

## АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ АНАЛИЗ КОРРОЗИОННОГО СОСТОЯНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ КАК ФАКТОР ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Рассмотрены вопросы, касающиеся обеспечения работоспособности и безопасности сложных технологических систем на стадии их эксплуатации, с точки зрения коррозионных проблем. Определено влияние основных технологических факторов на коррозионное состояние аппаратов.

В последнее десятилетие активно проводятся исследования по безопасности машин и механике катастроф. Применительно к потенциально опасным объектам эти разработки включают комплексные исследования по всем направлениям с применением аналитических, численных и экспериментальных методов анализа напряженно-деформированных и предельных состояний. Эти проблемы охватывают все стадии жизненного цикла объектов: проектирование, изготовление и эксплуатацию [1].

Оренбургский газохимический комплекс (ОГХК) включает в себя следующие технологические системы: добычи и сбора газа и конденсата; комплексной подготовки и транспортировки сырья; переработки сырья и транспорта готовой продукции. В первых трех системах проблемы обеспечения работоспособности и безопасности напрямую связаны с коррозией в связи с высокой коррозионной активностью добываемого сырья. Анализ причин повреждений и отказов на ОГХК [2] показывает, что подавляющее число (76,4%) отказов связано с коррозией. Причем в первый период эксплуатации основная доля отказов приходилась на сероводородное и водородное растрескивание, связанное с дефектами материалов и монтажа. В настоящее время при сроках эксплуатации 20...25 лет наибольшую опасность представляют язвенная коррозия (ЯК), питтинг – точечная коррозия (ТК) и неравномерная общая коррозия (ОКн), приводящие к утончению стенок и сквозным поражениям конструкций. При этом возникает опасность возникновения чрезвычайных ситуаций, отравления персонала и населения сероводородом и загрязнения окружающей среды.

С целью недопущения возникновения этих ситуаций необходимо своевременно проводить ремонтные работы, а для их планирования необходима информация о коррозионном состоянии системы и кинетике ее изменения, обладающая высокой степенью достоверности.

Коррозионные повреждения оборудования в химической и газохимической промышленности являются наиболее вероятными (частыми) причинами возникновения аварий и техноген-

ных чрезвычайных ситуаций. Опасность аварий на единичном оборудовании значительно меньше по сравнению с опасностью аварий на оборудовании, являющемся частью сложной технологической системы, такой как, например, газоперерабатывающий завод. Сложность обеспечения работоспособности и надежности таких систем заключается в многообразии коррозионных процессов, связанных с большим числом сочетаний основных технологических факторов, влияющих на кинетику коррозионных процессов, к которым следует отнести: технологические среды, стали, температуру, давление, скорости потоков, время эксплуатации. Существенное влияние на кинетику коррозионных процессов оказывают и сами коррозионные повреждения, в зоне которых повышаются напряжения и снижается термодинамическая стабильность материалов. Многообразие факторов приводит к необычным проявлениям коррозионных процессов. Ярким примером необычного влияния данных факторов является выявленное авторами «сульфидное коррозионное растрескивание в щелочных средах», которое в отличие от обычного щелочного растрескивания, идущего преимущественно по электрохимическому механизму с образованием растворимого иона  $\text{HFeO}_2^-$ , идет с образованием сульфида железа и наводороживанием металла.

Проблема повышения работоспособности и безопасности сложных технологических комплексов в данных условиях не может быть решена только на стадии проектирования вследствие их уникальности и отсутствия данных о коррозионном поведении сталей в каждом конкретном условиях. Поэтому основная часть данной проблемы ложится на плечи производителей, эксплуатирующих данное производство. В связи с тем, что большая часть данного персонала не является специалистами в области коррозии, а службы технического надзора и коррозии, как правило, малочисленны, задача специалистов в области коррозии – создать механизм (инструмент, систему), позволяющий отслеживать и анализировать коррозионную ситуацию по всей технологической системе и вы-

давать краткосрочные прогнозы (на 1...3 года) для принятия оперативных решений. Как отмечалось выше, невозможно спрогнозировать (определить) коррозионное поведение сталей при всех различных технологических режимах (условиях), поэтому особая роль отводится периодическому обследованию оборудования.

При периодических осмотрах производится визуальное и инструментальное (ультразвуковая и цветная дефектоскопия, толщинометрия, измерение глубин коррозионных поражений и т. д.) обследование оборудования, результаты которого заносятся в соответствующие акты.

Наличие огромного массива фактических данных о состоянии оборудования на бумажном носителе (акты обследования) сводит практически к нулю данную информацию, так как данная форма хранения информации (в папках архива) абсолютно исключает возможность систематизации и анализа данных. В связи с этим была поставлена задача автоматизации обработки накопленной информации с использованием современной вычислительной техники – формирование баз данных обследования оборудования.

В качестве первого объекта при создании базы данных коррозионного состояния сложных технологических систем был выбран Оренбургский газоперерабатывающий завод (ОГПЗ), где находятся в эксплуатации более 1500 аппаратов и сосудов. Представленная работа была выполнена на основе обработки данных актов обследования аппаратов ОГПЗ за 12 лет.

Для облегчения поиска и обработки нужной информации база данных должна быть сформирована по привычной для персонала технологической структуре рассматриваемой системы. Например, для ОГПЗ аппараты разбиты по цехам (очередям) и установкам.

Информация об оборудовании должна быть исчерпывающей, но не громоздкой (сложной для восприятия). С целью реализации данных взаимоисключающих требований использовано двухоконное представление данных: в первом окне представляются основные необходимые данные, а во втором – все остальные дополнительные. Также база данных должна иметь возможность создания и хранения эскизов оборудования и больших объемов текстовых материалов. Реализация этих требований в базе данных по ОГПЗ осуществляется с помощью встроенного графического редактора и закладки «Дополнения».

Для улучшения приема и оценки информации данные в первом окне выстроены в следующей логической последовательности: парамет-

ры аппарата, условия эксплуатации, срок эксплуатации, параметры повреждений, рекомендации, принятые меры, дата следующего освидетельствования.

Создание базы данных является не самоцелью, а только инструментом, позволяющим обрабатывать и анализировать большие объемы информации. Разработанная система меню позволяет работать с данными актов обследования за один год и за все годы, производить поиск и выводить информацию на печать.

Функция «история аппарата» показывает результаты обследования конкретного аппарата за весь период его эксплуатации.

Для анализа состояния различных групп аппаратов, объединенных общностью одного или нескольких параметров, предусмотрена возможность многоуровневых выборок. По выбранным аппаратам имеется возможность построения графиков зависимостей (рисунок 1).

Наличие такой базы данных позволило приступить к разработке математической модели коррозионных нетрещиноподобных поражений и прогнозированию их развития.

Надежность оборудования и его установленный ресурс обеспечиваются только при правильном конструировании, выборе материалов, качественном изготовлении и стабильной эксплуатации в установленных режимах с выполнением всех предусмотренных видов технического обслуживания. Однако, как отмечено выше, для уникального оборудования данные требования практически невыполнимы. Все это определило необходимость разработки математической модели, позволяющей по результатам обследования реальных процессов повреждения оборудования прогнозировать его дальнейшее развитие с учетом влияния основных технологических факторов.

В связи с этим была поставлена задача оценки влияния основных технологических факто-

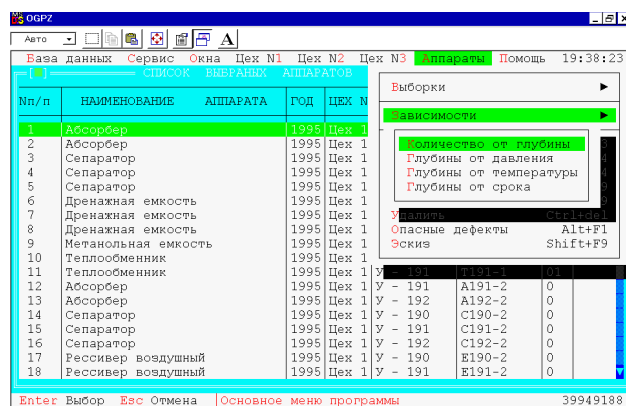


Рисунок 1. Меню базы данных ОГПЗ.

ров на коррозионное состояние аппаратов. Аппараты ОГПЗ работают в контакте более чем с 50-ю различными технологическими средами, при этом имеется более 400 различных комбинаций «сталь – среда – температура – давление». В результате систематического обследования в аппаратах выявлены следующие виды коррозионных поражений: язвенная коррозия (ЯК), точечная коррозия (ТК) – питтинг, равномерная общая коррозия (ОКр), неравномерная общая коррозия (ОКн), сероводородное растрескивание (СР), водородное расслоение (ВР), щелочное коррозионное растрескивание (ЩКР), коррозионное растрескивание в диэтаноламиновых растворах (КР в ДЭА).

Разрабатываемая модель не учитывает трещиноподобные дефекты, т. к. вследствие недостаточной изученности процессов возникновения и развития трещин прогнозирование роста трещин и момента разрушения оборудования в настоящее время не представляется возможным с достаточной достоверностью, в связи с чем эксплуатация оборудования с трещинами не допускается /3/.

В данной работе не ставится конкретной задачи прогнозирования остаточного ресурса оборудования, но так как данный вопрос в конечном счете, базируется на прогнозе развития коррозионных поражений, мы вынуждены будем говорить и о нем.

В современной литературе под прогнозом подразумевают вероятностное утверждение о будущем с относительно высокой достоверностью. На основе обработки больших массивов информации о протекании коррозионных процессов в различных условиях было установлено, что относительно высокой достоверностью прогноза можно считать погрешность в диапазоне 15-30%. Погрешность прогноза определяется двумя факторами: достоверностью исходной (первичной) информации и достоверностью математической модели, на основании которой разрабатывается программа для выполнения прогнозов на ЭВМ /4/.

Обычно для решения конкретных задач выбирается один из многих известных способов моделирования исследуемого процесса. При этом коррозионный процесс рассматривают как протекающий во времени при определенных условиях. Результат коррозионного воздействия среды на металл: глубина каверны, потеря массы и др. – рассматривается в основном как функция времени процесса. Прогнозирование надежности оборудования обычно осуществляется по нижеследующей схеме: через опре-

деленные периоды эксплуатации  $t_1, t_2$  и т. д. измеряют максимальные величины повреждений (износа, коррозии, деформаций)  $h_1, h_2$  и т. д. и экстраполируют зависимость до предельно допустимой величины повреждений  $h_n$ . Такой метод позволяет получить достаточно точные оценки показателей надежности, если известен вид зависимости  $h(t)$  и при измерениях значений  $h$  определяются действительно максимальные значения повреждений /5/.

Использование краткосрочного прогноза (1...3 года) и периодическое обследование, дающее новые значения  $h_1$ , позволяет уточнять зависимость  $h(t)$  и значительно повышает надежность оборудования и безопасность его эксплуатации.

Математическую модель нетрещиноподобных поражений системы аппаратов ОГПЗ строили на базе основных положений о кинетике коррозионных процессов. Коррозия – это термодинамический самопроизвольный процесс перехода металлов из металлического состояния в ионное (продукты коррозии). Этот процесс может происходить с постоянной скоростью либо с ускорением (положительным или отрицательным), но неизменно – глубина коррозионной каверны увеличивается со временем. В начальной стадии коррозионный процесс проходит наиболее неравномерно, а со временем стабилизируется, поэтому в данном случае, при сроках эксплуатации 20-25 лет, с большой степенью достоверности можно принять линейную зависимость глубины коррозионного повреждения ( $h$ ) от времени ( $t$ ):

$$F_1(Y) \sim k_1 t. \quad (1)$$

Зависимость скорости коррозии от температуры ( $T$ ) в различных средах неодинакова: в окисляющей среде монотонно возрастающая, а в электролитах с кислородной деполаризацией имеет максимум при определенной температуре, однако, как и для всех химических реакций, она пропорциональна фактору Больцмана:

$$F_2(Y) \sim e^{\frac{A \cdot k_2}{RT}}. \quad (2)$$

Скорость коррозионных процессов зависит от давления среды. Анализ литературных данных показывает, что влияние давления обычно учитывается степенной функцией. С увеличением давления в рабочей среде возрастает концентрация агрессивных компонентов, а также с увеличением давления возрастают напряжения в металле, что приводит к снижению его термодинамической стабильности и нарушению сплошности защитных пленок:

$$F_3(Y) \sim P^{k_3}. \quad (3)$$

Наиболее сложной задачей при построении модели коррозионного поражения оборудования ОВПЗ является оценка степени влияния металла и коррозионных сред. Обработка базы данных позволила для каждой стали определить максимальную, минимальную и среднеарифметическую скорости коррозии, пропорционально которым принимался фактор влияния металла для интервала значений и наиболее вероятного значения:

$$F_4(Y) \sim k_4. \quad (4)$$

Аналогично для каждой среды определяли максимальную, минимальную и среднеарифметическую скорости коррозии, пропорционально которым принимался фактор влияния среды для интервала значений и наиболее вероятного значения:

$$F_5(Y) \sim k_5. \quad (5)$$

В формулах (1...5)  $k_i$  – коэффициенты влияния технологических факторов на параметр  $Y$  – глубину коррозионного поражения,  $F$  – функциональные зависимости влияния технологических факторов.

Таким образом, математическая модель области глубины коррозионных поражений может быть представлена как некая гиперповерхность  $\Omega^n$  в  $(n+1)$ -мерном факторно-параметрическом пространстве  $E^{(n+1)}$ . В данном случае число факторов  $n = 5$ , однако для других технологических систем размерность пространства может как уменьшаться, например, при постоянстве некоторых параметров, так и увеличиваться, например, при учете еще и скорости потока среды /6/. При этом сама структура модели, отражающая физическую сущность коррозионных процессов, меняться не должна.

Известно /7, 8/, что взаимное распределение независимых величин представляется эллипсоидом. Тогда в любом сечении гиперповерхности

$\Omega^n$  гиперплоскостью  $\Theta_i$ , ортогональной оси  $OY$ , будет лежать  $(n-1)$  – эллипсоид  $\beta_i$  с главными осями  $t_{ij}$ . Гиперповерхность плоскопараллельного переноса  $\Omega^n$ , «заметаемая» эллипсоидом при его перемещении в  $(n+1)$ -мерном пространстве  $E^{(n+1)}$  описывается в общем виде уравнением:

$$\sum_{i=1}^n \left( \frac{X_i - F_i(Y)}{t_i(Y)} \right)^2 = 1.$$

Это уравнение при соответствующих подстановках используется как для определения глубины коррозии, так и для определения возможного диапазона значений этой величины. При подстановке в модель значений времени меньше срока эксплуатации получено соответствие (с точностью 3-7%) с фактическими значениями глубин коррозии, взятыми из актов обследований, что позволяет применить данную модель для прогнозирования глубины коррозии аппаратов ОВПЗ.

### Выводы

1. Проблема повышения работоспособности и безопасности технологических комплексов не может быть решена только на стадии проектирования.

2. Работоспособность и безопасность технологических систем ОГХК зависит в основном от их коррозионного состояния. Формирование баз данных позволит систематизировать и анализировать результаты обследования оборудования.

3. Наличие краткосрочного и среднесрочного прогноза развития коррозионных повреждений аппаратов позволит эксплуатационным службам и службам технического надзора более обоснованно планировать техническое обслуживание, ремонт и замену оборудования, что значительно повысит работоспособность и безопасность всей технологической системы в целом.

### Список использованной литературы:

1. Махутов Н.А., Гаденин М.М. Методы и средства обоснования прочности, ресурса и безопасности машин и конструкций. Материалы всероссийской научно-технической конференции «Методы и технические средства оперативной оценки структурно-механического состояния металла элементов конструкций и машин». Москва, ноябрь, 2002, с.18-24.
2. Гафаров Н.А., Гончаров А.А., Кушнаренко В.М. Определение характеристик надежности и технического состояния оборудования сероводородсодержащих нефтегазовых месторождений. – М.: Недра, 2001. – 240 с.
3. Антикайн П.А., Зыков А.К. Эксплуатационная надежность объектов котлонадзора. – М.: Металлургия, 1985. – 463 с.
4. Цикерман Л.Я. Диагностика коррозии трубопроводов с применением ЭВМ. – М.: Недра, 1977. – 320 с.
5. Маннапов Р.Г. Оценка надежности химического и нефтяного оборудования при поверхностном разрушении.: – М. ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1988. – 93с.
6. Геометрическое моделирование некоторых многопараметрических систем химической технологии. – Киев: «Вища школа», 1977. – 108с.
7. Бегларян В.Х. Проектирование приборов, оптимальных по конструкторско-технологическим параметрам. – М.: Машиностроение, 1977. – 119 с.
8. Вознесенский В.А., Ковальчук А.Ф. Принятие решений по статистическим моделям. – М.: Статистика, 1978. – 192 с.