

**СЕКЦИЯ 16. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ  
ТРАНСПОРТИРОВКИ И ХРАНЕНИЯ НЕФТИ И ГАЗА****889**

хранения нефтепродуктов и прогнозировать развитие неблагоприятных ситуаций, приводящих к взрывам и пожарам. Вышеуказанные первичные датчики в совокупности с базами данных опасности паров нефтепродуктов, системой обработки и накопления информации составляют единый автоматизированный комплекс контроля и предупреждения пожароопасных ситуаций. Данные с приборов передаются по сети на компьютер и затем обрабатываются модулем оценки взрывопожароопасности. При этом экспертная система учитывает возможность проведения различных работ с данным хранилищем нефтепродуктов. Так, если в резервуаре хранится бензин, в пространстве концентрация паров выше НКПР и напряжение электростатического поля достаточное для пробоя, то необходимо проведение мероприятий по снижению электростатического поля, или при различных работах возможно попадание атмосферного воздуха может снизить концентрацию до НКПР и тем самым спровоцировать взрыв. Таким образом, предлагаемая система не только контролирует параметры хранилища нефтепродуктов, но и дает прогноз будущих событий, предупреждая их неблагоприятное развитие.

**Литература**

1. Бобровский С. А., Яковлев Е. И. Защита от статического электричества в нефтяной промышленности. – М.: Недра, 1983. – 160 с.
2. Глебов В.С., Тазеев Г.С. Пожарная безопасность нефтебаз и объектов магистральных трубопровода. – М.: Недра, 1972. – 192с.
3. Максимов Б. К., Обух А. А., Тихонов А. В. Электростатическая безопасность при заполнении резервуаров нефтепродуктами. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 160с.
4. Попов Б.Г., Веревкин В.Н., Бондарь В.А., Горшков В.И. Статическое электричество в химической промышленности. Под ред. Б.И. Сакина. – Л.: Химия, 1977. – 164с.
5. Таубкин С. И. Пожар и взрыв: особенности их экспертизы. – М.: Изд. ВНИИПО, 1999. – 600 с.
6. Пожарная опасность веществ и материалов, применяемых в химической промышленности / под ред. И. В. Рябова. – М.: Химия, 1970. – 336 с.

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОРРОЗИОННЫХ ДЕФЕКТОВ НА МАКСИМАЛЬНО ДОПУСТИМОЕ ДАВЛЕНИЕ В ТРУБОПРОВОДЕ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ****А. Г. Букреева**

Научный руководитель, доцент Н. В. Чухарева

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

С быстрым развитием экономики потребляемое количество нефти и газа увеличиваются для всех стран. Трубопроводы были широко задействованы как основной способ транспорта нефти и газа. Целью номер один при эксплуатации трубопроводов является обеспечение бесперебойной работы и предотвращение отказов трубопровода. Случаи утечки нефти и газа не только являются причиной большого количества несчастных случаев, но также приводят к экономическим потерям и загрязнению окружающей среды. Коррозия – одна из основных причин разрушения для подземных трубопроводов. Под действием почвы и среды высокого давления, очаги коррозии появляются и на внутренних и на внешних стенках трубопровода. При углублении этих очагов или развитии трещин, может произойти разрыв трубопровода.

Рассматриваемый вопрос уже был частично освещен в статьях [1, 2, 3] зарубежных авторов, в которых рассматривается влияние коррозионных дефектов и трещин на срок службы и параметры эксплуатации трубопровода. В приведенных статьях выводы о влиянии дефектов на трубопровод, сделаны на основании моделирования трубопровода с применением метода конечных элементов.

В статье [1] было исследовано изменение максимально допустимого давления на трубопроводе с одним или несколькими очагами коррозии. Также рассмотрено влияние внутреннего давления, длины, глубины и расположения очагов коррозии на максимально допустимое давление в трубопроводе. Результаты показывают, что независимо от расположения очага, вдоль оси трубопровода или в кольцевом направлении, максимальное напряжение появляется на дне очага коррозии расположенного вдоль направления оси трубопровода, и минимальное напряжение появляется на конце в кольцевых очагах. Напряжение Фон Мизеса и пластическая деформация увеличиваются с ростом давления внутри трубопровода. Допустимое давление в корродирующем трубопроводе уменьшается с увеличением глубины очага коррозии, но увеличивается с увеличением толщины стенок трубопровода. С увеличением длины очага коррозии, допустимое давление корродирующего трубопровода с осевыми очагами коррозии уменьшается, в то время как для кольцевого очага коррозии – увеличивается. Трубопровод с множественным повреждением более подвержен разрушению. С увеличением внутреннего давления максимальная пластическая деформация проявляется в одном конце эллипсоидального коррозионного очага, а затем на дне. Предельное давление постепенно уменьшается с увеличением площади занимаемой очагами.

В источнике [2] применяют метод конечных элементов и метод граничных элементов к анализу влияния коррозии труб на срок службы при усталостных нагрузках и виду разрушения. Результаты проведенного неразрушающего контроля и исследований с помощью программного обеспечения показывают, что нефтепроводы с трещинами с однородной коррозией имеют большее напряжение, главным образом внутреннее давление, в продольном направлении, чем в кольцевом направлении. В результате, максимальное количество циклов нагружения кольцевой трещины больше, чем для продольной. Рост трещины на нефтепроводе, не подверженного коррозии, может быть проигнорирован, поскольку расчетное количество циклов нагружения до

отказа чрезвычайно высоко. Однако, когда есть коррозия на нефтепроводе, количество циклов нагружения до отказа стремительно снижается, показывая, что коррозия может легко привести к отказу вследствие износа на металлическом нефтепроводе.

В статье [3] внимание сосредотачивается на развитии модели конечного элемента, которая отображает явление коррозии, и ее влияние на разрыв структуры трубопровода. Выбранный материал структуры характеризуется экспериментально, чтобы определить предел прочности и предел текучести металла. Поэтому, числовая модель была построена на базе ANSYS, чтобы моделировать различные нагрузки и получать концентрации напряжений в местах, где напряжение может превысить предел прочности под влиянием коррозии, и определить напряжение Фон Мизеса. Модель коррозии и остаточные напряжения использовались вместе с вероятностной моделью, чтобы найти функцию предельного состояния. Таким образом, вероятность отказа и показатель надежности конструкции под влиянием явления ямочной коррозии вычислены и представлены в тексте статьи. Были изучены факторы чувствительности предложенной модели, где было выявлено, что определяющими параметрами являются рабочее давление и предел прочности металла.

В перечисленных статьях исследователи в результате моделирования вывели ряд закономерностей. Выявлено, что дефекты, расположенные вдоль направления оси трубопровода более опасны, чем дефекты расположенные в кольцевом направлении. Максимальное напряжение в таких дефектах концентрируется в разных областях. Для дефекта любого расположения максимум напряжения появляется на дне очага коррозии, и минимальное напряжение появляется на конце. Также выявлена значимая чувствительность моделей к изменению рабочего давления и к свойствам материала трубы.

В этой статье было рассмотрено влияние дефектов нескольких видов на криволинейном участке трубопровода(отводе).

В этой статье рассматривают эллипсоидальные очаги коррозии. Была установлена модель конечного элемента 1/3. Как показано на рис. 1, элементы с 3 углами используются, чтобы смоделировать трубопровод. Диаметр трубопровода составляет 1220 мм, толщина стенок трубопровода составляет 15 мм. Чтобы устранить эффект края, длина трубопровода – 3 раза диаметр.

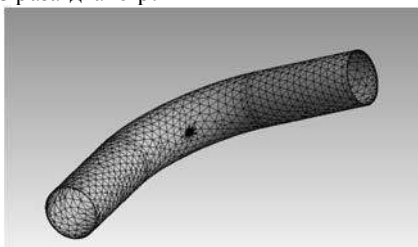


Рис. 1. Модель одного очага коррозии из конечных элементов

Линейная изотропическая упругая модель нагружения рассмотрена в модели пластичности стального материала трубопровода. Числовые результаты получены для стального трубопровода Х65. Предел текучести составляет 4485 МПа, предел прочности составляет 531 МПа, модуль Юнга составляет 206 ГПа, отношение Пуассона 0,3, плотность – 7800 кг/м<sup>3</sup>. В этой статье рассматривают осевые и кольцевые очаги коррозии. Внутреннее давление было приложено к внутренней стене трубопровода.

Согласно фактическому условию, два типа (осевой очаг коррозии и кольцевой очаг коррозии) очага коррозии были рассмотрены в этой статье.

Когда длина очага коррозии составляет 15 мм, глубина составляет 5 мм, распределения напряжения фон Мизеса вокруг очага под различным внутренним давлением показаны на рис. 2. Независимо от того осевой очаг коррозии или кольцевой, максимальное напряжение появляется на дне очага коррозии вдоль направления оси трубопровода. Минимальное напряжение появляется на концах вдоль кольцевого направления трубопровода. Напряжение Фон Мизеса увеличивается с увеличением внутреннего давления. Когда напряжение больше, чем предел текучести, напряжение целого трубопровода быстро увеличивается. Тогда взрыв трубопровода происходит, когда внутреннее давление больше, чем предельное давление.



Рис. 2. Распределения напряжения фон Мизеса вокруг очагов различных направлений

Распределение пластической деформации вокруг очага под различными давлениями показывают на рис. 3 и рис. 4. Под тем же самым давлением пластическая деформация с барным типом появляется на трубопроводе с осевым очагом коррозии. Пластическая область увеличивается с увеличением внутреннего давления. Максимальная пластическая деформация появляется на дне очага коррозии.

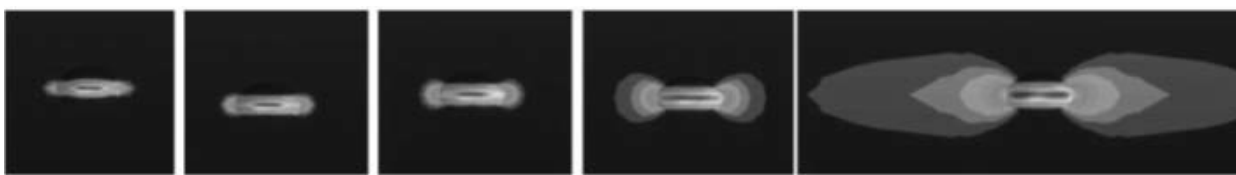


Рис. 3. Распределение пластической деформации вокруг осевого очага под различными давлениями [1]

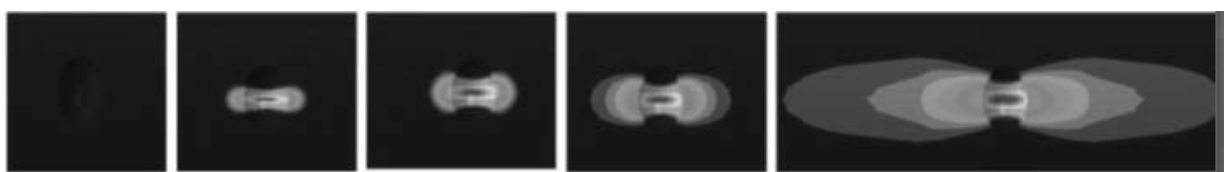


Рис. 4. Распределение пластической деформации вокруг кольцевого очага под различными давлениями [1]

Предельное давление осевого очага коррозии меньше, чем кольцевого очага коррозии. Это означает, что трубопровод с осевым очагом коррозии подвержен разрушению под теми же самыми объемными дефектами. Когда длина составляет 15 мм, различие между двумя предельными давлениями составляет 5,6 мПа. Когда длина трубопровода составляет 19 мм, различие составляет 8,9 мПа. Поэтому, толщина стенок, длина и глубина очага коррозии имеют большой эффект на предельное давление корродирующего трубопровода [1].

Когда длина очага коррозии составляет 15 мм, рис. 5 показывает предельные давления корродирующего трубопровода при различных глубинах очага. Предельное давление корродирующего трубопровода уменьшается с увеличением глубины очага коррозии с нелинейной зависимостью. Когда глубина очага коррозии меньше, разница предельных давлений между осевым очагом коррозии и кольцевым очагом коррозии больше. Но этот эффект уменьшается с увеличением глубины очага коррозии. Когда глубина очага составляет 7,5 мм, очаг коррозии имеет полукруглую форму. Так, предельные давления двух корродирующих трубопроводов равны.

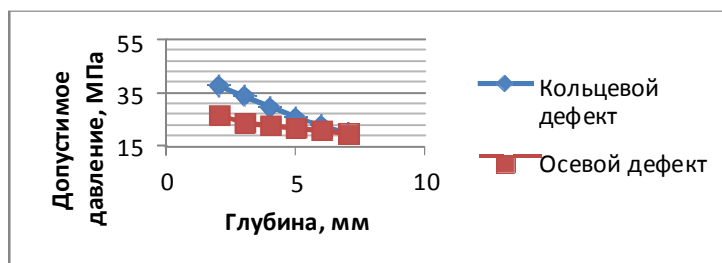


Рис. 5. Зависимость предельного давления от глубины очага коррозии

Когда глубина очага коррозии составляет 5 мм, предельные давления корродирующего трубопровода для различных длин очага показаны на рис. 6. Когда длина очага коррозии составляет 5 мм, очаг становится полукруглым. Так, предельные давления корродирующего трубопровода с осевым очагом коррозии и кольцевым очагом коррозии равны. С увеличением длины очага коррозии, предельное давление корродирующего трубопровода с осевым очагом коррозии уменьшается, в то время как для корродирующего трубопровода с кольцевым очагом коррозии увеличивается. Степень изменения (увеличения/уменьшения) также возрастает.

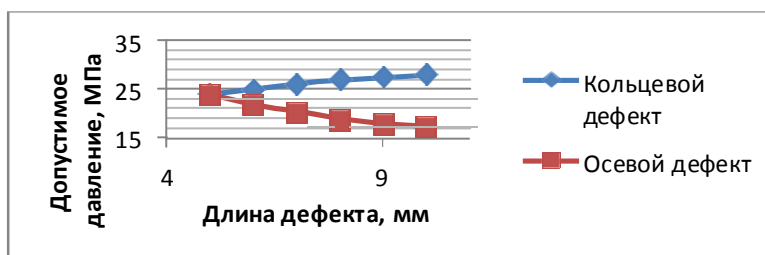


Рис. 6. Предельное давление для различных длин очага коррозии

Многоточечная коррозия встречается в инженерной практике гораздо чаще, чем единственный очаг коррозии. Взаимодействие между очагами коррозии не должно быть проигнорировано. Модели на базе конечного элемента коррозии с двумя и тремя ямами были расположены на внутренней стороне сгиба отвода. Граничные условия и нагрузки совпадают с рис. 1.

Когда интервал между очагами составляет 5 мм, длина и глубина очага коррозии составляют 15 мм и 5 мм. При условии нескольких очагов коррозии предельное давление корродирующего трубопровода с осевым очагом коррозии меньше, чем с кольцевым очагом коррозии. Предельное давление корродирующего трубопровода с многоточечными очагами коррозии меньше, чем когда очаг состоит из одной ямы. Но различие между очагами из 2-х и 3-х ям небольшое. Так, многоточечная модель очага коррозии может более точно предсказать предельное давление трубопровода.

Рис.7 показывает распределение напряжения фон Мизеса вокруг многоточечного очага коррозии. С увеличением внутреннего давления области наибольшего напряжения постепенно увеличиваются. Прежде чем появляется пластическая деформация, распределение напряжения фон Мизеса корродирующего трубопровода мало изменяется. На упругой стадии предельные давления двухъямочных и трехъямочных осевых очагов коррозии составляют 14,6 мПа и 14 мПа. В то время как предельные давления двухъямочного и трехъямочного кольцевых очагов коррозии составляют 19,2 мПа и 18,3 мПа. Под тем же самым внутренним давлением область высокого напряжения трехъямочного очага больше, чем двухъямочного; осевого очага больше, чем кольцевого.

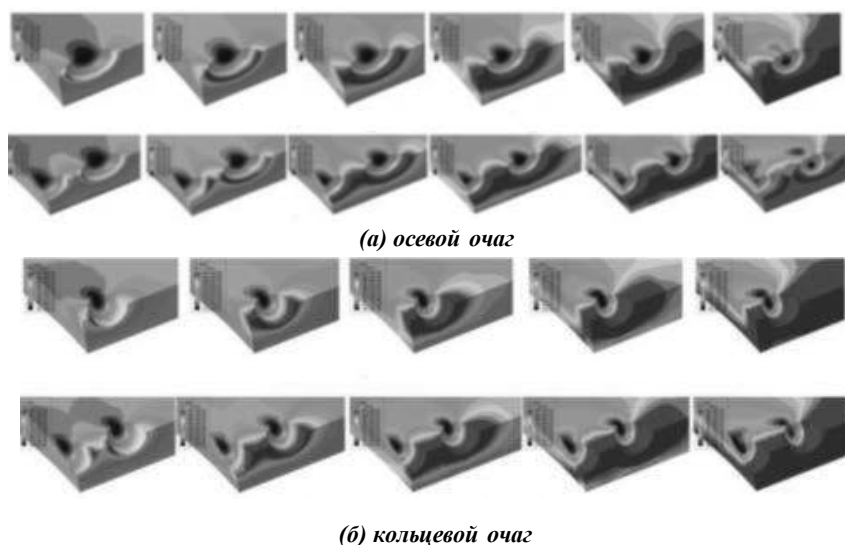


Рис. 7. Распределение напряжений фон Мизеса вокруг многоточечного очага коррозии [1]

Для двухъямочного очага коррозии пластическая деформация сначала появляется на одном конце эллипсоидального очага коррозии, когда внутреннее давление маленькое. Пластическая область увеличивается с увеличением внутреннего давления вдоль направления оси трубопровода, и максимальные пластические деформации появляются на дне очага. Но ширина пластической области кольцевого очага коррозии больше, чем осевого очага коррозии. Когда внутреннее давление составляет больше чем 32 мПа, пластическая область резко увеличивается. Для трехъямочного очага коррозии пластическая область больше, чем для двухъямочного очага. Пластическая деформация крайнего очага коррозии больше, чем расположенного в середине. Так, местоположение очага коррозии может повлиять на отказ напорного трубопровода.

Независимо от того для осевого очага коррозии или для кольцевого, максимальное напряжение появляется на дне очага коррозии с одной ямой вдоль направления оси трубопровода. Минимальное напряжение появляется на концах вдоль кольцевого направления трубопровода. Напряжение фон Мизеса и пластическая деформация увеличивается с увеличением внутреннего давления. Максимальная пластическая деформация появляется на дне (основании) очага. Предельное давление корродируемого трубопровода уменьшается с увеличением глубины очага коррозии, но увеличивается с увеличением толщины стенок. С увеличением длины очага коррозии, предельное давление корродирующего трубопровода с осевым очагом коррозии уменьшается, в то время как предельное давление для корродирующего трубопровода с кольцевым очагом коррозии увеличивается. Предельное давление корродирующего трубопровода с многоточечным очагом коррозии меньше, чем у очага с одной точкой коррозии. При одном и том же внутреннем давлении, область высокого напряжения у очага коррозии с тремя точками больше, чем у очага с двумя точками; у осевых очагов больше, чем у кольцевых. Для многоточечного очага коррозии максимальная пластическая деформация сначала появляется на одном конце эллипсоидального очага коррозии, затем на основании очага с увеличением внутреннего давления. С увеличением интервала между точками очага коррозии предельное давление корродирующего трубопровода постепенно увеличивается, но скорость увеличения падает.

Литература

1. Zhang J., Liang Z., Han C.J. Effects of Ellipsoidal Corrosion Defects on Failure Pressure of Corroded Pipelines Based on Finite Element Analysis // Int. J. Electrochem. Sci. – 2015 - Vol. 10.
2. Mourad Nahal, Rabia Khelif, Rabah Bourenane, Saad Salah Pipelines Reliability Analysis Under Corrosion Effect and Residual Stress // King Fahd University of Petroleum & Minerals - 2015.
3. Han-Sung Huang Fracture characteristics analysis of pressured pipeline with crack using boundary element method – 2015. URL: <http://www.hindawi.com/journals/amse/2015/508630>. Дата обращения: 29.12.15.

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЗА СОСТОЯНИЕМ  
 ОБОРУДОВАНИЯ**

**О. Л. Булгакова**

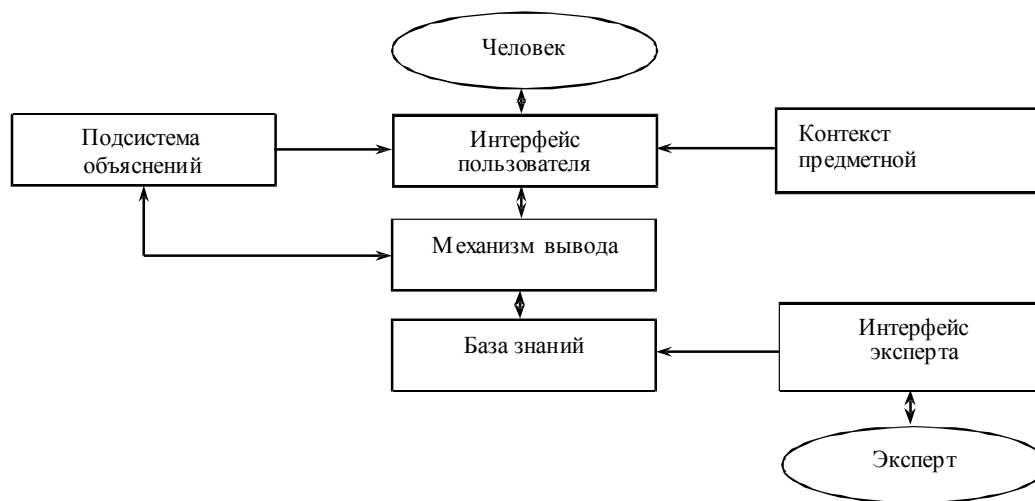
Научный руководитель, доцент А. В. Рудаченко

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия*

Непосредственная связь производственных затрат с частотой проводимых ремонтных работ оборудования требует разработки экспертной системы принятия решения о выборе методов диагностики технического состояния технологического оборудования и снижения затрат на его обслуживание. Так решение о проведении технического обслуживания и ремонта, должно приниматься на основании проведенной работы по накоплению, в течение длительного промежутка времени и анализу полученной базы данных по отказам оборудования, временным рядам измеряемых параметров и т.п., а также с учетом возросшего уровня качества и объема исходной информации, обеспечиваемого автоматизированными системами контроля и диагностики. Именно данный материал должен собираться, обрабатываться, храниться в базе данных, которая является основной частью экспертной системы.

Одним из подходов к созданию систем поддержки принятия решений заключается в изучении этапов совершенствования форм экспертных систем [3].

Структура первых экспертных систем, возникших в 1980-х годах, в основе которых лежит свод правил выглядит следующим образом (рис. 1).



*Рис. 1. Схема экспертной системы*

В базе знаний должны содержаться все возможные правила, описывающие «симптомы» возникновения отказа, аварии или любого другого события. В дальнейшем, свод правил может быть сформирован в виде дерева событий, использующийся для определения и анализа последовательности (вариантов) развития аварии, включающей сложные взаимодействия между техническими системами обеспечения безопасности. [2]. Принципы построения «дерева событий» носят индивидуальный характер, каждый исследователь по-своему видит процесс возникновения отказа и его последствий (рис. 2).

База данных экспертных систем формируется посредством создания правил типа «если – то». В частности, для оборудования газоперекачивающих агрегатов, можно предусмотреть следующее правило: если отключается электропитание, то в течении определенного нормативом промежутка времени оборудование должно перейти на системы аварийного электроснабжения, если этого не произошло, подается сигнал тревоги, сообщающий о возникновении нештатной ситуации /отказа.

Со временем стали появляться экспертные системы, основанные на анализе отклонения выходных данных модели от измеряемых системой в данный момент времени. В случае если разница между данными величинами стремится к нулю – оборудование работает в безаварийном режиме, в противном случае – выдается сигнал тревоги и начинается анализ причины отказа. Главное достоинство данного вида систем – высокая