

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ СТЕНКИ ТРУБОПРОВОДА С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОвого РАСЧЕТА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ PIPEMODEL**

**В.В. Резван, А.А. Самарин**

Научный руководитель - профессор С.Н. Харламов

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

Безаварийная эксплуатация магистральных нефтепроводов тесно связана с работоспособностью труб и напрямую зависит от их несущей способности, которая, в свою очередь, в процессе длительной эксплуатации, неизбежно снижается в результате развития дефектного состояния. В настоящее время нефтяные компании, занимающиеся магистральным транспортом нефти, стремятся к снижению аварийности и повышению безопасной эксплуатации магистральных нефтепроводов.

Главной причиной капитального ремонта, является наличие дефектов, угрожающих надежному функционированию трубопровода, в частности процессы, связанные с коррозионным разрушением трубу в следствие износа покрытия. Коррозия трубопровода, является основной причиной производства работ, связанных с ремонтом трубопровода. По статистическим данным, одна треть труб, находящихся в эксплуатации более 30 лет, подлежит замене.

Среди основных дефектов, встречающихся на трубопроводах, можно выделить:

- дефекты структуры металла – расслоение; неметаллические включения; плохое качество трубы, выпускаемой заводом–изготовителем и др.;

- дефекты геометрии – вмятины, гофры, отклонения от кругового сечения;

- дефекты сварных соединений – трещины, непровары, поры, шлаковые включения, прожоги, неравномерное усиление сварного шва по ширине и высоте, недопустимые смещения кромок свариваемых труб и др.;

- поверхностные дефекты – коррозионный износ, включая коррозионные каверны, трещины, стресс - коррозионные трещины, эрозионный износ, царапины из-за небрежного обращения с трубами при строительстве и перевозках и др.

Техническая диагностика позволяет оценить реальную экологическую ситуацию на всех этапах, на которых происходит эксплуатация и строительство трубопроводов, а также в тех зонах, в которых происходит техногенное воздействие объекта.

Одним из методов контроля состояния изоляции стенок трубопровода является тепловой контроль. [1]

Неразрушающий тепловой контроль качества промышленной продукции и элементов конструкций производственных объектов является неотъемлемой частью производственного процесса во многих отраслях, например, в теплоэнергетике, строительстве, нефтегазовой промышленности. Важной компонентой теплового неразрушающего контроля являются модели тепловых процессов обследуемых объектов. Без таких моделей трудно, а зачастую, и невозможно адекватно идентифицировать масштаб обнаруженных дефектов и оценить меры по их ликвидации. Существуют универсальные программы расчета тепловых полей, например, программный комплекс “Comsol”. Их недостаток в том, что зачастую невозможно в реальные сроки рассчитать тепловое поле более или менее сложного объекта с большим (порядка нескольких миллионов) количеством расчетных точек.

Некоторые отрасли, в которых тепловой контроль жизненно важен, заказывают разработку специализированных моделей тепловых испытаний, например, ракетостроительные и авиастроительные корпорации. Лаборатория теплового контроля инженерной школы неразрушающего контроля ТПУ занимается разработкой таких моделей. В качестве примера можно указать корпорацию «Эйрбас» - работа выполнена в 2016 г., индийские предприятия ракетостроения – работа выполнялась в 2012 г., и в этом (2018-м году) уже на новом уровне. Имеется постоянно обновляемая программа “ThermoCalc3D” мирового уровня – она позволяет моделировать тепловые испытания слоистых объектов.

Для объектов цилиндрической структуры известна программа моделирования тепловых процессов цементной печи, разработанная в ТПУ. Однако в силу своей специфичности она не может применяться к объектам трубопроводного транспорта.

Таким образом, разработка модели тепловых процессов в многослойных объектах трубопроводного транспорта до сих пор является актуальной задачей, так как проектов в данной области мало.

Задача моделирования тепловых процессов в трубе может быть сформулирована следующим образом:

– считаем известными: теплофизические параметры материалов корпуса трубопровода, расход жидкости, её исходную температуру, теплофизические параметры теплообмена корпуса трубы с жидкостью и с окружающей средой;

– неизвестные величины: распределение температуры на поверхности, внутри корпуса трубы и в жидкости вдоль трубы;

– необходимо решить совокупность уравнений, записанных для элементарных ячеек, и найти неизвестные величины.

Для аппроксимации процесса теплопроводности будем использовать равномерно распределенное множество точек в пространстве R-φ-Z (цилиндрическая система координат). Такое множество называется конечно-разностной сеткой, а сами точки – узлами сетки. Рассмотрим такую сетку с узлами. Вокруг каждого такого узла очертим поверхность равного влияния узлов. Ячейки, полученные таким способом, называются ячейками Дирихле [2]. Самый внешний цилиндрический слой узлов зададим на внешней границе трубопровода. Каждый переход от одного слоя трубопровода к другому будет совпадать с одним из координатных слоев узлов сетки. Внутри трубы зададим узлы, зависящие только от координаты Z.

Наличие большого числа рассматриваемых тепловых, гидравлических процессов и параметров приводит к необходимости использования в качестве методики моделирования метода расщепления по физическим процессам [2]. В данном случае моделирование объекта заключается в последовательном моделировании физических процессов, происходящих в нем, на каждом временном шаге. Такими процессами будут теплопередача, перемещение жидкости. При этом трехмерный процесс теплопередачи расщепим на три составляющих: теплопередача вдоль радиуса, теплопередача вдоль осевой координаты и по азимутальной координате. [3]

В компьютерной программе PipeModel, реализующей предложенную выше модель, нужно обозначить следующие три её основные части:

1. Взаимодействие пользователя с программой (интерфейс) по вводу исходных данных.

2. Процесс вычислений, реализующих математическую модель.

3. Вывод полученных данных в удобной для пользователя форме:

– изображение поля температур на поверхности трубопровода в виде термограммы,

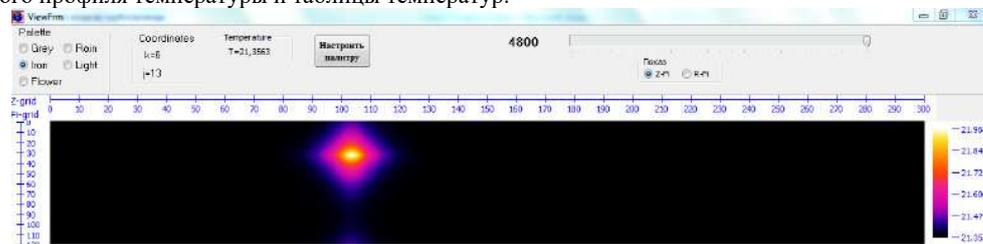
– пространственные профили температуры вдоль оси Z на поверхности трубопровода, профили температур вдоль радиуса.

– временные профили температуры в заданной точке внешней поверхности.

– таблицы температур на поверхности трубопровода.

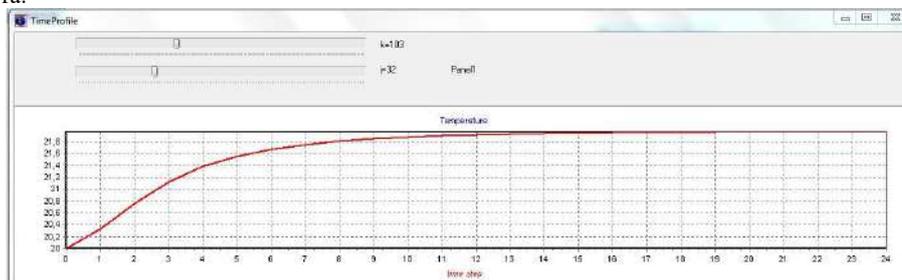
После задания условий программа по команде производит расчет.

Полученные результаты выводятся в виде термограммы, пространственного профиля температуры, временного профиля температуры и таблицы температур.



**Рис. 1 Термограмма трубопровода по длине**

Термограммы позволяют найти температуру в любой точке трубопровода. На рисунке 1 всплеск показывает место дефекта.



**Рис. 2 Временной профиль температуры**

С помощью временного профиля температуры (рис.2) можно в определенной точке посмотреть изменение температуры во времени, и момент, когда температура установится и станет стационарной.

Диагностика трубопроводов тепловым методом с применением моделирования позволяет в короткие сроки и с небольшими затратами определить место образования дефекта и необходимость его срочного устранения. Для этого перед непосредственными замерами тепловизором проводится расчет дефекта в программном комплексе с построением термограмм и профилей температуры. Затем полученная при измерениях термограмма сравнивается с модельной и делается вывод о размерах и критичности дефекта.

Данный метод не требует снятия изоляции, что значительно сокращает время проведения диагностики. Также, кроме тепловизора и моделирующей программы, практически не требуется дополнительного оборудования.

Достоинства этой методики контроля позволяют рекомендовать ее к использованию во многих сферах деятельности, и прежде всего, в нефтегазовом деле.

#### Литература

1. Инфракрасная термография и тепловой контроль: научное издание/ Вавилов В. П.; редактор Клейзер В. П. – Москва: ИД Спектр, 2013. – 27, 91-93, 179 с.
2. Самарский А.А. Теория разностных схем. –М.: «Наука», 1989.
3. Chandler H.W., Macphree D.E. A model for the flow of cement pastes//Cement and Concrete Research. – 2003. – № 33 (2). – P. 265 – 270.