

УДК 620.179.14.

## ПОВЫШЕНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЁННОГО СОСТОЯНИЯ В ТРУБОПРОВОДАХ МЕТОДОМ МАГНИТНЫХ ШУМОВ

В. Л. ВЕНГРИНОВИЧ, Д. В. ДМИТРОВИЧ, \*В. В. ВОРОБЬЁВ  
ГНУ «ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ ФИЗИКИ НАН Беларуси»

\*ОАО «ГОМЕЛЬТРАНСНЕФТЬ ДРУЖБА»

Минск, Гомель, Беларусь

Основной тенденцией развития физики неразрушающего контроля, на современном этапе, является выявление и развитие новых закономерностей, устанавливающих взаимосвязи между характеристиками исследуемых материалов и параметрами физических полей, используемых для их изучения, их теоретическое обоснование и использование для развития и создания новых методов и средств неразрушающего контроля и диагностики состояния материалов и изделий. Ресурс многих важных деталей механических конструкций зависит от скорости образования дефектов, которая, в свою очередь, зависит от уровня остаточных и приложенных напряжений [1]. Напряжения создают фон, способствующий ускоренному протеканию процессов деградации материала. В такой ситуации очевидна необходимость измерения уровня механических напряжений и оценки возможности достижения предельного состояния, способствующего ускоренному снижению остаточного ресурса и долговечности и ведущего, в конечном итоге, к разрушению. Знание напряжённо-деформированного состояния (НДС) даёт возможность управления ресурсом изделий и конструкций. Поэтому ключевым этапом при оценке технического состояния оборудования, оценке остаточного ресурса и расчетах на прочность являются оценка напряженного состояния и основанных на нем критериев надёжности оборудования, соответствующих конкретным режимам и условиям эксплуатации.

Метод магнитного эффекта Баркгаузена при контроле напряженного состояния в трубопроводах использован в силу его важных преимуществ [2]: высокая чувствительность к внутренним напряжениям для большинства сталей; тесная связь параметров ШБ с изменением энергетического потенциального рельефа, определяемого дефектами кристаллической решетки, с микронеоднородностями и зародышеобразованием; относительная простота регистрации и большое разнообразие преобразователей, позволяющее адаптировать их практически к любой форме поверхности; незначительный магнитоупругий гистерезис; высокое пространственное разрешение (до  $1 \text{ мм}^2$ ); наличие нескольких независимых параметров магнитного шума, селективно характеризующих различные свойства поверхностных слоев; наличие магнитоакустического эффекта Баркгаузена, позволяющего разделить вклад доменных границ различных типов, например, выделить вклад не 180-

и градусных стенок в сигнал магнитного шума, имея в виду, что смещение разных типов стенок по-разному характеризует соответственно напряжения и различные влияющие факторы; возможность определения как главных напряжений, так и компонент напряжений в любых направлениях в плоскости измерения; возможность послойного анализа свойств и напряжений в пределах глубины проникновения (до 1, 2 мм).

В то время как сами по себе упругие напряжения редко вызывают разрушения в пластичных конструкционных материалах, они объективно снижают предельные прочностные характеристики материала. В материалах с высокими напряжениями имеют место такие явления деградации материала, как усталость, деформационное старение, эволюция дислокационной структуры, стресс-коррозия и др. Деградация, в свою очередь, сопровождается повышением критической температуры хрупкого перехода, исчерпанием запаса пластичности, снижением трещиностойкости и др. В силу вышеуказанных причин, были проведены совместные экспериментальные исследования на участке трубопровода «Гомельтранснефть Дружба» и опытных образцах из марок стали, используемых на нём. Экспериментальные зависимости сигнала магнитного шума от величины статического давления в трубе и, соответственно, напряжения в основном металле приведены в качестве иллюстрации на рис. 1.

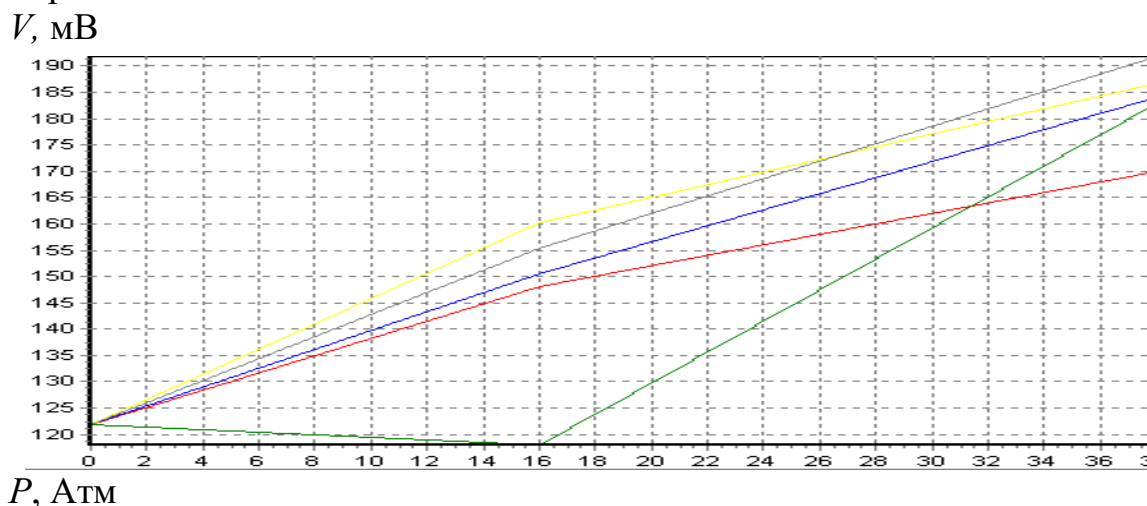


Рис. 1. Зависимость окружного значения параметра  $V$  магнитного шума от давления  $P$  в разных точках одного из сечений трубопровода

Можно отметить различный характер «прямой» зависимости сигнала магнитного шума от кольцевых напряжений даже в пределах одного сечения, т. к. разные его точки находятся в различном остаточном напряженном состоянии. Это возникает из-за неучета фактически двухосного состояния, имеющего место в трубе. Для оценки двухосных напряжений разработан метод четырехпараметровых калибровочных характеристик. Данная калибровка представляет собой конформное отображение множества сигналов магнитного шума ( $V_1, V_2$ ) на множество значений главных напряжений ( $\sigma_1, \sigma_2$ ) в

области сжатия и растяжения. Соответствующие значения компонент сигнала магнитного шума наносят на диаграмму в виде двух наборов изолиний этих величин ( $V_1$ ,  $V_2$ ), каждую из которых получают при фиксированной величине второй компоненты сигнала магнитного шума.

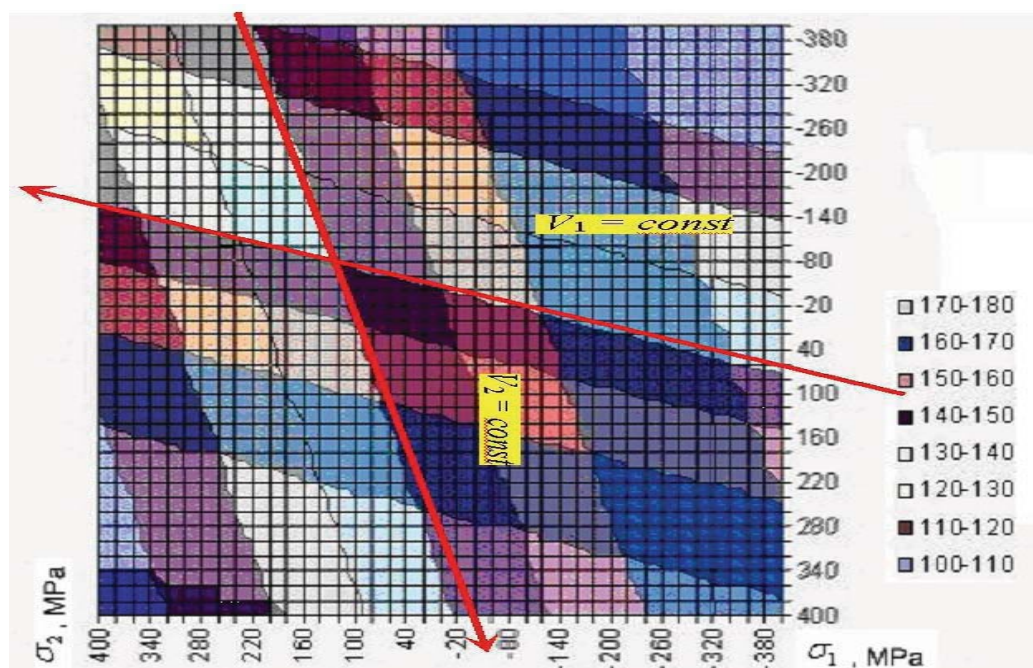


Рис. 2. Двухосная калибровочная характеристика зависимости параметров ( $V_1$ ,  $V_2$ ) в главных направлениях в зависимости от напряжений ( $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ) в соответствующих направлениях в сплаве С390 (14Г2АФ) с использованием анализатора ИНТРОСКАН

Методика четырехпараметровых диаграмм адаптирована для контроля двухосных напряжений в магистральных трубопроводах. Она основана на учёте анизотропии распределения магнитошумовых характеристик и напряжений, и вместе с магнитошумовым анализатором «Интроскан» используется в ОАО «Гомельтранснефть Дружба».

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ruud, C. O. A review of selected non-destructive methods for residual stress measurement / C. O. Ruud // NDT international, 1982 – Vol. 15. – №. 1 – P. 15–23.
2. Jiles, D. C. Effects of stress on the magnetic properties of steels // D. C. Jiles – Review of progress in quantitative nondestructive evaluation. Ed. D. O. Thompson, D. E. Chimenti. – Vol. 16A. – New York: Plenum Press. – 1997. – P. 1739–1746.