 Виды ремонтных объектов и состав применяемых материалов …….. 8
5.3 Оценка ремонтной системы ……. 9
5.4 Этап сбора данных ……..…….. 9
5.5 Проектирование ремонтной системы ……. 10
5.6 Обучение оператора по монтажу ……... 10
5.7 Монтаж ремонтной системы …… 10
5.8 Контроль и техническое обслуживание композитной ремонтной системы…….. 10
6 Оценка и проектирование …..……..….. 11
6.1 Оценка целесообразности выполнения композитного ремонта ……. 11
6.2 Класс ремонта …….. 12
6.3 Расчетный срок эксплуатации…….. 13
6.4 Вводные данные …….. 14
6.5 Методология проектирования …….. 17
6.6 Повторная оценка композитной ремонтной системы…….. 22
7 Выполнение ремонта ……. 22
7.1 Условия хранения……. 22
7.2 Документация, необходимая для установки композитной муфты…… 23
7.3 Квалификация персонала, выполняющего ремонт……. 25
7.4 Порядок установки композитной муфты……. 25
7.5 Документация, необходимая по завершению установки…… 26
7.6 Ремонт в режиме эксплуатации……. 28
7.7 Ремонт хомутов, компонентов технологических трубопроводов, емкостей и резервуаров…… 29

7.8 Экологические требования…… 29

8 Испытания и контроль …… 29

8.1 Основные положения …….. 29

8.2 Допустимые дефекты ремонтируемой системы …… 31

8.3 Ремонт дефектов ремонтной системы ……... 35

8.4 Методы контроля ……. 35

8.5 Обслуживание ремонтной системы и коррекционные меры …… 35

9 Испытания системы……. 38

10 Вывод из эксплуатации…….. 39

Приложение А (обязательное) Расчет толщины ремонтного слоистого материала (дефект типа А)……. 40

Приложение Б Расчет ремонтного ламината для сквозных дефектов (дефект типа Б)……. 47

Приложение В (обязательное) Квалификация персонала, выполняющего ремонт…….. 51

Приложение Г (обязательное) Спецификация проектных данных…… 55

Приложение Д (обязательное) Данные для выполнения оценки…….. 58

Приложение Е (обязательное) Измерение параметров для определения эксплуатационных характеристик…….. 65

Приложение Ж (обязательное) Измерение скорости высвобождения энергии для расчета сквозных дефектов…… 69

Приложение И (обязательное) Кратковременные испытания работоспособности трубной катушки……. 74

Приложение К (обязательное) Измерение ударопрочности……. 77

Приложение Л (обязательное) Измерение коэффициента понижения эксплуатационных характеристик…….. 78

Приложение М (обязательное) Дополнительные критерии проектирования 81

Приложение Н (обязательное) Характеристики для проектирования……. 94

Приложение П (обязательное) Требования и инструкции по установке ремонтной системы……. 105

Приложение Р (обязательное) Управление целостностью композитных ремонтных систем, нанесенных на трубопроводы и сосуды…… 108

Приложение С (обязательное) Расчет осевой длины муфты 113

Приложение Т (справочное) Справочная таблица осевого размера ремонтного материала 117

Библиография 119

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Нефтяная, нефтехимическая и газовая промышленность

РЕМОНТ ТРУБОПРОВОДНЫХ СЕТЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Оценка и проектирование, выполнение, испытание и контроль

Petroleum, petrochemical and natural gas industries – Composite repairs for pipework – Qualification and design, installation, testing and inspection

Дата введения _____

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт устанавливает требования к проведению оценки, проектированию, выполнению, испытанию и контролю выполненных на основе композитных материалов ремонтных систем, применяемых в качестве метода ремонта подвергшихся воздействию коррозии или поврежденных трубопроводов и технологического оборудования на объектах нефтедобывающей, нефтеперерабатывающей, нефтехимической, газодобывающей, газоперерабатывающей, газотранспортной, газораспределительной, энергетической отраслях промышленности, инженерных сетей бытового и промышленного назначения.

1.2 Процедуры, описанные в настоящем стандарте, относятся к ремонту металлических и армированных стекловолокном пластмассовых трубопроводных сетей, их компонентов, технологического оборудования, эксплуатируемых в соответствии со стандартами: ГОСТ 32569, ГОСТ Р 51164, ГОСТ Р 54907, ГОСТ Р 54983, ГОСТ Р 55474, ГОСТ Р 55077 и СП 36.13330.2012.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 9.402 Единая система защиты от коррозии и старения. Покрытия лакокрасочные. Подготовка металлических поверхностей к окрашиванию

ГОСТ ISO 1167-1 Трубы, соединительные детали и узлы соединений из термопластов для транспортирования жидких и газообразных сред. Определение стойкости к внутреннему давлению. Часть 1. Общий метод

ГОСТ ISO 1167-2 Трубы, соединительные детали и узлы соединений из термопластов для транспортирования жидких и газообразных сред. Определение стойкости к внутреннему давлению. Часть 2. Подготовка образцов труб

ГОСТ ISO 1167-3 Трубы, соединительные детали и узлы соединений из термопластов для транспортирования жидких и газообразных сред. Определение стойкости к внутреннему давлению. Часть 3. Подготовка элементов соединений

ГОСТ ISO 1167-4 Трубы, соединительные детали и узлы соединений из термопластов для транспортирования жидких и газообразных сред. Определение стойкости к внутреннему давлению. Часть 4. Подготовка узлов соединений

ГОСТ 2789 Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики

ГОСТ 24621 Пластмассы и эбонит. Определение твердости при вдавливании с помощью дюрометра (твердость по Шору)

ГОСТ 30244 Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть

ГОСТ 32388 Трубопроводы технологические. Нормы и методы расчета на прочность, вибрацию и сейсмические воздействия

ГОСТ 32569 Трубопроводы технологические стальные. Требования к устройству и эксплуатации на взрывопожароопасных и химически опасных производствах

ГОСТ 32618.2 Пластмассы. Термомеханический анализ (ТМА). Часть 2. Определение коэффициента линейного теплового расширения и температуры стеклования

ГОСТ 32656 Композиты полимерные. Методы испытаний. Испытания на растяжение

ГОСТ 32794 Композиты полимерные. Термины и определения.

ГОСТ Р ИСО 1182 Испытания строительных материалов и изделий на пожарную опасность. Метод испытания на негорючесть

ГОСТ Р ИСО 8501-1 Подготовка стальной поверхности перед нанесением лакокрасочных материалов и относящихся к ним продуктов. Визуальная оценка чистоты поверхности. Часть 1. Степень окисления и степени подготовки непокрытой стальной поверхности и стальной поверхности после полного удаления прежних покрытий

ГОСТ Р 50779.27 Статистические методы. Распределение Вейбулла. Анализ данных

ГОСТ Р 51164 Трубопроводы стальные магистральные. Общие требования к защите от коррозии

ГОСТ Р 54560 Трубы и детали трубопроводов из реактопластов, армированных стекловолокном, для водоснабжения, водоотведения, дренажа и канализации. Технические условия

ГОСТ Р 54907 Магистральный трубопроводный транспорт нефти и нефтепродуктов. Техническое диагностирование. Основные положения

ГОСТ Р 54983 Системы газораспределительные. Сети газораспределения природного газа. Общие требования к эксплуатации. Эксплуатационная документация

ГОСТ Р 55077 Трубы и детали трубопроводов из реактопластов, армированных стекловолокном. Методы определения химической стойкости внутренней поверхности в условиях нагружения

ГОСТ Р 55474 Системы газораспределительные. Требования к сетям газораспределения. Часть 2. Стальные газопроводы

ГОСТ Р 56761 Композиты полимерные. Метод определения твердости по Барколу

ГОСТ Р 56799 Композиты полимерные. Метод определения механических характеристик при сдвиге на образцах с V-образными надрезами

ГОСТ Р 57066 Композиты полимерные. Метод определения прочности при сдвиге клеевого соединения внахлест

СП 36.13330.2012 Магистральные трубопроводы. Актуализированная редакция СНиП 2.05.06-85*

СП 40-102-2000 Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов. Общие требования

Примечание – При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов (сводов правил и/или классификаторов) в информационной системе общего пользования – на официальном сайте федерального органа исполнительной власти в сфере стандартизации в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячно издаваемого информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт (документ), на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта (документа) с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт (документ), на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта (документа) с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт (документ), на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт (документ) отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 32794, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **дефект типа А** (defect type A): Дефект ремонтируемого объекта, не являющийся сквозным и не имеющий предпосылок для обращения в сквозной дефект на протяжении расчетного срока эксплуатации ремонтной системы.

3.2 **дефект типа Б** (defect type B): Сквозной дефект либо дефект внутри ремонтируемого объекта, при котором в конце эксплуатационного срока ремонтной системы остаточная толщина стенки составляет менее 1 мм.

3.3 **инородные включения** (foreign matter): включения, не входящие в состав ремонтной системы.

3.4 **оператор по монтажу** (installer): Лицо, обладающее надлежащей квалификацией для установки композитной ремонтной системы.

3.5 **срок эксплуатации** (defined lifetime): Фактический срок эксплуатации установленной ремонтной системы, либо ресурс эксплуатации композитной системы.

3.6 **последующее отверждение** (post cure): Дополнительное отверждение при повышенной температуре, без приложения давления, применяемое для улучшения физико-механических характеристик матрицы и/или завершения процесса отверждения или для уменьшения процентного содержания летучих веществ.

3.7 **производитель ремонтной системы** (repair system manufacturer): Компания, проектирующая и производящая ремонтную систему.

3.8 **расслоение** (delamination): Разделение между слоем ремонтного ламината и ремонтируемого объекта, либо разделение между слоями ремонтного ламината.

3.9 **расчетный срок эксплуатации** (design lifetime): Максимальный срок эксплуатации установленной композитной системы.

3.10 **ремонтируемая поверхность** (substrate): Поверхность, на которой выполняется ремонт.

3.11 **ремонтная система** (repair system): Система, включающая в себя композитный материал, средства герметизации, завершающий слой.

3.12 **риск** (risk): Событие, которое может случиться (сценарий), и возможность его возникновения (вероятность), и уровень или степень повреждений (последствия).

3.13 **руководитель работ** (supervisor): Опытный специалист монтажных работ, квалификация которого подтверждена документом о прохождение обучающего курса для руководителей работ.

3.14 **складка** (wrinkle): Волнистая поверхность, либо явно выраженная борозда в композитном ламинате, созданная сминанием армирующего волокна в процессе нанесения.

3.15 **слой** (layer): Отдельный слой либо оборот композитного ламината

3.16 **случайная нагрузка** (occasional load): Нагрузка, редко возникающая и действующая в течение короткого времени.

Примечание – Случайные нагрузки обычно возникают менее 10 раз в течение срока эксплуатации компонента трубопровода, и время воздействия каждой нагрузки составляет менее 30 минут.

3.17 **средства герметизации** (Sealing tools): конструкции и материалы, применяемые для временного устранения утечки.

3.18 **твердость по Барколу** (Barcol hardness): Значение твердости поверхности, полученное в соответствии с ГОСТ Р 56761-2015.

3.19 **твердость по Шору** (Shore hardness): Значение твердости поверхности, полученное в соответствии с ГОСТ 24621.

3.20 **деформационная теплостойкость** (deflection temperature under load): Температура, при которой образец будет отклоняться на установленное расстояние под установленной нагрузкой при изгибе в указанных условиях испытания.

3.21 **температура квалификационного испытания** (qualification test temperature): Температура, при которой выполняется квалификационное испытание ремонтной системы.

3.22 **температура стеклования полимера (температура стеклования) T_g** (glass transition temperature): Температура, при которой аморфный полимер изменяет свои свойства в результате фазового перехода из стеклообразного состояния в высокоэластичное или вязкотекучее состояние.

3.23 **температурный график отверждения** (cure schedule): График достижения расчетной температуры стеклования, либо температуры тепловой деформации.

3.24 **термореактивная связующая система** (termoset resin system): Связующая система, возврат которой в пластичное состояние и повторное формирование после полимеризации невозможны.

3.25 **технологический трубопровод, система технологических трубопроводов** (piping, piping system): Система компонентов технологического трубопровода для транспортировки жидкостей и газов в пределах производственного объекта.

Примечание – К компонентам относятся, например, труба, фитинги, фланцы, уплотнения, болтовые соединения, трубная арматура.

3.26 **трещина** (crack): Раскол ремонтного ламината, распространяющийся сквозь стенку (перпендикулярно поверхности) таким образом, что видны две разошедшиеся поверхности.

3.27 **трубопровод** (pipeline): Труба и компоненты, подчиняющиеся одинаковым проектным условиям, используемые для транспортировки жидкостей и газов.

Примечание – К компонентам относятся, например, отводы, фланцы, трубопроводная арматура.

3.28 **установщик ремонтной системы** (repair system installer): Компания, осуществляющая монтаж ремонтной системы.

3.29 **утечка** (leak): Состояние ремонтируемой поверхности, допускающее контакт содержимого с (композитным) ремонтным ламинатом и непосредственное воздействие на него.

Примечание – Это не относится к утечкам через отверстия или проходы в ремонтируемом материале.

3.30 **компрессионная лента** (заменить на *компрессионная лента*)(finishing materials): Последний слой материала, который осуществляет фиксацию композитного материала, как правило, полимерная плёнка или ткань.

4 Сокращения

В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

AFRP (aramid-fibre-reinforced plastic) – армированная арамидным (ароматическим полиамидным) волокном пластмасса;

CFRP (carbon-fibre-reinforced plastic) – армированная углеродным волокном пластмасса;

FRP (fibre-reinforced plastic) – армированная волокном пластмасса;

GRP (glass-reinforced plastic) – армированная стекловолокном пластмасса;

HDT (heat distortion temperature) – температура тепловой деформации;

MAWP (maximum allowable working pressure) – максимально допустимое рабочее давление.

5 Общие положения

Процедуры оценки, проектирования, монтажа, испытания и контроля ремонтных систем применяют при ремонте подвергшихся воздействию коррозии или поврежденных трубопроводных сетей, технологического оборудования и систем инженерных коммуникаций.

Проектирование ремонтной системы осуществляется под конкретный тип подлежащего ремонту дефекта.

5.1 Применения ремонтной системы

5.1.1 Ремонтные системы используют для восстановления требуемого уровня конструктивной целостности ремонтируемого объекта. Ремонтные системы применяют в следующих случаях:

– внешняя коррозия со сквозным или поверхностным дефектом;

– внешние повреждения, такие как вмятины, бороздки и фреттинг-износ (в месте контакта с опорой);

– внутренняя коррозия, эрозия со сквозным или поверхностным дефектом;

– дефекты в виде трещин, как сквозные так и не сквозные;

– упрочнение и/или повышение жесткости на отдельных участках.

Возможность и целесообразность применения ремонтной системы для устранения иных видов дефектов требует отдельной конструкторско-технологической оценки.

5.1.2 Стандартные типы дефектов, допустимые к устранению посредством применения ремонтных систем приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Перечень основных типов дефектов

Тип дефекта	Применимость ремонтной системы (металлические трубы)	Применимость ремонтной системы (трубы GPR)
Общее утонение стенки	Да	Да
Локальное утонение стенки	Да	Да
Точечная коррозия	Да	Да
Бороздки/вмятины	Требует рассмотрения	Требует рассмотрения
Раковины	Да	Требует рассмотрения
Расслоения	Да	Требует рассмотрения
Кольцевые трещины	Да	Требует рассмотрения
Продольные трещины	Требует рассмотрения	Требует рассмотрения
Сквозные отверстия	Да	Требует рассмотрения

5.2. Виды ремонтных объектов и состав применяемых материалов

5.2.1 Ремонтную систему применяют на объектах, в перечень используемых технологических сред которых входят:

– нефть и нефтепродукты;

– химические реагенты (в жидком состоянии);

– жидкие и газообразные углеводороды, газовые конденсаты;

– вода (в том числе морская);

– хозяйственно-бытовые стоки;

– воздух.

Условия транспортировки указанных сред должны удовлетворять требованиям раздела 6.

5.2.2 К композитным материалам, входящим в состав ремонтного ламината, относятся материалы с арамидными (AFRP), углеродными (CFRP), стеклянными (GRP) или полиэфирными волокнами (или аналогичным материалом) в качестве армирующего наполнителя и полимерной матрицы на основе полиэфирной, винилэфирной, эпоксидной или полиуретановой смолы.

Применение иных видов наполнителя и полимерной матрицы допускается только при условии прохождения ими квалификационных испытаний.

5.2.3 Ремонтную систему используют для проведения ремонтных работ трубопроводных сетей и резервуаров, изготовленных с применением следующих материалов:

– углеродистая сталь;

– сталь с содержанием 6 % молибдена;

– нержавеющая сталь;

– дуплексная сталь;

– GRP;

– медно-никелевый сплав;

– алюминий;

– оцинкованная сталь;

– титан.

5.2.4 При проведении ремонтных работ трубопроводных сетей, резервуаров и оборудования, изготовленных на основе GRP, следует учитывать, что повреждение

внутренней поверхности трубы может иметь большие размеры по сравнению с повреждением наружной поверхности.

5.3 Оценка ремонтной системы

5.3.1 Оценку соотвествия ремонтной системы требованиям настоящего стандарта производит ответственное должностное лицо организации, эксплуатирующей объект, подлежащий ремонту, посредством изучения протоколов квалификационных испытаний, проведенных производителем ремонтной системы.

5.3.2 Квалификационные испытания проводятся на образце, состав и физико-химические свойства которого соответствуют составу и физико-химическим свойствам ремонтируемого объекта. Метод подготовки поверхности образца испытаний должен соответствовать методу подготовки поверхности ремонтируемого объекта.

5.4 Этап сбора данных

5.4.1 Владелец ремонтируемого объекта предоставляет производителю ремонтной системы информацию:

— характер дефектов объекта, данные их обследования и ограничения по подготовке поверхности;

— величина проектной и/или рабочей температуры и давления, воздействию которого подвергается объект;

— сведения о возможных нештатных нагрузках на объект (например, очистка линии паром, возможный гидравлический удар и т.п.);

— обзор условий выполнения работ.

5.4.2 Сведения о режиме работы объекта, подлежащего ремонту, температуру ремонтируемой поверхности и влажность окружающей среды на момент проведения ремонта, а также обзор условий выполнения ремонтных работ, владельц объекта, подлежащего ремонту, предоставляет производителю ремонтной системы заблаговременно, до начала проведения ремонтных работ.

5.4.3 До начала проектирования/установки ремонтной системы владельцу объекта, подлежащего ремонту, рекомендуется выполнить фотографическую съемку его дефектных участков с последующим предоставлением результатов съемки поставщику ремонтной системы.

5.5 Проектирование ремонтной системы

5.5.1 Проектирование выполняют для дефекта типа А согласно Приложению А, для дефекта типа Б согласно Приложению Б.

5.5.2 Линейные размеры ремонтной ситемы должны превышать линейные размеры дефекта.

5.5.3 Срок эксплуатации ремонтной системы расчитывают по 6.3.

5.5.4 При ремонте трубопроводных систем и оборудования, на которых наблюдается внутренняя коррозия либо эрозия, следует учитывать ожидаемые размеры дефекта, на конец срока эксплуатации композитной ремонтной системы.

5.6 Обучение установщика ремонтной системы

Установщики ремонтной системы должны пройти предварительное обучение по установке ремонтной системы в условиях, приближенных к условиям проведения работ на ремонтируемом объекте. Требования к квалификации персонала приведены в Приложении В.

5.7 Монтаж ремонтной системы

5.7.1 Процедура подготовки ремонтируемой поверхности должна быть проведена в соответствии с требованиями проекта на проведение работ. Ремонтируемая поверхность должна быть сухой и иметь температуру выше точки росы, либо соответствовать параметрам, подтвержденным в ходе квалификационных испытаний.

5.7.2 В процессе выполнения работ рекомендуется выполнять фотографическую съемку процесса установки ремонтной системы.

5.7.3 Протоколы параметров качества и фотографические изображения (при наличии таковых) после завершения установки композитной ремонтной системы предоставляются владельцу ремонтируемого объекта.

5.7.4 Края композитной ремонтной системы в местах их контакта с основным металлом подлежат защите противокоррозионным покрытием.

5.8 Контроль и техническое обслуживание композитной ремонтной системы

5.8.1 После установки композитной ремонтной системы следует проводить ее инспекцию на регулярной основе в целях обеспечения герметичности композитной

ремонтной системы и подтверждения ее функционирования в рамках допусков, указанных в проектной документации.

5.8.2 По истечению(окончанию) срока эксплуатаци необходимо выполнить одно из следующих действий:

– демонтировать катушку трубы, где располагается композитная ремонтная система;

– демонтировать композитную ремонтную систему,

– провести повторную валидацию эксплуатационного срока по 6.3 и 6.6.

6 Оценка и проектирование

6.1 Оценка целесообразности выполнения композитного ремонта

6.1.1 В ходе оценки целесообразности планирования и выполнения композитного ремонта владельцем ремонтируемого объекта и поставщиком композитной ремонтной системы должны быть рассмотрены следующие факторы:

– характер и месторасположение дефекта;

– проектные и рабочие условия ремонтируемого объекта и содержимого (включая давление, температуру, размеры и их комбинацию);

– расчетный срок эксплуатации ремонтной системы (см. 6.3);

– геометрия ремонтируемого объекта;

– опасности, связанные с эксплуатацией системы;

– наличие персонала необходимой квалификации;

– трудоемкость операций подготовки поверхности;

– поведение при резком отклонении параметров и возникновении наиболее вероятных и существенных аварийных ситуаций, включая удар, истирание, возгорание, взрыв, столкновение или воздействие факторов окружающей среды;

– оперативные мероприятия, включая (если применимо) разрешительную документацию, контроль газовой среды, требования к противопожарной защите для обеспечения безопасности в зоне ремонта и вокруг нее;

– возможность контроля (визуального и неразрушающего) и технического обслуживания;

– материалы ремонтной системы.

6.1.2 Информация и данные, описывающие все потенциальные опасности, должны быть включены в план производства работ (см. 7.2.1).

6.1.3 Целью оценки является определение класса ремонта (см. 6.2), который определяет особенности используемой методики проектирования (см. 6.5) и требования к сопроводительной документации. При этом также устанавливаются границы проектирования или коэффициент запаса прочности.

6.2 Класс ремонта

6.2.1 Каждый ремонтный случай должен быть отнесен к определенному классу ремонта из представленных в таблице 2.

Таблица 2 – Классы ремонта

Класс ремонта	Типовое применение	Проектное давление	Проектная температура
Класс 1	Низкие значения эксплуатационных параметров, например, гидростатический напор, дренаж, охлаждающий агент, морская (техническая) вода	< 2,0 МПа	< 40 °С
Класс 2	Системы пожарного водоснабжения и дренчерного пожаротушения	< 2,0 МПа	< 100 °С
Класс 3	Промысловые воды, углеводороды, воспламеняющиеся жидкости и газы. Класс 3 также распространяется на условия эксплуатации, являющиеся более тяжелыми, чем указанные для Классов 1 и 2.	Ограничено ремонтными системами, спроектированными в соответствии с данным стандартом и при толщине ремонтной системы < D/12.	Определяют по 6.5.3

6.2.2 Ремонты Класса 1 выполняются при проектном давлении до 2,0 МПа и проектной температуре до 40 °С, и относятся к большинству систем инженерных ком-

муникаций. Данный класс предназначен для систем, которые не представляют прямой опасности для персонала и не относятся к критическим с точки зрения безопасности.

6.2.3 Ремонты Класса 2 выполняются при проектном давлении до 2,0 МПа и проектной температуре до 100 ^{o}C, исключая углеводороды. Данный класс предназначен для систем, имеющих значимые с точки зрения безопасности функции.

6.2.4 Ремонты Класса 3 применимы для всех типов жидких продуктов и давлений, вплоть до максимально допустимого по результатам оценки. Данный класс предназначен для систем транспортировки добываемых жидких продуктов.

6.2.5 Все случаи ремонта с более тяжелыми условиями выполнения и не вошедшие в данную классификацию должны быть отнесены к Классу 3.

6.2.6 Максимальное предельное значение давления зависит от типа дефекта (внутренний, внешний, сквозной), размеров дефекта (глубина и степень развития), диаметра трубы, проектной температуры и проектного срока эксплуатации ремонтной системы.

6.3 Расчетный срок эксплуатации

6.3.1 Срок эксплуатации ремонтной системы (в годах) указывает владелец ремонтируемого объекта в таблице спецификации проектных данных по ремонту, по форме приложения Г. Он может быть ограничен типом дефекта и условиями эксплуатации, например, наличием внутренней коррозии.

6.3.2 Минимальный срок эксплуатации ремонтной системы должен составлять 2 года.

Малые расчетные сроки эксплуатации (2 года) предназначены для тех случаев, когда ремонт проводится с целью сохранить работоспособность узла до очередной остановки для планового ремонта.

Длительные сроки эксплуатации (до 20 лет) целесообразны в тех случаях, когда ремонт проводят для восстановления проектного срока эксплуатации ремонтного объекта до исходного значения или продления проектного срока эксплуатации на определенный период.

6.3.3 Расчетный срок эксплуатации является максимальным сроком для системы после установки в конкретных условиях.

6.3.4 По истечении расчетного срока эксплуатации ремонтной системы владелец должен либо удалить ремонтную систему, либо пересмотреть срок ее эксплуатации согласно процедуре, описанной в 8.5.

6.4 Вводные данные

6.4.1 Для проведения ремонта необходимо собрать определенные данные. Они должны отвечать требованиям, установленным при оценке степени риска. Владелец оборудования должен предоставить исходную проектную документацию на оборудование, данные об эксплуатации и обслуживании оборудования. Поставщик ремонтной системы должен предоставить данные об оценке материалов. Проверка комплектности указанной информации должна быть частью оценки целесообразности применения композитной ремонтной системы. Форма спецификации проектных данных приведена в приложении Г.

6.4.2 В данные на исходную проектную документацию на оборудование включают:

— спецификацию на технологические трубопроводы или другую документацию, представляющую информацию о проектных параметрах трубопровода и описание класса трубопроводной системы, включая спецификацию материала, толщину стенки, диапазоны давления и температуры;

— чертежи технологических трубопроводов в изометрической проекции, а также, если целесообразно, результаты расчетов гибкости трубопроводов;

— спецификацию всех рабочих механических нагрузок, не указанных ранее, включая нагрузки при внештатных ситуациях;

— исходные проектные расчеты;

— нормативно-правовые требования, например, пожарная безопасность.

6.4.3 В данные о техническом обслуживании и эксплуатации оборудования включают:

— документацию на все изменения условий эксплуатации, включая давление, температуру, транспортируемые жидкие продукты и интенсивности коррозии;

— последние значения параметров эксплуатации;

— перечень всех изменений и проведенных ремонтов на данном ремонтируемом объекте;

— протоколы осмотров с подробной информацией о характере и размерах дефекта, подлежащего ремонту.

6.4.4 В данные на условия эксплуатации включают:

— требования к продолжительности эксплуатации/ожидаемый расчетный срок эксплуатации ремонтной системы;

— заданные значения проектного и рабочего давления (внутреннего и внешнего), температуры;

— ожидаемые будущие условия эксплуатации;

— если применимо, максимально допустимое рабочее давление, рассчитанное в соответствии с требованиями ГОСТ 32388 или другими применимыми стандартами.

Этот расчет должен быть произведен с учетом текущих условий и дальнейшего ухудшения характеристик в будущем.

6.4.5 Документация и данные об оценке ремонтной системы, которые должны быть предоставлены поставщиком, приведены в таблице 3.

Подробные данные об оценке ремонтной системы предоставляет поставщик по форме приложения Б.

Таблица 3 – Требования к документации и данным

Предоставляемые документы	Класс 1	Класс 2	Класс 3
Документация и данные о материале	да	да	да
Документация по подготовке поверхности	да	да	да
Результаты кратковременного испытания	да	да	да
Результаты долговременного испытания	нет	да	да

6.4.5.1 Документация на используемые материалы должна содержать сведения об используемых смолах и армирующих материалах, и стандартах, по которым они поставляются. Также должны быть предоставлены основные данные о совместимости материалов с условиями эксплуатации оборудования. Должно быть обеспечено, что любое химическое взаимодействие смол (и соответствующих отвердителей) с ремонтируемой поверхностью не вызовет дальнейшего ухудшения характеристик ремонтируемого объекта. Следует уделять внимание используемым ламинатом CFRP и возможности возникновения контактной (гальванической) коррозии ремонтируемой поверхности.

6.4.5.2 Прочность многослойного покрытия под нагрузкой в значительной степени определяется качеством подготовки поверхности. В документацию должна быть включена детальная процедура подготовки поверхности в том виде, в котором данная процедура выполнялась при квалификационных испытаниях.

6.4.5.3 Результаты кратковременного испытания должны содержать значения прочности на растяжение и модуля упругости на растяжение, как в осевом, так и в окружном направлении, а также прочности соединения (силы адгезии) ремонтного покрытия с ремонтируемой поверхностью.

6.4.5.4 Результаты долговременного испытания на прочность при сдвиге клеевого соединения внахлест должны содержать значения прочности соединения ремонтного ламината с ремонтируемой поверхностью и, по усмотрению, значение предельного относительного удлинения ремонтного ламината. Испытание определяется как долговременное, если его продолжительность составляет 1 000 ч или более, и при этом испытательный образец подвергался воздействию воды и температуре, равной либо превышающей расчетную температуру. При температуре свыше 100 °С окружающая среда может быть обезвожена.

В таблице 4 приведены требования к квалификационным испытаниям композитной ремонтной системы, детальное описание которых приведено в приложении Д.

Таблица 4 – Требования к квалификационным испытаниям

Параметры	Свойство материала	Метод испытания
Механические характеристики	Модуль упругости при растяжении	ГОСТ 32656
	Коэффициент Пуассона	ГОСТ 32656
	Модуль сдвига	ГОСТ Р 56799
	Средний коэффициент линейного теплового расширения	ГОСТ 32618.2
	Твердость по Барколу или по Шору	ГОСТ Р 56761 или ГОСТ 24621
Адгезионная прочность	Прочность при сдвиге клеевого соединения внахлест	ГОСТ Р 57066
Эксплуатационные характеристики	Прочность при длительной нагрузке (по усмотрению)	Приложение Е
	Скорость высвобождения энергии (по усмотрению)	Приложение Ж
	Кратковременное испытание на работоспособность трубной катушки (по усмотрению)	Приложение И

Окончание таблицы 4

Эксплуатационные характеристики	Ударопрочность	Приложение К
	Коэффициент понижения/снижения эксплуатационных характеристик	Приложение Л

6.5 Методология проектирования

6.5.1 Обзор методологии

6.5.1.1 Существует два основных типа дефектов:

– проектный вариант дефект типа А (несквозной дефект);

– проектный вариант дефект типа Б (сквозной дефект).

6.5.1.2 Дефект типа А ремонтируемого объекта, не является сквозным и не превращается в сквозной в течение срока эксплуатации ремонтной системы, требует только структурного усиления конструкции. Должен использоваться один из трех методов проектирования на основе:

– распределения нагрузки (согласно А.1 приложения А);

– деформации ремонтного слоя (согласно А.2 приложения А);

– допустимых напряжений, значения которых получены в ходе эксплуатационных испытаний (согласно А.1 приложения А).

6.5.1.3 Дефект типа Б ремонтируемого объекта требует структурного усиления и герметизацию сквозного повреждения (утечки). Для случаев, когда ремонтируемый объект подвергается активной внутренней коррозии, параметры ремонтного покрытия должны быть рассчитаны исходя из предположения, что сквозной дефект будет иметь место, если к концу периода эксплуатации остаточная толщина стенки будет менее 1 мм. Для проектирования ремонта одновременно используют два метода:

– метод проектирования в соответствии с приложением Б;

– метод проектирования с использованием проектного варианта для дефекта типа А.

6.5.1.4 В качестве проектной толщины ремонтного материала из двух полученных значений толщины ремонтного материала должно быть выбрано наибольшее значение из проектного варианта типа А и проектных расчетов согласно приложению Б.

6.5.1.5 При проектировании также должны быть рассмотрены и, если целесообразно, использованы данные, полученные согласно приложению М. Наибольшее из вычисленных значений толщины ремонтного ламината должно быть принято в качестве проектной толщины ремонтного ламината.

6.5.1.6 Схема процесса проектирования представленна на рисунке 1. Пример расчета при проектировании композитной ремонтной системы приведен в приложении Н (для дефекта типа А и для дефекта типа Б).

6.5.2 Соответствие требованиям окружающей среды

6.5.2.1 Для ремонтной системы окружающей средой является рабочая среда, контактирующая с ремонтным ламинатом. Рабочая среда может быть как внешней, так и внутренней.

6.5.2.2 Ремонтные системы на основе композитных материалов совместимы с водными (содержащие влагу) и углеводородными средами при температуре квалификационных испытаний. В целом термореактивные смолы совместимы с достаточно широким диапазоном сред, однако особенно тщательно должны рассматриваться случаи, когда среда является сильнокислотной (pH < 3,5), сильнощелочной (pH > 11), сильносоленой или представляет собой сильный растворитель, например, метанол или толуол с концентрацией выше 25 %.

6.5.2.3 Устойчивость к ультрафиолетовому излучению и механическому износу (где целесообразно) определяют по данным поставщика смол.

6.5.2.4 Поставщик ремонтной системы предоставляет данные о совместимости ремонтной системы с рабочей средой или данные о предшествующем использовании материала, показывающие, что рабочая среда при проектной температуре является не более агрессивной, чем водная или углеводородная.

В случае, когда такие данные поставщика смолы недоступны, требуется провести специальное испытание. Для сравнения результатов воздействия на ремонтное покрытие рабочей и водной сред при проектной температуре должен использоваться метод испытаний согласно ГОСТ Р 55077. Ремонтная система признается совместимой с указанной рабочей средой, если результаты испытаний в рабочей среде не хуже, чем в водной.

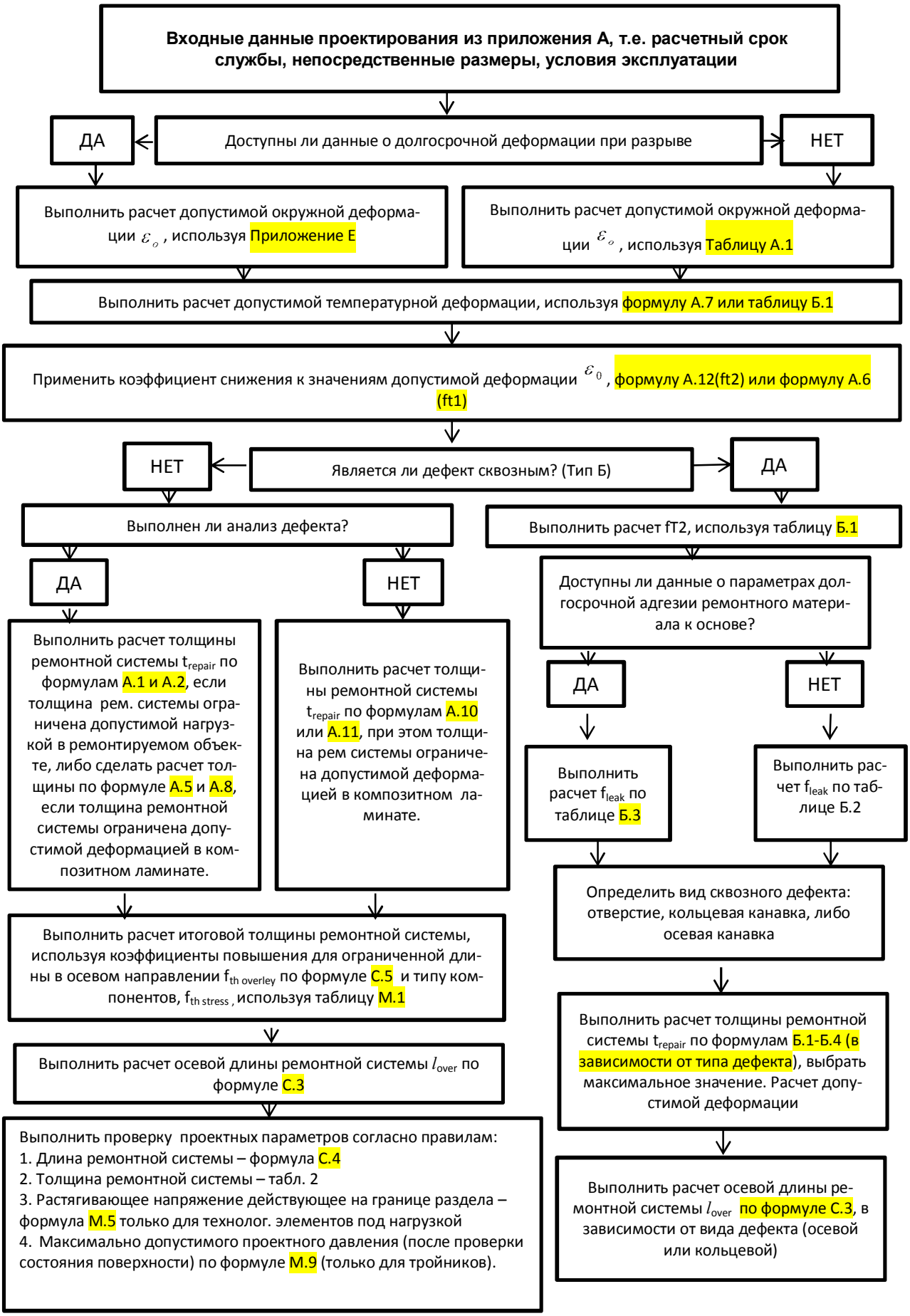


Рисунок 1 – Процесс проектирования композитной ремонтной системы

6.5.2.5 Если причиной разрушения ремонтного объекта является эрозия ввиду контакта с посторонними частицами, и ремонтный ламинат композит контактирует с источником эрозии, то под ее воздействием может происходить постепенная потеря ремонтного ламината. В этом случае поставщик ремонтной системы должен представить свидетельства соответствия проектному сроку эксплуатации, учитывая консервативную оценку потери композитного ламината вследствие эрозии. При отсутствии экспериментальных данных о скорости распространения эрозии, рекомендуется принять в качестве расчетного срока эксплуатации ремонтной системы срок не более 2 лет. Альтернативой этому является установка металлической пластины на подверженный эрозии участок перед нанесением ремонтного ламината с целью минимизации потери материала (ламината), где размеры пластины соответствуют размерам дефекта.

6.5.2.6 При рассмотрении вопроса о выполнении ремонта трубопроводов и резервуаров из пластмасс армированных стекловолокном, следует учитывать химическую реакцию между растворителем, используемым для очистки поверхности, компонентами незатвердевшей смолы ремонтной системы и материала труб/резервуаров.

6.5.3 Проектные параметры температурного воздействия

6.5.3.1 Термические свойства композитной ремонтной системы должны отвечать требованиям, представленным в таблице 5. Используемое значение температуры стеклования T_g, °C, либо температуры тепловой деформации HDT должно быть определено согласно приложению Д для композитных ремонтных систем, затвердевание которых предусматривается при температуре, не превышающей расчетную температуру композитной ремонтной системы T_d, °C.

Таблица 5 – Требования к температурным параметрам ремонтной системы

<table>
<tr><th rowspan="2">Класс ремонта</th><th rowspan="2">Температурный предел для дефектов типа А</th><th colspan="2">Температурный предел для дефектов типа Б</th></tr>
<tr><th>Расчетный срок эксплуатации не более 2 лет</th><th>Расчетный срок эксплуатации более 2 лет</th></tr>
<tr><td>Класс 1
Класс 2</td><td rowspan="2">$T_g \geq T_d$ +20 °C
HDT ≥ T_d + 15 °C</td><td colspan="2">$T_g \geq T_d$ + 20 °C
HDT ≥ T_d + 15 °C</td></tr>
<tr><td>Класс 3</td><td>$T_g \geq T_d$ + 20 °C
HDT ≥ T_d + 15 °C</td><td>$T_g \geq T_d$ + 30 °C
HDT ≥ T_d + 20 °C</td></tr>
</table>

6.5.3.2 До начала ремонта составляют график отверждения в виде температурно-временной зависимости. Расчетная температура композитной ремонтной системы определяется исходя из температуры стеклования T_g. Если материал композитной ремонтной системы не претерпевает стеклования в силу своих физико-химических свойств, то температурный предел устанавливается исходя из величины HDT. Квалификационные испытания служат для определения значений T_g либо HDT, соответственно.

6.5.3.4 Твердость может выступать в качестве критерия оценки затвердевания, если таковые измерения проводятся, при этом она должна составлять не менее 90 % от минимальной твердости композитной ремонтной системы, полученной в ходе квалификационных испытаний (см. таблицу 4). Для систем класса 3 твердость не может являться единственным критерием затвердевания, следует также учитывать температурный график отверждения.

6.5.3.5 Для дефекта типа А ремонтируемого объекта, температурный предел можно понизить до T_g - 20 °С либо HDT - 15 °С.

6.5.3.6 Сводные данные по определению верхнего температурного предела при отверждении приведены в таблице 6.

Т а б л и ц а 6 – Максимальная рабочая температура ремонтной системы

Класс ремонта	Максимальная рабочая температура ремонтной системы для дефектов типа А T_m, °С	Максимальная рабочая температура ремонтной системы для дефектов типа В T_m, °С	
		Расчетный срок эксплуатации не более 2 лет	Расчетный срок эксплуатации более 2 лет
Класс 1 Класс 2	T_g – 20 °С HDT – 15 °С	T_g – 20 °С HDT – 15 °С	Tg – 20 °С / HDT – 15 °С
Класс 3			T_g – 30 °С / HDT – 20 °С

6.6 Повторная оценка композитной ремонтной системы

6.6.1 Общие положения

При внесении изменений и дополнений в ремонтную систему должны быть повторно проведены испытания по 6.6.2 и 6.6.3.

Если модифицированная ремонтная система имеет более низкие эксплуатационные характеристики по сравнению с исходной ремонтной системой, то она должна рассматриваться как новая и подтверждаться в соответствии с 6.4.5.

Если модифицированная ремонтная система имеет более высокие эксплуатационные характеристики по сравнению с исходной ремонтной системой, то она может рассматриваться как новая и подтверждаться в соответствии с 6.4.5, либо могут использоваться квалификационные данные исходной ремонтной системы.

6.6.2 Композитные муфты для дефектов типа А

Испытания для повторной оценки включают испытания, указанные в приложении Д.

Если ремонтная система была утверждена в соответствии с Д.6, должны быть проведены испытания на сохранение работоспособности в процессе эксплуатации, установленные в приложении Е.

6.6.3 Композитные муфты для дефектов типа Б

Испытания для повторной оценки включают испытания, указанные в приложении Д (Д.2. и Д.3).

Следует отметить, что необходимо провести только три испытания, результаты которых должны быть сравнимы с γ_{LCL} исходной ремонтной системы, приложение Ж (Ж.4).

7 Выполнение ремонта

7.1 Условия хранения

7.1.1 Хранение материалов должно соответствовать инструкциям производителя ремонтной системы. Все материалы должны быть снабжены этикетками с информацией, относящейся к охране здоровья и технике безопасности, номером партии, сроком годности.

7.1.2 в целях избежания конденсация влаги вследствие снижения температуры до точки росы или перемещения материалов между зонами с разной температурой при хранении армирующих материалов должен проводиться контроль температуры.

7.1.3 Утилизация материалов с истекшим сроком годности должна производиться в порядке, предусмотренном законодательством, и в соответствии с рекомендациями производителя ремонтной системы.

7.2 Документация, необходимая для установки композитной муфты

7.2.1 План производства работ

7.2.1.1 Для каждого ремонтного объекта составляют план производства работ, который описывает каждую процедуру, выполняемую перед и во время установки ремонтной системы.

7.2.1.2 Поставщик композитной ремонтной системы предоставляет информацию для составления плана производства работ:

- охрана здоровья и техника безопасности, включая:

  а) перечень используемых материалов и копии паспортов безопасности и заключений о соответствии нормам и правилам по предупреждению воздействия вредных веществ;

  б) информация о необходимых мерах по обеспечению безопасности;

  в) перечень опасных ситуаций, связанных с ремонтируемым и близко расположенным оборудованием, и меры по обеспечению защиты;

- обеспечение/контроль качества, включая:

  а) план контроля/обеспечения качества;

  б) подробное описание этапов технологического процесса/контрольных точек процедуры выполнения ремонта (см. 7.4);

- процедура установки композитной ремонтной системы – включая общее описание процедуры установки композитной ремонтной системы;

- охрана окружающей среды, включая информацию об утилизации неиспользованных материалов.

7.2.2 Комплект технической документации

7.2.2.1 Установщик ремонтной системы предоставляет владельцу ремонтируемого объекта пакет технической документации, которая относится непосредственно к

процедурам, выполняемым перед и во время установки композитной ремонтной системы:

– техническое задание, которое содержит подробное описание проектных условий и состояние ремонтируемого элемента во время выполнения ремонта;

– документация по общим требованиям безопасности при проведении работ, а также паспорта и сертификаты на используемые материалы;

– анализ рисков, содержащий протоколы рабочих собраний по технике безопасности на рабочем месте;

– описание процедуры ремонта – чертеж планируемого ремонта, значения толщин, размеров ремонтного покрытия и график отверждения;

– документы, подтверждающие квалификацию персонала (см. приложение В), выполняющего ремонт, с информацией о наличии/отсутствии необходимости в присутствии специалиста по контролю за качеством монтажа при выполнении конкретных работ;

– руководство по установке композитной ремонтной системы, в том числе поправки к инструкциям общего характера, вошедшие в план производства работ. Инструкции должны содержать следующие данные:

а) приемлемые условия окружающей среды на месте работ во время выполнения ремонта;

б) условия хранения материалов;

в) подготовка поверхности;

г) порядок смешивания связующих компонентов;

д) нанесение ламината в соответствии с геометрическими характеристиками;

е) процедура упрочнения ремонтного покрытия (замачивание волокон);

ж) график отверждения согласно 6.5.3;

и)ключевые этапы технологического процесса.

– документы по обеспечению качества, включая План контроля/обеспечения качества, содержащийся в плане производства работ, например, испытания материалов, которые следует провести, если таковое требует владелец ремонтируемого объекта (см. приложение Д);

– документы, подтверждающие квалификацию персонала, выполняющего установку ремонтной системы, в том числе перечень установщиков ремонтной системы и соответствующих аттестационных документов.

7.2.2.2 Детальное описание требований к установке ремонтной системы приведены в приложении П.

7.2.2.3 Поставщики ремонтных систем должны предоставить подробные инструкции по выполнению ремонта.

7.3 Квалификация персонала, выполняющего ремонт

Персонал, выполняющий ремонтные работы, должен пройти обучение и аттестацию в соответствии с приложением В.

7.4 Порядок установки композитной муфты

7.4.1 Ключевые этапы технологического процесса, которые необходимо контролировать при нанесении ремонтной системы зависят от класса ремонта и обобщены в таблице 7.

Таблица 7 – Этапы технологического процесса во время нанесения ремонтной системы

Этап технологического процесса	Класс	Осуществляет проверку
Проект производства работ	Все классы	Персонал, выполняющий ремонт
Подготовка материалов	Все классы	Персонал, выполняющий ремонт
– армирующий наполитель	Все классы	
– смола	Все классы	
Условия окружающей среды – относительная влажность – точка росы – температура поверхности ремонтируемого элемента	 Все классы Все классы Все классы	Персонал, выполняющий ремонт
Подготовка поверхности		
– осмотр	Все классы	Персонал, выполняющий ремонт (класс 1)
– проверка профиля поверхности	Класс 3	Специалист по контролю за качеством монтажа

Окончание таблицы 7

– механический тест (штриховой тест)	Класс 3	
Профиль после заполнения	Все классы (при необходимости)	Персонал, выполняющий ремонт
Поэтапный контроль ориентации армирующего волокна или полотна	Класс 3	Персонал, выполняющий ремонт
Испытания ремонтного ламината		
– испытание на твердость после отверждения (последующего отверждения) либо построение временно-температурного график по зоне ремонта	Все классы	Персонал, выполняющий ремонт
– толщина	Все классы	Специалист по контролю за качеством монтажа
– длина ремонтного покрытия в осевом направлении и длина конусного участка	Все классы	

7.5 Документация, необходимая по завершению установки

7.5.1 Установщик композитной ремонтной системы предоставляет владельцу ремонтируемого объекта документацию по завершении установки системы:

– Описание процесса ремонта с указанием следующих данных:

а) ссылочный номер ремонтной работы;

б) расположение зоны ремонта.

– Проект ремонтной системы с указанием следующих данных относительно нанесения ремонтного ламината:

а) данные проектирования (см. приложение Г) и расчеты;

б) эскиз композитной ремонтной системы;

в) количество слоев;

г) размер зоны ремонтного покрытия, включая длину ремонта в осевом направлении;

д) ориентация отдельных слоев армирующего наполнителя (может иметь вид письменного описания либо чертежа, на котором представлена стандартная информация, например, размеры нахлеста и конусообразного участка, а также длины).

– Отчетные документы по материалам, включая следующее:

а) описание поставляемой композитной ремонтной системы;

б) тип и количество смолы;

в) тип и количество армирующего материала;

г) номера партий материалов;

– Выполнение ремонта, включая:

а) подробное описание процедуры подготовки поверхности, включая метод выполнения, используемое оборудование и метод контроля/выполнения осмотров

б) подробное описание фактического размера дефекта и места его расположения;

в) подробная информация об условиях окружающей среды, в т.ч. точке росы, температуре окружающей среды, температуре ремонтируемого объекта, относительной влажности и иных параметрах, связанных с окружающей средой;

г) подробное описание процедуры заполнения неровностей для обеспечения сглаженного наружного профиля перед нанесением ламината,

д) подробная информация о временных ограничениях между этапами ремонта, например, между подготовкой поверхности и нанесением ламината,

е) подробное описание порядка смешивания смолы и отвердителя;

ж) подробное описание процедуры нанесения, включая возможность поэтапного нанесения ламината,

и) подробная информация о процедуре отверждения и сравнение с утвержденным графиком отверждения (если таковое осуществляется - как правило, только для ремонта Класса 3).

– Отчетность по контролю качества:

а) ссылочный номер ремонтной работы;

б) протокол визуального осмотра;

в) отчет об измерении толщины;

г) длина ремонтного покрытия в осевом направлении;

д) подробное описание процесса отверждения (время, температура) и, при наличии, последующего отверждения;

е) документы, касающиеся персонала, выполняющего установку композитной ремонтной системы;

ж) результаты измерений твердости по Барколу и Шору (при наличии);

и) результаты измерений дифференциальной сканирующей калориметрии (при наличии);

к) результаты измерений прочности сцепления (при наличии);

л) протоколы инспекций и результатов неразрушающего контроля (при наличии).

– Независимая инспекция, в т.ч. отчет по испытаниям (при наличии).

– Осмотр при обслуживании, в т.ч. подробное описание интервалов между осмотрами и руководство по отслеживанию состояния композитной ремонтной системы (см. раздел 8).

7.5.2 Отчетные документы подлежат хранению, как владельцем ремонтируемого объекта, так и установщиком по монтажу композитной ремонтной системы на протяжении всего срока эксплуатации ремонта.

7.6 Ремонт в режиме эксплуатации

7.6.1 Допускается выполнение ремонта несквозных дефектов в режиме эксплуатации ремонтируемого объекта при условии, что все опасные факторы учтены при оценке целесообразности установки композитной ремонтной системы (см. 6.1), например, при струйно-абразивной обработке поверхности и при наличии теплоизолирующих покрытий. При этом должны быть учтены опасности не только для ремонтируемого оборудования, но и для оборудования, расположенного в непосредственной близости от зоны ремонта.

7.6.2 Ремонт дефектов, являющихся сквозными дефектами ремонтируемого объекта, можно выполнять при условии, что возможна надежная ликвидация течей различными методами на протяжении срока эксплуатации ремонтного покрытия. Такие факторы как время отверждения и методы герметизации течей должны учитываться в расчетах толщины покрытия в соответствии с приложением Б.

7.5.3 Последующее отверждение с использованием повышенной температуры не осуществляется в режиме эксплуатации ремонтируемого объекта, в случае, если

не удается обеспечить достижение требуемой температуры последующего отверждения в ремонтном ламинате.

7.7 Ремонт хомутов, компонентов технологических трубопроводов, емкостей и резервуаров

7.7.1 Руководство по подготовке поверхности хомутов, компонентов технологических трубопроводов, емкостей и резервуаров такой же, как и для ремонта прямых труб (см. приложение П).

7.7.2 Осевой профиль ремонтного ламината при переходе от основного корпуса к элементу трубопроводной системы образует выступ, который подлежит сужению на конус в пропорции 3 (осевой) к 1 (радиально). Подробная информация о выполнении ремонта, например, о нанесении ремонтного ламината и его ориентации относительно хомутов, компонентов технологических трубопроводов, емкостей и резервуаров должна быть предоставлена поставщиком ремонтной системы. Схема краевых слоев ремонтного материала, включающая такие операции как сведение на конус, профилирование выступающих поверхностей также должна быть предоставлена поставщиком ремонтной системы.

7.8 Экологические требования

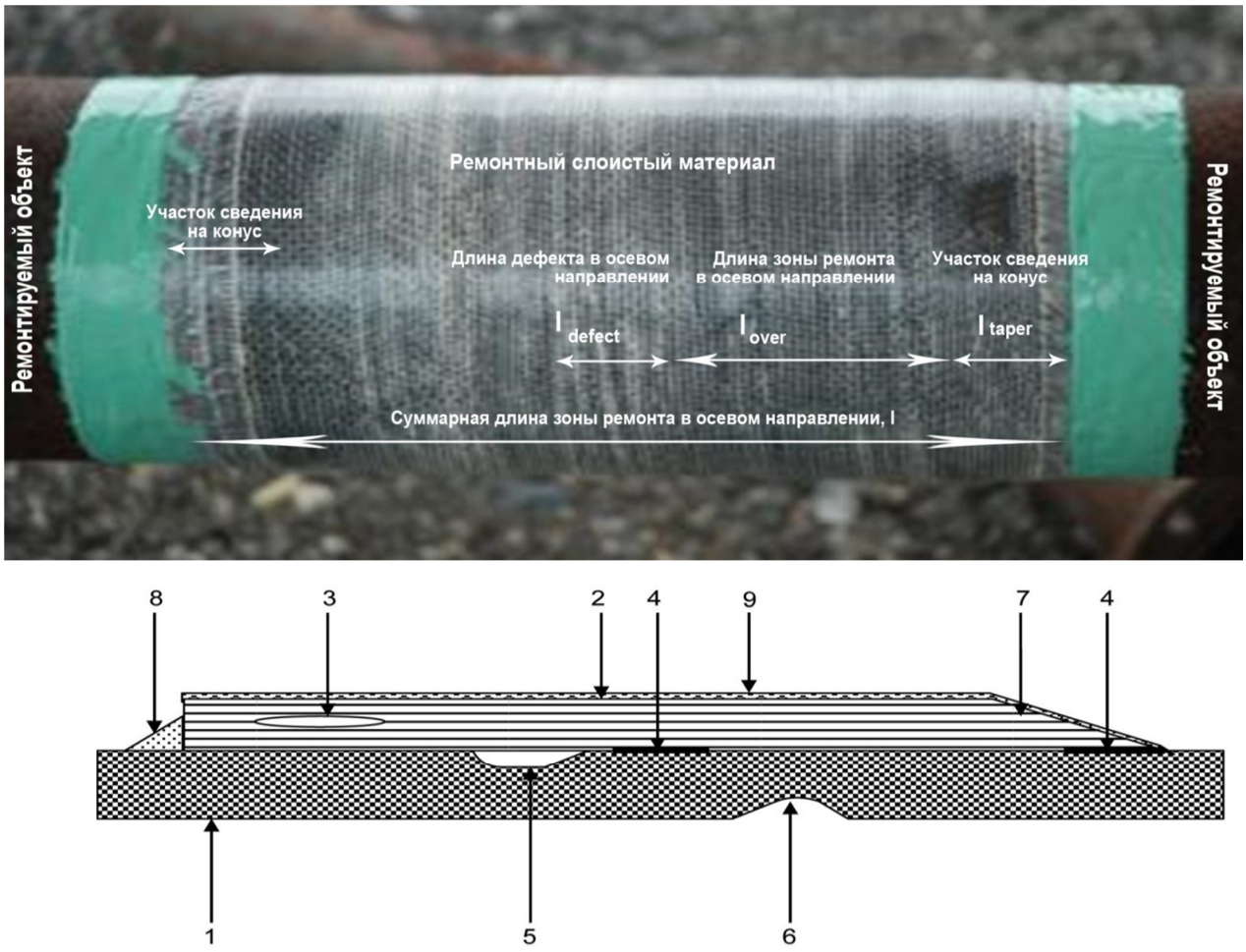
7.8.1 При выполнении работ должны использоваться только материалы, которые могут быть надлежащим образом утилизированы в соответствии с законодательством о защите окружающей среды, как описано в плане производства работ (см. 7.2)

7.8.2 Информация и процедуры утилизации неиспользованных химикатов, смол и отходов должна быть предоставлена производителем ремонтной системы. Сжигание материалов на открытом огне не допускается.

8 Испытания и контроль

8.1 Основные положения

8.1.1 В данном подразделе приведены указания по анализу состояния ремонтной системы после установки. Установка ремонтной системы не должна оказывать влияние или препятствовать проведению контроля внутренних поверхностей (например, с использованием внутритрубных инспекционных устройств).



1 - ремонтируемый объект, стенка трубы; 2 - ремонтный ламинат; 3 - внутренний дефект ламината; 4 - отслоение материала на границе раздела; 5 - дефект наружной поверхности трубы (с заполнителем); 6- дефект внутренней поверхности трубы; 7 - конусная часть ремонтного ламината (выходит за границы нахлёста l_{over}); 8 - адгезивная ткань; 9 - поверхностный слой, пропитанный смолой.

Рисунок 2 – Схема ремонтной системы (масштабирование отсутствует) и расположение дефектов

8.1.2 Основными вопросами неразрушающего контроля ремонтной системы являются:

– контроль состояния ремонтного ламината;

– контроль прочности сцепления между ремонтным ламинатом и ремонтируемой поверхностью;

– контроль состояния ремонтируемой поверхности под ремонтным ламинатом.

Базовая структура композитной ремонтной системы показана на рисунке 2.

8.2 Допустимые дефекты ремонтируемой системы

8.2.1 Типы дефектов и соответствующие им допустимые параметры для различных частей ремонтной системы перед установкой композитной ремонтной системы приведены в таблице 8 и после установки композитной ремонтной системы и при проведении сервисных работ – в таблице 9.

Таблица 8 – Проверка ремонтируемого объекта в целях контроля перед установкой композитной ремонтной системы

Часть ремонтной системы	Дефекты	Допустимые пределы
Ремонтируемый объект до нанесения ремонтного материала	Проверка соответствия материала ремонтируемого объекта применяемым ремонтным покрытиям	
	Отклонения в геометрии	Зона ремонта свободна от резких переходов (все радиусы > 5 мм) или резкие переходы имеют обтекаемую форму
	Подготовка поверхности	В соответствии со спецификацией для каждой ремонтной системы
		Осевой размер в соответствии с проектом ремонта
То же	Температура поверхности	В соответствии с проектом ремонта
То же	Дефект	Размеры, не превышающие предельные для конкретного типа ремонта
		Соответствие характера дефекта предназначению конкретного типа ремонта
То же	Расположение дефекта	Осевой размер и расположение в соответствии с проектом ремонта

Таблица 9 – Проверка качества композитной ремонтной системы после ее установки и в процессе эксплуатации

Часть ремонтной системы	Дефекты	Допустимые пределы
Граница раздела между трубой и ремонтным покрытием по краям ремонтного покрытия, включая адгезивную ленту	Расслоение (трещины между трубой и ремонтным покрытием)	Недопустимо Проверка обстукиванием может помочь в идентификации расслоений
Поверхность ремонтного покрытия (поверхностный слой, пропитанный салон)	Трещины	Недопустимо при проникновении в ламинат
	Инородные включения, вздутие	Максимум 10 мм в ширину и 1,5 мм в высоту
	Раковины	Максимум 25 мм в диаметре, 1,5 мм в глубину нет ограничения по раковинам глубиной до 1 мм
	Складки	Недопустимы перепады по толщине и высоте, превышающие 1 мм или 20 % расчетной толщины ремонтного ламината
	Цвет смолы	Однородный
	Сухие пятна	Недопустимо
	Финишные материалы	Недопустимо (подлежит полному устранению до завершения инспекции)

Окончание таблицы 9

Часть ремонтной системы	Дефекты	Допустимые пределы
Ламинат	Ориентация волокон	Согласно проекту
	Непропитанные/сухие волокна	Недопустимо
	Необработанные острые кромки волокна	Недопустимо
	Инородные включения	Недопустимо
	Осевой размер и расположение ремонтного материала	Согласно проекту
		Недопустимо выступание за пределы обработанной поверхности
	Повреждения от ударов	Недопустимо
	Расслоение внутри ремонтного ламината	Недопустимо Проверка простукиванием может помочь в идентификации расслоений

8.2.2 Дефекты, указанные для ремонтного ламината и поверхностного слоя, пропитанного смолой, как правило, возникают при выполнении ремонта и редко проявляются в процессе эксплуатации. Таким образом, постоянный контроль и надзор за состоянием ремонтного покрытия в ходе выполнения ремонта является ключевым для достижения высокого качества.

8.2.3 Дефекты, показанные для границы раздела между ремонтным материалом и ремонтируемой поверхностью, как правило, вызваны нарушением адгезии. Как и в случае с самим ремонтным ламинатом, дефекты границы раздела возникают на первых этапах выполнения ремонта. В большинстве случаев ухудшение в ходе эксплуатации проявляется в виде пограничного отслаивания.

8.2.4 Описанные дефекты ремонтируемого объекта относятся к отремонтированным и с наличием возможного продолжающегося истончения стенки трубы после ремонта ввиду внутренней коррозии либо эрозии. Для подтверждения того, что данная ремонтная система продолжает работать внутри исходных проектных предпосылок, может потребоваться контроль состояния остаточной толщины стенки.

8.2.5 На рисунке 3 представлено фотографическое изображение некоторых типичных дефектов, которые встречаются в ремонтной системе после установки и во время обслуживания. Фотографии на рисунке 3 служат для облегчения интерпретации дефектов, описанных в таблице 9 и соответствующие допустимые отклонения.

Расслоение на границе поверхностей

Расслоение на границе поверхностей

Повреждения от удара – ремонт на основе стекловолокна

Повреждения от удара – ремонт на основе углеродного волокна

Сухие волокна

Обнажение волокон

Рисунок 3 – Дефекты после установки ремонтной системы и при проведении сервисных работ

8.3 Ремонт дефектов ремонтной системы

8.3.1 Ремонтные системы, имеющие дефекты с недопустимыми параметрами согласно таблице 9, должны быть удалены и на их месте должны быть нанесены новые ремонтные системы. Тем не менее, по согласованию с владельцем, возможно

частичное удаление поврежденного участка и нанесение на него новых ремонтных материалов, если поставщик ремонтной системы может обосновать полное восстановление технических характеристик после ремонта.

8.3.2 Сухие участки в пропитанном смолой слое должны быть отремонтированы с зачисткой поверхности абразивными средствами, а затем пропитаны большим количеством смолы.

8.4 Методы контроля

Поставщику ремонтной системы следует предоставить руководство по технологиям и методам контроля ремонтной системы. Дальнейшие указания можно получить от компаний, занимающихся методикой контроля. Методы контроля можно применять непосредственно после установки композитной ремонтной системы в качестве базисных измерений либо в течение проектного срока эксплуатации композитной ремонтной системы. В большинстве случаев требуется контролировать не ремонтный (композитный) ламинат, а дефект ремонтируемого объекта с конечной целью подтвердить герметичность установленной системы, т.е. ремонтируемого объекта и ремонтного покрытия.

8.5 Обслуживание ремонтной системы и коррекционные меры

8.5.1 Обслуживание и порядок замены ремонтной системы зависят от типа исходного дефекта ремонтируемой поверхности. Рекомендации по обеспечению общей герметичности установленных композитных ремонтных систем указаны в приложении Р.

8.5.2 Состояние ремонтируемой системы контролируют визуальным осмотром ремонтного ламината на наличие дефектов в соответствии с таблицей 8 и таблицей 9. В случае если дефект локализован, то совместно с поставщиком композитной ремонтной системы проводится дальнейшая оценка состояния. Частота проведения осмотров определяется в соответствии с анализом рисков.

В целях сравнения в ходе последующих проверок следует фотографировать композитную ремонтную систему.

Выполнена законцовка краев ремонтной системы, хорошее состояние	Не выполнена законцовка краев ремонтной системы, начало коррозии

Рисунок 4 – Нанесение покрытия на края ремонтной системы

При визуальном осмотре проверяют состояние законцовок краев ремонтной системы, см. рисунок 4.

При наличии видимых признаков коррозии на краях ремонтной системы следует рассмотреть вопрос о целесообразности данного вида ремонта для решения требуемой задачи путем повторной оценки проектных требований.

8.5.3 Для дефектов типа Б допускается проводить радиографический контроль или электроиндуктивную дефектоскопию в качестве методов исследования состояния трубы под ремонтным покрытием.

8.5.4 В случае, если путем оценки установлено, что необходима замена ремонтной системы, то следует принять следующие меры:

- демонтаж ремонтной системы (например, гидроструйная очистка под сверхвысоким давлением либо абразивоструйная очистка) и установка ремонтной системы;

- ремонт ламината. В данном случае ремонтный ламинат следует отнести к дефектным в целях проектирования, и выполнить проектирование новой ремонтной системы согласно 6.5;

- локализованный ремонт поврежденного участка;

8.5.5 Решение о продлении срока эксплуатации композитной ремонтной системы оформляется в документированном виде наряду с отчетностью, сохраняемой для последующей сверки (отчеты включают анализ рисков, оценка проекта - как первоначального, так и последующих версий, а также исходная документация по установке композитной ремонтной системы).

8.5.5.1 В целях продления сроков эксплуатации ремонтных систем при ремонте Классов 1 и 2 может представляться достаточным только оставить данные системы в первоначальном виде, если неисправность ремонтной системы ведет к умеренной протечке. В случае, если течь представляет опасность, либо последствия данной неисправности являются недопустимыми, то следует придерживаться порядка продления срока эксплуатации ремонтной системы, описанного для ремонта Класса 3.

8.5.5.2 Срок эксплуатации ремонтной системы при ремонте Класса 3 можно пересматривать. Для ревалидации срока эксплуатации ремонтной системы следует иметь подробную информацию о проектировании и установке данной системы (в том числе протоколы по подготовке поверхности ремонтируемого объекта, проекте ремонтной системы, параметрах отверждения и соответствии данных процессов первоначальным спецификациям). Отчеты по монтажу ремонтной системы должны иметь достаточно данных для обоснования того, что ремонтная система была установлена в полном соответствии с требованиями поставщика ремонтной системы. Рекомендуется продлевать срок эксплуатации композитной ремонтной системы на срок не более 20 лет (от момента установки ремонтной системы). Ревалидация расчетного срока эксплуатации выполняется путем повторного проектирования ремонта на основании требуемого срока эксплуатации и наиболее актуальных данных последних проверок в связи с рассматриваемым дефектом. Повторное проектирование может привести к необходимости утолщения ремонтного покрытия, по отношению к толщине имеющегося, что означает необходимость нанесения дополнительных слоев ремонтного материала на существующее ремонтной покрытие.

8.5.5.3 При необходимости продления срока эксплуатации, превышающего 20 лет, рекомендуется продлевать данный срок в умеренных пределах, т.е. периодами не более 5 лет. Затем рекомендуется провести всестороннюю инспекцию ремонтной системы и ремонтируемого объекта под ней, перед рассмотрением возможности ревалидации.

8.5.5.4 Ревалидация расчетного срока эксплуатации выполняется путем повторного проектирования ремонта на основании требуемого срока эксплуатации и наиболее актуальных данных последних проверок, в связи с рассматриваемым дефектом (см. 6.3 и 6.5). Повторное проектирование может привести к необходимости утолщения ремонтного покрытия, по отношению к толщине имеющегося, что означает необходимость нанесения дополнительных слоев ремонтного материала на существующее ремонтное покрытие.

8.5.6 Установленные ремонтные системы могут быть модифицированы, но только после пересмотра проекта поставщиком системы. В перечень рассматриваемых модификаций входит увеличение длины ремонтной зоны либо толщины покрытия, вследствие развития коррозии обнаруженных дефектов, либо изменения эксплуатационных параметров.

9 Испытания системы

9.1 Владельцу следует предусмотреть испытания системы под давлением, если их проведение необходимо или регламентировано соответствующими стандартами на ремонтируемый объект.

9.2 Перед началом испытаний все ремонтные материалы должны отвердеть в соответствии с рекомендациями поставщика ремонтной системы.

9.3 Перед испытаниями отремонтированная система должна быть промыта соответствующим составом.

9.4 Гидравлические испытания необходимо проводить под давлением, превышающим рабочее давление в 1,1 раза в течение как минимум 60 мин, в течение которых должны регистрироваться все изменения давления и температуры. Любые признаки течи из ремонтного ламината должны быть основанием для отбраковки ремонтной системы.

9.5 Допускается проводить испытания под давлением, превышающим рабочее давление в 1,5 раза. Перед испытанием должны быть установлены все крепления и опоры. При необходимости следует установить временные опоры или крепления.

9.6 Если испытательное давление превышает давление, для которого проектировалась ремонтная система, то для проектных расчетов условия проведения гидравлических испытаний должны рассматриваться как дополнительная нагрузка.

10 Вывод из эксплуатации

10.1 Перед выводом ремонтной системы из эксплуатации следует изучить проведенную оценку рисков. Если необходимо, следует выполнить отдельную оценку рисков.

10.2 Удаление ремонтного материала может быть выполнено механическими средствами (например, струйно-абразивной обработкой, струей воды под высоким

давлением). Операции следует выполнять локально, не допуская распространения пыли и грязи. Следует проявлять осторожность, не допуская повреждения расположенного рядом оборудования, которое остается в эксплуатации.

Приложение А

(обязательное)

Расчет толщины ремонтного слоистого материала (дефект типа А)

А.1 Проектирование на основе распределения нагрузки (дефект типа А)

А.1.1 Толщина ремонтного слоистого материала ограничена допустимым напряжением ремонтируемой поверхности

А.1.1.1 В окружном направлении минимальную толщину ремонтного слоистого материала $t_{min,c}$, мм., вычисляют по формуле

$$t_{min,c} = \frac{D}{2s} \cdot \left(\frac{E_s}{E_c}\right) \cdot \left(p_{eq} + \frac{2v \cdot F_{eq}}{\pi D^2} - p_s\right), \qquad (\text{А.}1)$$

где E_c - модуль упругости при растяжении композитного слоистого материала в окружном направлении, МПа;

E_s - модуль упругости при растяжении ремонтируемой поверхности, МПа;

D - первоначальный наружный диаметр, мм;

F_{eq}- эквивалентная осевая нагрузка, Н;

v - коэффициент Пуассона для ремонтного слоистого материала (см. Приложение Д или техническую спецификацию к материалу) ;

s - допустимое напряжение материала ремонтируемой поверхности, МПа;

p_{eq} - эквивалентное проектное давление, МПа;

p_s - максимально допустимое рабочее давление (MAWP), определяется согласно действующей системе оценки дефектов , МПа.

А.1.1.2 В осевом направлении минимальную толщину ремонтного слоистого материала $t_{min,a}$, мм, вычисляют по формуле

$$t_{min,a} = \frac{D}{2s} \cdot \left(\frac{E_s}{E_a}\right) \cdot \left(\frac{2F_{eq}}{\pi D^2} + v \cdot \frac{E_a}{E_c} \cdot p_{eq} - p_s\right), \qquad (\text{А.}2)$$

где E_a - модуль упругости при растяжении композитного слоистого материала в осевом направлении, МПа.

Отрицательное значение толщины композитной ремонтной системы, полученное при расчетах по формулам (А.1) и (А.2), означает, что остаточная толщина стенки является достаточной для того, чтобы система выдерживала прилагаемые нагрузки.

Фактор F_{eq} (эквивалентная осевая нагрузка) должен приниматься положительным (значение по модулю).

p_{eq} и F_{eq} вычисляют по формулам (А.3) и (А.4)

$$p_{eq} = p\left[1 + \frac{16}{(\pi D^2 p)^2} \cdot (F_{sh} + \frac{2}{D} M_{to})^2\right], \text{ при } p \geq \frac{4}{\pi D^2} \cdot (F_{sh} + \frac{2}{D} M_{to}),$$

$$p_{eq} = p + \frac{4}{\pi D^2} \cdot \left(F_{sh} + \frac{2}{D} M_{to}\right), \qquad \text{при } p \leq \frac{4}{\pi D^2} \cdot (F_{sh} + \frac{2}{D} M_{to}), \qquad \text{(А.3)}$$

$$F_{eq} = \frac{\pi}{4} p \cdot D^2 + \sqrt{F_{ax}^2 + 4{F_{sh}}^2} + \frac{4}{D}\sqrt{M_{ax}^2 + M_{to}^2}, \qquad \text{(А.4)}$$

где p - требуемое проектное внутреннее давление, Па;

F_{sh} - приложенное усилие сдвига, Н;

M_{to} - приложенный крутящий момент, Н·мм;

F_{ax} - приложенная осевая нагрузка, Н;

M_{ax} - приложенный осевой момент, Н·мм.

Проектной толщиной ремонтного слоистого материала t_{design}, мм, должно быть выбрано максимальное из двух значений, $t_{min,c}$ и $t_{min,a}$, полученных по формулам (А.1) и (А.2).

Если целью ремонтной системы является усиление неповрежденной секции для повышения допустимой изгибающей нагрузки или других осевых усилий, значение F_{eq} должно быть увеличено в соответствии повышенными требованиями общей осевой нагрузки, а значение p_s должно быть исходным MAWP после предварительно выполненной оценки дефекта.

Формулы (А.1) и (А.2) применимы для толщины ремонтной системы $t_{design} < D/12$.

Условием подготовки расчетов принимается тот факт, что материал, ремонтируемый с применением композитной системы, должен обладать упругими свойствами.

А.1.2 Толщина ремонтного слоистого материала ограничивается допустимой деформацией самого слоистого материала

А.1.2.1 Минимальная толщина ремонтного слоистого материала в окружном направлении $t_{min,c}$, мм, в соответствии с внутренним давлением, рассчитывается по формуле (А.5)

$$\varepsilon_c = \frac{1}{E_c \cdot t_{min,c}} \left(\frac{p_{eq} \cdot D}{2} + \nu \frac{F_{ax}}{\pi D} \right) - \frac{p_s \cdot D}{2E_c \cdot t_{min,c}} - \frac{p_{live} \cdot D}{2\left(E_c \cdot t_{min,c} + E_s \cdot t_s\right)}, \quad \text{(А.5)}$$

где p_{live} - внутреннее давление во время нанесения ремонтного материала, МПа;

ε_c - допустимая окружная деформация ремонтного слоистого материала, мм.

t_s – остаточная толщина стенки, мм.

Расчет допустимой деформации в окружном направлении ε_c находится в соответствии с формулой (А.6):

$$\varepsilon_c = f_{T1} \cdot \varepsilon_{c0} - |\Delta T \cdot (\alpha_s - \alpha_c)|, \quad \text{(А.6)}$$

$$\varepsilon_a = f_{T1} \cdot \varepsilon_{a0} - |\Delta T \cdot (\alpha_s - \alpha_a)|,$$

где

ε_{a0} - допустимая осевая деформация ремонтного слоистого материала (без учета температурного эффекта см. Таблицу А.1), мм;

α_a - средний коэффициент линейного теплового расширения ремонтного слоистого материала в осевом направлении, мм/ ^{o}C;

ε_{c0} - допустимая окружная деформация ремонтного слоистого материала (без учета температурного эффекта (см. Таблицу А.1), мм;

f_{T1} - температурный коэффициент понижения допустимой деформации ремонтного слоистого материала, рассчитывается по формуле

$$f_{T1} = 0{,}0000625\ (T_m - T_d)^2 + 0{,}00125(T_m - T_d) + 0{,}7 \quad \text{(А.7)}$$

где T_m – максимальная рабочая температура ремонтной системы, ^{o}C

T_d – проектная температура среды ремонтируемого объекта, ^{o}C

α_c - средний коэффициент линейного теплового расширения ремонтного слоистого материала в окружном направлении, мм/ ^{o}C;

α_s средний коэффициент линейного теплового расширения ремонтируемой поверхности, мм/ °С;

ΔT - разность рабочей температуры и температуры выполнения ремонта, °С.

Таблица А.1 – Допустимая деформация композитного слоистого материала в зависимости от срока эксплуатации ремонтного материала

Коэффициент	Допустимая деформация, класс 1, %			Допустимая деформация, класс 2, %			Допустимая деформация, класс 3, %		
Срок эксплуатации ремонта, лет	2	10	20	2	10	20	2	10	20
Для $E_a > 0{,}5E_c$									
$-\varepsilon_{c0}$	0,40	0,32	0,25	0,35	0,30	0,25	0,30	0,27	0,25
$-\varepsilon_{a0}$	0,40	0,32	0,25	0,35	0,30	0,25	0,30	0,27	0,25
Для $E_a < 0{,}5E_c$									
$-\varepsilon_{c0}$	0,40	0,32	0,25	0,35	0,30	0,25	0,30	0,27	0,25
$-\varepsilon_{a0}$	0,25	0,16	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10

Промежуточные значения допустимой осевой деформации в зависимости от срока эксплуатации находятся путем интерполяции.

А.1.2.2 В осевом направлении минимальная толщина ремонтного слоистого материала, $t_{min,a}$, мм, рассчитывается по формуле (А.8)

$$t_{min,a} = \frac{1}{\varepsilon_a}\left(\frac{F_{eq}}{\pi D}\cdot\frac{1}{E_a} - \frac{p_{eq}\cdot D}{2}\cdot\frac{v}{E_c}\right), \qquad (А.8)$$

где ε_a - допустимая осевая деформация ремонтного слоистого материала, мм, вычисляется по формуле (А.6)

Если ремонт проводится при нулевом внутреннем давлении, т.е. p_{live} = 0, и при этом осевыми нагрузками можно пренебречь, как, например, в случае подземного трубопровода, тогда формула (А.8) принимает вид

$$t_{min,\text{a}} = \frac{D}{2\varepsilon_c \cdot E_c}\left(p_{eq} - p_s\right), \qquad \text{(A.9)}$$

Проектной толщиной ремонтного слоистого покрытия t_{design} должно быть принято максимальное значение, вычисленное по формуле (А.5) или формуле (А.8).

Формулы с (А.5) по (А.9) применимы для толщины ремонтного слоистого покрытия t_{design} < D/12

Условие подготовки расчетов принимается тот факт, что материал, ремонтируемый с применением композитной системы, должен обладать упругими свойствами.

А.2 Проектирование на основе допустимой деформации ремонтного слоя

Использование метода, приведенного в данном подразделе, целесообразно, если при вычислении несущей способности влияние ремонтируемой поверхности не учитывается, и при расчете используют кратковременные свойства материала.

2.1. В окружном направлении минимальная толщина ремонтного слоистого материала $t_{\text{min,c}}$, мм, в соответствии с внутренним давлением, изгибом и осевым сдвигом, вычисляют по формуле

$$t_{min,c} = \frac{1}{\varepsilon_c}\left(\frac{p_{eq} \cdot D}{2} \cdot \frac{1}{E_c} + \frac{F_{eq}}{\pi D} \cdot \frac{v}{E_c}\right) \qquad \text{(A.10)}$$

В формуле (А.10) значение F_{eq} (эквивалентная осевая нагрузка) должно приниматься положительной.

2.2. В осевом направлении минимальная толщина ремонтного слоистого материала, $t_{\text{min,a}}$, мм, в соответствии с внутренним давлением, изгибом и осевым сдвигом, вычисляют по формуле

$$t_{min,\text{a}} = \frac{1}{\varepsilon_\text{a}}\left(\frac{F_{eq}}{\pi D} \cdot \frac{1}{E_\text{a}} + \frac{p_{eq} D}{2} \cdot \frac{v}{E_c}\right) \qquad \text{(A.11)}$$

В формуле (А.11) значение F_{eq} (эквивалентная осевая нагрузка) должно приниматься положительным.

Проектной толщиной ремонтного покрытия t_{design} должно быть максимальное из двух значений, $t_{\text{min,c}}$ и $t_{\text{min,a}}$, полученных по формулам (А.10) и (А.11).

Формулы (А.10) и (А.11) применимы для толщин ремонтного материала t_{design} < D/12.

Для случайных (кратковременных) нагрузок должны использоваться значения деформации для ремонта Класса 1 при минимальном сроке эксплуатации 2 года.

А.3 Проектирование на основе допустимых напряжений, значения которых получены в ходе эксплуатационных испытаний

Использование данного метода целесообразно при наличии результатов испытаний рабочих характеристик.

Допустимая окружная деформация ремонтного слоистого материала, ε_c рассчитывается по формуле

$$\varepsilon_c = f_{perf} \cdot f_{T2} \cdot \varepsilon_{lt}, \qquad (А.12)$$

где ε_{lt} – нижнее допустимое предельное значение длительной механической деформации материала, определяемое в ходе эксплуатационных испытаний, (см. приложение Е);

f_{perf} - понижающий эксплуатационный коэффициент (см. Таблицу А.2);

f_{T2} - температурный коэффициент понижения допустимой деформации композитного материала для проектирования ремонта сквозного дефекта, (см. таблицу Б.1).

Таблица А.2 – Понижающий эксплуатационный коэффициент, f_{perf}, для рабочих характеристик ремонтных систем

Эксплуатационный коэффициент	Класс 1			Класс 2			Класс 3		
Срок эксплуатации ремонта, лет	2	10	20	2	10	20	2	10	20
Для 1000 часов эксплуатации	0,83	0,65	0,5	0,67	0,58	0,5	0,6	0,55	0,5
Для всего срока эксплуатации	1	0,83	0,67	0,83	0,75	0,67	0,75	0,71	0,67

В случае если не учитывается допустимое отклонение для ремонтируемого объекта, для расчета минимальной толщины ремонтного слоистого материала в окружном направлении используется формула (А.10).

Если же допустимое отклонение учитывается, то для расчета минимальной окружной толщины ремонтного покрытия используется формула (А.5).

Приложение Б.

(обязательное)

Расчет ремонтного ламината для сквозных дефектов (дефект Б)

Дефект ремонтируемого объекта следует рассматривать как сквозной, если расчетная остаточная толщина стенки в любой точке дефектной области к концу срока эксплуатации составляет менее 1 мм.

Использование данного метода целесообразно, если имеет место сквозной дефект ремонтируемого объекта либо дефект, который по расчетам должен стать сквозным к концу срока эксплуатации. Требования данного метода дополняют изложенное в приложении А. Расчет толщины ремонтного ламината (дефект А).

Размер сквозного дефекта, который следует использовать при проектировании, должен опираться на номинальный размер дефекта, наблюдаемый к концу расчетного срока эксплуатации композитной ремонтной системы.

В некоторых обстоятельствах не представляется возможным выполнить подготовку ремонтной поверхности непосредственно перед началом установки ремонтной системы. Зачастую используется защитная металлическая пластина в целях предотвращения повреждения ремонтируемой поверхности во время подготовительных работ, т.е. абразивоструйной обработки. В данной ситуации размер дефекта определяют на основе площади неподготовленной поверхности ремонтируемого объекта (включая металлическую пластину и наплавочный материал).

Помимо этого, если поверх дефекта используется заполнитель (шпатлевка), например, если в область ремонта входит фланец, то размер дефекта определяется исходя их площади поверхности всей трубной системы, покрытой заполнителем.

Б.1 Расчет толщины ремонтного ламината с учетом сквозного дефекта круглой формы

Для кольцевой или близкой к кольцевой форме дефекта минимальная толщина ремонтного ламината, t_{min}, мм, должна рассчитываться при помощи формулы (Б.1)

$$p = f_{T2} \cdot f_{leak} \sqrt{\left\{ \frac{0{,}001\gamma_{LCL}}{\frac{(1-v^2)}{E_{ac}}\left\{\frac{3}{512 \cdot t_{min}^3} d^4 + \frac{1}{\pi} d\right\} + \frac{3}{64 \cdot G \cdot t_{min}} d^2} \right\}}, \qquad \text{(Б.1)}$$

где E_{ac} - комбинированный модуль упругости при растяжении $\sqrt{E_a \cdot E_c}$, МПа;

G - модуль сдвига ремонтного ламината, МПа;

p - проектное внутреннее давление, МПа;

ν - коэффициент Пуассона для ремонтного ламината (см. Приложение Д., либо спецификацию к материалу)

d - эквивалентный диаметр дефекта, мм;

γ_{LCL} - 95 % доверительный интервал для скорости высвобождения энергии, [Дж/м^2] (см. Приложение Г, либо спецификацию к материалу);

f_{T2} - температурный коэффициент понижения эксплуатационных характеристик при проектировании ремонта сквозного дефекта , см. Таблицу Б.1;

f_{leak} - коэффициент снижения эксплуатационных характеристик, см. таблицу Б.2 и таблицу Б.3.

Дополнительные требования к ремонту сквозных дефектов определяются с помощью испытаний. Для обеспечения более высоких расчетных температур, превышающих температуру квалификационного испытания, в таблице Б.1 определены значения температурного коэффициента понижения f_{T2}, который должен использоваться в формулах (Б.1), (Б.2) и (Б.3), где T_{amb}, – температура окружающей среды при испытании, °С, а T_{test}, – температура квалификационных испытаний, °С.

Т а б л и ц а Б . 1 – Температурный коэффициент понижения для сквозных дефектов (дефекты типа Б) и данные испытаний рабочих характеристик, f_{T2}

Температурный коэффициент	Значение
f_{T2}	$0{,}000\ 062\ 5[T_m - T_d - (T_{test} - T_{amb})]^2 +$ $+ 0{,}001\ 25\ [T_m - T_d - (T_{test} - T_{amb})] + 0{,}7$

Использование заглушки для устранения сквозного дефекта при проведении испытаний для определения значения скорости высвобождения энергии (см. Приложение Ж) не допускается.

Для дефектов не кольцевой формы с соотношением сторон < 5, должна быть использована формула (Б.1), в которой значение d (эквивалентный диаметр дефекта) определяется как диаметр окружности, описанной вокруг дефекта. При наличии тре-

щин требуется путем оценки выявить, предотвратит ли наложение композитных материалов распространение трещины, либо следует использовать консервативное допущение относительно окончательной длины трещины для последующего использования данной величины в проектных расчетах.

Для дефекта кольцевого типа (Рис. Б.1 а) минимальную толщину ремонтного ламинат, t_{min}, мм, рассчитывают как наибольшее значение толщины ремонтного материала по формулам (Б.2) и (Б.3)

$$p = f_{T2} f_{leak} \sqrt{\left\{ \frac{0{,}001\gamma_{LCL}}{\frac{(1-v^2)}{E_{ac}}\left\{\frac{1}{24t_{min}^3}\cdot w^4 + \frac{\pi}{4}w\right\} + \frac{3}{16Gt_{min}}\cdot\frac{\left(\frac{4}{5}+\frac{v}{2}\right)}{(1+\mathrm{U})}w^2} \right\}} \qquad \text{(Б.2)}$$

$$p = \frac{f_{T2}\cdot f_{leak}}{D}\sqrt{0{,}008E_{ac}\cdot t_{min}\cdot\gamma_{LCL}}, \qquad \text{(Б.3)}$$

где *w* – ширина дефекта кольцевого типа в осевом направлении, мм.

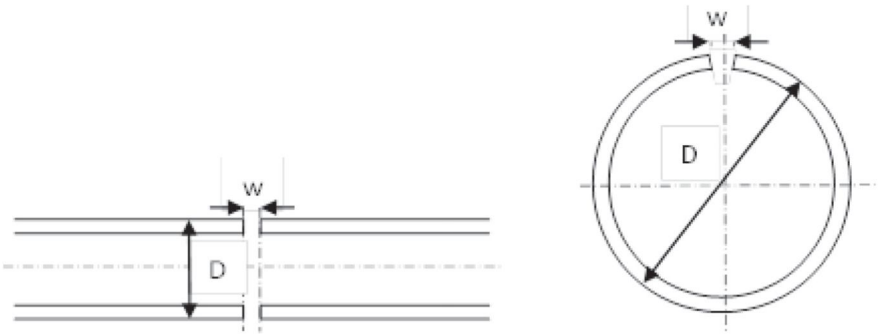
Формулы (Б.2) и (Б.3) следует использовать для нахождения толщины ремонтного покрытия, если дефект, подлежащий ремонту, является точечным дефектом сварного соединения. Выбранная при расчетах ширина дефекта должна быть достаточной для того, чтобы закрыть на всю ширину сварного шва и всего материала, используемого в процессе нанесения ремонтного покрытия.

Для дефекта осевого типа (Рис. Б.1 б), с шириной *w* = *D* (мм), минимальная толщина ремонтного ламината t_{min}, мм, рассчитывается по формуле (Б.4):

$$p = f_{T2}\cdot f_{leak}\sqrt{\left\{ \frac{0{,}001\gamma_{LCL}}{\frac{(1-v^2)}{E_{ac}}\left[\frac{\pi D}{8}\cdot\varphi + \frac{D^4}{384t_{min}^3}\cdot\varphi^4 + \frac{D^4\cdot\left(\frac{E_{ac}}{4G}+2\right)}{11520t_{min}^3}\cdot\varphi^6\right]} \right\}} \qquad \text{(Б.4)}$$

где граница применимости формулы (Б.4) определяется как φ < 1, при этом φ – угол, стянутый осевой канавкой, выраженный в радианах.

Рекомендуется установить размер дефекта, используемого в формулах 12 – 15, как минимум 15 мм.



а) б)

Рисунок Б.1. Дефекты кольцевого (а) и осевого (б) типа

Значение f_{leak} - эксплуатационного коэффициента ремонтных материалов для сквозных дефектов определяют по Таблице Б.2:

Т а б л и ц а Б . 2 – Значение эксплуатационного коэффициента f_{leak} для сквозных дефектов

Класс 1	Класс 2	Класс 3
$f_{leak} = 0{,}83 \cdot 10^{-0{,}02088(t_{lifetime}-1)}$	$f_{leak} = 0{,}75 \cdot 10^{-0{,}01856(t_{lifetime}-1)}$	$f_{leak} = 0{,}666 \cdot 10^{-0{,}01584(t_{lifetime}-1)}$

где $t_{lifetime}$ - проектный срок эксплуатации, выраженный в годах.

При наличии данных долговременных испытаний, полученным в соответствии с Приложением Д, значение эксплуатационного коэффициента ремонтных материалов для сквозных дефектов, f_{leak}, должно рассчитывают по Таблице Б.3:

Т а б л и ц а Б . 3 – Значение эксплуатационного коэффициента f_{leak}

Класс 1	Класс 2	Класс 3
$f_{leak} = 0{,}83 f_D$	$f_{leak} = 0{,}75 f_D$	$f_{leak} = 0{,}666 f_D$

где f_D - коэффициент снижения эксплуатационных характеристик определенный в Приложении Л, уравнение (Л.4)

Проектная толщина ремонтного ламината, t_{design}, определяется как максимальное значение минимальной толщины ремонтного материала t_{min}, мм, итерационно рассчитанное по одной из формул (Б.1), (Б.2), (Б.3) или (Б.4) и определенное с использованием методов, описанных в Приложении А.

Приложение В

(обязательное)

Квалификация персонала, выполняющего ремонт

В.1 Введение

Ремонт с использованием композитных ремонтных систем существенно отличается от других технологий ремонта, и его качество в значительной степени зависит от квалификации персонала. Обучение и сертификация персонала является ключевым элементом для выполнения качественного ремонта. В данном приложении приведены минимальные требования к обучению, квалификации и аттестации персонала, выполняющего ремонт и надзорные функции.

Соответствующие курсы и практическое обучение следует организовывать с непосредственным привлечением или при поддержке персонала поставщика ремонтной системы.

В.2 Базовые знания/опыт работы

В.2.1. Персонал, выполняющий ремонт

Кандидат должен быть не моложе 18 лет и удовлетворять одному из следующих требований к опыту работы:

- 3 месяца (очно) документально подтвержденного обучения у поставщика ремонтной системы;
- минимум 2 года документально подтвержденного опыта выполнения ремонтных работ с полимерными системами с помощью механических средств.

Для получения необходимого опыта установщика ремонтной системы, обучаемый должен пройти обучающий курс от поставщика ремонтной системы. В программу курса должны быть включены теоретические и практические аспекты ремонтных систем. Данные 12 ремонтов должны охватывать полный спектр геометрии трубопроводов, включая прямые участки, отводы, тройники, применительно к области использования ремонтного материала;

В.2.2. Инспектор по ремонту

Для прохождения курса инспектора по ремонту кандидат должен соответствовать следующим требованиям:

–инспектор по ремонту должен иметь два года опыта работы с композитными ремонтными системами, должен выполнить, как минимум, 12 ремонтных операций за

последние два года и должен иметь действительный сертификат на право выполнения работ с использованием композитных ремонтных систем. Также должен быть опыт работы с прямолинейными участками и фасонными элементами (тройники, отводы, различных диаметров с применением полного комплекса ремонтных систем поставщика;

–должен быть представителем поставщика ремонтной системы по вопросам технического контроля. Поставщик ремонтной системы должен иметь возможность продемонстрировать квалификацию кандидата на роль инспектора.

В.3 Обучение монтажника

Базовый курс обучения должен давать теоретические и практические знания с основных элементов работы с композитной ремонтной системой.

а) Курс (Персонал, выполняющий ремонт)

Курс должен включать обучение по следующим направлениям:

- терминология, типы ремонта;
- охрана труда, окружающей среды и техника безопасности;
- подготовка поверхности;
- нанесение материала;
- различная геометрия при нанесении ремонта (если применимо);
- контроль условий ремонта;
- обеспечение и контроль качества выполненного ремонта.

б) Специальная квалификация персонала, выполняющего ремонт

Персонал, выполняющий ремонт, должен быть квалифицирован для выполнения каждого типа ремонта на нескольких типах элементов,

например, прямолинейных участках и тройниках. Квалификация должна присваиваться по каждому классу ремонта (см. таблицу 2). Персонал, обладающий надлежащей квалификацией для выполнение ремонта определенного класса, может выполнять ремонт более низкого класса, например, сертификат для Класса 3 дает право выполнять ремонт Класса 1 и Класса 2.

После прохождения необходимого обучения, ремонт Класса 1 может выполняться самостоятельно; ремонт Класса 2 и Класса 3 должен выполняться под контролем.

Все квалификационные испытания должны быть проведены в соответствии с документально оформленной процедурой, соответствующей отдельной ремонтной системе и утвержденной поставщиком ремонтной системы.

в) Квалификационное испытание для дефектов типа А

Ремонт должен быть выполнен на трубе диаметром не менее 100 мм. Ремонт должен пройти визуальный осмотр в соответствии с таблицей 14 и быть заверен инспектором по ремонту или инструктором.

г)Квалификационное испытание для дефектов типа Б

В дополнение к требованиям для дефектов типа А, должен быть подготовлен испытательный образец, идентичный одному из девяти описанных в приложении Г. Затем образец должен быть подвергнут испытанию под давлением, как описано в приложении Г. Значение для испытания должно быть рассчитано в соответствии с приложением Г. Рассчитанное значение должно быть не меньше γ_{LCL}.

В.4 Обучение инспектора по ремонту

Курс обучения на инспектора по ремонту должен обеспечить подробный теоретический обзор следующих критических элементов при проектировании, установке, инспектировании и соблюдении техники безопасности в отношении ремонтных систем.

Курс должен включать обучение по следующим направлениям:

— обязанности и ответственности инспектора по ремонту;
— методы оценки, применимые при проектировании ремонта;
— методы оценки состояния дефекта трубопровода;
— охрана труда и техника безопасности;
— чек-лист при установке и точки останова работ;
— инспектирование ремонта.

В.5 Сертификат

По завершению курса для установщиков ремонтной системы или инспектора по ремонту, кандидаты, успешно прошедшие испытания, должны получить сертификат с указанием данных о методе и классе ремонта, для которого получена квалификация, а также геометрия элементов, для которых получена квалификация. В сертификате также должно быть указано наименование компании, предоставившей обучение и сертификаты.

Работодатель персонала, выполняющего установку ремонтных систем, должен вести регистрационный журнал завершенного обучения.

В.6 Срок действия

Квалификация для конкретного типа ремонтной системы действует в течение 1 года.

Для квалифицированного персонала, регулярно выполняющего ремонтные работы с использованием композитных материалов (как минимум один ремонт в месяц или десять ремонтов в течение года), не требуется повторная квалификация их профессиональной подготовки.

Квалифицированные работники, не выполнявшие установку композитных ремонтных систем более одного года, должны пройти повторную квалификацию по установке ремонтных систем.

Монтажник или инспектор по ремонту несут ответственность за использование личных журналов записей всех выполненных ремонтных работ в качестве подтверждения частоты и хронологии выполненных ремонтных работ. Такие журналы подлежат утверждению со стороны инспектора по ремонту и представителя владельца, в зависимости от ситуации.

Приложение Г

(обязательное)

Спецификация проектных данных

Спецификация должна сформировать основу для технического задания владельца поставщику ремонтной системы и использоваться при подготовке проекта ремонта. Для каждого ремонта должна быть подготовлена отдельная спецификация проектных данных.

К разделу «Данные о дефектном участке» необходимо приложить чертежи трубной обвязки, отчеты о результатах проверок, цифровые фотографии и т.п., где целесообразно. Указать все существующие ограничения доступа и расположение другого оборудования.

Спецификация проектных данных

Информация о заказчике				
Контактное лицо				
Компания				
Адрес				
Почтовый индекс		Страна		
Телефон				
Факс				
E-mail				
Описание работы				
Характеристики трубы				
Установка				
Расположение				
Количество				
Маркировка трубы				
Привязка трубы				
Технические требования				
Материал/Сорт				
Наружный диаметр (мм)				
Толщина стенки (мм)				
Рабочая среда				
Проектная температура	Минимум		Максимум	
Рабочая температура	Минимум		Максимум	
Покрытие трубы (существующее)				
Существующий ремонт на трубе для устранения течи				

Срок эксплуатации ремонта (лет)				
Класс ремонта				
Расчетный срок				
Другие данные				
Нагрузка	Рабочая	Проект-	Испытатель-	Замечание
Номинальное давление (МПа)				
Осевая нагрузка (кН)				
Изгибающий момент				
Нагрузка на сдвиг (кН)				
Кручение (кН)				
Другие нагрузки (Н)				

Примечание 1 – Все существующие исходные проектные расчеты и чертежи трубной обвязки должны быть приложены к таблице проектных данных.

Примечание 2 – В колонке комментариев следует определить нагрузки как длительные или случайные.

Данные о дефектном участке				
Спецификация ремонта				
Тип дефекта				
Природа дефекта				
Текущие размеры	Площадь		Глубина	
Прогнозируемые размеры	Площадь ($мм^2$)		Глубина (мм)	
Причина возникнове-	Коррозия		Эрозия	
Воздействие	Внешнее		Внутреннее	
	Сквозное			
Максимально допустимое рабочее давление (МПа)				

Предполагаемые условия во время проведения ремонта				
Температура трубы (^{0}C)	Минимум		Максимум	
Температура окружающей среды (ºС)	Минимум		Максимум	
Давление в трубе (МПа)				

Среда в трубе	
Влажность (%)	
Инструменты, предоставляемые заказчиком (для подготовки поверхности и пр.)	
Прочая информация	

Приложение Д

(обязательное)

Данные для выполнения оценки

Д.1 Введение

В данном приложении приведены данные для выполнения оценки, которые должен предоставлять поставщик ремонтной системы.

Необходимо проводить все квалификационные испытания и придерживаться использования тех же материалов ремонтируемого объекта, процедуры подготовки поверхности, ремонтного ламината, заполнителя, связующего и способа нанесения (см. раздел 5).

Д.2 Данные ремонтного ламината

Для всех классов ремонта необходимо предоставить следующие данные:

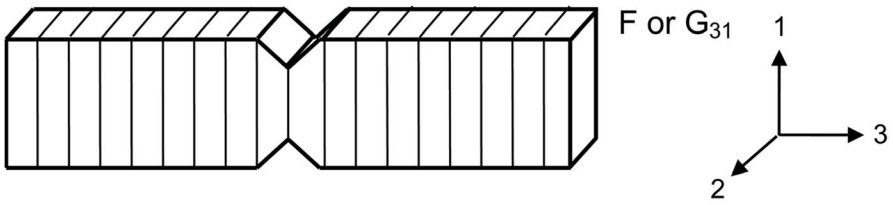
— толщина витка или слоя ремонтного ламината;

— модуль упругости при растяжении, относительное удлинение при разрушении и прочность в окружном направлении, определяемые в ходе испытаний в соответствии с таблицей 4;

— модуль упругости при растяжении, относительное удлинние при разрушении и прочность в осевом направлении, определяемые в ходе испытаний в соответствии с таблицей 4;

— коэффициент Пуассона в окружном направлении (т.е. при приложении нагрузки в окружном направлении и сжатия в осевом направлении) в соответствии с таблицей 4;

— модуль сдвига, определяемый в ходе испытаний, в соответствии с таблицей 4. Геометрия испытательного образца показана на рисунке Д.1. Ориентация испытательного образца показана в соответствии с ГОСТ Р 56799. В качестве альтернативы может быть использован модуль сдвига смолы.



1 - направление, параллельное укладке слоев покрытия (см. ГОСТ Р 56799)

Рисунок Д.1 – Геометрия испытательного образца в соответствии с ГОСТ Р 56799

— твердость по Барколу или Шору, определяемая в ходе испытаний в соответствии с таблицей 4;

— температура стеклования (T_g) или температура тепловой деформации (HDT) для связующей системы, приводится в спецификации к материалу для диапазона соответствующих времени и температуре отверждения. T_g системы не является уникальным значением, но варьирует в зависимости от температуры отверждения и времени выдержки при температуре.

В случае, если предполагается использовать материалы при температурах, превышающих температуру окружающей среды, (т.е. >40 ^{0}C), значения T_g должны измеряться для диапазона температур отверждения в интервалах 10 ^{0}C или 20 ^{0}C, и в таком случае при проектировании ремонта должно применяться соответствующее значение, в соответствии с 6.5.3. Для установленной ремонтной системы затем будет применен аналогичный график отверждения, чтобы обеспечить достижение T_g. Процесс отверждения многих полимерных материалов сопровождается экзотермическим эффектом, что может вызывать повышение температуры и высокое значение T_g. Максимальная температура, достигаемая в процессе отверждения, должна быть зафиксирована при указанной T_g, более 30 ^{0}C и выше температуры отверждения. Такая максимальная температура должна быть продублирована на рабочем участке;

— средний коэффициент линейного теплового расширения в осевом и окружном направлении, определяемый в ходе испытаний в соответствии с таблицей 4.

Д.3 Данные прочности границы раздела ремонтного ламината/ремонтируемой поверхности

Целью таких испытаний не является получение характеристик для использования при проектировании. Назначением испытаний является обоснование того, что может быть достигнуто адгезионное сцепление достаточной стойкости и прочности между ремонтным покрытием и ремонтируемой поверхностью. Следует отметить, что кратковременные испытания прочности не всегда являются надежным показателем длительной работоспособности.

Для всех классов ремонта необходимы характеристики кратковременной прочности при сдвиге клеевого соединения внахлест, определяемые в ходе испытаний в соответствии с таблицей 4. Кратковременное испытание используют для определения средней прочности при сдвиге (минимальное значение 5 МПа) или кривой разрушения (композит остается как минимум на 30 % зоны контакта). Ремонтируемые объекты, используемые для этого испытания, должны быть идентичны ремонтному ламинату по составу и структуре слоев. В качестве альтернативы должно быть обосновано, что прочность адгезионного сцепления превосходит прочность при сдвиге ремонтного ламината путем оценки материала ремонтируемого объекта, использованного в качестве образца, после испытания.

Для ремонтов Класса 3, если необходимо подтвердить высокую долговечность адгезионного сцепления между ремонтным ламинатом и ремонтируемой поверхностью, а испытания эксплуатационных характеристик для получения данных для проектирования не проведены, показатели долговременной прочность при сдвиге клеевого соединения внахлест должны быть определены при испытаниях в соответствии с таблицей 4. Это испытание должно выполняться погружением в воду (или иную подходящую среду) при температуре квалификационного испытания на 1000 ч. Средняя прочность при сдвиге, определенная по результатам такого испытания, должна составлять не менее 30% от значения, полученного в ходе вышеописанного краткосрочного испытания.

Д.4 Требования по ремонту к ремонтируемому объекту с поверхностными дефектами (проектный вариант типа А)

Целью кратковременных испытаний работоспособности трубной катушки, в соответствии с приложением И, является определение максимальной потери толщины стенки в процентах, подлежащей ремонту.

Д.5 Требования по ремонту к ремонтируемому объекту со сквозными дефектами (проектный вариант типа Б)

Для всех классов ремонта необходимо предоставить следующие данные:

— скорость высвобождения энергии γ_{LCL}, определяемый в ходе испытаний в соответствии с приложением Ж;

— ударопрочность, определяемая в ходе испытаний в соответствии с приложением Е, которая определяет минимальнодопустимую толщину ремонта;

— коэффициент снижения эксплуатационных характеристик (необязательно) (см. приложение Л)

Д.6 Испытания эксплуатационных характеристик

Поставщик может проводить испытания эксплуатационных характеристик для определения расчетных допусков в соответствии с приложением Д. Расчетные допуски по длительной прочности (или деформации при разрыве) определяются путем:

— 1000-часового испытания на безотказную работу;

— регрессионного тестирования;

— регрессионного тестирования репрезентативного образца ремонтного ламината.

Д.7 Другие элементы

Индивидуальное тестирование для каждого репрезентативного элемента трубопровода (применяется только для отводов и тройников), идентичных указанным в приложении Ж (аналогичный диаметр, толщина стенки и один выбранный размер дефекта), должно быть выполнено на элементах, отличных от прямых участков, для демонстрации рабочих характеристик ремонтной системы.

В качестве репрезентативного элемента отводов должен быть выбран отвод 90°. Расположение дефекта должно быть как представлено на рисунке Д.2.

В качестве репрезентативного элемента тройников должен быть выбран тройник аналогичного размера. Расположение дефекта должно быть как представлено на рисунке Д.2.

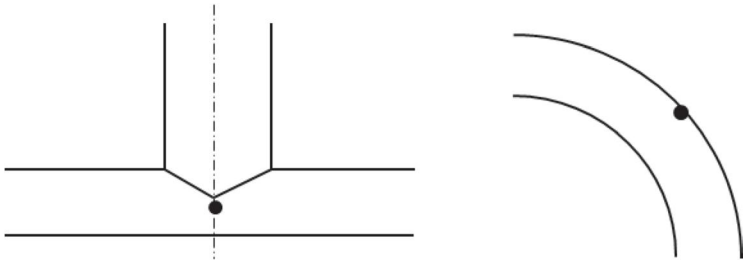


Рисунок Д.2 – Расположение дефекта на элементе трубопровода

Ремонтная система считается прошедшей испытания, если давление разрушения испытания превышает или равно давлению разрушения аналогичного прямого участка при корректно спроектированной ремонтной системе.

Д.8 Сводный отчет квалификационных испытаний

Поставщиком ремонтной системы предоставляет информацию с целью демонстрации её соответствия с данным национальным стандартом по форме таблицы Д.1

Т а б л и ц а Д . 1 Форма Отчета квалификационных испытаний

Наименование параметров	Значения	
Наименование ремонтной системы		
Температура квалификационных испытаний (^{0}C)		
Условия отверждения ремонта (температура и время)	Температура отверждения (^{0}C)	Время отверждения (часов)
Б.2 – Характеристики ремонтного ламината		
Толщина витка или слоя (мм)		
Окружное направление – модуль упругости при растяжении (ГПа)		
Окружное направление – относительное удлинение при разрушении (мм/мм)		

Продолжение таблицы Д.1

Окружное направление - прочность на разрыв (МПа)			
Осевое направление – модуль упругости при растяжении (ГПа)			
Осевое направление – относительное удлинение при разрушении(мм/мм)			
Осевое направление - прочность на разрыв (МПа)			
Коэффициент Пуассона в окружном направлении			
Модуль сдвига (ГПа) (см. рисунок Б.1)			
Твердость по Барколу или Шору (отвержденного ламината)			
Температура стеклования или тепловой деформации (^{0}C)	Температура отверждения (^{0}C)	Время отверждения (часов)	T_g (^{0}C)
Пик на экзотермической кривой, измеренный для образца T_g (^{0}C)			
Окружное направление – средний коэффициент линейного теплового расширения (мм/мм/^{0}C) **(заменить на *средний коэффициент линейного теплового расширения*)**			
Осевое направление –средний коэффициент линейного теплового расширения (мм/мм/^{0}C) **(заменить на *средний коэффициент линейного теплового расширения*)**			
Б.3 – Ремонтная система/граница раздела ламинат /ремонтируемая поверхность/способ подготовки поверхности			

Окончание таблицы Д.1

Кратковременная прочность при сдвиге клеевого соединения внахлест(МПа) **(заменить на *прочность клеевого соединения внахлест*)**	
Долговременная прочность при сдвиге клеевого соединняи внахлест (МПа) **(заменить на *средний коэффициент линейного теплового расширения*)**	
Б.4 – Кратковременные испытания работоспособности трубной катушки	
Отчет о кратковременных испытаниях работоспособности трубной катушки, как указано в п.	
Б.5 требует выполнения для квалификации ремонта Типа В.	
Б.5 Требования для ремонта поверхностей со сквозными дефектами	
Отчет о расчете скорости высвобождения энергии, γ_{LCL}, как указано в Г.5 (включая способ подготовки поверхности)	
Отчет об испытаниях на ударопрочность, как указано в п. Е.3. (с указанием толщины ремонта и количества слоев)	
Альтернативный ремонт для измерения фактора снижения эксплуатационных характеристик, как указано в п. Ж.4	
Б.6 Испытание рабочих характеристик - необязательно	
Отчет об испытаниях рабочих характеристик, как указано в п. Д.3	
Б.7. Другие элементы	
Тройник	
Отвод	

Приложение Е

(обязательное)

Измерение параметров для определения эксплуатационных характеристик

Е.1 Введение

Если поставщик выполняет эксплуатационные испытания ремонтной стстемы, тогда должно быть использовано данное приложение. Поставщики не обязаны проводить эксплуатационные испытания для оценки ремонтной системы, это выполняется по их усмотрению.

В данном приложении описаны методы испытаний для измерения проектных допусков, используемых в приложении А. Вариантами методов испытаний являются:

– испытание на работоспособность, при котором ремонтная система подвергается длительной нагрузке в течение 1000 ч;

– регрессионное испытание, основанное на серии испытаний ремонтной системы в течение разных промежутков времени с экстраполяцией на полный проектный срок эксплуатации;

– регрессионное испытание репрезентативных образцов, с последующим подтверждением результатов долгосрочного испытания образцов

Все испытания должны проводиться при температуре квалификационных испытаний.

Е.2 Методы

Е.2.1 Испытание на работоспособность

Должны использоваться отрезки металлических труб диаметром не менее 100 мм и толщиной стенки не менее 3 мм с нанесенной ремонтной системой.

Должно быть создано внутреннее давление, p_{test}, МПа, как определено поставщиком ремонтной системы, и поддерживаться в течение 1000 ч. Любое ухудшение свойств ремонтного ламината в виде растрескивания или отслоения, означает, что ремонтная система не прошла испытание. Должно быть выполнено три идентичных испытания, и ремонтная система считается прошедшей квалификационные испытания, если ремонтный ламинат успешно выдержал все три испытания.

Если пластическая деформация образца под ремонтным слоем не достигнута, то 95% нижний доверительный предел долгосрочного напряжения, ε_{lt}, должен вычисляться с использованием формулы (Е.1)

$$\varepsilon_{lt} = \frac{p_{test} \cdot D}{2(E_c \cdot t_{min} + E_s \cdot t_s)} \quad \text{(Е.1)}$$

В противном случае 95% нижний доверительный предел долгосрочного напряжения, ε_{lt}, рассчитывается по формуле (Е.2)

$$\varepsilon_{lt} = \frac{1}{t_{min} \cdot E_c}\left(\frac{p_{test} \cdot D}{2} - s_a \cdot t_s\right) \quad \text{(Е.2)}$$

где E_c - модуль упругости при растяжении в окружном направлении ламината**,** МПа;

E_s - модуль упругости при растяжении ремонтируемой поверхности , МПа;

D - наружный диаметр испытательной катушки, мм;

s_a - измеренный предел текучести поверхности, или заводской сертифицированный предел текучести;

t_{min} - толщина ремонтного ламината, мм;

t_s - толщина ремонтируемой испытательной катушки, мм.

Е.2.2 Регрессионное испытание

Должны использоваться отрезки металлических труб диаметром не менее 100 мм и толщиной стенки не менее 3 мм с нанесенной ремонтной системой.

Ряд испытательных образцов должен быть подвергнут воздействию давления различного уровня. Время, при котором ремонтный ламинат проявляет признаки снижения эксплуатационных характеристик, определяемых как растрескивание или расслоение, должно быть зарегистрировано. Результаты должны быть графически представлены в логарифмической системе координат (log/log) и необходимое долговременное давление должно быть определено путем регрессионного анализа с использованием 95 % нижнего доверительного предела и экстраполяции на срок эксплуатации.

Если пластическая деформация образца под ремонтным слоем не достигнута, то преобразование давления испытания, p_{test} (МПа), в напряжение ε_{lt} , ремонтного

ламината в каждой контрольной точке должно выполняться с использованием формулы (Е.3)

$$\varepsilon_{lt} = \frac{p_{test} \cdot D}{2(E_c \cdot t_{min} + E_s \cdot t_s)} \quad \text{(Е.3)}$$

В противном случае 95% нижний доверительный предел долгосрочного напряжения, ε_{lt}, рассчитывается по формуле (Е.4)

$$\varepsilon_{lt} = \frac{1}{t_{min} \cdot E_c}\left(\frac{p_{test} \cdot D}{2} - s_a \cdot t_s\right), \quad \text{(Е.4)}$$

где E_c - модуль упругости при растяжении композитного ламината в окружном направлении, МПа;

E_s - модуль упругости при растяжении ремонтируемой поверхности, МПа;

D - наружный диаметр испытательной катушки, мм;

s_a - измеренный предел текучести поверхности, или заводской сертифицированный предел текучести, МПа;

t_{min} - толщина ремонтного ламината, мм;

t_s - толщина ремонтируемой испытательной катушки, мм.

Для выполнения регрессионного анализа необходимо, как минимум, 18 результатов. Инструкции по долговременным испытаниям образцов приведены в ГОСТ ISO 1167 (все части), инструкции по анализу данных для расчета ε_{lt} приведены в ГОСТ Р 50779.27.

Е 2.3 Испытание репрезентативных образцов

Репрезентативные образцы ремонтного ламината должны быть изготовлены и испытаны в условиях, сравнимых с фактическим ламинатом ремонтной системы, где репрезентативный означает имеющий идентичные слои, объемные фракции и ориентацию волокон. Сравнимые нагрузки означают, что образцы должны нагружаться так же, как ремонтный ламинат в условиях эксплуатации (например, одноосное растяжение или двухосное растяжение).

Как минимум 18 образцов должно быть испытано при постоянной нагрузке до разрушения (контрольные точки с номерами и продолжительностью испытания в

соответствии с ГОСТ ISO 1167 (все части) со статистическим анализом данных в соответствии с ГОСТ Р 50779.27).

Результатом испытаний этих образцов является градиент регрессии, G, при построении логарифма нагрузки или логарифма деформации как функции от времени.

Для определения долгосрочного разрушающего напряжения или деформации ремонтной системы должны быть проведены пять среднесрочных испытаний на отрезках труб с минимальным диаметром 100 мм и минимальной толщиной стенки 3 мм. При проведении этих испытаний фиксируют давление и время, при которых происходит разрушение образца. Рекомендуется подбирать испытательное давление так, чтобы разрушение происходило примерно через 1 000 ч.

Нижний доверительный предел (по времени) для этих пяти испытаний рассчитывают в соответствии со средним временем до разрушения минус 2 среднеквадратических отклонения. Долгосрочное значение проектной прочности (или деформации) ремонтной системы представляет собой экстраполяцию нижнего доверительного предела на проектный срок эксплуатации с использованием наклона регрессионной кривой, определяемого по испытаниям образцов.

Дополнительные инструкции по процедурам испытания на работоспособность и интерпретации экспериментальных данных приведены в ГОСТ ISO 1167 (все части).

Е.3 Отчет об испытаниях

По результатам испытания должен быть подготовлен отчет, содержащий условия проведения испытания и подробные характеристики метода ремонта, включая конструкционные материалы и технологию подготовки поверхности, контрольные точки и полученные проектные данные.

Приложение Ж

(обязательное)

Измерение скорости высвобождения энергии для расчета сквозных дефектов

Ж.1 Введение

В данном приложении описывается метод испытания для измерения параметра вязкости (скорости высвобождения энергии) γ_{LCL} для границы раздела между ремонтным ламинатом и ремонтируемой поверхностью для использования в формулах приложения Б.

Ж.2 Метод

Должны использоваться отрезки металлических труб диаметром не менее 100 мм и толщиной стенки не менее 3 мм. Для моделирования типовых дефектов в трубе должны быть просверлены круглые сквозные отверстия и нанесен ремонтный ламинат в соответствии с оценочной процедурой. Ремонтная система должна наноситься при ориентации дефектов по воображаемому часовому циферблату на 6 часов.

Следует предусмотреть, чтобы отрезок металлической трубы, используемый для подготовки испытательного образца, выдерживал предполагаемое давление разрушения ремонтного материала. Следует предусмотреть, чтобы труба не деформировалась до разрушения ремонтного покрытия.

Должно быть создано внутреннее давление и значение, при котором появляется течь ремонтной системы, должно быть зарегистрировано.

Испытание должно проводиться при температуре квалификационных испытаний.

Испытательное давление должно повышаться в соответствии с ГОСТ ISO 1167-1.

Должно быть проведено, минимум, девять испытаний, охватывающих, минимум, три размера отверстий обычно диаметрами 10 мм, 15 мм и 25 мм. Для больших диаметров, дефект можно имитировать наложением на меньшее отверстие полимерной антиадгезионной пленки необходимого диаметра перед нанесением ремонтного ламината. Отверстия не должны быть заполнены или загерметизированы каким-либо способом (механическим или химическим) перед нанесением ремонтной системы.

Разрушение следует представлять в форме отслоения ремонтного ламината от ремонтируемой поверхности с появлением течи по краям ремонтного ламината. При небольших размерах отверстий повреждение может проявляться как проступание испытательной жидкости через ламинат или через деформированные зоны ремонтируемого объекта. В этом случае испытание не следует принимать во внимание и должно быть проведено новое испытание ремонтируемого объекта с отверстием большего диаметра. Все места разрушений следует связывать только с механизмом расслоения.

Ж.3 Расчет скорости высвобождения энергии

Значение γ_{LCL} , выраженное в джоулях на квадратный метр, должно быть рассчитано путем подстановки соответствующих данных в уравнение (Б.1) приложения Б.

Процедура должна быть выполнена с использованием серии уравнений: с уравнения (Ж.2) по уравнение (Ж.6),

где n_i - число контрольных точек [$A(d_i), p_i$];

p_i - давление, МПа, в контрольной точке i, где i = 1, n;

$A(d_i)$ - функция размера дефекта и свойств ремонтного ламината в контрольной точке i, где i = 1

$A(d_i)$ определяется как показано в уравнении (Г.1)

$$p_i = A(d_i)\sqrt{\gamma_i}, \qquad (Ж.1)$$

где

$$A(d_i) = \sqrt{\left\{\frac{0{,}001}{\frac{(1-\mathrm{U})^2}{E_{ac}}\left\{\frac{3}{512t_i^3}d_i^4 + \frac{1}{\pi}d_i\right\} + \frac{3}{64G\cdot t_i}d_i^2}\right\}}, \qquad (Ж.2)$$

где E_{ac} - комбинированный модуль упругости при растяжении ремонтного ламинат $\sqrt{\mathrm{E_a}\cdot\mathrm{E_c}}$, МПа;

G - модуль сдвига ремонтного ламината, МПа;

U - коэффициент Пуассона ремонтного ламината (определенное из спецификации к материалу);

d_i - диаметр дефекта, мм;

t_i - толщина ремонтного ламината, мм.

Средняя скорость высвобождения энергии, γ_{mean}, рассчитывается по формуле (Ж.3):

$$\gamma_{mean} = (\frac{\sum_{i=1}^{n} A(d_i) \cdot p_i}{\sum_{i=1}^{n} A(d_i)^2})^2 \qquad (Ж.3)$$

Нижний доверительный предел скорости высвобождения энергии γ_{LCL}, рассчитывается по формуле (Ж.4)

$$\gamma_{LCL} = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} A(d_i) \cdot p_i}{\sum_{i=1}^{n} A(d_i)^2} - t_\nu \sigma \sqrt{\frac{1}{\sum_{i=1}^{n} A(d_i)^2}}\right]^2, \qquad (Ж.4)$$

где σ - вариантность измерений давления, рассчитанная по формуле(Ж.5)

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (p_i - A(d_i) \cdot \sqrt{\gamma_{mean}})^2}{n-2}}, \qquad (Ж.5)$$

где t_ν - t-критерий Стьюдента, основанный на двустороннем уровне значимости 0,025, т.е. 95 % нижнего доверительного предела.

Значения t_ν приведены как функция от числа переменных, n, в таблице Ж.1.

Значение γ_{LCL}, рассчитанное по формуле (Ж.4.), должно использоваться в Уравнениях с (Б.1) по (Б.4).

Таблица Ж.1 – t-критерий Стьюдента для двустороннего уровня значимости 0,025

Число переменных *n* *N*	Число степеней свободы *n*-2	t-критерий Стьюдента = 0,025 *t*(0,025)
7	5	2 841
8	6	2 752
9	7	2 685

Продолжение таблицы Ж 1

10	8	2 634
11	9	2 593
12	10	2 560
13	11	2 533
14	12	2 510
15	13	2 490
16	14	2 473
17	15	2 458
18	16	2 445

Ж.4 Оценка других ремонтируемых поверхностей

Если ремонтная система прошла полную оценку для одного типа ремонтируемой поверхности, то для других ремонтируемых поверхностей возможна упрощенная процедура оценки. При такой процедуре необходимо провести только три испытания. Следует обеспечить, чтобы три испытания были идентичны трем из девяти испытаний в отношении к толщине ремонтного материала и размеру дефекта, использованным в программе полного квалификационного испытания.

Значение скорости высвобождения энергии, $\gamma_{LCL,substate2}$, для этой ремонтируемой поверхности рассчитывается по формуле (Ж.6). В этом уравнении “mean” означает среднее значение трех испытаний.

$$\gamma_{LCL,substate2} = \gamma_{LCL,substate1} \frac{\gamma_{mean,substate2}}{\gamma_{mean,substate1}} \quad (Ж.6)$$

где $\gamma_{\mathrm{LCL,substate1}}$ – значение скорости высвобождения энергии для первой поверхности;

$\gamma_{\mathrm{mean,substate2}}$ – среднее значение скорости высвобождения энергии, полученное при проведении 3-х испытаний для второй поверхности.

$\gamma_{\mathrm{mean,substate1}}$ – среднее значение скорости высвобождения энергии, полученное при проведении 3-х испытаний для первой поверхности.

Ж.5Отчет

Должен быть подготовлен отчет, описывающий условия проведения испытания (включая температурные) и характеристики метода ремонта, включая конструкционные материалы и технологию подготовки поверхности, результаты отдельного испытания и полученное значение γ_{LCL}.

Приложение И

(обязательное)

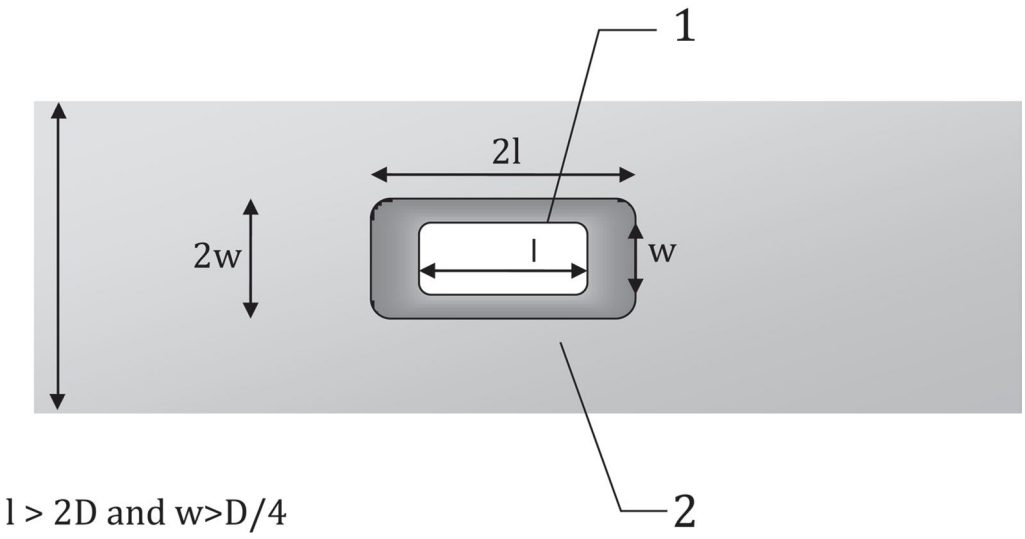
Кратковременные испытания работоспособности трубной катушки

И.1 Введение

В данном приложении приведены методы оценки ремонта поверхностных дефектов (дефектов типа А). Целью данного испытания является определение максимальной потери толщины стенки в процентах, подлежащей ремонту.

И.2 Метод

Испытание должно быть выполнено с использованием металлической трубы диаметром не менее 100 мм и длиной не менее шести диаметров дополнительно к значению длины ремонтного материала.



1 - дефект; 2 - механически обработанная зона (включая конус)

Рисунок И . 1 – Размеры дефекта

На трубе следует проточить дефект. Дефект должен иметь осевую длину l не менее двух диаметров трубы, ширина в окружном направлении w не менее четверти диаметра трубы. Глубина дефекта должна составлять 80% от исходной толщины стенки. Поверхность за пределами дефекта может быть обработана механическим способом, при этом размеры обработанной зоны не должны превышать ни 2l, ни 2w,

соответственно, как показано на рисунке И.1. Чтобы не допустить концентрации напряжений, внешние и внутренние углы должны быть скруглены. Граница зоны ремонта должна находиться на расстоянии не менее трех диаметров от края трубной катушки.

Испытательное давление катушки, p_f (МПа), должно быть рассчитано по формуле (И.1)

$$p_f = \frac{2t \cdot s_a}{D} \qquad (И.1)$$

Где t - толщина стенки неповрежденной катушки, мм;

D - наружный диметр катушки, мм;

s_a- измеренный или сертифицированный производителем предел текучести, МПа.

На катушку должен быть нанесен ремонтный композитный материал, обеспечивающий восстановление до давления p_f. Минимальная толщина ремонтного покрытия t_{repair} должна быть рассчитана по формуле (И.2)

$$t_{repair} = \frac{1}{E_c \cdot \varepsilon_{short}} \left(\frac{p_f \cdot D}{2} - s_a \cdot t_s\right) \qquad (И.2)$$

Где t_s - остаточная толщина стенки катушки в месте дефекта, мм;

E_c - модуль упругости при растяжении в окружном направлении композитного материала, МПа;

ε_{short} - кратковременный предел текучести при разрушении композита, равный 0,008

Фактическая толщина ремонтного материала должна определяться делением этой рассчитанной толщины на толщину отдельного слоя или витка. Необходимым числом витков ремонтного материала должно быть это число с округлением до следующего целого числа. Фактическая толщина ремонтного материала должна быть равна произведению числа слоев на толщину отдельного слоя.

Отремонтированная трубная катушка должна быть испытана под давлением p_f. Испытание должно проводиться в соответствии с ГОСТ ISO 1167-1.

Для положительного результата испытания требуется, чтобы трубная катушка выдерживала нагрузку давления p_f. При положительном результате ремонтная система должна быть признана прошедшей квалификационные испытания для устранения дефектов до глубины дефекта, выбранного для испытаний.

И.3 Отчет

Должен быть подготовлен отчет, описывающий условия проведения испытания, характеристики ремонтной системы и результаты отдельного испытания, а также максимальное утонение стенки, подлежащей ремонту.

Приложение К

(обязательное)

Измерение ударопрочности

К.1 Введение

В данном приложении описан метод измерения ударопрочности. Поставщик ремонтной системы должен обосновать способность ремонтной системы выдержать воздействие удара с низкой скоростью и энергией 5 Дж, соответствующего падению инструмента. Данное измерение используется для определения минимальной толщины для ремонта в ситуациях, когда механические внешние воздействия являются вероятными.

К.2 Метод

Ремонтный материал подвергают воздействию полусферического наконечника твердомера массой 0,5 кг и размером 12,5 мм, сбрасываемого с высоты 1 м. Труба должна быть расположена ориентацией дефектов по воображаемому часовому циферблату на 12 ч и груз должен падать на ремонтный материал над отверстием в испытательной трубе. Во время проведения испытания ударопрочности труба должна быть пустой.

После этого образец должен пройти испытание давлением, как описано в приложении Ж. Значение для испытания должно быть рассчитано в соответствии с приложением Ж. Рассчитанное значение γ должно быть не меньше γ_{LCL}.

К.3 Отчет об испытаниях

Должен быть подготовлен отчет, содержащий условия проведения испытания, подробные характеристики ремонтной системы, контрольные точки и полученное значение коэффициента снижения эксплуатационных характеристик.

Приложение Л

(обязательное)

Измерение коэффициента понижения эксплуатационных характеристик

Л.1 Введение

В данном приложении описывается метод испытания для измерения коэффициента снижения эксплуатационных характеристик при ремонте сквозных дефектов (дефектов типа В) путем приложения нагрузки с низкой скоростью нарастания. В приложении Б был введен коэффициент снижения эксплуатационных характеристик для снижения прогнозируемого разрушающего давления, равный 0,333 для 20-ти летнего срока эксплуатации. Этот коэффициент основан на двух явлениях: ухудшении характеристик ремонтного материала от кратковременного до долговременного предела разрушения ремонтного ламината и обоснованном мировой практикой запасе прочности 0,67 для армированных стеклопластиков. В приложении Б значение коэффициента снижения эксплуатационных характеристик по умолчанию составляет 0,5.

Л.2 Метод

Должны использоваться отрезки металлических труб диаметром не менее 100 мм и толщиной стенки не менее 3 мм с нанесенной ремонтной системой. Для моделирования типовых дефектов в трубе должны быть просверлены круглые сквозные отверстия, и нанесен ремонтный ламинат. Ламинат должен наноситься при ориентации отверстий по воображаемому часовому циферблату на 6 часов (минимизировать поступление смолы внутрь дефекта). Рекомендуется минимальный размер дефекта 25 мм.

Отрезок стальной трубы, используемый для подготовки испытательного образца, должен выдерживать предполагаемое давление разрушения ремонтного материала. Металлическая труба не должна деформироваться до разрушения.

Создается внутреннее давление, и его значение, при котором начинается утечка на ремонтном материале, должно быть зарегистрировано.

Испытание должно проводиться при температуре квалификационных испытаний.

Испытательное давление должно повышаться каждый день до разрушения образца. Нагрузка давлением должна быть такой, чтобы достичь разрушения приблизительно через 1 000 ч.

Интенсивность нагрузки, $p(t)$, по результатам испытаний приложением нагрузки с низкой скоростью нарастания, должно быть рассчитано по формуле (Л.1)

$$p(t) = p_0 + p_1 \cdot t \ , \qquad (Л.1)$$

где p_0 - начальное давление, Мпа;

p_1 - установленное линейное повышение давления, Мпа/ч;

t - время, ч.

Рекомендуется установить начальное давление на p_0 = 0,1 p_{sthp} и линейное повышение давления на p_1 = 0,9•10^{-3} p_{sthp} .

Всего должно быть выполнено пять испытаний.

Разрушение ремонтного материала должно принять форму отслоения ремонтного материала от ремонтируемой поверхности с появлением утечки по краям ремонтного ламината.

Л.3 Расчет коэффициента понижения эксплуатационных характеристик

Кратковременное давление разрушения, p_{sthp} , МПа, должно быть рассчитано по формуле (Л.2)

$$Psthp = \sqrt{\left\{\frac{0{,}001\, y_{\text{mean}}}{\frac{(1-\upsilon)^2}{E_{ac}}\left\{\frac{3}{512 \cdot t^3} \cdot d^4 + \frac{1}{\pi} \cdot d\right\} + \frac{3}{64G \cdot t} \cdot d^2}\right\}}, \qquad (Л.2)$$

где E_{ac} - комбинированный модуль упругости при растяжении $\sqrt{\mathrm{E_a} \cdot \mathrm{E_c}}$, Мпа;

G - модуль сдвига ремонтного ламината, МПа;

υ - коэффициент Пуассона для ремонтного ламината (определение см. приложение Б);

d - диаметр дефекта, мм;

t - толщина ремонтного ламината, мм;

γ_{mean} - средняя скорость высвобождения энергии (см. уравнение (Ж.3), Дж/м^2.

Должно быть рассчитано среднее давление разрушения, как минимум, пяти среднесрочных испытаний и определено значение p_{mthp}.

Градиент регрессии, B, должен быть рассчитан по формуле (Л.3)

$$B = \frac{1}{\left(\frac{\log\left(\frac{p_{sthp}}{p_1}\right)}{\log\left(\frac{p_{sthp}}{p_{mthp}}\right)}\right) - 1} \quad \text{(Л.3)}$$

Коэффициент снижения эксплуатационных характеристик, f_d, рассчитывается по формуле (Л.4), где принимается, что срок эксплуатации ремонтного материала составляет 20 лет.

$$f_d = 10^{-5,24B} \quad \text{(Л.4)}$$

Л.4 Отчет об испытаниях

Должен быть подготовлен отчет, содержащий условия проведения испытания, подробные характеристики ремонтной системы, контрольные точки и полученное значение коэффициента снижения эксплуатационных характеристик.

Приложение М

(обязательное)

Дополнительные критерии проектирования

М.1 Ударная нагрузка

Поставщик ремонтной системы должен продемонстрировать, что ремонт сквозного дефекта (дефекта типа Б) в состоянии выдержать ударное воздействие низкой скорости и энергией 5 Дж, создаваемое, например, при падении инструмента. Демонстрационное испытание должно быть проведено в соответствие с процедурой, описанной в приложении К. Данные испытания будут использованы для определения минимальной толщины ремонтного покрытия в случае, если ремонтное покрытие подвержено воздействию посторонних факторов нагрузки.

М.2 Циклические нагрузки

Перечень циклических нагрузок не обязательно ограничивается нагрузками от внутреннего давления. При оценке жесткости циклических нагрузок также должны учитываться температурные нагрузки.

Если прогнозируемое число циклов изменения давления или других нагрузок не превышает 7 000 в течение проектного срока эксплуатации, циклическое нагружение не должно учитываться.

Если прогнозируемое число циклов изменения давления или других нагрузок превышает 7 000 в течение проектного срока эксплуатации, циклическое нагружение должно учитываться.

Если прогнозируемое число циклов изменения давления или других нагрузок превышает $150*10^6$, то в уравнениях (М.2) и (М.3) для *N* должно использоваться значение $150*10^6$.

В Приложении А допустимая деформация композитного материала, как в окружном, так и в осевом направлении, значения ε_c и ε_a (см. таблицу А.1) должны быть скорректированы с помощью эксплуатационного коэффициента циклической усталости f_c, т.е.

$$\varepsilon_c = f_c \cdot \varepsilon_{c,non-cyclic},$$
$$\varepsilon_a = f_c \cdot \varepsilon_{a,non-cyclic,} \qquad \text{(М.1)}$$

где $\varepsilon_{a,non\text{-}cyclic}$ - допустимая деформация в осевом направлении (как определено в уравнении (А.6)) до корректировки на циклические нагрузки, мм;

$\varepsilon_{c,non\text{-}cyclic}$ - допустимая деформация в окружном направлении (как определено в уравнении (А.6)) до корректировки на циклические нагрузки, мм;

f_c - рассчитывается как

при R_c >0,4

$$f_c = 1{,}25\left(\frac{R_c - 1}{\log(150 \cdot 10^6) - \log(7000)}\right)\log(N) + 1 - \\ -tan\left[1{,}25(\frac{R_c - 1}{\log(150 \cdot 10^6) - \log(7000)}\right](\log(7000), \quad \text{(М.2)}$$

При $R_c \leq 0{,}4$

$$f_c = 1{,}25\left(\frac{-0{,}75}{\log(150 \cdot 10^6) - \log(7000)}\right)\log(N) + 1 - \\ +1{,}25\left(\frac{R_c - 1}{\log(150 \cdot 10^6) - \log(7000)}\right), \quad \text{(М.3)}$$

где R_c - Коэффициент жесткости циклической нагрузки, определяемый как отношение минимальной нагрузки или напряжения (min внутреннее давление) в цикле нагрузки к максимальной нагрузке или напряжению (max внутреннее давление) в цикле нагрузки: $R_c = \frac{p_{min}}{p_{max}}$;

N - число циклов нагрузки.

В приложении Б коэффициент снижения эксплуатационных характеристик, f_{leak}, в уравнениях (Б.1), (Б.2), (Б.3) или таблицах Б.2 и Б.3 должен быть заменен на

$$f_{leak} = 0{,}333 f_c \quad \text{(М.4)}$$

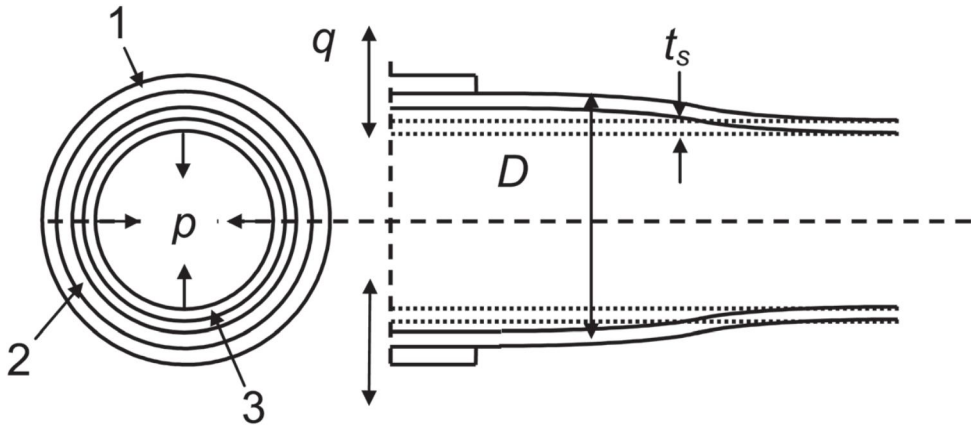
Формулы (М.2) и (М.3) были выведены, прежде всего, для циклического изменения внутреннего давления, но могут быть использованы и для осевых и темпера-

турных нагрузок с ограничением, что эти нагрузки остаются растягивающими, т.е. формулы не применимы для знакопеременных нагрузок.

М.3 Ремонт в режиме эксплуатации

Если ремонт выполняется в условиях эксплуатации, прочность и трещиностойкость связующего вещества на границе между ремонтным ламинатом и ремонтируемой поверхностью должны рассматриваться для конкретного случая, когда во время эксплуатации, внутреннее давление после выполнения ремонта, p_{after}, ниже, чем внутреннее давление во время выполнения ремонта, p_{live}, т.е. $p_{after} < p_{live}$.

Для оценки прочности сцепления на границе ремонтного материала напряжение растяжения q, МПа, должно быть сопоставлено с минимальной прочностью сцепления, определенной соответствии со спецификацией к материалу (прочность при сдвиге клеевого соединения внахлест или в соответствии со спецификацией к материалу)



1 - ремонтный материал; 2 - труба до ремонта (в режиме эксплуатации); 3 - труба после ремонта; p - проектное внутреннее давление; q - растягивающее усилие (напряжение) на границе раздела; D - наружный диаметр трубы; t_s - минимальная остаточная толщина стенки ремонтируемого объекта

Рисунок М . 1 – Схема ремонта в режиме эксплуатации

На Рисунке М.1 схематично показаны основные параметры, где q это растягивающее усилие, действующее на границе между ремонтным ламинатом и стальной ремонтируемой поверхностью при сниженном давления в трубе. Наличие этой растя-

гивающей нагрузки обусловлено тем, что сталь сжимается сильнее, чем композитный ламинат.

Растягивающее напряжение *q*, МПа, действующее на границу раздела, рассчитывается по формуле (М.5)

$$q = (p_{live} - p_{after})\left(1 - \frac{E_s t_s}{(E_s t_s + E_c t_{design})}\right) - (\alpha_c - \alpha_s)(T_{live} - T_{after})\frac{2E_c t_{design}}{D} \quad (М.5)$$

Где p_{live} - внутреннее давление на ремонтируемую поверхность во время ремонта, МПа;

p_{after} - внутреннее давление после выполнения ремонта, МПа;

E_c - модуль упругости при растяжении ремонтного ламината в окружном направлении, МПа;

E_s - модуль упругости при растяжении ремонтируемой поверхности, МПа;

t_{design} - проектная толщина ремонтного ламината, мм;

α_c - коэффициент теплового расширения ремонтного ламината в окружном направлении, 1/ ^{o}C;

α_s - коэффициент теплового расширения ремонтируемой поверхности,1/^{o}C;

T_{live} - температура во время ремонта, ^{o}C;

T_{after} - температура после ремонта, ^{o}C;

D - наружный диаметр ремонтируемого объекта, мм.

Значение *q* должно быть меньше, чем кратковременная прочность при сдвиге клеевого соединения внахлест, разделенная на коэффициент, равный трем. Данная оценка приблизительна, но результат, с учетом применяемых коэффициентов запаса, будет носить достоверный характер.

М.4 Пожарные характеристики

Требования к противопожарным характеристикам должны быть определены в ходе оценки степени риска. При этом также должны быть рассмотрены распространение пламени и дымообразование. При этом следует обратить внимание на возможную реакцию ремонтной системы. В большинстве случаев дополнительная противопожарная защита не требуется, поскольку, при кратковременном воздействии пламе-

ни ремонтируемый объект может сохранять нормальные эксплуатационные характеристики. Однако теплообмен между металлическим ремонтируемым объектом и ремонтным ламинатом может привести к тому, что температура превысит температуру стеклования, тем самым ухудшая противопожарные характеристики ремонтной системы.

Комплекс мер по повышению противопожарных характеристик включает:

– нанесение дополнительных слоев ремонтного материала, достаточных для того, чтобы при пожаре базовый композит оставался неповрежденным;

– нанесение минеральной ваты;

– нанесение вспучивающихся огнезащитных покрытий

– нанесение вспучивающихся и других энергопоглощающих материалов в составе ремонтного ламината;

– использование специальных полимеров со специальными характеристиками огнестойкости.

Подробные рекомендации по испытанию противопожарных характеристик композитных материалов приведены в ГОСТ 30244, ГОСТ Р ИСО 1182.

М.5 Катодное отслаивание

При ремонте поверхностей трубопроводов с катодной защитой может возникнуть необходимость обосновать отсутствие отслаивания ремонтного материала под воздействием катодной защиты.

Для обоснования отсутствия подверженности ремонтной системы отслаиванию под воздействием наложенного электрического поля должны применяться положения ГОСТ Р 51164.

М.6 Электропроводность

При ремонте металлических объектов, как правило, свойства поверхности будут удовлетворять требованиям электропроводности.

Если ремонтируемая поверхность является изолятором, например, изготовлена из FRP, и установлены требования к электропроводности (накопление статического заряда), должна быть измерена электропроводность ремонтной системы, чтобы показать, что исходные характеристики ремонтируемой поверхности восстановлены.

Испытание электропроводности должно быть выполнено в соответствии с ГОСТ Р 51164.

М.7 Внешние нагрузки

Минимальная толщина ремонтного материала (t_{min}), необходимая для сопротивления внешнему давлению или вакууму, воздействующему на ремонтную систему, задается следующим образом

$$t_{min} = (\frac{2l \cdot D^{3/2} \cdot p_e}{3\sqrt{2E_c}})^{0,4} \quad \text{(М.6)}$$

Расчет минимальной толщины ремонтного ламината, для обеспечения устойчивости к нагрузкам грунта и предотвращения обрушения отремонтированного объекта, установленного под землей, выполняется следующим образом

$$t_{min} = D\left[\frac{3(1-v^2)p_{ext,soil}}{2E_c}\right]^{1/3}$$

$$p_{ext,soil} = \frac{4}{\pi D}\left[D\left(h+\frac{D}{2}\right) - \frac{\pi D^2}{8} + \frac{1}{3}(h+\frac{D}{2})^2\right]\gamma_{soilg}, \quad \text{(М.7)}$$

где p_e - внешнее или вакуумметрическое давление, МПа;

$p_{ext,soil}$ - внешнее давление грунта, МПа;

v - коэффициент Пуассона для ремонтного ламината (определение в спецификации к материалу);

D - наружный диаметр ремонтируемого объекта, мм;

E_c - модуль упругости при растяжении ремонтного ламината в окружном направлении, МПа;

h - заглубление (до осевой линии), мм;

l - длина ремонтного покрытия, $l_{defect} + 2\, l_{over}$, мм;

γ_{soilg} - удельный вес почвы, МПа/мм.

В качестве проектной толщины ремонтного ламината, t_{design}, должно быть принято максимальное значение минимальной толщины ремонтного ламината, определенное по формуле (М.6) или формуле (М.7) и проектной толщины ремонтного ламината, рассчитанной в приложении А.

Подробные руководства о засыпке траншеи и других нагрузках можно найти в СП 40-102 и СП 36.13330.

М.8 Тип дефекта: вмятины и/или борозды

Такой дефект как борозды подлежит шлифованию. Оставшаяся вмятина, а также, если таковое является актуальным, остаточная толщина стенки после зачистки борозды, подлежит оценке согласно соответствующей системе оценки дефектов. При проектировании ремонта следует придерживаться расчета, описанного в Приложении А.

М.9 Дефекты, возникающие вследствие эрозии

При проектировании ремонтной системы с наличием дефекта износа ввиду истирания, следует учитывать прочность ремонтного покрытия к истиранию, в т.ч. использование наружного защитного слоя, например, эластомерной либо резиновой прокладки между композитным ламинатом и поверхностью, претерпевающей истирание.

М.10 Тип дефекта: расслоение/вздутие

Проектирование ремонтной системы при наличии отслаивания либо вздутия (внутри ремонтируемого объекта) осуществляется согласно приложению А, подразумевается, что композитная ремонтная система выдерживает сообщаемую нагрузку без поправок на остаточную прочность ремонтируемой трубы.

М.11 Ремонт прочих компонентов

Оценка ремонтной системы при ремонте прочих компонентов описана в Приложении Б.

М.11.1 Компоненты систем технологических трубопроводов

Рассматриваются следующие компоненты систем технологических трубопроводов:

- отводы;
- тройники;
- переходники;
- фланцы.

Процедура проектирования ремонта каждого компонента системы технологических трубопроводов использует сравнительный подход на основе эквивалентного прямолинейного компонента трубопровода (того же диаметра и толщины). Процесс проектирования включает расчет толщины ремонтного материала для эквивалентного прямолинейного отрезка трубы с последующим расчетом повышающего коэффициента толщины ремонтного материала, учитывающего увеличение нагрузки, обусловленное геометрией компонента.

Первым этапом проектирования является расчет толщины ремонтного материала, $t_{\text{design, straight pipe}}$, мм, для эквивалентного прямолинейного участка трубы, как описано в приложении А. Это значение учитывает как расчет прочности ремонтного материала (приложение А), так и расчет ликвидации утечки (приложение Б), если целесообразно. Можно использовать данные по эксплуатационным показателям, если таковые имеются, согласно порядку, описанному в приложении А. Вторым этапом является расчет повышающего коэффициента увеличения толщины ремонтного материала, $f_{\text{th,stress}}$, основанный на увеличении нагрузки, обусловленном геометрией компонента.

Проектная толщина ремонтного материала, $t_{\text{design,component}}$ задается уравнением (М.8)

$$t_{design,\ component} = t_{design\ stright\ pipe\ component} \cdot f_{th,stress} \qquad \text{(М.8)}$$

В таблице М.1 приведены значения коэффициента увеличения толщины ремонтного материала $f_{\text{th,stress}}$ для каждого компонента технологического трубопровода.

Таблица М.1 – Коэффициент увеличения толщины ремонтного материала для компонентов системы технологического трубопровода

Компонент системы технологических трубопроводов	Коэффициент увеличения толщины ремонтного материала, $f_{\text{th,stress}}$
Отвод	1,2
Тройник	2
Фланец	1,1
Переходник	1,1

Осевая длина ремонта должна рассчитываться согласно Приложению С

Для тройников главным диаметром является диаметр трубы с дефектом. Данный диаметр трубы должен использоваться для расчета толщины ремонтного материала по размерам эквивалентного прямолинейного отрезка трубы. Затем полученное значение умножают на коэффициент увеличения толщины ремонтного материала.

Осевой размер ремонтного материала должен определяться на основе наибольшего геометрического размера соответствующего компонента системы технологического трубопровода и является осевой длиной ремонтного материала, как для основного корпуса, так и для отвода (если применимо).

Для ремонта тройников максимально допустимое проектное давление, *p* МПа, для проектной толщины ремонтного ламината, $t_{\text{design,component}}$ (мм), должно быть ограничено следующим образом:

$$p \leq \frac{2E_c\varepsilon_c t_{design,component}}{D + D_b} \quad \text{(М.9)}$$

где ε_c - допустимая проектная окружная деформация композитной ремонтной системы;

D - наружный диаметр основного корпуса, мм;

D_b - наружный диаметр врезки, мм;

E_c - модуль упругости при растяжении ремонтного ламината, МПа.

М.11.2 Компоненты емкостей и резервуаров

Рассматриваются компоненты следующих типов емкостей и резервуаров:

– цилиндрические резервуары:

а) колпак (как сферический так и тороидальные), зона соединения с корпусом;

б) держатели, опоры, жесткие крепления;

в) тройники, патрубки;

– сферические резервуары:

а) держатели, опоры, жесткие крепления;

б) тройники, патрубки.

Для емкостей и резервуаров существует несколько возможностей применения ремонтных покрытий, что означает меньшую необходимость в валидации предлагаемых эмпирических правил проектирования ремонтных систем.

Процедура проектирования ремонта для каждого сосуда такая же, как описано в М.11.2. В таблице М.2 и таблице М.3 приведены значения повышающих коэффициентов для компонентов цилиндрических и сферических емкостей и резервуаров.

Осевая длина ремонта должна рассчитываться в соответствии с приложением Т.

Таблица М.2 – Коэффициент увеличения толщины ремонтного материала для компонентов цилиндрических резервуаров

Компоненты цилиндрического резервуара	Коэффициент увеличения толщины ремонтного материала, $f_{th,stress}$
Колпак, зона соединения с корпусом	1,1
Держатели, опоры, жесткие крепления	1,5
Тройники, патрубки	2

Таблица М.3 – Коэффициент увеличения толщины ремонтного материала для компонентов сферических резервуаров

Компонент сферического резервуара	Коэффициент увеличения толщины ремонтного материала, $f_{th,stress}$
Держатели, опоры, жесткие крепления	1,5
Тройники, патрубки	2

Осевая длина ремонтного материала должна исходить из (большего) размера основного корпуса и рассчитана как осевая длина ремонтного материала для основного корпуса и врезки (где применимо).

Для ремонта тройников и патрубков максимально допустимое проектное давление, *p* (МПа), для проектной толщины ремонтного покрытия, $t_{design,component}$ (мм), должно быть ограничено следующим образом:

$$p \leq \frac{2E_c\varepsilon_c t_{design,component}}{D+D_b}, \quad \text{(М.10)}$$

Где ε_c - допустимая проектная окружная деформация;

D - наружный диаметр основного корпуса, мм;

D_b - наружный диаметр отвода, мм;

E_c - модуль упругости при растяжении ремонтного ламината, МПа.

При условии, что эксплуатационные характеристики аналогичны ремонту, выполненному в окружном направлении, и что длина ремонта в осевом направлении имеет минимальное соответствие значениям М.13.4, можно использовать ремонтные заплатки.

М.11.3 Хомуты и другие ремонтные системы

Хомуты обычно применяют для устранения дефектов, размеры которых значительно меньше их собственных. Хомут выступает или устанавливается на заданной высоте от трубопровода. Размер фактического дефекта зависит от геометрии хомута или ремонтной системы. Часто внешняя поверхность хомута не является гладкой, например, из-за наличия болтов и т.п. элементов, поэтому не всегда возможно наличие достаточной площади поверхности для хорошего сцепления.

Если удается обеспечить хорошее сцепление между ремонтным ламинатом и всей внешней поверхностью хомута на протяжении 360^0 в окружном направлении и по всей длине хомута, например, путем испытания методом прямого отрыва купона либо квалификационные испытания материала кожуха хомута, то фактическим размером дефекта будет полный окружной дефект с размером, составляющим 1,5 установочной высоты хомута с каждой стороны. Минимальная толщина ремонтного материала должна итерационно рассчитываться по формуле (Б.3) или (Б.4) приложения Б.

Если не удается обеспечить хорошее сцепление между ремонтным ламинатом и всей внешней поверхностью хомута на протяжении 360^0 в окружном направлении и по всей длине хомута, например, для хомутов с фланцами, имеющими ориентацию в осевом направлении, и иными зажимными элементами, то фактическим размером

дефекта будет осевой размер хомута в сумме с утроенным значением установочной высоты хомута. Минимальная толщина ремонтного материала t_{min}, мм, должна рассчитываться по формуле (Б.2). Итоговая толщина ремонтного покрытия рассчитывается по формуле (М.8), где $f_{th,stress}$ равно 1,5.

Этот же принцип, определенный для хомутов, должен применяться также для ремонта существующих ремонтных систем.

Размером дефекта будет суммарный осевой размер существующего ремонтного материала (осевой размер в сумме с длиной конусной части), и минимальная толщина ремонтного материала, t_{min} (выраженная в миллиметрах), должна рассчитываться по формуле (Б.2) либо формуле (Б.3). Итоговая толщина ремонтного покрытия рассчитывается по формуле (М.8), где $f_{th,stress}$ равно 1,1.

Осевая длина зоны ремонта для хомутов и существующих ремонтных покрытий должна рассчитываться по формуле (С.1).

М.11.4 Ремонтные пластыри

Ремонтные пластыри применяют в тех случаях, когда нецелесообразно обматывать ремонтным материалом всю окружность компонента. Как правило, такие компоненты представляют собой трубы или емкости большого диаметра (более 600 мм).

Толщина ремонтного покрытия должна рассчитываться по методике, описанной в М.11.2. со ссылкой на соответствующий тип компонента.

Размер ремонтного пластыря должен быть одинаковым в осевом и окружном направлениях. Осевой размер ремонтного материала должен рассчитываться в соответствии с Приложением С.

М.12. Результаты проектирования

Результатом проектных расчетов являются следующие параметры:

- толщина ремонтного ламината, t_{design}, мм ;
- общая осевая длина ремонтного материала, l, мм;
- длина ремонтного покрытия в осевом направлении, l_{over}, мм;
- график отверждения, выражаемый в мин., либо ч, при температуре, ^{o}C ;

Проектная толщина ремонтного материала, для нанесения, должна быть выражена как число витков n в целях установки композитной ремонтной системы в соответствии с формулой (М.11):

$$n = \frac{t_{design}}{t_{layer}}, \quad \text{(М.11)}$$

где t_{layer} - толщина отдельного слоя или витка ремонтного ламината, мм.

Минимальная проектная толщина ремонтного ламината составляется из следующих значений:

- Для ремонтных покрытий типа А. Наибольшая толщина из двух слоев либо 2 мм, в зависимости от того, которое из этих значений является большим.

- Для ремонтных покрытий типа Б. Значение толщины, подтвержденное в ходе квалификационных испытаний, описанных в М.1.

Для случаев, когда вероятность внешних случайных воздействий согласно свидетельству владельца ремонтируемого объекта невелика, минимальная проектная толщина может быть снижена до большего из значений толщины двух слоев или быть принята как 2 мм.

Приложение Н

(справочное)

Характеристики для проектирования

Данное приложение является информативным и предназначено в качестве руководства процесса проектирования для определения толщины и осевой длины систем композитного ремонта. В частности, руководство направлено на подбор вариантов проектирования и способ выбора универсального типа дефекта в случае, если дефект является сквозным. В целом, в данном приложении изложена подробная информация о методике выбора правильного маршрута в блок-схеме, представленной на рисунке 1.

Базовый процесс проектирования ремонтной системы отвечает на три вопроса:

а) Является ли толщина достаточной для обеспечения нужной устойчивости ремонтного ламината к имеющимся нагрузкам?

б) Будет ли ремонтная система сохранять сцепление с ремонтируемой поверхностью трубы?

в) Выходит ли длина ремонтной системы в осевом направлении на достаточное расстояние за пределы области дефекта для обеспечения перераспределения нагрузки?

Результатом процесса проектирования является толщина ремонтной системы и ее длина в осевом направлении за пределами области дефекта. Как правило, толщина ремонтной системы не превышает 25 мм, а ее длина за пределами области дефекта варьируется от 50 до 250 мм в зависимости от диаметра трубы и толщины стенки элемента.

Вопрос а) подразумевает расчет толщины ремонтной системы с предположением применения теории тонкостенной трубы, т.е. того, что растяжение является постоянным через поперечное сечение ремонтного ламината. Критерий проектирования, применяемый в данном анализе, - это долговременное допустимое растяжение.

Вопрос б) подразумевает расчет толщины ремонтного слоя только для дефектов типа Б (сквозные дефекты). Проектный расчет основан на технологии механики разрушения с применением значения скорости высвобождения энергии (см. приложение Ж). В сущности, данное решение сравнимо с анализом теста на адгезию толстослойного покрытия методом нагнетания среды в искусственную полость. Для

дефектов типа А предполагается, что минимальная прочность при сдвиге клеевого соединения внахлест измеренная в рамках типовых испытаний ремонтной системы (см. приложение Д) сможет обеспечить достаточную адгезию.

Вопрос с) подразумевает расчет длины ремонтной системы за пределами области дефекта. Данный расчет имеет две цели, первую - обеспечение достаточной длины ремонтной системы для перераспределения нагрузки, вторую - обеспечение прочности ремонтной системы в отношении отклонений состояния ремонтируемой поверхности, вызванных дефектом.

Максимальная толщина, полученная в результате ответа на вопросы а) и б) принимается как окончательная расчетная

толщина ремонтного слоя.

Проектный допуск, использованный для расчета толщины ремонтного слоя зависит от деформации. Поставщикам ремонтной системы рекомендуется измерять долговременную деформацию разрушения ремонтной системы. Полученное значение долговременной деформации разрушения ремонтной системы затем конвертируется в проектный допуск путем применения факторов снижения характеристик ввиду изношенности, условий окружающей среды или из соображений техники безопасности. Если долговременные замеренные значения недоступны, то используются долговременные значения по умолчанию.

Для расчета толщины ремонтного слоя на основании характеристик адгезии применяется подход механики разрушения. Данный расчет требуется в случае, если ожидается, что подлежащий ремонту дефект способен развиться до сквозного в течение срока эксплуатации ремонтной системы. В данном случае проектным допуском будет критическая скорость высвобождения энергии. Это измеряемый параметр и, что важно, является функцией материала ремонтируемой поверхности, процедуры подготовки поверхности и композитного ламината. В данном расчете толщины ремонтного слоя необходимы данные о размере и геометрии сквозного дефекта. В рамках стандарта рассматриваются три характерных типа геометрии. Круглый сквозной дефект включает в себя точечные дефекты и общую коррозию с утонением стенки. При длительной продолжительности срока эксплуатации ремонтной системы для размера дефекта рекомендуется стационарное значение диаметра 25 мм. Кольцевая канавка включает в себя коррозию сварного шва или обертывание зажимов. Ширина канавки выбирается на основании замеров ширины шва, как правило, в диапазоне от 10 до 25 мм. Последним вариантом является осевая

канавка. Предполагается, что данный тип дефекта также включает в себя коррозию, расположенную на 6 часах воображаемого циферблата, где опять же ширина канавки должна приниматься в диапазоне между 10 и 25 мм при ремонте с длительным сроком эксплуатации.

Особые меры предосторожности необходимы перед ремонтом стеклопластиковых трубопроводов, так как повреждение таких трубопроводов могут быть серьезнее, чем проявленные дефекты на поверхности, и могут иметь воздействие на более длинный участок трубы, чем может показаться на первый взгляд; перед применением ремонтной системы необходима консультация с производителем стеклопластиковых труб и поставщиком ремонтной системы.

На рисунке 1 представлен краткий обзор различных вариантов, возможных при проектировании ремонтной системы.

Начальной точкой процесса проектирования является определение проектного допуска деформации. Начальной точкой данного расчета является наличие или отсутствие замеренной долговременной деформации разрушения композитного ламината. При наличии необходимо использовать уравнение (А.12) для расчета допустимой деформации для срока эксплуатации ремонтной системы. При отсутствии необходимо использовать стационарные значения, приведенные в таблице Б.1. Затем с помощью уравнения (А.6) должна быть определена расчетная допустимая деформация для учета воздействия температур. Наконец, в случае применимости факторов совместимости с окружающей средой и циклической усталости, расчетная допустимая деформация должна быть снижена ввиду применимых факторов, как определено в приложении М.

Следующим решение в процессе проектирования является определение вероятности развития дефекта до сквозного в период срока эксплуатации ремонтной системы.

Для поверхностных дефектов процесс проектирования продолжается следующим образом;

Если оценка состояния дефекта была выполнена или имеются в наличии надежные данные об инспектировании минимальной оставшейся толщины стенки трубы или сосуда, в таком случае толщина ремонта должна быть рассчитана с помощью уравнений (А.1) и (А.2) - если расчетный допуск основан на максимально допустимом напряжении в стенке трубы или сосуда, или с помощью уравнений (А.5) и (А.6) - если расчетный допуск основан на расчетном допустимом растяжении

композитного ламината. Финальная толщина ремонтной системы определяется путем умножения толщины ремонтной системы на факторы, определяющие ограничение длины в осевом направлении ремонтной системы, $f_{th,overlay}$, по уравнению (С.5) и типу элемента, f_{stress}, таблице М.1, таблице М.2 или таблице М.3. Длина ремонта в осевом направлении должна определяться по уравнению (С.1).

Для сквозных дефектов процесс проектирования продолжается следующим образом;

Температурный коэффициент понижения, f_{T2}, должен определяться по таблице Б.1. В случае наличия данных о долговременной адгезии, коэффициент понижения срока эксплуатации ремонтной системы, f_{leak}, должен рассчитываться по таблице Б.2. В случае отсутствия данных f_{leak} определяется по таблице Б.3. Эти параметры требуются для расчета механики ослабевания адгезии, определяющей толщину ремонтной системы. Необходимо выбрать характерный тип сквозного дефекта - свищ, кольцевая канавка или осевая канавка. Толщина ремонтной системы, основанная на характеристиках адгезии, должна быть рассчитана по соответствующему уравнению для выбранного характерного типа сквозного дефекта, т.е. по уравнению (Б.1), (Б.2), (Б.3) или (Б.4). Уравнения (А.10) и (А.11) в таком случае должны быть использованы для определения толщины ремонтной системы, основанной на характеристиках прочности. Толщина ремонтной системы является максимальным значением, рассчитанным по уравнению (Б.1), (Б.2), (Б.3) или (Б.4), либо по уравнению (А.10) и (А.11). Финальная толщина ремонтной системы определяется путем умножения толщины ремонтной системы на факторы, определяющие ограничение длины в осевом направлении ремонтной системы, $f_{overlay}$, по уравнению (С.5) и типу элемента, f_{stress}, таблице М.1, таблице М.2 или таблице М.3. Длина ремонта в осевом направлении должна определяться по уравнению (С.1) или (С.2) в зависимости от выбранного характерного типа сквозного дефекта.

В итоге необходимо выполнить три проверки финального результата проектирования: длина ремонтной системы с помощью уравнения (С.4), напряжение растяжения на границе ремонта и ремонтируемой поверхности при нанесении ремонтной системы на действующее оборудование - с помощью уравнения (М.5), и для тройника - проверка давления и площади тройника по уравнению (М.9).

Ниже представлены два практических примера, в которых описаны процессы проектных расчетов ремонтной системы.

Практический пример 1 рассматривает дефект типа А, практический пример 2 рассматривает дефект типа Б.

Практический пример 1

В данном примере рассматривается расчет композитной ремонтной системы для трубопровода Ду 406,4 мм с внешней коррозией с утонением стенки до 80%, необходимый расчетный срок эксплуатации составляет 10 лет. Размер коррозии в осевом направлении трубы составляет 200 мм. Эксплуатация данного трубопровода соответствует Классу 3, и подготовка поверхности трубопровода необходима до степени Sa2.5. Устойчивость при оседании под внешним давлением или устойчивость к нагрузкам почвы не требуется.

Проектные условия, размеры, свойства материала и условия установки для трубопровода сведены в таблицу Н.1

Т а б л и ц а Н . 1 Характеристики ремонтируемого трубопровода

Показатель	**Значение**
Проектное давление (МПа)	5
Проектная температура (ºС)	60
Диаметр трубы, *D* (мм)	406.4
Толщина стенки, *t* (мм)	12.7
Марка стали	API 5L Gr B
Допустимое напряжение, σ_s (МПа)	161.66
Коэффициент теплового расширения, α_s (1/°С)	$12 * 10^{-6}$
Температура нанесения, $T_{\text{нанесения}}$ (°С)	20
Давление в системе во время нанесения ремонтного материала, P_{live} (МПа)	0

Свойства материала нанесенной композитной ремонтной системы сведены в таблицу Н.2.

Т а б л и ц а Н . 2 Характеристика ремонтной системы

Показатель	**Значение**
Модуль упругости на растяжение ремонтного ламината в окружном направлении, E_c (МПа)	36 000
Модуль упругости на растяжение ремонтного ламината в осевом направлении, Ea (МПа)	36 000
Коэффициент Пуассона, *v*	0,27

Окончание таблицы Н.2

Температура стеклования, T_g (°C)	80
Коэффициент теплового расширения, α_c,(1/ °C) ((м/м/°C)	−0,000 001
Толщина слоя ремонтного ламината, t_{layer} (мм)	1,25
Прочность при сдвиге клеевого соединения внахлест (МПа),	15

Вышеуказанная информация представляет собой вводные проектные данные, как указано в блок-схеме, описывающей процесс проектирования ремонтной системы (см. рисунок 1).

Пошаговая схема процесса проектирования представлена в таблице Н.3

Т а б л и ц а Н . 3 Пошаговая схема процесса проектирования

Шаг	**Действие/состояние**	**Значение/показатель/ формула**
Шаг 1	Данные об измеренном долговременном относительном удлинении при разрушении не доступны	
Шаг 2	Определить применимую T_g в соответствии с Таблицей 5. Класс 3, для 10-летнего срока эксплуатации требуется $T_g \geq (60+20) = 80\ ^0C$ Расчет f_{T1} основывается на $(T_m-T_d) = 20\ ^0C$, где T_m - это T_g для системы, отвержденной при 20 ^{0}C (температура нанесения), а не предельное значение, включающее в себя экзотерму. Также подтвердить, что система отвердеет до T_g свыше 80 ^{0}C при нагревании до 60 ^{0}C	
Шаг 3	Рассчитать ε_{c0} и ε_{a0}, используя данные из таблицы А.6	$\varepsilon_{c0} = \varepsilon_{a0} = 0{,}002\ 77$
Шаг 4	Вычислить допустимую температурную деформацию по формуле А.7	$f_{T1} = 0{,}7$

Окончание таблицы Н.3

Шаг 5	Применить коэффициенты понижения	$\varepsilon_c = \varepsilon_a = 0{,}0014$
Шаг 6	Дефект не является сквозным, т.е. дефект типа А	
Шаг 7	Оценка состояния дефекта была выполнена на основании оставшейся толщины стенки стальной трубы для расчета максимально допустимого рабочего давления, P_s	$P_S = 2t\sigma_s/(D\text{-}t) = 2{,}03$ МПа
Шаг 8	Рассчитать толщину ремонтной системы (с ограничением допустимого растяжения в ламинате) с помощью уравнений (А.5) и (А.8)	$t_{min,c} = 12{,}02$ мм $t_{min,a} = 4{,}64$ мм
Шаг 9	Рассчитать итоговую толщину ремонтной системы с учетом, что элемент трубопровода - прямой участок, $f_{th,stress} = 1$ (см. таблицу М.1) и ограничения по осевой длине отсутствуют, $f_{th,overlay} = 1$ (см. уравнение (С.7))	$t_{design} = 12{,}02$ мм $n = 10$
Шаг 10	Рассчитать длину ремонтной системы, l_{over}, с помощью уравнения (С.3). Также рассчитаны длина конусной части (соотношение 5:1 к проектной толщине ремонта) и общая длина ремонта.	$l_{over} = 144$ мм $l_{taper} = 60$ мм $l_{total} = 607{,}6$ мм
Шаг 11	Проверка результатов проектирования Длина ремонта – уравнение (С.4) Толщина ремонта – таблица 2 Напряжение на границе ремонта и поверхности – уравнение (М.5) (не применяется) Давление/площадь – уравнение (М.9) (не применяется)	l_{min} (уравнение (С.4)) = 121 мм, что является меньше рассчитанного значения 144 мм – проверка выполнена $D/12 = 135{,}4$ мм, что является больше толщины ремонта 12,02 мм – проверка выполнена $P_{live} = 0$ проверка не требует-

Практический пример 2

В данном примере рассматривается случай проектирования системы композитного ремонта для тройника ДУ150 с признаками внутренней коррозии. Необходимый срок эксплуатации ремонта составляет 5 лет. В течение срока эксплуатации ожидается развитие внутренней коррозии до сквозного дефекта. Подготовка поверхности аналогичного тройника должна соответствовать степени в соответствии с ГОСТ Р ИСО 8501-1, но на отводе с наиболее серьезным развитием коррозии, поверхность отвода будет закрыта тонкой пластиной на время подготовки поверхности с целью предупреждения разрушения стенки отвода. Пластина закрывает отвод по окружности и имеет длину 50 мм в осевом направлении. Кроме того, зеркало фланца выступает за край пластины на 45 мм, где не требуется установка предлагаемой ремонтной системы. Эксплуатация данного трубопровода попадает под Класс 2.

Проектные данные, размеры, свойства материала и условия установки для тройника сведены в таблицу Н.4.

Таблица Н.4 Характеристики ремонтируемого трубопровода

Показатель	**Значение**
Проектное давление, (МПа)	1
Проектная температура (^{0}C)	30
Диаметр тройника, *D* (мм)	168,3
Толщина стенки тройника, *t* (мм)	7,1
Коэффициент теплового расширения, α_s (1/^{0}C)	$12 * 10^{-6}$
Температура нанесения, $T_{install}$ (^{0}C)	20
Материал тройника	Углеродистая сталь

Свойства материала нанесенной композитной ремонтной системы указаны в таблице Н.5.

Таблица Н.5. Характеристики ремонтной системы

Показатель	**Значение**
Модуль упругости на растяжение ремонтного ламината в окружном направлении, Ec (МПа)	24 000

Окончание таблицы Н.5

Модуль упругости на растяжение ремонтного ламината в осевом направлении), Ea (МПа)	8 000
Коэффициент Пуассона, v	0,27
Модуль сдвига, G (МПа)	2 000
Температура стеклования, Tg (0C)	70
Коэффициент теплового расширения, αc	25 * 10−6
Толщина слоя ремонтного ламината, tlayer (мм)	0,8
Температура квалификационных испытаний, Tqual	20
Скорость высвобождения энергии (для углеродистой стали), γLCL (Дж/м2)	227
Прочность при сдвиге клеевого соединения внахлест, (МПа)	15

Вышеуказанная информация представляет собой вводные проектные данные, как указано в блок-схеме, описывающей процесс проектирования ремонтной системы (см. рисунок 1). Пошаговая схема процесса проектирования показана в таблице Н.6.

Таблица Н.6. Пошаговая схема процесса проектирования

Шаг	**Действие/состояние**	**Значение/показатель/формула**
Шаг 1	Данные об измеренном долговременном относительном удлинении при разрушении не доступны	
Шаг 2	Определить применимую T_g в соответствии с Таблицей 5. Класс 2, для 5-летнего срока эксплуатации ы требуется $T_g \geq (30 + 20) = 50\ ^0C$ Расчет f_{T2} при T_g 70 ^{0}C, так как ремонтная система была подвергнута последующему отверждению с помощью электроодеял при температуре 50^{0}C	
Шаг 3	Рассчитать ε_{c0} и ε_{a0}, используя формулу А.6	ε_{c0} = 0,003 3 ε_{a0} = 0,001

Продолжение таблицы Н.6

Шаг 4	Вычислить расчетные допуски растяжения, ε_c и ε_a, используя уравнение (10) и f_{T1} на основании данных в таблице А.6	f_{T1} = 0 719 ε_c = 0,002 2 ε_c = 0,000 59
Шаг 5	Применить коэффициенты понижения - применение коэффициентов не требуется.	
Шаг 6	Дефект является сквозным, т.е. дефект типа В	
Шаг 7	Рассчитать f_{T2} на основании таблицы Б.1	f_{T2} = 0,719
Шаг 8	Данные о долговременных рабочих характеристиках адгезии не доступны	
Шаг 9	Рассчитать f_{leak} по таблице Б.2	f_{T1} = 0,632
Шаг 10	Выбрана ширина кольцевой канавки 50 мм	w = 50 мм
Шаг 11	Рассчитать толщину ремонта по уравнению (А.9) и (А.10) (прочностные расчеты ремонта) и уравнениям (Б.2) и (Б.3) (расчет сквозного дефекта)	$t_{min,c}$ = 1,77 мм $t_{min,a}$ = 7,33 мм $t_{min,through\ wall}$ = 5,06 мм
Шаг 12	Рассчитать итоговую толщину ремонтной системы с учетом, что элемент трубопровода - тройник, $f_{th,stress}$ = 2 (таблица Б.2) и ограничения по осевой длине присутствуют, f_{th},overlay = 1,07 (см. уравнение (С.7))	t_{design} = 15,72 мм n = 20

Окончание таблицы Н.6

Шаг 13	Рассчитать длину ремонтной системы, l_{over}, с помощью уравнения (С.3) для всех трех отводов. Также рассчитана длина конусной части (соотношение 5:1 к проектной толщине ремонта)	l_{over} = 50 мм l_{taper} = 78,6 мм (для неограниченных отводов) l_{total} = 425,5 мм (для неограниченных отводов)
Шаг 14	Проверки результатов проектирования Длина ремонта – уравнение (С.6) Толщина ремонта – таблица 2 Напряжение на границе ремонта и поверхности – уравнение (М.7) Давление/площадь – уравнение (М.11)	l_{min} (см. уравнение (21)) = 15 мм, что является меньше рассчитанного значения 50 мм – проверка выполнена D/6 = 28,05 мм, что является больше толщины ремонта 15,72 мм – проверка выполнена P_{live} = 0 n проверка не требуется Требования по давлению, P_{req} ($Н/мм^2$) (см. уравнение (30)) = 6,9, что является больше, чем проектное давление - проверка выполнена

Приложение П

(справочное)

Требования и инструкции по установке ремонтной системы

П.1 Введение

Требования и инструкции, приведенные в данном приложении, являются дополнением к предоставляемым поставщиком ремонтных систем, и определяют ключевые операции для успешного выполнения ремонта.

Поставщик ремонтной системы должен предоставлять полные инструкции по установке.

Полные инструкции по установке каждой ремонтной системы должны быть приведены в плане производства работ, подготовленном для каждого конкретного случая.

П.2 Подготовка поверхности

Подготовка поверхности является одной из важнейших операций для осуществления успешного ремонта. Методы подготовки поверхности не являются взаимозаменяемыми. Процедура подготовки поверхности является неотъемлемой частью ремонтной системы и альтернативная подготовка не должна использоваться вместо той, которая рекомендована поставщиком.

Поверхность должна быть подготовлена по всей площади нанесения ремонтного ламината и должна соответствовать конкретной ремонтной системе.

Существует несколько способов подготовки поверхности, но, как правило, они включают очистку и обезжиривание поверхности с последующей абразивной обработкой. Этот процесс может быть дополнен химической обработкой. Для проверки соответствия подготовленной поверхности требованиям соответствующего плана проведения работ должны использоваться профилографы для определения шероховатости или другая измерительная техника.

ГОСТ Р ИСО 8501-1, ГОСТ 9.402 и ГОСТ 2789, предусматривают методы оценки таких факторов, кроме того ГОСТ 9.402 предоставляет инструкции по методам подготовки, применимым для очистки стальных ремонтируемых поверхностей.

Любые химические реагенты, применяемые для подготовки поверхности, должны иметь действительный срок годности, быть свежесмешанными (где

применимо) и применяться в строгом соответствии с инструкциями поставщика ремонтной системы.

Период времени между завершением этапа подготовки поверхности и нанесением ремонтного ламината должно быть как можно более коротким, но не более 4 ч.

До нанесения предварительного покрытия или ремонтного ламината подготовленные поверхности должны быть защищены от загрязнения. Любые признаки ухудшения состояния поверхности, вызванные обслуживанием, попаданием воды или другими воздействиями, следует считать причиной для отбраковки и повторения процедуры подготовки поверхности.

Выбранный метод подготовки поверхности не должен быть заменен другим методом если не поступает однозначных указаний поставщика ремонтной системы, после того как метод был квалифицирован в качестве альтернативного как часть отдельной ремонтной системы.

П.3 Нанесение ламината

Подробные инструкции по процедуре нанесения должны быть предоставлены поставщиком ремонтной системы.

Процедура нанесения включает:

- компаунд с заполнителем;
- нанесение грунтовочного покрытия;
- подготовка смолы, связующего;
- ориентация армирования;
- перекрытие смежных слоев;
- перекрытие отдельных слоев;
- уплотнение слоев;
- отделочный слой, внешнее покрытие;
- конусная часть;
- неразрывность противокоррозионной защиты (если применимо) между краем ремонтного материала и покрытием трубы;
- режим отверждения.

В идеальном варианте ремонтный ламинат не должен наноситься, если температура поверхности превышает температуру точки росы окружающего воздуха

менее чем на 3 ^{0}C, или относительная влажность воздуха выше 85 %, если местные условия не предписывают обратное. Инструкции по оценке вероятности конденсации можно найти в ГОСТ 9.402. Кроме того, в идеальном случае, предпочтительно, чтобы температура ремонтируемой поверхности была выше 5 ^{0}C.

П.4 Отверждение

Поскольку на отверждение ремонтного ламината оказывает большое влияние температура и правильность смешивания компонентов связующей системы перед нанесением, ограничения по нанесению, установленные поставщиком ремонтной системы, не должны выходить за пределы ограничений без утверждения поставщиком ремонтной системы.

Если для отверждения требуется повышенная температура, мониторинг температуры должен выполняться в течение всего процесса отверждения.

Время полного отверждения зависит от типа используемой при ремонте смолы и условий окружающей среды. Глубина отверждения должна измеряться проверкой твердости по Барколу или Шору, либо с использованием DSC (дифференциальной сканирующей калориметрии). Измерение твердости по Барколу или Шору может использоваться в качестве подтверждения отверждения ремонтной системы. Значения приемлемости должны быть предоставлены поставщиком ремонтной системы. Независимое измерение твердости не должно использоваться для определения полного отверждения ремонта Класса 3, но дополнительно необходима демонстрация соблюдения графика отверждения, как указано в 6.5.3.

Отремонтированный объект может быть допущен к дальнейшей эксплуатации только после полного отверждения

Приложение Р

(справочное)

Управление целостностью композитных ремонтных систем, нанесенных на трубопроводы и сосуды

Р.1 Инженерные системы композитного ремонта: Ответственность владельца

Если в результате проведенной оценки риска был сделан вывод, что инженерный композитный ремонт является оптимальным решением, в таком случае возникает ряд задач, подлежащих активному контролю. На рисунке Р.1 представлена краткая схема ролей и обязанностей владельца в ходе процесса ремонта и на протяжении срока эксплуатации ремонтной системы. Данные роли и обязанности обозначены как Задача 1, Задача 2, Задача 3, Задача 4 и Задача 5.

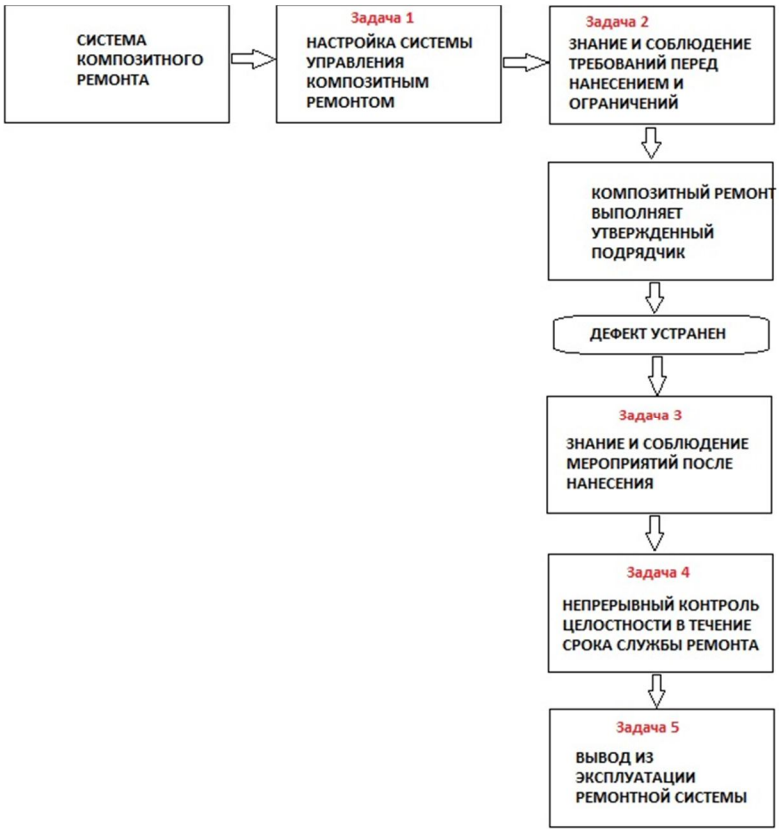


Рисунок Р.1 – Блок-схема процесса нанесения ремонтной системы

Расчетный срок эксплуатации ремонтной системы обозначается на начальном этапе. Он ограничивается набором факторов, среди которых в том числе постоянные механизмы снижения эксплуатационных характеристик. Возможность осуществления инспекций ремонтной системы будет являться существенным фактором при определении возможности подтверждения целостности на протяжении всего срока эксплуатации ремонтной системы.

Р.1.1 Система управления композитным ремонтом – Задача 1

Владелец должен иметь разработанную процедуру, в соответствии с которой распределяются роли и ответственности ключевого персонала в процессе нанесения ремонтной системы. Владелец несет ответственность за разработку схемы осмотров для контроля целостности ремонта, зачастую совместно с представителями уполномоченных контролирующих органов. Все роли и ответственности должны быть четко определены для всех применимых случаев.

Также владелец должен назначить ответственное лицо для координации процесса нанесения ремонтной системы. Обязанностью такого ответственно лица является контроль подготовки поверхности в соответствии с применимым стандартом, а также контроль графика нанесения (см. Р.1.2). Кроме того, то же ответственное лицо контролирует и обеспечивает, чтобы вопрос непрерывности антикоррозионной защиты (см. Р.1.3) был закрыт наряду с прочими мероприятиями, следующими непосредственно за процессом нанесения ремонтной системы.

Необходимо обеспечить предоставление всей необходимой документации по контролю качества поставщиком ремонтной системы (см. 7.2.2 и 7.5.).

Р.1.2 Требования по подготовительным мероприятиям – Задача 2

Качество подготовленной поверхности является залогом целостности любого инженерного композитного ремонта. Свойства сцепления между ремонтируемой поверхностью и композитом являются ключевыми для обеспечения переноса нагрузки (и герметизации при необходимости), и в высокой степени зависит от

стандарта подготовки поверхности. В Р.2 указано, что ремонт должен быть осуществлен в течение 4 часов после подготовки поверхности. В таблице 16 приведены ключевые точки останова работ, необходимые к соблюдению со стороны установщика ремонтной системы/руководителя работ.

При наличии сквозных дефектов перед нанесением ремонтной системы необходимо выполнить устранение утечки соответствующим способом. Устранение утечки выполняется для защиты от попадания на ремонтный материал перекачиваемой жидкости, которая в случае контакта может в значительной степени повлиять на эксплуатационные характеристики ремонтной системы.

Р.1.3 Требования по мероприятиям непосредственно после нанесения – Задача 3

Процесс ремонта не может считаться завершенным до обеспечения непрерывной антикоррозионной защиты на концах ремонтной системы. Как правило, этот процесс является ответственностью владельца, но дополнительно требуется согласование с поставщиком ремонтной системы насчет совместимости применимых лако-красочных материалов с ремонтной системой. Конечные точки ремонтной системы являются потенциальными точками инициации коррозии в наиболее важных областях перераспределения нагрузки ремонтной системы (см. рисунок Р.2).

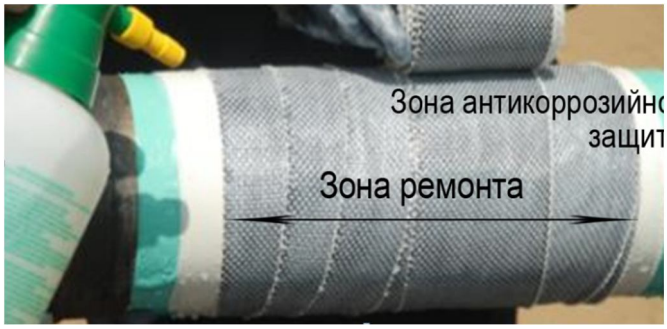


Рисунок Р.2 – Восстановление антикоррозинной защиты между установленной композитной муфтой и существующим защитным слоем; отсутствие слоя антикоррозионной защиты приводит к образованию коррозии по краям ремонтной системы

Рекомендуется по окончании нанесения ремонтной системы сделать фотографии для обеспечения приемки и согласования результата со стороны ответственного лица, назначенного владельцем. В этой связи возможно будет целесообразным взаимодействие с поставщиком ремонтной системы на предмет соответствия фактически установленной ремонтной системы изначальному замыслу. Несмотря на тот факт, что фотография является неполноценным источником информации, тем не менее с ее помощью возможно засвидетельствовать очевидные несоответствия, такие как несплошность антикоррозионной защиты по краям

ремонтной системы, о чем было сказано выше. Необходимо отметить, что в некоторых случаях фиксаторы или компрессионная лента могут оставаться после завершения ремонта, но они могут служить помехой при визуальном осмотре (см. Р.1.4).

Ответственное лицо со стороны владельца обеспечивает внесение проведенного ремонта в реестр ремонтных работ, а также наличие схемы инспекций перед приемкой и согласованием осуществленного ремонта. Возможно, это потребует проведения инспекции по проверке исходных данных непосредственно после нанесения ремонтной системы. Кроме того, необходимо обеспечение контроля по внесению обновлений в ряд проектных документов (схемы обвязки и КИП и пр.) с целью избежать неопределенности в отношении точного месторасположения муфт и критичности их состояния.

Р.1.4 Непрерывное управление целостностью на протяжении срока эксплуатации ремонтной системы – Задача 4

При определении уровня и периодичности инспекции, необходимо уделить внимание природе механизмов ухудшения эксплуатационных характеристик ремонтируемой поверхности, которые привели к потребности проведения инженерного композитного ремонта, а также последствиям отказа.

Соответственно, рекомендуемым методом является инспектирование с учетом фактора риска. Необходимо отметить, что несмотря на расчетный и гарантированный срок эксплуатации самой ремонтной системы на протяжении 20 лет, это не является гарантией целостности ремонтной системы в целом в течение этого периода времени.

В 8.1. указано, что ключевыми точками для неразрушающего контроля системы композитного ремонта являются:

– Инспекция ремонтного ламината;

– Инспекция качества сцепления между ламинатом и ремонтируемой поверхностью;

– Инспекция поверхности под ремонтным ламинатом. При ремонте поверхностей, подвергнутых внешней коррозии, особое внимание необходимо уделить любым изменениям условий процесса, которые могут привести к воздействию на поверхность механизмов снижения эксплуатационных характеристик, отличных от тех, что были предусмотрены при проектировании и нанесении ремонтной системы. По-

стоянный риск возникновения внешней коррозии необходимо контролировать посредством визуального осмотра и дополнительных мероприятий по НК при необходимости.

При ремонте поверхностей с имеющимся риском внутренней коррозии расчетный срок эксплуатации ремонтной системы будет зависеть от скорости коррозии ремонтируемой поверхности. В то время как на этапе проектирования ремонтной системы возможно допущение консервативных предположений относительно скорости развития коррозии, это должно подтверждаться проведением мероприятий по НК на соответствующих промежутках для обеспечения целостности ремонтируемой поверхности. Возможной является непредвиденная коррозия по причине изменения рабочих условий. В случае если таковое приводит к отказу системы, велика вероятность, что одним из последствий будет утечка по краю композитного ремонта.

Кроме того, необходимо принимать во внимание чувствительность композитного материала к вновь появившимся механизмам ухудшения эксплуатационных характеристик. Например, для ремонтных систем может потребоваться защита на участках присутствия риска механического повреждения или инструктаж для персонала, осуществляющего работы на таких участках.

В настоящий момент не существует утвержденного способа инспектирования целостности сцепления с особым вниманием к важности качества подготовки поверхности. При визуальном осмотре особое внимание необходимо уделять краям ремонтной системы, так как это участки, подверженные наибольшему риску расслоения, что является внешне заметным признаком.

Необходимо отметить, что добавление композитных ремонтов представляет собой дополнительные долгосрочные задачи по управлению целостностью, которые должны быть учтены на начальном этапе оценки рисков.

Р.1.5 Вывод из эксплуатации инженерного композитного ремонта-Задача 5

Необходимо поддержание рабочих систем осуществления работ и ведения документации (в частности, реестра ремонтных работ) таким образом, чтобы с их помощью можно было четко определить приближение окончания срока эксплуатации ремонтной системы и связанные с этим необходимые действия. То есть данный процесс должен контролироваться таким образом, чтобы с его помощью было возможно принятие своевременных эффективных решений в отношении дальнейшего ремонта или замены ремонтной системы.

Приложение С.

(обязательное)

Расчет осевой длины муфты

С.1 Расчет осевой длины композитной муфты

Проектная осевая длина ремонтного ламината l_{over} , мм, должна покрывать поврежденную зону ремонтируемой поверхности, перекрывая ее более, чем на 50 мм или l_{over} рассчитывается по формуле (С.1) или по формуле (С.2)

Для дефектов осевого типа

$$l_{over} = 2\sqrt{D \cdot t} \qquad \text{(С.1)}$$

Для дефектов кольцевого типа

$$l_{over} = 4d, \text{ при } d < 0{,}5\sqrt{D \cdot t}, \qquad \text{(С.2)}$$

где d - эффективный диаметр дефекта, мм;

D - первоначальный наружный диаметр ремонтируемого объекта, мм;

t - исходная толщина стенки ремонтируемого объекта, мм.

Если условие равенства в формуле(С.2) не выполняется, должна использоваться формула (С.1). В Приложении Т приведена справочная Таблица Т1 осевых размеров ремонтного материала в зависимости от диаметра ремонтируемого объекта и размера дефекта.

Общая осевая длина ремонтного участка l, мм, рассчитывается по уравнению

$$l = 2l_{over} + l_{defect} + 2l_{taper}, \qquad \text{(С.3)}$$

где l_{taper} - осевая длина конусной части, мм;

l_{defect} - осевая длина дефекта, мм.

Если присутствуют осевые нагрузки, концы ремонтного покрытия должны быть сведены на конус. Такие осевые нагрузки могут быть следствием краевых эффектов,

обусловленных внутренним давлением, или возникать из-за наличия системных нагрузок, таких как изгиб или термическое расширение. Рекомендуется минимальная конусность 5:1.

Чтобы убедиться в том, что проектная осевая длина ремонтного ламината (l_{over}) достаточна для переноса приложенной осевой нагрузки с ремонтируемой поверхности на ремонтный материал, должно выполняться условие уравнения (С.4)

$$l_{over} > \frac{3E_a \cdot \varepsilon_a \cdot t_{design}}{\tau} \qquad (С.4)$$

где E_a - модуль упругости при растяжении композитного ламината в осевом направлении, МПа;

ε_a - проектная осевая деформация ремонтной системы, мм;

$t_{min,a}$ минимальная толщина ремонтного ламината в осевом направлении, мм (см.приложение А);

τ - прочность при сдвиге клеевого соединения внахлест, МПа (см. Приложение Б, либо техническую спецификацию к материалу).

2. Расчет длины композитной муфты с учетом поправок на ограниченную длину перекрытия дефекта

Если геометрические характеристики ремонтируемого участка таковы, что невозможно использовать ремонтный материал необходимого осевого размера, l_{over}, включая необходимую длину конусной части в осевом направлении l_{taper}, то для учета ограниченного размера доступного участка ремонтируемого объекта $l_{available}$ в осевом направлении (т.е. менее чем было установлено в ходе расчетов по уравнениям С.1 или С.2), проектная толщина ремонтного ламината, t_{design}, определенная в Приложениях 1 или 2 , должна быть увеличена путем умножения на коэффициент $f_{th,overlay}$, рассчитанный по формуле (С.5)

$$f_{th,overlay} = (\frac{l_{over}}{l_{available}})^{\frac{2}{3}}, \qquad (С.5)$$

где $t_{design.finish} = f_{th,overlay} \cdot t_{design}$.

Данная процедура проектирования является консервативным подходом по определению размера ремонтного покрытия в осевом направлении, выходящего за

пределы дефекта. В случае необходимости оптимизации проекта ремонтной системы в отношении толщины ремонтного покрытия, можно выполнить детальный анализ расчетных напряжений клеевого слоя для исследования передачи осевой нагрузки между ремонтным материалом и ремонтируемой поверхностью. Анализ также должен показать, что среднее основное напряжение (среднее по напряженной части клеевого слоя) по крайней мере, в три раза меньше среднего основного напряжения по результатам испытания прочности при сдвиге клеевого соединения внахлест (см. Таблицу 4 или спецификацию к материалу).

Протяженность ремонтного материала с расчетной толщиной в осевом направлении (l_{over}) должна составлять как минимум 25 мм и $f_{\text{th,overlay}}$ не должен превышать 2,5.

При ограничении осевого размера доступной ремонтируемой поверхностью, становится невозможным создать конусность края ремонтного ламината. В этом случае переход между ремонтным ламинатом и ограниченной ремонтируемой поверхностью, например, опорной поверхностью фланца, должен быть максимально сглаженным, чтобы уменьшить концентрацию напряжений. Ремонтный ламинат должен сводиться на конус везде, где это возможно, особенно при наличии осевых нагрузок, чтобы минимизировать краевое напряжение ремонтного ламината.

Общая осевая длина ремонтного материала при наличии ограничений определяется следующим образом.

Для осевого размера, ограниченного с одной стороны

$$l = l_{over} + l_{defect} + l_{taper} + l_{available} \quad \text{(C.6)}$$

Для осевого размера, ограниченного с двух сторон

$$l = l_{over} + l_{available,1} + l_{available,2} \quad \text{(C.7)}$$

где большее из двух значений $f_{\text{th,overlay}}$ используют для расчета проектной толщины ремонтного материала по уравнению (C.5).

При нанесении ремонтного материала поверх таких деталей, как фланцы, хомуты и т.п. осевой профиль ремонта должен быть как можно более гладким, не допуская резких изменений диаметра, вызывающих локальную концентрацию напряжений. При этом для сглаживания профиля допускается увеличивать толщину ремонтного покрытия.

При нанесении ремонтного материала на выступающие поверхности, переходы с ремонтного материала на выступающую поверхность необходимо обогнуть так, что-

бы не допустить резких изменений направлений. При необходимости следует выполнить более тщательный анализ для выявления наличия достаточной осевой длины ремонтного покрытия для передачи нагрузки между ремонтируемым объектом и ремонтным покрытием

Приложение Т

(справочное)

Справочная таблица осевого размера ремонтного материала

Таблица Т.1

Параметр трубы				Эффективный диаметр дефекта *d,*мм					
				5	10	15	20	25	канавка
Номи-нальный диаметр трубы, DN	Наружный диаметр трубы, мм *D* мм	Толщина стенки *t,* мм мм	Сортамент (Shedule)	Осевая длина *t,* мм					
50	60,3	3,9	40	50	50	50	50	50	50
		5,5	80	50	50	50	50	50	50
80	88,9	5,5	40	50	50	50	50	50	50
		7,6	80	50	50	52	52	52	52
100	114,3	6	40	50	50	52	52	52	52
		8,6	80	50	50	60	63	63	63
150	168,3	7,1	40	50	50	60	67	67	67
		11,0	80	50	50	60	80	80	80
200	219,1	6,4	20	50	50	60	75	75	75
		7	30	50	50	60	78	78	78
		8,2	40	50	50	60	80	85	85
		10,3	60	50	50	60	80	95	95
		12,7	80	50	50	60	80	100	106
250	273	6,4	20	50	50	60	80	84	84
		7,8	30	50	50	60	80	92	92
		9,3	40	50	50	60	80	100	101
		12,7	60	50	50	60	80	100	118
		15,1	80	50	50	60	80	100	128

Окончание таблицы Т.1

300	323,8	6,4	20	50	50	60	80	91	91
		8,4	30	50	50	60	80	100	104
		10,3	40	50	50	60	80	100	116
		14,3	60	50	50	60	80	100	136
		17,5	80	50	50	60	80	100	151
400	406,4	6,4	10	50	50	60	80	100	102
		7,9	20	50	50	60	80	100	113
		9,5	30	50	50	60	80	100	124
		12,7	40	50	50	60	80	100	144
		16,7	60	50	50	60	80	100	165
		21,4	80	50	50	60	80	100	187
500	508	6,4	10	50	50	60	80	100	114
		9,5	20	50	50	60	80	100	139
		12,7	30	50	50	60	80	100	161
		15,1	40	50	50	60	80	100	175
		20,6	60	50	50	60	80	100	205
		26,2	80	50	50	60	80	100	231
600	610	6,4	10	50	50	60	80	100	125
		9,5	20	50	50	60	80	100	152
		14,3	30	50	50	60	80	100	187
		17,5	40	50	50	60	80	100	207
		24,6	60	50	50	60	80	100	245
		31	80	50	50	60	80	100	275
750	762	7,9	10	50	50	60	80	100	155
		12,7	20	50	50	60	80	100	197
		15,9	30	50	50	60	80	100	220
900	914	7,9	10	50	50	60	80	100	170
		12,7	20	50	50	60	80	100	215
		15,9	30	50	50	60	80	100	241
		19	40	50	50	60	80	100	264

Библиография

[1] ИСО 13623 Нефтяная и газовая промышленность. Системы трубопроводного транспорта (*ISO 13623, Petroleum and natural gas industries – Pipeline transportation systems.*)

[2] ИСО 15649 Нефтяная и газовая промышленность. Технологический трубопровод (ISO 15649, Petroleum and natural gas industries – Piping)

[3] АСМЕ ПСС-2 Ремонт сосудов и технологических трубопроводов, работающих под давлением (*ASME PCC-2, Repair of Pressure Equipment and Piping)*

[4] БС ЕН 13121 Применение резервуаров и сосудов из стекловолокна для наземных сооружений *(BS EN 13121, GRP tanks and vessels for use above ground)*

[6] АСМЕ ПСС-2-2011 Часть 5 Статья 5.1 Испытания на прочность и герметичность технологических трубопроводов *и оборудовании (ASME PCC-2-2011 Part 5 Article 5.1, Pressure and tightness testing of piping and equipment)*

**

УДК_____ ОКС_____ _____
код продукции

Ключевые слова: промышленность нефтяная, нефтехимическая и газовая, трубопровод, труба, сосуд, емкость, ремонт трубопровода, композитный материал, восстановление несущей способности, проектирование, оценка, испытание.

Руководитель организации-разработчика

_____
Наименование организации

	_____ должность	_____ личная подпись	_____ инициалы, фамилия
Руководитель разработки	_____ должность	_____ личная подпись	_____ инициалы, фамилия
Исполнитель	_____ должность	_____ личная подпись	_____ инициалы, фамилия

СОИСПОЛНИТЕЛИ

Руководитель организации-разработчика

_____
Наименование организации

	_____ должность	_____ личная подпись	_____ инициалы, фамилия
Руководитель разработки	_____ должность	_____ личная подпись	_____ инициалы, фамилия
Исполнитель	_____ должность	_____ личная подпись	_____ инициалы, фамилия