

Введение

Насосно-компрессорные трубы (НКТ) предназначены для эксплуатации нефтяных и газовых скважин, изготавливаются по стандартам ГОСТ Р 53366, ГОСТ 31446 (переведенный в межгосударственный стандарт ГОСТ Р 53366), API 5 CT, ГОСТ 633 и техническим условиям.

Резьбовые соединения НКТ изготавливаются по ГОСТ Р 53365, ГОСТ Р 51906, APISpec 5B, ГОСТ 633 и техническим условиям. Насосно-компрессорные трубы с резьбой треугольного профиля имеют угол 60° с закругленными вершинами и конусность $2\text{tg}\varphi=1:16$.

При сборке труб с муфтами сопряжение происходит по боковым сторонам профиля по средней линии резьбы. По вершинам и впадинам резьбы имеются зазоры, которые заполняются в резьбовом соединении резьбоуплотнительной смазкой.

При силовом свинчивании конической резьбы НКТ обеспечивается натяг в резьбовом соединении.

Несоблюдение рекомендаций по эксплуатации труб могут приводить к повреждениям резьбовых соединений и авариям.

Авария может быть и следствием нарушений, произошедших в процессе эксплуатации, таких как истирание тела трубы штангами, превышение предельных нагрузок, усталостные разрушения в резьбе, коррозия труб от взаимодействия металла с агрессивными агентами добываемой газожидкостной смеси (ГЖС), от агрессивного воздействия пластовых вод и т.п.

Наиболее характерными коррозионными разрушениями поверхности труб являются питтинговая коррозия, коррозионное растрескивание под напряжением, сульфидное растрескивание под напряжением, уголекислотная коррозия, электрохимическая коррозия. Возможны другие виды локального коррозионного разрушения – эррозионный износ, коррозия в виде отдельных язв (каверн) и т.д.

Классификатор видов повреждений насосно-компрессорных труб при эксплуатации разработан для оценки видов и основных причин повреждений насосно-компрессорных труб в процессе эксплуатации.

При разработке классификатора были использованы:

- Отчеты экспертных исследований аварийных образцов в ООО «Научно-исследовательский институт разработки и эксплуатации нефтепромысловых труб»;
- Отчеты проведения испытаний опытных образцов ООО «Научно-исследовательский институт разработки и эксплуатации нефтепромысловых труб»;
- Результаты комплексных исследований ПАО «СинТЗ» образцов насосно-компрессорных труб с повреждениями при эксплуатации;

- Результаты проведения опытных исследовательских работ ПАО «СинТЗ» при различных условиях свинчивания-развинчивания, моделирующих возможные ситуации СПО, приводящие к нарушениям резьбового соединения насосно-компрессорных труб.

Разработанный документ содержит следующие разделы:

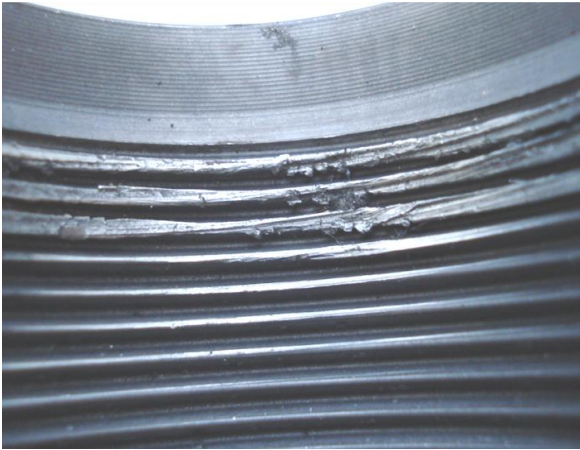
- виды повреждения резьбового соединения при эксплуатации;
- виды повреждения тела трубы при эксплуатации;
- коррозионные повреждения труб.

Составители:

Антипов Ю.Н.	Генеральный директор ООО «ВНИИТнефтетрубы», к.т.н.
Стрельников В.Ю.	Заместитель технического директора ООО «Научно-исследовательский институт разработки и эксплуатации нефтепромысловых труб»
Фролов С.В.	Начальник Центра научно-инженерного обеспечения ООО «Научно-исследовательский институт разработки и эксплуатации нефтепромысловых труб»
Михеев Д. А.	Начальник Центра прикладного материаловедения ООО «Научно-исследовательский институт разработки и эксплуатации нефтепромысловых труб»
Гукин А.Е.	Заместитель начальника Центра прикладного материаловедения ООО «Научно-исследовательский институт разработки и эксплуатации нефтепромысловых труб»
Родштейн О.С.	Ведущий инженер Центра научно-инженерного обеспечения ООО «Научно-исследовательский институт разработки и эксплуатации нефтепромысловых труб»
Лёхин П.Г.	Ведущий инженер Центра научно-инженерного обеспечения ООО «Научно-исследовательский институт разработки и эксплуатации нефтепромысловых труб»

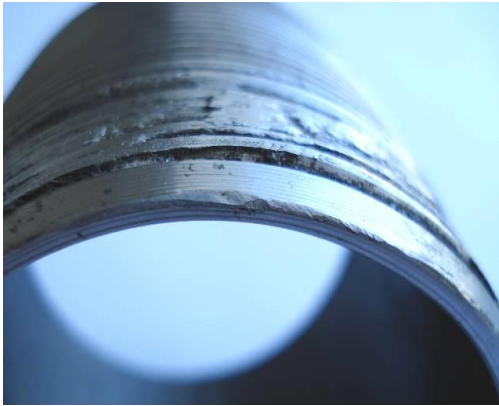
№ п/п	Виды поврежде- ния	Описание	Причины возникновения	Фото
Виды повреждений резьбы при эксплуатации				
1	Смятие витков резьбы ниппеля	Смятие витков резьбы различной протяженности, начиная от заходной фаски ниппеля	- Отсутствие предварительного свинчивания вручную для обеспечения захода (попадания) резьбы ниппеля в резьбу муфты; - свинчивание с перекосом. - отсутствие предварительного подбора крутящего момента - усилия свинчивания превышают предел текучести и предел прочности материала (временное сопротивление σ_v) <u>Примечание.</u> Характер повреждения резьбы ниппеля свидетельствует о том, что ниппельная часть при сборке с муфтой ввинчивалась с перекосом без предварительного ручного свинчивания, обеспечивающего правильный заход резьбы и попадание витков резьбы трубы в витки резьбы муфты, о чем свидетельствует смятие заходной фаски резьбы ниппеля начиная от торца со следами врезания от резьбы муфты (фото 1), задиры и смятие резьбы. При нормальном свинчивании (без перекосов) заходная фаска ниппеля не находится в соединении с муфтой и следовательно повреждена быть не может.	 Фото 1

№ п/п	Виды повреждения	Описание	Причины возникновения	Фото
Виды повреждений резьбы при эксплуатации				
2	Смятие витков резьбы ниппеля	Смятие витков резьбы различной протяженности по длине в осевом направлении, начиная с 1-го витка от торца ниппеля.	- Отсутствие предварительного свинчивания вручную. - свинчивание с перекосом; <u>Примечание.</u> 1. Одним из признаков смятия витков в соединении при силовом свинчивании является недоворот муфты при силовом свинчивании (фото 2б). Основная причина аварий, связанных с обрывом колонны по резьбе. 2. В соответствии с НД, при свинчивании вручную резьбовых соединений НКТ (до предела ручной затяжки), расстояние от торца муфты до конца сбег резьбы, в зависимости от сочетания фактических натягов резьбы трубы и муфты составляет ~5-10 мм (для труб с шагом 2,54) и ~6,4-13 мм (для труб с шагом 3,175 мм). Т.е. при правильном свинчивании конической резьбы НКТ такое положение муфта, навинченная на трубу (фото 2б) достигает при свинчивании от руки. 3. Смятие резьбы также свидетельствует о том, что величина крутящего момента при силовом свинчивании превышает предел текучести и предел прочности материала (временное сопротивление σ_B).	 Фото 2а  Фото 2б

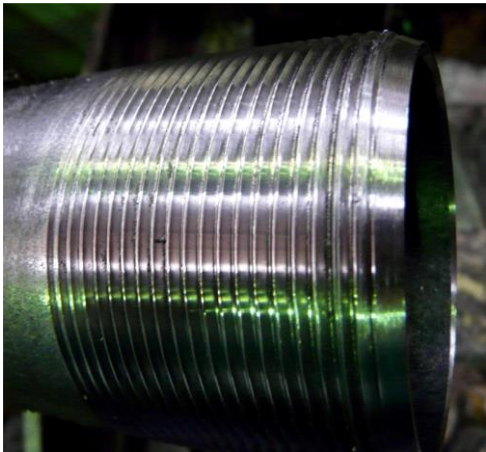
№ п/п	Виды поврежде- ния	Описание	Причины возникновения	Фото
Виды повреждений резьбы при эксплуатации				
3	Задиры на первых витках резьбы муфты	Повреждение пер- вых витков резьбы муфты от торца.	- Удары при посадке трубы в муфту; - отсутствие предварительного свинчивания вручную; - перекос в начале свинчивания (фото 3а). <u>Примечание.</u> При таком повреждении по мере свинчивания трубы с муфтой до до- стижения положения, при котором начинается свинчивание с натя- гом, на ответной части ниппеля образуются задиры, смятие резьбы (фото 3б).	 Фото 3а  Фото 3б

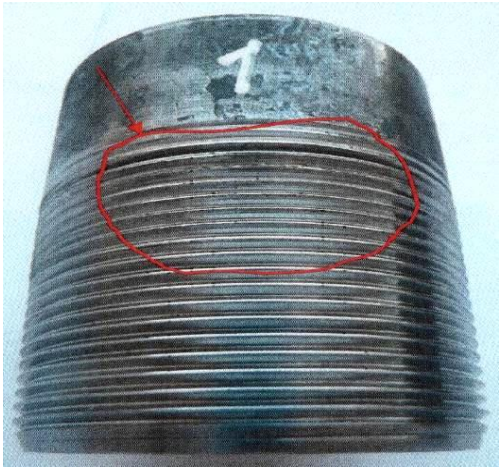
№ п/п	Виды поврежде- ния	Описание	Причины возникновения	Фото
Виды повреждений резьбы при эксплуатации				
4	Задиры от ключа на теле трубы и следы от задержника на теле муфты	Задиры на теле трубы от плашек гидроключа со смятием металла. Задиры на теле муфты от задержника со смятием металла.	Механическое воздействие на тело трубы в ходе операций свинчивания. - использование несоответствующих диаметру трубы плашек гидроключа; - проскальзывание плашек гидроключа; - нестабильная (с рывками) работа гидроключа; - превышение крутящего момента гидроключа. Механическое воздействие на тело муфты в ходе операции свинчивания. - использование несоответствующего задержника диаметру трубы; - проскальзывание захватов задержника.	 Фото 4а  Фото 4б

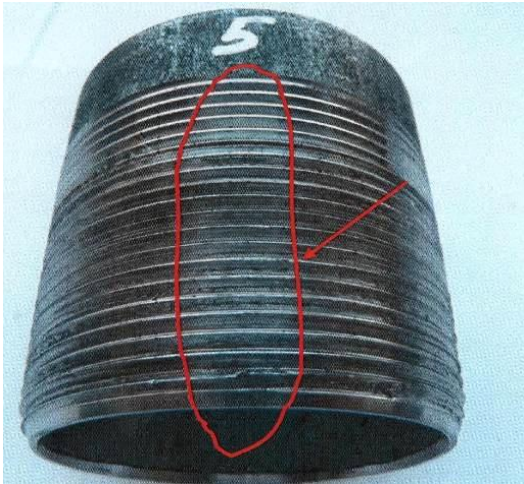
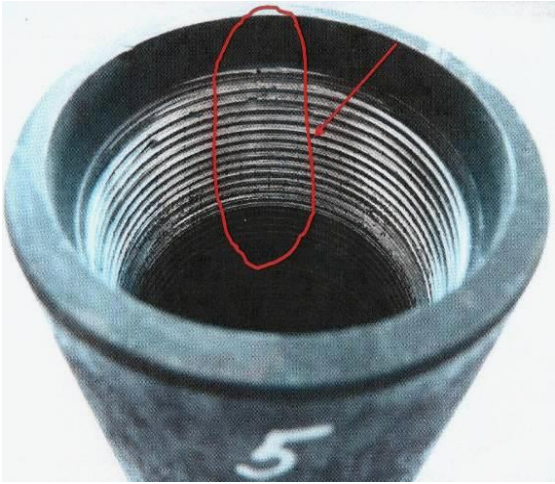
№ п/п	Виды повреждения	Описание	Причины возникновения	Фото
Виды повреждений резьбы при эксплуатации				
5	Смятие резьбы ниппеля	Смятие витков, начиная с первого витка резьбы ниппеля. Задиры на заходной фаске резьбы	- Отсутствие предварительного свинчивания вручную; - свинчивание с перекосом; - отсутствие предварительного подбора оптимального крутящего момента; - свинчивание труб с поврежденной резьбой. <u>Примечание.</u> Смятие резьбы со сдвигом металла свидетельствует о том, что фактический крутящий момент превышал предел прочности и предел текучести материала.	 Фото 5
6	Задиры на первых витках резьбы ниппеля	Повреждение первых витков резьбы от торца ниппеля в виде задиrow, смятия	- Перекос в начале свинчивания; - удары при посадке трубы в муфту; - отсутствие предварительного свинчивания вручную; - подъем трубы при не полномразвинчивании соединения.	 Фото 6

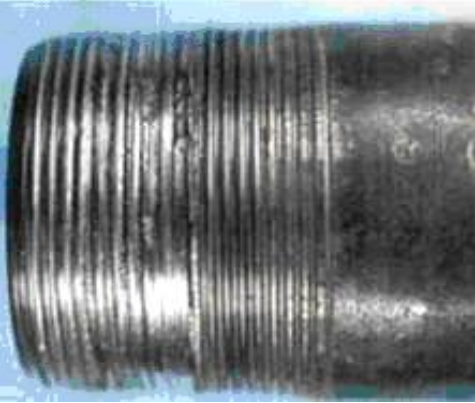
№ п/п	Виды повре- ждения	Описание	Причины возникновения	Фото
Виды повреждений резьбы при эксплуатации				
7	Забоины	Повреждения в виде вмятин, забоин на торце трубы, заходной фаске и резьбе	- Удары при транспортировке; - отсутствие предохранительных деталей; - удары при посадке трубы в муфту.	 Фото 7
8	Забоины и смятие резьбы	Повреждения в виде забоин на торце и заходной фаске. Смятие резьбы	- Удары при посадке трубы в муфту; - отсутствие предварительного свинчивания вручную; - свинчивание с перекосом	 Фото 8

№ п/п	Виды поврежде- ния	Описание	Причины возникновения	Фото
Виды повреждений резьбы при эксплуатации				
9	Задиры резьбы	Повреждения на резьбе ниппеля (муфты) в виде задигов различной протяженности	- Несоответствующая, разбавленная или загрязненная резьбоуплотнительная смазка; - попадание песка и других инородных частиц в резьбу при сборке соединений; - несоосность талевой системы оси скважины; - низкие антифрикционные свойства покрытия резьбы муфт для многократного свинчивания; - нестабильная (с рывками) работа гидроключа.	 Фото 9
10	Задиры резьбы	Повреждение резьбы в виде задигов на первых витках резьбы муфты от торца и последних витках резьбы муфты, находящихся в сопряжении с резьбой трубы.	- Отсутствие предварительного свинчивания вручную; - удары при посадке трубы в муфту. При отсутствии предварительного свинчивания вручную для обеспечения попадания витков резьбы трубы и муфты в соединении может происходить повреждения первых витков резьбы муфты (рис. 9) и ответных на ниппеле. При дальнейшем свинчивании, если резьба трубы попала в резьбу муфты, повреждения резьбы в муфте и ниппеле нет, т.к. в соединении имеются зазоры до положения, при котором начинается силовое свинчивание с натягом. Образование задигов на последних витках резьбы муфты обусловлено тем, что на этих витках происходит свинчивание с натягом, а ответные витки резьбы ниппеля, при этом имеют задиры.	 Фото 10

№ п/п	Виды поврежде- ния	Описание	Причины возникновения	Фото
Виды повреждений резьбы при эксплуатации				
11	Затирание первых витков резьбы муфты	Повреждения первых витков резьбы муфты в виде износа, рисок, задиров.	- Отсутствие предварительного свинчивания вручную; - отсутствие предварительного подбора оптимального крутящего момента свинчивания; - свинчивание с увеличенным крутящим моментом (при силовом свинчивании первые витки резьбы муфты попадают на участок сбега резьбы на трубе из-за превышения момента свинчивания).	 Фото 11
12	Задиры на первых витках резьбы ниппеля	Повреждения в виде задиров на первых витках резьбы ниппеля	- При свинчивании соединения не нанесена смазка на резьбу муфты. Примечание: Резьбоуплотнительная смазка должна наноситься на резьбу ниппеля и муфты (НД по эксплуатации НКТ).	 Фото 12

№ п/п	Виды повреждения	Описание	Причины возникновения	Фото
Виды повреждений резьбы при эксплуатации				
13	Задиры	Задиры заходного и первого витка с полным профилем, задиры на боковых поверхностях со стороны торца по всей длине резьбы муфты.	- Отсутствие предварительного свинчивания вручную; - несоосность талевой системы оси скважины; - нестабильная (с рывками) работа гидроключа.	 Фото 13
14	Задиры	Задиры на вершинах резьбы ниппеля, затирание боковых граней и впадин участка сбег резьбы	Переворот резьбы из-за завышенного крутящего момента. Свинчивание без предварительного подбора оптимального крутящего момента. <u>Примечание.</u> При правильном свинчивании соединения участок сбег резьбы ниппеля не находится в соединении с резьбой муфты.	 Фото 14

№ п/п	Виды повре- ждения	Описание	Причины возникновения	Фото
Виды повреждений резьбы при эксплуатации				
15	Задиры	Задиры на боковых сторонах профиля резьбы ниппеля различной протяженности	- Необеспечена соосность талевой системы относительно скважины; - искривление тела трубы при транспортировании и подготовке к эксплуатации; - использование несоответствующей, разбавленной или загрязненной резьбоуплотнительной смазки; - нестабильная (с рывками) работа гидроключа.	 Фото 15
16	Задиры	Задиры на витках резьбы муфты	- Необеспечена соосность талевой системы относительно скважины; - использование несоответствующей, разбавленной или загрязненной резьбоуплотнительной смазки; - искривление тела трубы при транспортировании и подготовке к эксплуатации; - нестабильная (с рывками) работа гидроключа.	 Фото 16

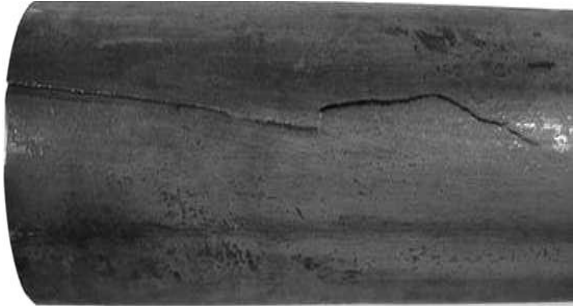
№ п/п	Виды повреждения	Описание	Причины возникновения	Фото
Виды повреждений резьбы при эксплуатации				
17	Следы от инструмента	Нарушения поверхности резьбы в виде забоин.	Механическое воздействие на поверхность резьбы ниппеля в ходе спуско-подъемных операций.	 Фото 17
18	Сорванные витки	Витки резьбы с «рваной» поверхностью	- отсутствия предварительного свинчивания вручную; - свинчивание с перекосом; - применения несоответствующей или загрязненной уплотнительной смазки; - удары при посадке трубы в муфту.	 Фото 18

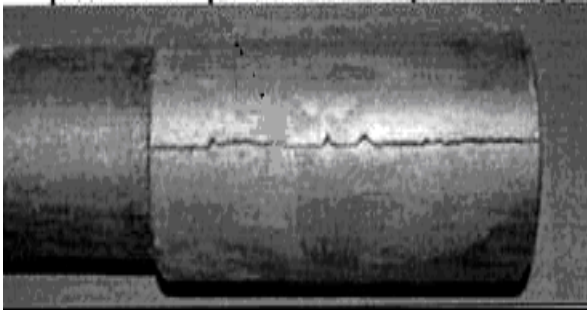
№ п/п	Виды повреждения	Описание	Причины возникновения	Фото
Виды повреждений резьбы при эксплуатации				
19	Забоины, смятие резьбы	Наличие забоин на торце и заходной фаске ниппеля. Задиры, смятие резьбы на первых витках от торца.	-отсутствие предварительного свинчивания вручную; - посадка трубы в муфту с ударом; - перекося резьбы в начале свинчивания. <u>Примечание.</u> Забоины на торце и заходной фаске свидетельствуют о посадке трубы в муфту с ударом. Смятие 1-го и 2-го витков резьбы произошло из-за свинчивания с перекося, отсутствии предварительного ручного свинчивания, обеспечивающего попадание витков резьбы трубы в резьбу муфты.	 Фото19
20	Вмятины	Нарушение поверхности резьбы	- удары при транспортировке; - отсутствие предохранительных деталей.	 Фото 20

№ п/п	Виды поврежде- ния	Описание	Причины возникновения	Фото
Виды повреждений резьбы при эксплуатации				
21	Нарушение конусности резьбового конца трубы	Искажение геометрии резьбового конца трубы	Приложение нагрузок превышающих предельно допустимые нагрузки, при которых напряжения в резьбовом соединении достигают предела текучести металла	 Фото 21

№ п/п	Виды повреждений	Описание	Причины возникновения	Фото
Виды повреждений тела трубы				
22	Износ тела трубы	Эксцентричное изменение толщины стенки трубы в процессе эксплуатации скважины ШГН (износ стенки трубы насосной штангой)	К основным причинам истирания труб штангами относятся: - большие глубины подвесок штанговых насосов, вызывающие увеличение напряжений в колонне НКТ, рост нагрузок на колонну штанг, возникновение продольного изгиба и прижимных усилий, в совокупности с коррозионным воздействием агрессивной добываемой жидкости.	 Фото 22
23	Механическое повреждение муфты	Смятие муфты	Образуются в результате ударов поверхности муфты в процессе: - проведения СПО; - транспортирования; - проведения погрузочно-разгрузочных работ.	 Фото 23

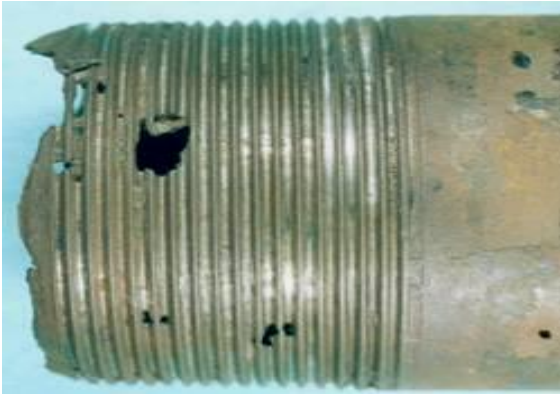
№ п/п	Виды повреждения	Описание	Причины возникновения	Фото
Виды повреждений тела трубы				
24	Обрыв трубы по телу	Разрушение тела трубы	- Несоответствие применяемых труб условиям эксплуатации; - чрезмерное натяжение колонны при ее освобождении от прихвата; - превышение предельных нагрузок при эксплуатации; - наличие дефектов в металле в процессе производства НКТ.	 Фото 24а  Фото 24б

№ п/п	Виды повреждения	Описание	Причины возникновения	Фото
Виды повреждений тела трубы				
25	Отложение солей на внутренней поверхности трубы	Сужение внутреннего диаметра трубы из-за камнеобразных отложений, преимущественного карбонатных неорганических солей сложного состава, а также в виде отложения сульфатных солей, хлорид натрия	- Нарушение термодинамического равновесия солевого (ионного) состава пластовых вод и пресной воды, нагнетаемой в пласт. - возрастание фактической концентрации ионов (смешение не совместимых вод), (сульфатные соли). - изменение температуры и давления, происходящее в пластах, скважинах, подъема, транспортировки нефти (ГЖС), (карбонатные соли); - растворение горных пород, выделения газов; - испарение воды, снижения температуры раствора (хлорид натрия).	 Фото 25
26	Разрушение тела трубы	Нарушение сплошности металла тела трубы	Разрушение тела трубы вследствие раскрытия закатанного металлургического дефекта (плены) в процессе эксплуатации.	 Фото 26

№ п/п	Виды повреждения	Описание	Причины возникновения	Фото
Виды повреждений тела трубы				
27	Разрушение тела муфты	Продольная трещина на теле муфты	Повреждение муфты в результате развития трещины от заката на наружной поверхности, являющегося технологическим дефектом, полученном при изготовлении.	 Фото 27

№ п/п	Виды повреждений	Описание	Причины возникновения	Фото
Коррозионные повреждения труб				
28	Обрыв резьбы	Ниппель с резьбовой частью НКТ имеет сильный коррозионный износ по периметру рабочей резьбовой поверхности, края обрыва неровные. Наличие плотных осадков коричневого цвета (карбонаты железа и кальция, оксиды железа).	Электрохимическая углекислотная коррозия, вызванная высокой агрессивностью среды в совокупности с большим содержанием растворенных газов (CO_2 , H_2S , O_2) в транспортируемой жидкости. Применение НКТ из не коррозионностойкой марки стали в агрессивных средах.	 Фото 28
29	Обрыв резьбы	Значительная площадь коррозионного повреждения, наличие плотных осадков коричневого цвета, расположение области наибольшего повреждения с одной стороны на внутренней поверхности под резьбой.	Электрохимическая углекислотная коррозия, вызванная значительным количеством CO_2 в транспортируемой жидкости. Применение НКТ из не коррозионностойкой марки стали в агрессивных средах.	 Фото 29

№ п/п	Виды повреждений	Описание	Причины возникновения	Фото
Коррозионные повреждения труб				
30	Разрушение тела трубы под резьбой	Коррозионное разрушение внутренней поверхности тела трубы под резьбой, разрушение резьбовой поверхности, края обрыва неровные.	Коррозионное разрушение тела трубы под резьбой, вызванное электрохимической углекислотной коррозией. Применение НКТ из не коррозионностойкой марки стали в агрессивных средах.	 Фото 30
31	Разрушение резьбы муфты	Коррозионное разрушение резьбы муфты	Разрушение резьбы муфты под действием углекислотной коррозии (эксплуатация труб в нефтепромысловых средах высокоррозионной группы). Применение НКТ из не коррозионностойкой марки стали в агрессивных средах.	 Фото 31

№ п/п	Виды повреждения	Описание	Причины возникновения	Фото
Коррозионные повреждения труб				
32	Разрушение резьбы ниппеля	Сквозная коррозия на резьбе ниппеля	Разрушение резьбы ниппеля в результате язвенной коррозии (эксплуатация труб в нефтепромысловых средах высокоррозионной группы). Применение НКТ из не коррозионностойкой марки стали в агрессивных средах.	 Фото 32
33	Разрушение муфты	Коррозионное разрушение тела муфты	Разрушение муфты в результате язвенной коррозии и воздействия агрессивных агентов жидкости (эксплуатация труб в нефтепромысловых средах высокоррозионной группы). Применение НКТ из не коррозионностойкой марки стали в агрессивных средах.	 Фото 33

№ п/п	Виды повреждения	Описание	Причины возникновения	Фото
Коррозионные повреждения труб				
34	Электрокоррозия муфты	Разрушение поверхности муфты	Происходит под действием блуждающих токов, вызывающих разрушение металла. На анодных (+) участках наблюдается наиболее интенсивное разрушение.	 Фото 34
35	Внутренняя сквозная язвенная коррозия тела трубы	Сквозные отверстия в стенке трубы, наличие коррозионных отложений на внутренней поверхности трубы.	Электрохимическая коррозия возникает в результате растворения металла на отдельных участках, начиная с внутренней поверхности трубы. Развитие язвенной коррозии на внутренней поверхности обусловлено воздействием высоко агрессивной среды, механизм коррозионных разрушений – углекислотный, ввиду присутствия в составе продуктов коррозии, карбонатов железа. Применение НКТ из не коррозионностойкой марки стали в агрессивных средах.	 Фото 35

№ п/п	Виды повреждений	Описание	Причины возникновения	Фото
Коррозионные повреждения труб				
36	Внутренняя сквозная язвенная коррозия тела трубы и тела муфты с наружной стороны тела трубы, тела муфты	Сквозные отверстия в стенке трубы.	Развитие язвенной коррозии на внутренней поверхности обусловлено воздействием высоко агрессивной среды, механизм коррозионных разрушений. Применение НКТ из не коррозионностойкой марки стали в агрессивных средах.	 Фото 36а  Фото 36б

№ п/п	Виды повреждений	Описание	Причины возникновения	Фото
Коррозионные повреждения труб				
37	Коррозионное растрескивание	Трещина на теле трубы со следами коррозионного разрушения.	Изменение толщины стенки трубы вследствие истирания ее насосной штангой и дальнейшее разрушение под воздействием агрессивной среды. Применение НКТ из не коррозионностойкой марки стали в агрессивных средах.	 Фото 37

№ п/п	Виды повреждения	Описание	Причины возникновения	Фото
Коррозионные повреждения труб				
38	Питтинг-овая коррозия	Узкие глубокие полости в металле, начинающиеся с поверхности и уходящие вглубь металла.	- Возникает по местам различных дефектов (трещин от внутренних напряжений, пор, микровключений, выхода на поверхность границ зерен, дислокации и т.п.); - при наличии в средах большой концентрации ионов-активаторов (Cl^-, Br^-, I^-, HCO_3^-, CO_3^{2-}) и катионов пассиваторов (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+). Применение НКТ из не коррозионностойкой марки стали в агрессивных средах.	 Фото 38
39	Эрозия внутренней поверхности трубы	Изменение толщины стенки трубы, вымывание металла трубы.	- Движение добываемой жидкости с повышенной скоростью; - наличие абразивных частиц, перепадов давления и т.д. в добываемой жидкости ускоряет процесс износа внутренней поверхности. Применение НКТ из не коррозионностойкой марки стали в агрессивных средах.	 Фото 39