

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАГНИТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК УЧАСТКОВ ТРУБОПРОВОДА В ПОЛЕВЫХ УСЛОВИЯХ С ЦЕЛЬЮ ОЦЕНКИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ

© 2025 г. Ольга Николаевна Василенко<sup>1\*</sup>, К.Е. Мызнов<sup>1\*\*</sup>, В.Н. Костин<sup>1\*\*\*</sup>, В.С. Тронза<sup>2</sup>, А.Н. Бондина<sup>2</sup>, С.С. Кукушкин<sup>2</sup>, Н.Ю. Трякина<sup>2</sup>, А.С. Саломатин<sup>2</sup>  
<sup>1</sup> – *Институт физики металлов имени М.Н. Михеева УрО РАН, 620108 Екатеринбург, ул. С. Ковалевской, д. 18*  
<sup>2</sup> – *ООО «Газпром трансгаз Екатеринбург», 620000 Екатеринбург, ул. К. Цеткин, д. 14*  
\* - [vasilenko@imp.uran.ru](mailto:vasilenko@imp.uran.ru); \*\* - [myznov@imp.uran.ru](mailto:myznov@imp.uran.ru); \*\*\* - [kostin@imp.uran.ru](mailto:kostin@imp.uran.ru)

Разработка методов неразрушающего контроля напряженно-деформированного состояния (НДС) магистральных трубопроводов, испытывающих сложные нагрузки различного характера, является актуальной задачей. Существующие подходы, такие как полевые испытания с одним измеряемым параметром [1, 2] и лабораторные исследования, использующие стационарные установки, не применимы в реальных условиях [3], не позволяют однозначно определить влияние нагрузок на магнитные свойства трубы [4]. В качестве информативных параметров рассматриваются коэрцитивная сила  $H_c$ , остаточная магнитная индукция  $B_r$  и другие магнитные характеристики, однако отсутствуют широко распространённые методики их использования для оценки НДС. Перспективным направлением является применение приборов, способных измерять несколько магнитных параметров или всю петлю гистерезиса, что повышает точность и достоверность контроля. Таким прибором является магнитный мультитестер ММТ-3 [5], использованный в настоящей работе.

Проведена серия измерений на четырёх участках трубопровода из стали 17Г1С с помощью мультитестера ММТ-3. Зоны контроля находились на пересечении трёх поперечных сечений и четырёх продольных сторон на 3, 6, 9 и 12 часах, а измерения проводились при намагничивании как вдоль оси, так и поперёк оси (вдоль окружности) трубопровода. Для разных поперечных сечений участков трубопровода рассчитан коэффициент нагруженности [6, 7], который используется для определения уровня НДС трубопровода. Наиболее чувствительными к изменению НДС оказались измерения, полученные с помощью ММТ-3 на верхней части трубы, то есть на стороне 12 ч, при намагничивании вдоль оси трубопровода.

В результате установлено, что:

- Наиболее подходящим местом для оценки напряженно-деформированного состояния с использованием магнитных характеристик является верхняя часть трубы (сторона на 12 часах). При этом измерения следует проводить при намагничивании вдоль оси трубы.

- Участки с повышенным коэффициентом нагруженности, превышающим критическое значение 1,2, наиболее подвержены разрушению. Для этих участков характерны сниженные значения  $H_c$  и  $B_r$ , измеренные при намагничивании вдоль оси трубопровода.

- Одновременное измерение коэрцитивной силы и остаточной магнитной индукции повышает точность оценки НДС и увеличивает чувствительность к изменению НДС, минимизируя ошибки при интерпретации данных.

- Для измерения вдоль окружности трубопровода целесообразно разработать специализированные наконечники, которые обеспечат более надежный контакт между образцом и измерительным преобразователем.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России для ИФМ УрО РАН.*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Захаров В.А., Ульянов А.И., Горкунов Э.С. Коэрцитивная сила ферромагнитных сталей при двухосном симметричном растяжении материала // Дефектоскопия. 2011. № 6. С. 3–15.
2. Безлюдько Г.Я., Мужижкий В.Ф., Ремезов В.Б. Серия портативных приборов-структуроскопов, основанных на измерении величины коэрцитивной силы // Дефектоскопия. 2003. № 4. С. 43–51.
3. IEC 60404-4 Magnetic materials – Part 4: Methods of measurement of d.c. magnetic properties of magnetically soft materials.
4. Горкунов Э.С., Мушников А.Н. Магнитные методы оценки упругих напряжений в ферромагнитных сталях (обзор) // Контроль. Диагностика. 2020. Т. 23. № 12(270). С. 4–23.
5. Костин В.Н., Василенко О.Н., Михайлов А.В., Лукиных Н.П., Ксенофонтов Д.Г. О преимуществах локального измерения коэрцитивной силы ферромагнитных объектов по внутреннему полю // Дефектоскопия. 2020. № 7. С. 21–27.
6. Рекомендации по оценке прочности и устойчивости эксплуатируемых МГ и трубопроводов КС / дата введения 24.11.2006. М.: Газпром ВНИИГАЗ, 2007. 42 с.
7. СП 36.13330.2012. Магистральные трубопроводы. М.: Госстрой, 2013. 93 с.