



Features of Diagnosing the Technical Condition of Long Pipelines Using the Pattern Recognition Methodology

Aleksandr I. BONDARENKO¹, Andrey L. SHEKERO¹, Alexander ALEXIEV²

¹ E. O. Paton Electric Welding Institute of the National Academy of Sciences of Ukraine,
Kiev, Ukraine,
e-mail: usndt@ukr.net

² Bulgarian Academy of Sciences, Institute of Mechanics, Sofia, Bulgaria,
e-mail: alexiev@imbm.bas.bg

Abstract

A structural diagram has been developed that displays an algorithm for the control and diagnostic process for determining the technical condition of long pipelines using a system for exciting low-frequency directional waves in the metal of the pipe wall and assessing the technical condition of pipelines using the pattern recognition methodology. This makes it possible to assess the current technical condition of the pipeline and predict the remaining life of its operation.

Keywords: technical diagnostics, nondestructive testing, long pipelines, defects, low-frequency guided waves, pattern recognition methodology.

Особенности диагностирования технического состояния протяженных трубопроводов с использованием методологии распознавания образов

Александр И. БОНДАРЕНКО, Андрей Л. ШЕКЕРО, Александър Р. АЛЕКСИЕВ

1. К вопросу используемой при оценке технического состояния терминологии

В повседневной жизни часто используются такие термины как диагноз и диагностика. Эти термины происходят от греческих слов «diagnosis» и «diagnosticos». В переводе с греческого «diagnosis» означает распознавание, определение. В медицине – это определение состояния человека, а в технике – определение состояния объекта технической природы. Объект, состояние которого определяется, называется объектом диагноза. Завершением процесса определения состояния объекта является получение результата диагноза, то есть заключения о состоянии объекта диагноза. «Diagnosticos» в переводе с греческого означает способность распознавать, определять. В общем плане термин диагностика представляет собой область знаний, которая включает в себя теорию и методы организации процессов диагностирования, а также принципы построения средств диагностирования. Когда объектами диагностирования являются объекты технической природы, говорят о технической диагностике. В современном значении термин техническая диагностика означает область знаний, охватывающую теорию, методы и средства определения технического состояния какой-либо технической системы (промышленного объекта и т.д.). Иными словами, **техническая**

диагностика представляет собой отрасль науки о распознавании технического состояния промышленного объекта.

При определении состояния промышленного объекта методами и средствами технической диагностики используются еще два термина: неразрушающий контроль и техническое диагностирование – процессы, с помощью которых с использованием теории, методов и средств технической диагностики в конечном итоге можно получить информацию о техническом состоянии промышленного объекта, находящегося в эксплуатации и определить его остаточный ресурс. Эти термины часто используются совместно и не всегда понятно какой смысл вкладывается при их использовании, в чем их отличие и выполняется ли тот объем функций, который должен присутствовать при применении методов и средств, с помощью которых решаются задачи неразрушающего контроля или технического диагностирования того или иного изделия, промышленного объекта или технической системы.

На протяжении всего срока эксплуатации технического объекта осуществляется необходимый объем действий, определенный технической документацией на объект, в результате чего он выполняет свои функции. В процессе осуществления таких действий методами и средствами неразрушающего контроля могут определяться характеристики объекта контроля, так называемые контрольные признаки – несплошности в материале объекта, которые возникают в процессе его изготовления и подлежат выявлению при контроле. Таким образом, **неразрушающий контроль – это определение по контрольным признакам с использованием соответствующих методов и средств имеющихся в объекте контроля несплошностей и определение некоторых из них в качестве дефектов.**

Необходимость перехода от процесса неразрушающего контроля к процессу технического диагностирования состояния объекта приводит к поиску диагностических признаков, которые отражают геометрические параметры дефектов согласно принятой классификации, что позволяет оценить уровень технического состояния объекта диагностирования.

Именно поэтому, все методы и средства технической диагностики и данные процесса неразрушающего контроля объекта, которые дают возможность получить информацию о техническом состоянии объекта для оценки возможности продления ресурса его эксплуатации, относятся к техническому диагностированию. Таким образом, **техническое диагностирование – это методология определения технического состояния объекта с целью оценки его технической безопасности и прогнозирования ресурса его эксплуатации.** Само определение соответствия объекта требованиям промышленной безопасности путем оценки его технического состояния является главной задачей технического диагностирования [1].

В зависимости от того, какие контрольные и диагностические признаки и в каком объеме могут или должны быть определены при оценке технического состояния объекта, процесс их определения будет называться или неразрушающим контролем, или техническим диагностированием. Очевидно, что при контроле объекта и его диагностике должны быть получены контрольные признаки несплошностей, которые являются их общей чертой. Вопрос заключается в том, для какого объекта необходима информация о контрольных признаках несплошностей.

Так для определения несплошности при неразрушающем контроле достаточно провести одно определение ее контрольного признака (напр., амплитуды эхо-сигнала) и сделать вывод, допустимый дефект или недопустимый. При оценке технического состояния объекта необходимо иметь значения нескольких классов диагностических признаков, характеризующих способность объекта выполнять свои функции. Кроме того, в отличие от задачи неразрушающего контроля, при диагностировании нужно

получить не только необходимый объем контрольной информации о дефектах, но и выполнить на основе этой информации их идентификацию по классам диагностических признаков, определяющих уровень технического состояния объекта.

Таким образом, можно уточнить общие и отличительные черты между неразрушающим контролем и техническим диагностированием при определении технического состояния объекта [2]:

1. И при контроле, и при диагностировании обязательным является наличие некоторого объема информации о дефектах объекта контроля. Однако, разница заключается в объеме и параметрах контрольных признаков дефектов.

2. При контроле первичная информация о контрольных признаках дефектов, как правило, используется для определения допустимости несплошности. При диагностировании, на основе полученной информации о контрольных признаках дефектов, выполняется идентификация этих признаков по классам эталонных диагностических признаков, полученных, например, от искусственно выполненных дефектов.

3. При контроле не оценивается реальное техническое состояние объекта контроля. В случае диагностирования эта задача является основной, на основе которой принимается решение о его техническом состоянии и может формироваться прогноз относительно остаточного ресурса эксплуатации объекта, его ремонта или вывода из эксплуатации.

Процесс определения технического состояния промышленных объектов характеризуется комплексностью подходов, которая заключается в использовании различных научно-технических дисциплин технической диагностики, методов и средств неразрушающего контроля и технического диагностирования и носит название контрольно-диагностического процесса [3]. В основе контрольно-диагностических процессов лежат соответствующие контрольно-диагностические технологии, с помощью которых обеспечивается минимизация методов и средств неразрушающего контроля и диагностирования, а также достоверность определения технического состояния промышленного объекта на всех этапах его функционирования с выдачей научно обоснованного прогноза по продолжительности его эксплуатации.

Структура контрольно-диагностического процесса зависит от вида промышленного объекта. Поэтому можно считать, что объект, методы и средства, применяемые для определения его технического состояния, в своей совокупности образуют систему, основу которой составляют процессы неразрушающего контроля и технического диагностирования. В свою очередь, процесс технического диагностирования является логическим продолжением и развитием процесса неразрушающего контроля, так как цели этих процессов направлены на определение технического состояния различных промышленных объектов.

Основу процесса неразрушающего контроля составляют теория контролепригодности объекта, методы и средства его контроля. Контролепригодностью называется свойство технического объекта обеспечивать возможность получения достоверной информации о его техническом состоянии. Контролепригодность определяется конструкцией объекта. Поэтому ее уровень объективно определяет эффективность решения задачи контроля и диагностирования технического состояния объекта принятыми методами и средствами. В результате выполнения операции контроля осуществляется сбор информации в виде принятых контрольных признаков несплошностей объекта контроля и обработка полученной информации о несплошности с определением возможных дефектов объекта контроля.

Основой процесса технического диагностирования принято считать общую теорию распознавания, которая составляет важный раздел технической кибернетики и

занимается распознаванием образов любой природы и характера. Теория распознавания изучает методы получения и оценки диагностической информации, диагностические модели, алгоритмы распознавания и принятия решений применительно к задачам диагностирования технического состояния промышленных объектов, часто в условиях ограниченной информации, когда необходимо прибегать к использованию определенных приемов и правил для принятия решений. Относительно процесса технического диагностирования, основные этапы его проведения при определении состояния промышленных объектов включают необходимость выполнения операции классификации дефектов с точки зрения опасности дефектов, определение основных диагностических признаков дефектов относительно классов, алгоритмы распознавания дефектов при принятии решений, что позволяет получить количественную информацию о принадлежности дефектов к каждому классу, выполнить оценку технического состояния объекта и обосновать прогноз относительно возможного ресурса его эксплуатации.

Алгоритм распознавания содержит совокупность последовательных безусловных действий в процессе диагностирования технического состояния объекта, в результате чего техническое состояние объекта может быть отнесено к одному из возможных классов. В большинстве задач технического диагностирования классы устанавливаются заранее, и в этих условиях задачу распознавания называют задачей классификации. Важными частями проблемы распознавания являются выбор диагностических признаков, описывающих состояние объекта и принятие решений. Диагностические признаки должны быть достаточно информативными, чтобы процесс распознавания технического состояния объекта мог быть совершенным.

Теоретические основы и практические аспекты применения методов и методологии распознавания образов в различных областях науки и техники, принятия решения о лучшем подходе, аналитическом определении и оценке свойств каждого из подходов приведены во многочисленных научно-технических источниках [4-5].

2. Особенности диагностирования протяженных трубопроводов

Одним из самых распространенных промышленных объектов для использования методологии распознавания образов являются сварные протяженные трубопроводы, оценка технического состояния которых осуществляется с применением метода дальнедействующего низкочастотного ультразвукового диагностирования (НЧ УЗД) направленными волнами.

Применительно данному объекту, метод НЧ УЗД основан на возбуждении в контролируемом трубопроводе ультразвуковых волн из одного места установки акустической антенны на трубе и приеме отраженных волн от отражателей различного вида.

При решении задачи технического диагностирования состояния протяженного трубопровода применяется комплексный подход, который заключается в использовании технологии неразрушающего контроля для получения информации о дефектах трубопровода, методологии распознавания образов для определения опасных дефектов, а также всесторонний анализ факторов, которые могут привести к отказу работоспособности трубопровода.

В процессе зондирования металла протяженного трубопровода низкочастотными волнами может быть получена контрольно-диагностическая информация в виде контрольных признаков (напр., амплитуд отраженных сигналов от всех отражателей протяженного трубопровода). Это связано с тем, что последний является объектом со сложной геометрической формой, большим количеством сварных соединений и

различных элементов, необходимых для эксплуатации трубопроводов, а в материале труб в процессе их эксплуатации могут возникать так называемые эксплуатационные дефекты – коррозионные поражения сварных соединений, стенки трубы и ее эрозионный износ. Именно структурные элементы трубопроводов, сварные соединения и эксплуатационные дефекты являются потенциальными отражателями низкочастотных направленных волн в процессе проведения технического диагностирования протяженных трубопроводов.

Согласно классификации типичных отражателей низкочастотной направленной волны в протяженном трубопроводе, все возможные отражатели разделены на три типа: технологические, конструктивные и эксплуатационные. Такая классификация обусловлена прежде всего теми особенностями низкочастотного волнового движения в металле стенки трубы, когда в ней возбуждаются и распространяются осесимметричные (продольная и крутильная) низкочастотные направленные волны.

В зависимости от типа отражателей, отраженная от них низкочастотная волна может быть либо симметричной, либо асимметричной. Поэтому в дальнейшем, в классификации типичные отражатели разбиваются на два типа: симметричные и асимметричные, или только асимметричные, каковыми являются эксплуатационные отражатели.

Основной целью процедуры диагностирования технического состояния трубопроводов является выделение на фоне отраженных от различных отражателей сигналов, которые являются образами отражателей, и распознавание среди них образов диагностических признаков, которые отражают наличие в трубопроводе дефектов стенки трубы, а также сварных соединений трубопровода и характеризуют техническое состояние трубопровода. В процессе акустической локации металла стенки трубы низкочастотными ультразвуковыми волнами полученная при регистрации совокупность образов различных отражателей трубопровода будет представлять собой множество амплитуд (A) сигналов, разнесенных в пространстве контролируемого участка трубопровода на различные фиксированные расстояния (L).

Наиболее сложными с точки зрения процедуры диагностирования их технического состояния являются трубопроводы, которые могут иметь в своем составе большое количество разнообразных технологических, конструктивных и эксплуатационных отражателей. Отраженные от каждого из этих видов отражателей сигналы будут составлять соответствующее подмножество амплитуд сигналов, то есть образов отражателей.

Так, к первому классу может быть отнесено подмножество амплитуд сигналов (A_T) от технологических отражателей, которые являются образами симметричных (сварные соединения труб) и асимметричных (сварные соединения тройников) отражателей. Ко второму классу можно отнести подмножество амплитуд сигналов (A_K) от конструктивных отражателей трубопровода, которые являются образами симметричных (фланцы, отводы и т.д.) и асимметричных (опоры, тройники) отражателей. Места размещения технологических и конструктивных отражателей известны на основании технической документации на трубопровод и поэтому образы таких отражателей могут быть легко выделены. И наконец, к третьему и наиболее важному с точки зрения процедуры диагностирования технического состояния классу, относится множество амплитуд сигналов (A_C) от эксплуатационных отражателей трубопровода, которые являются образами диагностических признаков асимметричных (дефектов стенки трубы) и симметричных (дефекты сварных соединений труб) отражателей. К дефектам стенки трубы относятся коррозионные повреждения и эрозионный износ металла в поперечном сечении стенки трубы. Образы диагностических признаков этих дефектов на контролируемом участке трубопровода

размещаются случайно, но амплитуды отраженных сигналов будут давать косвенную информацию о размерах дефектов стенки трубы.

Из представленной на рис. 1 классификации образов отражателей протяженного трубопровода видно, что классы технологических и конструктивных отражателей делятся на два подкласса, которые имеют полную начальную априорную информацию об отражателях, которая недоступна для эксплуатационных отражателей, которые несут информацию о техническом состоянии протяженного трубопровода.



Рис. 1. Классификация образов отражателей протяженного трубопровода

Поэтому, важным при диагностировании трубопроводов является выделение из множества сигналов образов отражателей трубопровода подмножества образов эксплуатационных отражателей, то есть образов диагностических признаков, на основе которых будет приниматься решение о техническом состоянии трубопровода. Определение образов диагностических признаков дефектов протяженного трубопровода необходимо для того, чтобы можно было получить представление о закономерности изменения во времени потерь металла из-за коррозионного повреждения и эрозионного износа стенки трубы для каждого конкретного трубопровода и сделать вывод о техническом состоянии трубопровода.

Для оценки технического состояния протяженного трубопровода средствами методологии распознавания образов определены следующие основные понятия:

1. **Диагностический признак** – площадь утраченного металла в поперечном сечении стенки трубы из-за возможных несплошностей, коррозионных поражений, эрозионного износа.
2. **Образ диагностического признака** – амплитуда отраженного сигнала низкочастотной направленной волны от соответствующего отражателя в стенке трубы.
3. **Эталонный признак** – площадь искусственного отражателя в поперечном сечении стенки трубы, характеризующая техническое состояние трубопровода согласно принятой классификации.
4. **Образ эталонного признака** – амплитуда отраженного сигнала низкочастотной направленной волны от искусственного отражателя соответствующей площади согласно принятой классификации технического состояния трубопровода.
5. **Информативный параметр процесса диагностирования** – амплитуда отраженного сигнала от диагностического признака, которая путем автоматического сравнения с амплитудой сигнала от эталонного признака относится к соответствующему классу, который характеризует техническое состояние трубопровода.



Рис. 2. Структурная схема контрольно-диагностического процесса определения технического состояния протяженных трубопроводов

На основании вышеописанного разработана структурная схема (рис.2), которая отображает алгоритм контрольно-диагностического процесса определения технического состояния протяженных трубопроводов с применением системы возбуждения низкочастотных направленных волн в металле стенки трубы и оценки технического состояния трубопроводов с использованием методологии распознавания образов. Это позволяет оценивать текущее техническое состояние трубопровода и прогнозировать остаточный ресурс его эксплуатации.

Литература

1. Иванов В.И., Мусатов В.В. Техническая диагностика и промышленная безопасность // Территория NDT. – 2017. – № 4. – с. 22-33.
2. Пенкин А.И. Контроль и диагностика технических объектов, их общие и отличительные черты // Контроль. Диагностика. – 2014. – № 2. – с. 49-51.
3. Механіка руйнування і міцність матеріалів: Довідник-посібник / Під загальним ред. В.В. Панасюка. – т. 5. Неруйнівний контроль і технічна діагностика / Під ред. З.Т. Назарчука. – Львів: Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України. – 2001. – 1134 с.
4. Ту Дж., Гонсалес Р. Принципы распознавания образов / Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 416 с.
5. Фор А. Восприятие и распознавание образов / Пер. с англ. – М.: Машиностроение. 1983. – 272 с.