

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ КОРРОЗИОННЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ МАГИСТРАЛЬНОГО ГАЗОПРОВОДА

© 2009 Ю.Н. Мальцев¹, А.Е. Лапин¹, И.Г. Романов¹, В.К. Тяг²

¹ООО «Газпром трансгаз Самара»

²Самарский государственный технический университет

Статья получена 23.11.2009 г.

Разработан вероятностно-детерминистический метод прогнозирования коррозионных повреждений участка магистрального газопровода. Оценка поврежденности труб осуществляется по показателю плотности коррозионных дефектов глубиной более 15% от толщины стенки. Для прогнозирования используется модель скорости роста коррозии по массиву дефектов глубиной от 12,5 до 15%.

Ключевые слова: *магистральный газопровод, коррозия, прогноз коррозионных повреждений, вероятностно-детерминистический метод*

Прогнозирование как метод исследования перспектив развития коррозионных процессов на трубах магистрального газопровода, наряду с оценкой его состояния, является составной частью системы мониторинга, от эффективности которого непосредственно зависит реализация принципа безопасной эксплуатации по техническому состоянию. Более того, эти части системы взаимосвязаны друг с другом. С одной стороны, знание состояния позволяет реализовать процесс прогнозирования, с другой – наличие достоверного прогноза дает возможность оценить состояние газопровода на будущий период.

Коррозионные повреждения стенки трубы неизбежно образуются в условиях сложной системы «металл-покрытие-грунт» и определяют ее состояние как неисправное, которое при распознавании из-за совокупности признаков может быть отнесено к одному из возможных диагнозов. В этой связи при оценке коррозионного состояния обоснована классификация неисправных состояний и нормирование их с помощью специального параметра. В методологическом обосновании параметра и решении задач прогнозирования существуют два основных подхода – детерминистический и вероятностный. Причем для прогнозирования коррозионного состояния очевидны такие методы как моделирование и экстраполяция.

В качестве такого параметра применим показатель количества коррозионных дефектов на 1 км трассы, т.е. их плотность, по результатам внутритрубной дефектоскопии (ВТД). При оценке использован массив дефектов потери металла глубиной свыше 15% от толщины стенки. Выбор пороговой величины в 15% обусловлен их реальной опасностью и возможностью применения массива глубиной менее 15% для прогнозирования. Очевидно, что для обеспечения безразмерности показателя плотности коррозионных дефектов он может быть рассчитан не по числу дефектов, а суммарной длине, отнесенной к протяженности исследуемого участка газопровода.

Анализ результатов ВТД газопроводов со сроком службы более 25 лет общей протяженностью свыше 1000 км позволил определить показатель коррозионных повреждений для каждого межкранового участка. На рис. 1 представлено распределение показателя по участкам одного из магистральных газопроводов с пленочной изоляцией. Как видим, его величина изменяется от 1,5 до 105 шт/км, что связано с неравномерностью развития коррозионных процессов на электрохимически гетерогенной поверхности труб. Длина коррозионных дефектов находится в пределах от 33 до 40 мм при максимально зарегистрированной глубине 61%.

Практическое применение показателя заключается в его оценочных возможностях путем сравнения численных величин и отнесения участка газопровода к конкретному классу неисправного состояния. Исходя из общей картины изменения показателя обосновано выделение трех групп. К первому классу неисправных состояний по причине коррозии относятся участки, имеющие величину показателя до 5 шт/км. Первый класс коррозионной

Мальцев Юрий Николаевич, кандидат технических наук, начальник лаборатории комплексного анализа.

*Лапин Александр Евгеньевич, начальник технического отдела
Романов Игорь Германович, кандидат технических наук,
ведущий инженер технического отдела. E-mail:
I.Romanov@samaratransgaz.gazprom.ru*

*Тяг Владимир Константинович, доктор технических наук,
заведующий кафедрой «Трубопроводный транспорт».
E-mail: tt@samgtu.ru*

опасности имеют около 50% участков газопроводов. Ко второму классу обосновано отнесение участков с величиной показателя от 5 до 10 шт/км, т.к. их массив с участками первого класса превышает 80%. К третьему классу, с показателем более 10 шт/км, относятся

остальные участки газопроводов. В этой группе находятся участки с критически высокой плотностью коррозионных дефектов и повреждений изоляции. При этом скорость коррозии не превышает 0,3 мм/год.

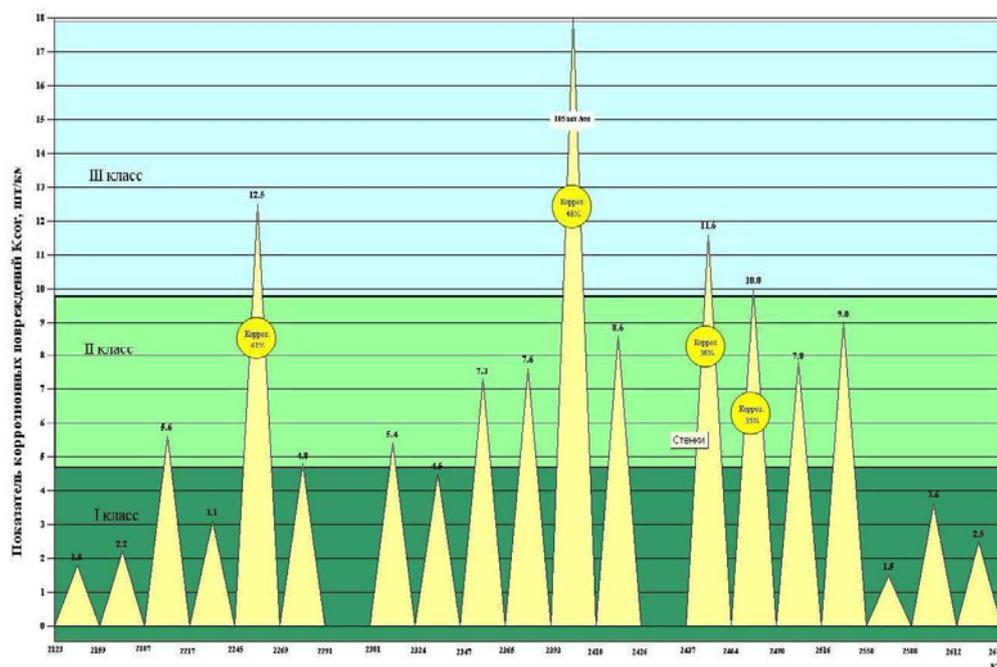


Рис.1 Распределение показателя коррозионных повреждений по участкам магистрального газопровода

Практическое применение показателя заключается в его оценочных возможностях путем сравнения численных величин и отнесения участка газопровода к конкретному классу неисправного состояния. Исходя из общей картины изменения показателя обосновано выделение 3 классов. К первому классу неисправных состояний по причине коррозии относятся участки, имеющие величину показателя до 5 шт/км, его имеют около 50% участков газопроводов. Ко второму классу относятся участки с величиной показателя от 5 до 10 шт/км, т.к. их массив с участками первого класса превышает 80%. К третьему классу с показателем более 10 шт/км относятся остальные участки газопроводов. В этой группе находятся участки с критически высокой плотностью коррозионных дефектов и повреждений изоляции. При этом скорость коррозии не превышает 0,3 мм/год.

Изучение связи максимально зарегистрированной глубины коррозионных дефектов с их плотностью для участков 2 и 3 классов коррозионной опасности показало, что корреляция между ними отсутствует. Наблюдается парадоксальная ситуация: коррозия глубиной 61% обнаруживается на участках с плотностью в 8 раза меньшей, чем там, где зарегистрирована глубина 48%. Возможности показателя,

реализующие количественную оценку коррозионных повреждений, применимы для прогнозирования перспектив развития электрохимических процессов на стенке трубы. Среди наиболее простых методов построения прогноза является экстраполяция. При этом для магистрального газопровода необратим процесс коррозии и неизбежен рост плотности повреждений в процессе эксплуатации. Вместе с тем, несмотря на сложность процесса, считаем, что накопление величины показателя происходит равномерно и распространяется на будущий период. Эксперимент по экстраполяции проведен на магистральном газопроводе со значительно отличающимися по коррозионному состоянию участками. Градация показателя изучалась на период в 5 лет.

Исследованием изменений показателя установлено, что его прирост происходит по линейному закону: $d=0,1718K_{\text{кор}} + 0,0528$ и зависит от первоначальной величины на момент проведения ВТД (рис. 2). Чем выше уровень показателя, тем больше он будет иметь прирост. Причем процесс накопления происходит без динамической составляющей, т.е. без ускорения или замедления. Недостатком метода, который по сути относится к вероятностно-статистическому, является достоверность. Стохастический подход к анализу явлений

учитывает лишь случайные факторы и дает предсказания, содержащие вероятностные оценки. Неоднозначность оценок обусловлена тем, что есть факторы, которые при таком подходе сознательно игнорируются или о них отсутствует достаточная информация, например о повреждениях изоляции.

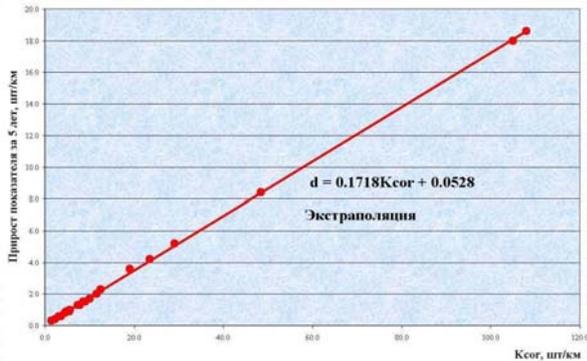


Рис.2 Показатель коррозионных повреждений

При детерминистическом подходе все факторы, влияющие на процесс, а именно параметры диагностической модели, окружающей среды и начальные условия считаются определенными и закономерно связанными. Возникают качественные своеобразия частей развивающегося процесса, к которому относится коррозия. Решение корректно поставленной детерминистической задачи, например, по модели скорости коррозии, единственно и предсказывает состояния однозначным образом. Для решения задач прогнозирования коррозионных повреждений целесообразен подход, предусматривающий интеграцию детерминистического и вероятностного методов. Реализация объединенного метода, включающего в себя оценку коррозионной поврежденности по показателю плотности дефектов и прогнозирование его значений по детерминистической модели скорости роста коррозии, повышает достоверность оценок и точность прогноза. Такой подход согласуется с методологией отраслевого стандарта по оценке технического состояния и целостности газопроводов.

Механизм прогнозирования коррозионного состояния основан на использовании массива дефектов потери металла стенкой трубы глубиной от 12,5 до 15%. Именно эта группа дефектов при скорости коррозии 0,08 мм/год, являясь априорной информативной базой, неизбежно переходит в массив, участвующий в расчете показателя. Скорость определена из условий потери металла за период 25 лет до глубины 12,5%. Безусловно, на одних участках она может быть больше, на других меньше. Однако эта неравномерность

несущественно повлияет на механизм прогнозирования и приведет лишь к возникновению разброса исследуемого параметра. Для получения сравнительной картины моделирование проведено на том же магистральном газопроводе, где и эксперимент по экстраполяции. Из полученных данных по приросту показателя следует, что его величина изменяется, в отличие от экстраполяции, по нелинейному закону (рис. 3).

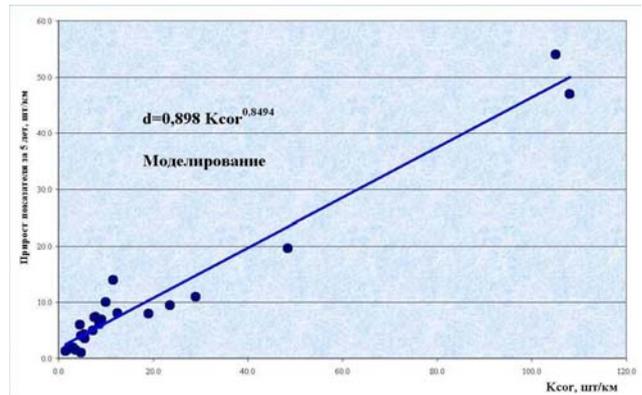


Рис.3 Показатель коррозионных повреждений

Аппроксимация зависимости показала, что кривая линия близка к степенной функции и описывается уравнением $d = 0,898 K_{кор}^{0,8494}$. Полученное уравнение отражает динамику показателя коррозионного состояния методом моделирования. В основе метода лежит объединенный вероятностно-детерминистический подход по модели скорости роста коррозионных дефектов и оценки поврежденности по их плотности. Метод имеет высокую достоверность и применим для единичных и уникальных объектов, к которым относится участок газопровода. Он содержит не только вероятностную оценку состояния участка, но и учитывает механизм коррозии в части динамической составляющей, т.к. массивы дефектов глубиной более 15%, из-за отличающихся скоростей коррозии, неравномерно распределены по всему газопроводу. Формулы для расчета прироста показателя коррозионного состояния по обоим методам позволяют определить его физические величины на период прогнозирования, т.е. через 5 лет. Из расчетов следует, что при экстраполяции показателя его прогнозируемый параметр рассчитывается с помощью линейной зависимости по уравнению: $K_{корп} = 1,1307 K_{кор} + 0,353$. В то же время закон прогнозирования по вероятностно-детерминированной модели представляет собой степенную зависимость и описывается уравнением: $K_{корп} = 1,917 K_{кор}^{0,9398}$. Из полученной кривой следует, что ее рост происходит при непрерывном падении скорости.

Полученная картина согласуется с общим представлением снижения скорости коррозии при продолжительных сроках эксплуатации магистрального газопровода. Кроме того, логически обосновываются аномальные выбросы параметра плотности коррозионных дефектов на некоторых участках под влиянием отдельных факторов.

Сравнение консервативности методов путем совмещения полученных законов прогнозирования (рис. 4) позволяет сделать вывод, что при экстраполяции показателя прогноз осуществляется по более осторожному сценарию. Вместе с тем, при значении $K_{\text{корр}}=6429$ шт/км они совпадают, т.к. линейная и степенная функции имеют одинаковые решения. С физической точки зрения это означает, что при определенном состоянии участка газопровода безразлично, какой из законов прогнозирования использовать. Важно отметить, что существует состояние, когда в наибольшей мере проявляется консерватизм оценок при использовании метода экстраполяции. Так, при $K_{\text{корр}}=2294$ шт/км прогноз по вероятностно-детерминистической модели имеет максимальное расхождение с оценками метода экстраполяции. Это состояние обосновано считать границей рабочего диапазона при прогнозировании и для участка, например,

имеющего $K_{\text{корр}}=105$ шт/км на момент проведения ВТД, оно достигается через 55 лет.

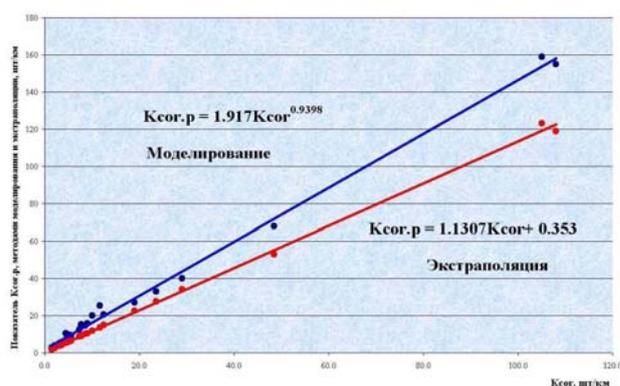


Рис.4 Показатель коррозионных повреждений

Выводы: оценка коррозионных повреждений газопровода по показателю плотности дефектов позволяет классифицировать участки по коррозионной опасности и создает основу для разработки вероятностно-детерминистического метода прогнозирования. Объединенный подход по модели скорости роста коррозионных дефектов реализуется в закон прогнозирования, который представляет собой степенную зависимость.

PREDICTION OF CORROSION DEFECTS IN THE MAIN GAS PIPELINE

© 2009 Yu.N. Maltsev¹, A.E. Lapin¹, I.G. Romanov¹, V.K. Tyan²

¹ «Gazprom Transgaz Samara» Ltd.

² Samara State Technical University

The probable-deterministic method of prediction the corrosion defects of a section of main gas pipeline is developed. The estimation of defective pipes on parameter of corrosion defects density by depth more than 15% from thickness of a wall is carried out. For prediction the model of growth rate of corrosion on a file of defects by depth from 12,5 up to 15% is used.

Key words: main gas pipeline, corrosion, prediction of corrosion defects, probable-deterministic method

Yuriy Maltsev, Candidate of Technical Sciences, Chief of Complex Analysis Laboratory

Alexander Lapin, Chief of Technical Department

Igor Romanov, Candidate of Technical Sciences,

Leading Engineer at Technical Department. E-mail:

I.Romanov@samaratransgaz.gazprom.ru

Vladimir Tyan, Doctor of Technical Sciences, Head of the Department "Pipeline Transport". E-mail: tt@samgtu.ru