

46

ВЫБОР СТРАТЕГИИ ПРОТИВОКОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ МОРСКИХ ОБЪЕКТОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СРЕДСТВ МОДЕЛИРОВАНИЯ И МОНИТОРИНГА

Т. Сотберг, Г.А. Бауге, С. Виген, «ФОРС Текнолоджи» – НП «СОПКОР»;
Д.Н. Запечалов, ООО «Газпром ВНИИГАЗ»

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ И ЭКСПЛУАТАЦИИ

В общепринятой практике проектирования объектов и оборудования для морских условий необходимый уровень безопасной эксплуатации достигается путем увеличения запаса прочности элементов по отношению к штатным нагрузкам. В то же время морские проекты зачастую не предполагают возможности проведения инспекций и/или использования средств мониторинга на всем этапе эксплуатации. При современном развитии технологий отсутствие подводного мониторинга следует считать упущением. Законодательство ряда стран, в том числе Норвегии, требует наличия возможности проведения инспекций на предмет возможных отказов для всех режимов эксплуатации и на всех этапах строительно-монтажных работ и эксплуатации морских объектов.

Современная нормативная база в целом подробно описывает требования к проектированию. Однако зачастую опускаются некоторые аспекты эксплуатации, отсутствует всесторонняя оценка сопутствующих рисков. Дальнейшее развитие стандартов – задача, стоящая перед нефтегазовой отраслью. Компания «ФОРС Текнолоджи Норвегия» принимает активное участие в разработке нормативной документации, внедряя накопленный в течение уже более 25 лет опыт в современные стандарты. Ниже приведены некоторые из них.

1. ISO стандарты для нефтегазовой промышленности:

- Стандарты для трубопроводов (проектирование и эксплуатация);
- Материаловедение;
- ЭХЗ – катодная защита трубопроводов.

2. NORSOK стандарты (спецификации для морских условий):

- Проектирование трубопроводов;

- ЭХЗ – катодная защита трубопроводов;

3. DNV стандарты:

- Стандарт OS – F101;
- Катодная защита трубопроводов (RP B 401);
- Стабильность трубопроводов (RP E305).

Вероятно, некоторая часть приобретенного ФОРС Текнолоджи опыта в Северном море окажется полезной при формировании массива нормативов для континентального шельфа России.

ПРОГРАММА УПРАВЛЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТЬЮ ОБЪЕКТА

Одним из ключевых элементов безопасной эксплуатации объекта является подготовка и реализация компанией-оператором программы управления целостностью (IM Program). Наличие и состав программы определяются действующими нормами проектирования. В программу технического обслужива-

ния должны входить систематические инспекции, экстренные инспекции (в результате отказа либо стихийного бедствия), ремонт, реконструкция и модернизация систем защиты. Основной задачей управления целостностью является обеспечение технической целостности объекта в допустимых пределах безопасности (в соответствии с законодательством) при одновременной минимизации эксплуатационных издержек. Полноценная программа управления целостностью должна включать в себя следующие элементы.

1. Разработка стратегии управления целостностью.

2. Становление общей информационной системы управления целостностью (управление данными).

3. Внедрение комплекса мероприятий по управлению целостностью:

- распределение организационных ролей и обязанностей.

4. Оценка рисков:

- отбор и классификация рисков;
- подробный анализ рисков (методы RBI/RCM);
- планирование инспекций и мониторинга;
- реализация плана инспекций/ мониторинга.

5. Оценка результатов инспекций с учетом:

- средств мониторинга коррозии;
- технологического процесса;
- замеров производительности системы;
- составление отчета о состоянии целостности.

6. Управление целостностью в ходе эксплуатации.

Необходимо заметить, что мероприятия в составе программы управления целостностью должны формироваться с учетом текущего состояния объекта и уже существующей для данного объекта программы (если таковая имеет место). Процесс управления целостностью является циклическим.

Пояснения к рис. 1.

Risk assessment (Оценка рисков) – ключевой элемент в стратегии управления целостностью, идентифицирующий наиболее критичные места с точки зрения проведения инспекций (RBI) и программ мониторинга, ремонта и технического обслуживания. Аспекты методологии оценки рисков приведены ниже и содержат следующие этапы:

отбор и идентификация наиболее критичных рисков;

- подробный анализ критичных для безопасной эксплуатации рисков.

Результаты анализа позволяют:

- Идентифицировать актуальные механизмы деградации материалов;

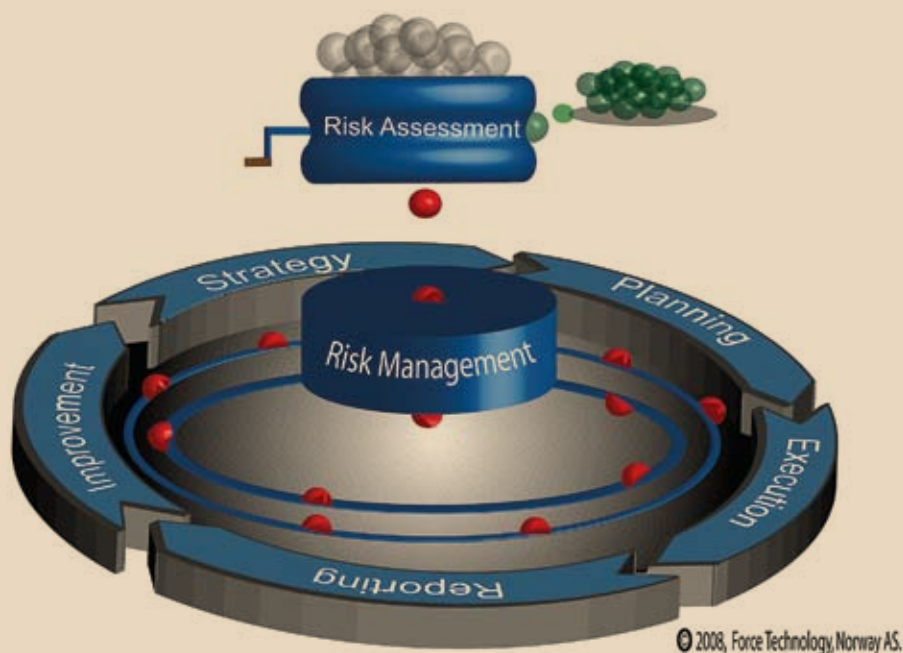


Рис. 1. Циклический процесс управления целостностью

- Определить уровень риска;
- Определить требования к программе инспекций и мониторинга.

Данная информация ложится в основу **Planning** (планирования инспекций и мониторинга), которое включает в себя помимо прочего: выбор метода и оборудования инспекции; подготовку программы инспекций; определение программы мониторинга коррозии/ эрозии, критических параметров технологического процесса; а также программу противодействия с использованием ингибиторов и обработки поверхностей.

Execution (Программы мониторинга коррозии и технологического процесса) должны обеспечивать упреждающее и экономичное отслеживание коррозионных процессов. В соответствии с действующим законодательством Норвегии для мониторинга коррозии должно быть предусмотрено стационарное оборудование, обеспечивающее непрерывное (регулярное) получение данных. Программа мониторинга технологического процесса, контролирующего наиболее релевантные параметры должна:

- обеспечивать идентификацию и мониторинг наиболее релевантных и критичных данных о процессе, а также адекватное реагирование с целью предупредить неожиданные и нежелательные события;
- обеспечить обнаружение тенденций, обнаружение изменений в тенденциях и необходимое реагирование на них;
- обеспечить корреляцию данных коррозионного мониторинга, химической обработки и результатов инспекций.

Как правило, мониторингу подлежат такие параметры, как давление, температура, растворенный кислород, CO₂, H₂S, хлорный остаток, обводненность, вынос песка, температура конденсации и т.д. Выбор параметров зависит от текущего состояния процесса. Для каждого из выбранных параметров необходимо создать таблицу приемлемых значений и реагирования на их изменения.

Chemical treatment (программа химической обработки) используется для оптимизации добычи и сохранения уровня коррозии в пределах допустимых значений. Такая программа должна обеспечивать:

- регулярное поступление, идентификацию, мониторинг, анализ и хранение данных о коррозионном состоянии (под воздействием ингибиторов), а также их представление в системе управления данными;
- деградацию материала на заведомо допустимом уровне.

Эффективная и упреждающая система коррозионного контроля зависит от успешного внедрения стратегии использования ингибиторов и взаимодействия с программой управления целостностью объекта.

ПРОГРАММНЫЙ ИНСТРУМЕНТ УПРАВЛЕНИЯ ЦЕЛОСТНОСТЬЮ СИСТЕМЫ - CORPOS-AD

В этом разделе приведен пример использования программного обеспечения для управления целостностью объекта. Программный продукт «CorPos-AD» позволяет осуществлять оценку и контроль уровня безопасности, интегрируя моделирование и результаты мониторинга/ инспекций технического состо-

яния объекта. «CorPos-AD» использует наиболее современные технологии моделирования целостности и мониторинга, сочетая их с оптимизированной процедурой управления данными. Новый комплексный подход имеет следующие особенности:

- моделирование расхода в комплексных многофазных трубопроводах;
- усовершенствованные принципы моделирования коррозии/эрозии;
- интеграция информации системы моделирования и данных проверки/наблюдений;
- определение критичных с точки зрения безопасности участков на трубопроводе для предотвращения коррозионного разрушения;
- оценка аварийных ситуаций и определение критических пределов в связи с имеющимися внутренними дефектами.

Основной целью новой методики является сочетание рационального подхода к моделированию и сопоставление его с любой другой информацией, полученной в результате проверки/наблюдений за состоянием конкретных участков трубопровода. Методика построена на широко известных принципах моделирования многофазного расхода, расчете уровня pH, коррозии под воздействием $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ и анализа рисков. Данная методика допускает использование в условиях ограниченных исходных данных. Методика построена на современной модели многофазного потока, в которую входит модуль водной фазы, модуль pH и модуль химического состава воды. Модуль многофазного потока построен на базе системы моделирования OLGAS 2000⁽¹⁾ и предоставляет данные о распределении температуры, распределении давлении, распределении скорости каждой фазы, времени выдерживания фаз, касательных напряжениях и режимах расхода. Модель расчета коррозии в трубопроводе CorPos-AD построена на базе результатов экспериментальных и полевых наблюдений десятилетней научно-исследовательской программы, которая проводилась в Норвегии. Модель CorPos-AD стала одной из нескольких моделей расчета коррозии, которые были включены в совместный отраслевой проект Института энергетических технологии Норвегии. Прогнозы, составленные с использованием различных методик моделирования, были сопоставлены с данными полевых наблюдений трубопроводов и обсадных колонн. Вот какими были результаты проекта.

- Отклонение прогноза модели CorPos-AD от замеренных темпов коррозии составило 0,5–3,7.

- Никакая другая модель не дала такого небольшого разброса относительно идеального значения, за которое принималась усредненная величина 1,0.
- Модель CorPos-AD позволила во всех случаях с высокой точностью прогнозировать точку максимальной коррозии (на участке трубопровода).

ИНТЕГРАЦИЯ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА И ИНСПЕКЦИЙ

CorPos-AD позволяет эффективно сочетать данные проверок и наблюдений с методикой построения прогноза, используемой в представленной модели. Это позволяет уточнить распределение коррозии, а также составить точный прогноз на период будущей эксплуатации трубопровода. В итоге оператор получит ценную информацию о трубопроводе с указанием динамики изменения характеристик в будущем и безопасности эксплуатации.

На рис.2 представлен анализ, совмещенный с данными внутритрубной дефектоскопии. На рисунке представлены наиболее значимые данные о точечной коррозии (собранные после прохождения диагностического скребка) и характеристики роста коррозионных дефектов, полученные при моделировании CorPos-AD. Нижние точки прямых линий показывают 10 наиболее серьезных дефектов, обнаруженных диагностическим скребком. Прямые линии показывают прогноз развития (увеличения) этих дефектов в последующие

годы. Для составления прогноза модель использует данные о темпах развития коррозии в местах с выявленными дефектами, полученные в результате моделирования/наблюдений. Сплошная линия является кривой прочности, построенной при значении вероятности выхода из строя в 0,001. Как только линия увеличения дефекта касается кривой прочности, появляется высокая вероятность выхода из строя, см. ниже вопросы расчета предельного состояния.

В качестве последнего этапа проводится анализ надежности для выявления любых критических точек внутри трубопровода. Методика основана на данных об отказах в результате появления внутренних дефектов по причине коррозии, эрозии или других факторов, вызывающих ухудшение свойств материала. Функция расчета повреждения (или формула прочности) взята из нормативов по определению надежности на основе методов предельного состояния в соответствии с положениями стандарта ISO Определение надежности на основе методов предельного состояния (ISO 16708).

Согласно требованиям стандарта ISO 16708 эксплуатационные характеристики трубопровода должны описываться набором предельных состояний или функциями расчета повреждений, которые включают в себя наиболее значимые ситуации с выходом трубопровода из строя. Каждое предельное состояние подразумевает наличие двух состояний при эксплуатации трубопро-

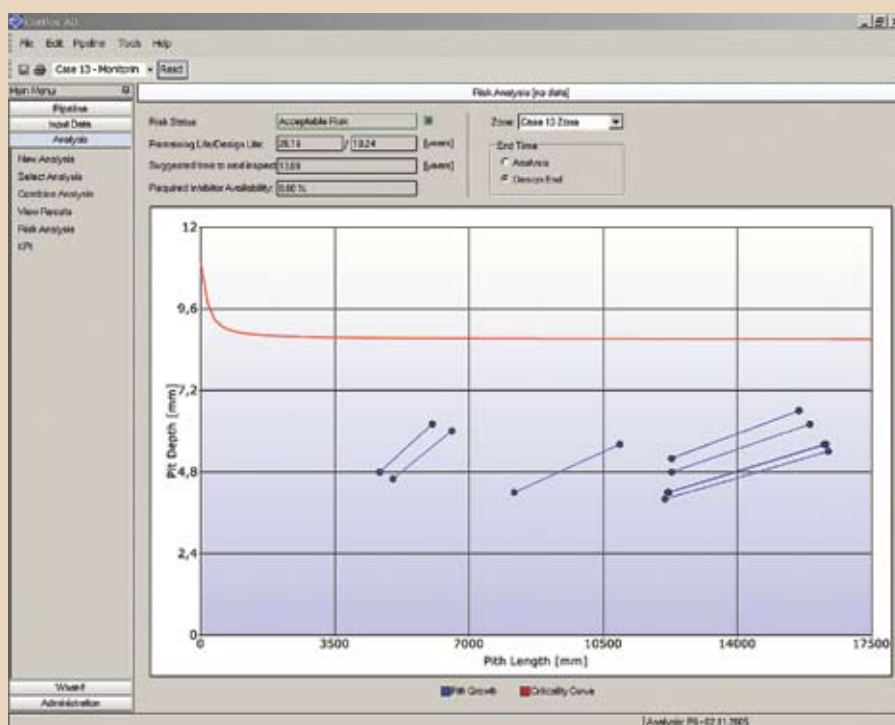


Рис. 2. CorPos-AD: Анализ в сочетании с данными дефектоскопии

Таблица 1. Вероятность выхода из строя морских трубопроводов и класс безопасности

ПРЕДЕЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ	ВЕРОЯТНОСТЬ	КЛАСС БЕЗОПАСНОСТИ			
		Низкий	Нормальный	Высокий	Очень высокий
SLS ^a	Ежегодно на каждый км	10 ⁻⁰ -10 ⁻¹	10 ⁻¹ -10 ⁻²	10 ⁻² -10 ⁻³	Нет данных
ULS		10 ⁻³	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	Нет данных
FLS ^b					
ALS ^c					

^{a)} Вероятность выхода из строя для условий SLS не является обязательной. SLS может использоваться для выбора эксплуатационных ограничений и определяться в соответствии с предпочтениями оператора. Превышение условий SLS требует последующей проверки проектных величин ALS.

^{b)} Вероятность FLS берется с учетом числа аварий за год, т.е., как правило, за последний год эксплуатации или последний год перед проверкой (в отсутствие проверок за основу берется число выходов из строя за весь срок службы).

^{c)} Относится к суммарно допустимой вероятности возникновения серьезных последствий, включая вероятность несчастных случаев, e.g. $P = P_f \in P(E)$

вода – безопасное и с повреждениями. На этапе проектирования и эксплуатации трубопроводов следует учитывать две основные категории предельных состояний.

- предельное состояние по годности к эксплуатации (SLS), при несоблюдении которого характеристики трубопровода не будут соответствовать функциональным требованиям, например округлость, одностороннее движение флюида, накопленные пластические деформации, избыточные деформации или смещения, повреждение или утеря защитного покрытия;
- предельное состояние по прочности (ULS), при несоблюдении которого трубопровод может потерять конструктивную целостность, например разрывы, трещины, местное или общее коробление, неустойчивые переломы или пластическое разрушение.

Допустимая вероятность выхода из строя морских трубопроводов, представленная в таблице 1 (на основании стандарта ISO 16708), действует при отсутствии иных конкретизирующих требований. Эти показатели соответствуют среднему подразумеваемому уровню безопасности, принятому в современном проектировании, и скорректированному для учета последствий возможного выхода из строя. Также стоит отметить, что рекомендованные уровни безопасности отлично соотносятся со статистикой выхода из строя и оправдывают целесообразность своего применения в сравнении с другими нормами расчета прочности. Процент выхода из строя представлен для трех классов безопасности, относящихся к морским трубопроводам – низкого, нормального и высокого. Аналогичным образом процент выхода из строя наземных трубопроводов представлен для всех четырех классов безопасности, применимых согласно стандарту.

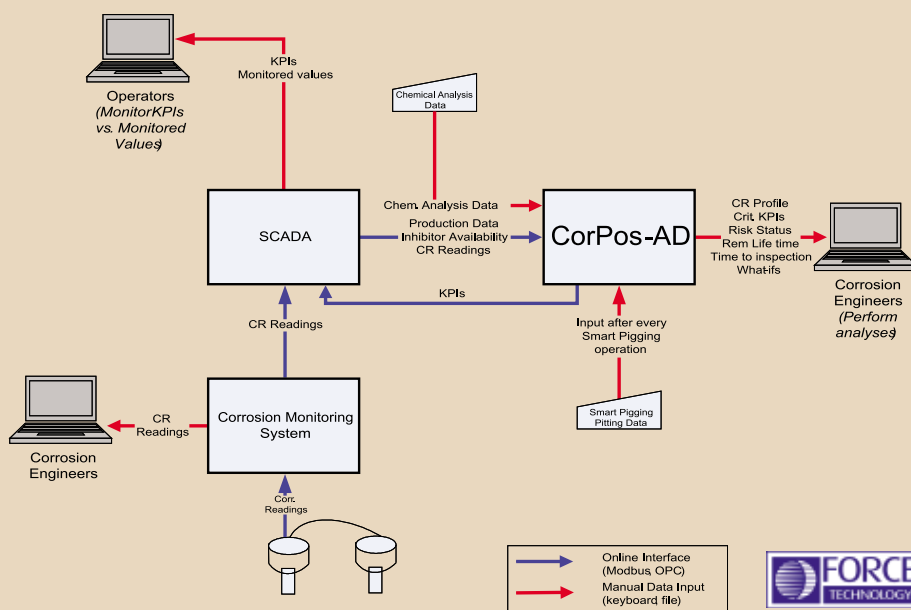


Рис. 3. CorPos-AD: демонстрация полноценной функциональности системы (онлайн SCADA-вариант)

Схема системы управления данными CorPos-AD представлена на рис. 3 в варианте «онлайн», при котором данные наблюдений за коррозией поступают в режиме реального времени через интерфейс SCADA (контроль и сбор данных). Также возможно использование системы в офлайн-режиме, при котором данные наблюдений загружаются оператором вручную в установленные сроки (ежемесячно). Обнаруженные в ходе диагностической проверки скребком сведения вручную загружаются в систему для последующего анализа и оценки степени риска.

Выводы

1. Современное проектирование закладывает в проекты большой запас прочности элементов, но зачастую в ущерб возможности реализовать инспекции и мониторинг процессов деградации материалов.

2. На сегодняшний день законодательство ряда стран уже обязывает оператора предусматривать для своих объектов программу управления целостностью, основанную на данных мониторинга и системном планировании инспекций.

3. Программа управления целостностью должна быть непрерывной и иметь циклическую организацию, а ее компоненты – зависеть от текущего состояния конкретного объекта.

4. Накопленный опыт эксплуатации объектов нефтегазовой отрасли позволяет моделировать процесс деградации материалов с большой точностью.

5. Программный комплекс CorPos-AD решает задачи, связанные с управлением целостностью объектов, интегрируя моделирование коррозионных процессов и данные инспекций/мониторинга.