

роблема предотвращения коррозии наиболее актуальна для нефтяной и газовой промышленности, отказы объектов которой часто связаны с взрывами, возгоранием, выбросом углеводородного сырья, что наносит значительный экономический и экологический ущерб, а в ряде случаев даже сопровождается человеческими жертвами. Борьба с коррозией представляет собой комплекс задач, включающих коррозионный мониторинг, создание оборудования в коррозионностойком исполнении и поддержание его надежности при эксплуатации.

Эффективность того или иного направления борьбы с коррозией в первую очередь определяется объективной диагностикой причин повреждения конструкции в агрессивных средах, являющихся основным предметом коррозионного мониторинга.

Традиционно в отрасли используются технологические мероприятия по повышению коррозионной стойкости объектов. Для защиты нефтенее использование НКТ из анодированных алюминиевых сплавов в нефтяной промышленности подтвердило их высокую коррозионную стойкость во многих технологических средах, кроме того, водород в пределах растворимости не влияет на механические свойства большинства алюминиевых сплавов. Обеспечение необходимой износостойкости при этом может быть достигнуто поверхностным упрочнением деталей из алюминиевых сплавов для различных условий контактного взаимодействия, например, методом микродугового оксидирования. Изучение триботехнических характеристик в различных условиях трения поверхностных слоев на алюминии и его сплавах, сформированных методом микродугового оксидирования, показало, что независимо от схемы трения они имеют высокую износостойкость, низкие коэффициенты трения и могут применяться в определенном диапазоне нагрузок, скоростей и сред в паре со многими материалами. Особенно важно, что такие оксидные слои обладают высоким сопроодин и тот же или разные материалы. По толщине покрытия можно послойно сочетать различные материалы для получения требуемого градиента физико-химических и механических свойств. Кроме того, можно изменять толщину покрытия в широких пределах. Технологические процессы формирования полимерных покрытий достаточно просты, что позволяет выполнять их как на заводах-изготовителях оборудования, так и на ремонтных предприятиях нефтедобывающих объединений. Благодаря этому можно многократно восстанавливать оборудование с покрытием при незначительных затратах на ремонт.

Для теплоизоляции трубопроводов в мировой практике успешно применяются полиуретановые материалы, характеризующиеся малым коэффициентом теплопроводности и высокими прочностными свойствами. Основными требованиями, предъявляемыми к покрытиям, являются химическая стойкость и низкая проницаемость по отношению к эксплуатационной среде, достаточно высокая адгезия к металлу, сопротивление эрозионному износу, налипанию парафинов и минеральных солей, содержащихся в транспортируемых средах. Эффективность использования покрытий в значительной степени определяется изученностью механизма их поведения в эксплуатационных условиях, заключающегося в следующем:

- структурирование в пленке покрытия под влиянием внешних факторов (среда, температура и др.), неуравновешенность исходной структуры материала;
- деструкция в пленке покрытия, химическое разрушение и вымывание средой отдельных компонентов материала, их выпотевание, в результате чего изменяются состав, физикохимические и механические свойства покрытия.

Разрушение покрытия также обусловливается механическим воздействием на него вибрации, удара, контактных нагрузок, остаточных напряжений в полимерной пленке, эрозией, трением и т.д.

В основу концепции разработки и выбора покрытий должен быть положен принцип учета всех изменений, которые могут возникнуть в нем в процессе эксплуатации, что необходимо отражать в нормативно-технической документации. В то же время в нефтегазовой отрасли практически отсутствует нормативная база по полимерным покрытиям, применяемым для противокоррозионной защиты оборудования и сооружений. Исключение составляют наружные покрытия трубопроводов, требования к которым оговариваются ГОСТ Р 51164-98 и рядом зарубежных стандартов [4]. При этом в различных стандартах, касающихся одних и тех же покрытий, приведенные показатели качества существенно отличаются друг от друга. В отечественных и зарубежных стандартах на наружное покрытие труб имеются показатели, косвенно характеризующие противокоррозионное действие покрытия. К ним относятся удельное переходное сопротивление и прочность сцепления с металлом трубы в исходном состоянии и



## ПЕРСПЕКТИВНЫМ НАПРАВЛЕНИЕМ ПОВЫШЕНИЯ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ И КОЛОНН ТРУБ В СКВАЖИНАХ, ЕМКОСТНОЙ АППАРАТУРЫ ЯВЛЯЕТСЯ ПРИМЕНЕНИЕ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ, В ЧАСТНОСТИ СТЕКЛОПЛАСТИКОВ.

газопромысловых трубопроводов и скважинного оборудования широко применяются различные ингибиторы коррозии и электрохимзащита. Для решения указанной проблемы наиболее эффективно создание оборудования в коррозионностойком исполнении и дополнительное проведение технологических мероприятий на определенной стадии эксплуатации. В первую очередь это касается таких наиболее металлоемких видов оборудования и сооружений, как магистральные и промысловые нефтегазопроводы, различные технологические аппараты для первичной подготовки и переработки нефти и газа, скважинное оборудование, различные виды насосов и запорной арматуры.

Для повышения надежности нефтегазового оборудования в условиях воздействия коррозионно-агрессивных сред необходимо подобрать 
высокоэффективные конструкционные материалы, методы их технологической обработки и 
формирования поверхности. Для этого необходимо заменить ряд традиционных конструкционных сталей новыми, а также расширить 
область применения используемых путем повышения их работоспособности.

Так, рядом технико-экономических достоинств в качестве конструкционных материалов обладают алюминиевые сплавы, которые по производству и потреблению прочно утвердились на втором месте после стали. Например, многолеттивлением абразивному изнашиванию, вполне сравнимому с износостойкостью традиционных абразивных материалов.

Перспективным направлением повышения коррозионной стойкости промысловых трубопроводов и колонн труб в скважинах, емкостной аппаратуры является применение неметаллических материалов, в частности стеклопластиков. В последние годы нефтяной компанией «ЛУКойл» построен ряд отечественных заводов по производству стеклопластиковых труб.

Широкое распространение находят высокоэффективные смазочные и герметизирующие материалы, обеспечивающие противокоррозионную защиту элементов конструкций (резьбовые соединения труб, затворы запорной арматуры и т.д.).

Одним из наиболее перспективных направлений по противокоррозионной защите является нанесение на защищаемые поверхности лакокрасочных и полимерных покрытий, которые позволяют изменять природу поверхности изделия, не меняя его объемных свойств. В результате изделие приобретает ценные свойства без существенного изменения конструкции, технологии изготовления, а также без значительных затрат. Покрытие можно наносить многократно на изделия сложной конфигурации и значительных размеров, причем как на все поверхности, так и на отдельные участки, используя при этом

**05** | 2014

ЗАЩИТНЫЕ ПОКРЫТИЯ

## ПРОМЫШЛЕННАЯ ОКРАСКА INDUSTRIAL COATINGS

после определенной продолжительности воздействия минерализованной водной среды, а также водопоглощение (хотя это показатель материала покрытия), сопротивление катодному отслаиванию и ряд других. Едиными объективными показателями качества наружного покрытия труб могли бы служить скорость подпленочной коррозии защищаемого металла в эксплуатационной среде и срок службы покрытия. В отечественном стандарте срок службы покрытия определяется допустимым изменением во времени одного из косвенных показателей его противокоррозионного действия, т.е. удельного переходного сопротивления. Оговаривается, что сопротивление изоляции для всех видов покрытий не должно уменьшаться более чем в 3 раза через 10 лет и более чем в 8 раз через 20 лет. Однако метод прогнозирования кинетики измеров, что приводит к нарушению его противокоррозионного действия и, как следствие, к возрастанию скорости коррозии металла трубы свыше допустимой.

При достаточно высокой исходной сплошности покрытия, препятствующей доступу среды к защищаемому металлу, в процессе эксплуатации вследствие растрескивания полимерного слоя может значительно возрасти его проницаемость. Показателем сопротивления покрытия растрескиванию является длительная когезионная прочность полимерного слоя.

Задача прогнозирования противокоррозионного действия и долговечности покрытия труб на стадии проектирования трубопровода сводится к установлению функциональной зависимости скорости коррозии защищаемого металла от характеристик покрытия, определяющих его противокор-

Противокоррозионное действие покрытия объясняется не только его изоляционными свойствами. Проницаемость многих покрытий по отношению к воде, кислороду, электролиту – наиболее распространенным агентам коррозии - достаточна для протекания коррозионного процесса на поверхности металла под покрытием. В подавляющем большинстве случаев скорость нарушения сплошности покрытия значительно выше скорости химической деструкции материала, диффузионного переноса и накопления агрессивной среды под покрытием. Одной из основных причин нарушения сплошности толстослойного покрытия является возникновение неблагоприятного напряженно-деформированного состояния. Напряжения в монолитном покрытии воз-



нения этого показателя в эксплуатационных условиях отсутствует, а следовательно, эти данные имеют декларативный характер. Все это затрудняет выбор конструкций наружного покрытия труб для конкретных условий эксплуатации с заданным противокоррозионным действием, планируемым сроком службы и минимальной себестоимостью.

В состав лакокрасочных и полимерных покрытий нефтегазопроводов обычно не входят ингибиторы коррозии и пигменты протекторного действия, поэтому основными характеристиками подобных покрытий, определяющими их противокоррозионное действие, являются проницаемость полимерного слоя по отношению к эксплуатационной среде, прочность его сцепления с металлом и толщина этого слоя. Известно, что с течением времени происходит изменение указанных характеристик покрытия под влиянием различных эксплуатационных факто-

розионное действие. Процесс электрохимической коррозии металла под покрытием в электролите состоит из ряда последовательных стадий: проникновения среды через пленку покрытия, адсорбции среды на поверхности металла, анодной реакции образования гидратированного иона металла с одновременным протеканием сопряженного процесса разряда иона водорода или ионизации кислорода. Проведенные исследования позволили оценить степень влияния этих характеристик на скорость коррозии защищаемого металла, установить функциональную взаимосвязь между ними и разработать математическую модель коррозионного процесса металла под покрытием. Было рассчитано время достижения минимально допустимых значений указанных характеристик и выбран наименьший из рассчитанных интервалов времени, так как именно он определяет долговечность покрытия труб в рассматриваемых условиях эксплуатации.

никают под действием внешних сил, а также в результате объемных изменений полимерного слоя и защищаемого металла. Вторая группа напряжений имеет качественно общий характер для различных условий эксплуатации и связана с усадкой полимерной композиции при отверждении, набуханием при контакте с технологическими средами, температурными деформациями материала.

В результате изменения объема монолитного покрытия, скрепленного адгезионными связями с практически недеформируемым металлическим основанием, в защитном слое возникают значительные напряжения. Как показывают анализ характера разрушения и экспериментальные исследования распределений напряжений, в покрытии возникает трехосное напряженное состояние со значительной концентрацией касательных напряжений по торцам оболочки, где и происходит разрушение полимерного слоя.

Разработка метода аналитического решения задачи с учетом краевого эффекта позволяет оценить напряженно-деформированное состояние покрытия изделий, имеющих форму цилиндрической оболочки, в частности трубопроводов, резервуаров и других технологических аппаратов, что необходимо при определении их долговечности.

Экспериментальные исследования кинетики изменения когезионной и адгезионной прочности лакокрасочного покрытия в водной среде при различных действующих растягивающих напряжениях от внешней нагрузки и разработка математических моделей этих процессов позволили оценить фактические значения остаточной прочности как самого покрытия, так и его сцепления с металлом в различных эксплуатационных условиях, а следовательно, долговечность покрытия при заданных допустимых минимальных значени-

расположения слоев из выбранных материалов для обеспечения требуемого градиента характеристик покрытия по толщине. Установлен определенный принцип расположения слоев из выбранных материалов, что позволяет создать эффективную конструкцию покрытия с заданным комплексом свойств. Если все требуемые значения показателей качества покрытия обеспечиваются одним материалом, необходимость во втором этапе отпадает. На третьем этапе проводят экономическую оценку выбранных вариантов конструкций покрытия из различных материалов.

Рассмотренная задача конструирования покрытия с заданным комплексом свойств полностью компьютеризирована, что позволило создать отраслевую систему САПР-покрытий. Эти работы, несомненно, должны быть широко внедрены в топливно-энергетический комплекс страны.





В ПОДАВЛЯЮЩЕМ БОЛЬШИНСТВЕ СЛУЧАЕВ СКОРОСТЬ НАРУШЕНИЯ СПЛОШНОСТИ ПОКРЫТИЯ ЗНАЧИТЕЛЬНО ВЫШЕ СКОРОСТИ ХИМИЧЕСКОЙ ДЕСТРУКЦИИ МАТЕРИАЛА, ДИФФУЗИОННОГО ПЕРЕНОСА И НАКОПЛЕНИЯ АГРЕССИВНОЙ СРЕДЫ ПОД ПОКРЫТИЕМ.

ях его адгезионной и когезионной прочности, выход за которые приводит к его отслаиванию или растрескиванию. Была разработана концепция конструирования лакокрасочных и полимерных покрытий с заданным противокоррозионным действием и ресурсом, в частности для наружной поверхности подземных нефтегазопроводов на стадии их проектирования. Сущность концепции заключается в трехэтапном конструировании полимерных покрытий различных видов оборудования и сооружений. На первом этапе выбирают материалы покрытия, обеспечивающие требуемые показатели качества. Выбирают по каждому показателю качества отдельно с помощью расчетной зависимости, устанавливающей взаимосвязь между этим показателей и характеристиками полимерного слоя, определяющими его численное значение, на основе разработанных математических моделей. На втором этапе необходимо определить оптимальную последовательность

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пинчук Л.С., Неверов А.С. Полимерные пленки, содержащие ингибиторы коррозии. – М.: Химия, 1993.

2. Воронин В.И., Воронина Т.С. Изоляционные покрытия подземных нефтегазопроводов. – М.: ВНИИОЭНГ, 1990.

3. Neal D. Two Coating Systems Contend for Premium Spot in the Market // Pipe Line & Gas J. – 1998. – Vol. 81. – P. 43–44.

4. Фокин Г.С. Коррозия и защита от коррозии. Энциклопедия международных стандартов. – М.: ВИНИТИ, 1994.

