

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДА МАГНИТОМЕТРИИ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУБОПРОВОДНЫХ СИСТЕМ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Зеньков Е.В., Диденко П.А.

Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск

Ключевые слова: показатели безопасности, магнитометрия, напряженно-деформированное состояние, трубопроводная система, коэрцитивная сила, двухосное состояние.

Аннотация. В работе представлен сущность и опыт использования магнитных методов для организации процесса мониторинга напряженно-деформированного состояния материала трубопроводных систем, применяемых в нефтегазовой промышленности. Подробно описывается магнитный метод определения механических напряжений, использующих эффект магнитоупругости, на основе контроля коэрцитивных сил. Авторами многих работ экспериментально подтверждена чувствительность коэрцитивной силы, возникающей в зоне контроля, к уровню и виду напряжений в контролируемой зоне. Отмечается перспективность применения для мониторинга напряженно-деформированного состояния нефтегазопроводов метода магнитометрии по сравнению с другими физическими методами измерения напряженно-деформированного состояния.

ANALYSIS OF THE PROSPECTS FOR USING MAGNETOMETRY TO MONITOR PIPELINE SYSTEM SAFETY INDICATORS IN THE OIL AND GAS INDUSTRY

Zenkov E.V., Didemko P.A.

Irkutsk State Transport University, Irkutsk

Keywords: safety indicators, magnetometry, stress-strain state, pipeline system, coercive force, biaxial state.

Abstract. This paper presents the essence and application of magnetic methods for monitoring the stress-strain state of pipeline systems used in the oil and gas industry. A magnetic method for determining mechanical stresses using the magnetoelastic effect and monitoring coercive forces is described in detail. The authors of numerous studies have experimentally confirmed the sensitivity of the coercive force arising in the monitoring zone to the level and type of stress in the monitored area. The potential of magnetometry for monitoring stress-strain state of oil and gas pipelines is noted, compared to other physical methods for measuring stress-strain state.

Опыт эксплуатации трубопроводных систем, используемых в сложных климатических условиях для транспортировки нефтепродуктов, сопряжен с возникновением непредсказуемых аварийных ситуаций, связанных с воздействием постоянных, временных или кратковременных нагрузок [1]. К основным показателям безопасности рассматриваемых систем можно отнести: уровень напряженно-деформированного состояния (НДС) элементов трубопровода, уровень акустических сигналов, свидетельствующих о росте дефектов материала элементов трубопровода, уровень внутреннего давления и температурных воздействий на элементы трубопровода в процессе их эксплуатации.

В настоящее время в мировой практике недостаточно полно представлены обоснованные рекомендации по применению тех или иных методов измерения или расчётной оценки НДС участков трубопроводов. Известно достаточно большое количество методов, позволяющих с определенной точностью оценить деформации или напряжения в нагруженной конструкции [2]. Однако не все из указанных методов применимы для дистанционного мониторинга НДС трубопроводных систем.

Для исследования НДС в зонах контроля трубопроводов достаточно большое развитие получили магнитные методы. Их суть основана на свойстве ферромагнитных материалов изменять магнитное состояние под влиянием механических напряжений. Среди магнитных методов определения напряжений, использующих эффект магнитоупругости, достаточно широкие получил метод контроля коэрцитивных сил [3-4]. Суть метода коэрцитивной силы заключается в оценке намагниченности материала трубопровода, зависящей от уровня НДС в зоне контроля [3]. Экспериментальные исследования, представленные в [3-4], подтверждают чувствительность коэрцитивной силы, возникающей в зоне контроля, к уровню НДС в контролируемой зоне. В частности, эксперименты выявили количественные характеристики изменения уровня НДС в конструктивных элементах трубопровода при постепенном нагружении, а также зависимость величины коэрцитивной силы от величины напряжения в трубопроводе. Закономерности, построенные по результатам испытаний, показали, что зависимости коэрцитивной силы, измеренной при намагничивании вдоль действия растягивающей нагрузки и в направлении, перпендикулярном действию растягивающих усилий, отличаются друг от друга. На основании этого факта было предложено ввести понятие анизотропии коэрцитивной силы (АКС).

С целью адаптации существующих методик определения НДС по измерениям коэрцитивной силы металла к использованию их на трубопроводах, находящихся в эксплуатации, экспериментально был установлен характер изменения коэрцитивной силы металла конструкции в условиях двухосного напряженного состояния. Выполнены исследования по определению зависимости влияния двухосного напряженного состояния на величину коэрцитивной силы металла путем нагружения образцов, моделирующих фрагмент трубопровода, внутренним давлением и крутящим моментом. На рисунке 1 представлена обобщенная зависимость коэрцитивной силы H_c^{45} от величины касательных напряжений τ , действующих в направлении намагничивания для случая кручения испытуемой модели трубопровода.

В ходе проведенной работы в [3] установлено, что растягивающие напряжения приводят к снижению коэрцитивной силы, измеренной в направлении действия этих напряжений, в то время как сжимающие напряжения приводят к увеличению показаний коэрцитиметра. С целью развития метода оценки НДС по коэрцитивной силе в работе [5] проведено исследование влияния вида плосконапряженного состояния на величину коэрцитивной силы металла трубопровода. Автором проведены исследования НДС металла при одновременном действии осевых и касательных напряжений на коэрцитивную силу и анизотропию коэрцитивной силы.

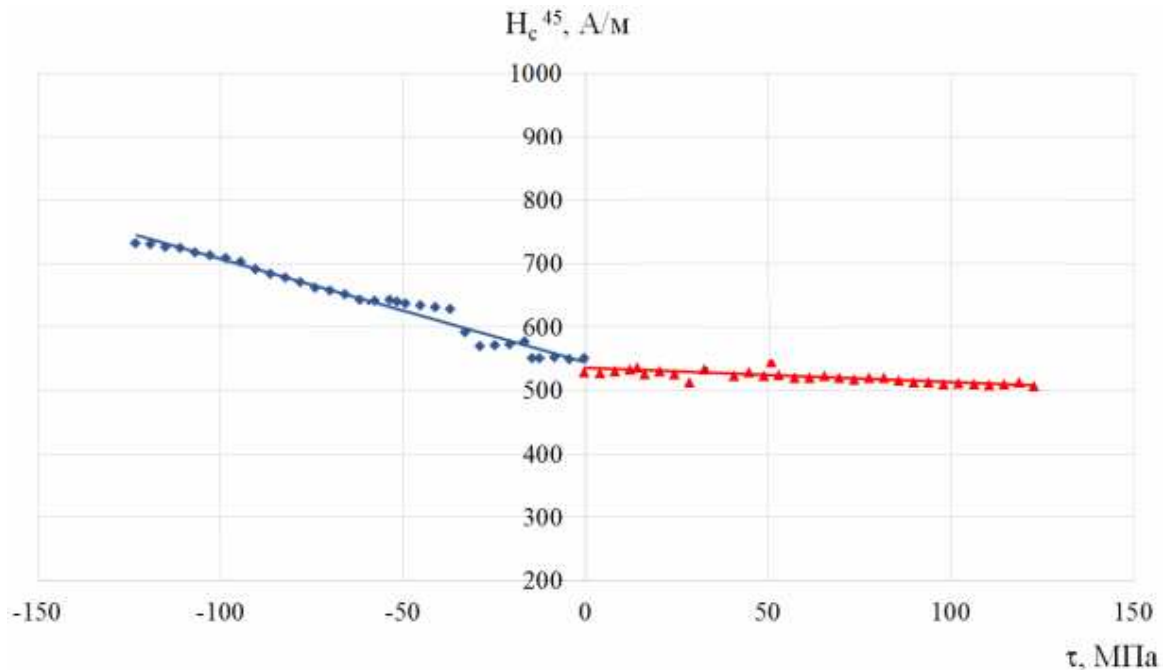


Рис. 1. Зависимость коэрцитивной силы металла H_c^{45} от величины главных напряжений τ , возникающих при кручении

Комплекс проведенных исследований свидетельствует о том, что на предприятиях целесообразно измерять коэрцитивную силу металла трубопроводов на территории опасного производственного объекта при плановом осмотре наряду с визуальным и измерительным, а также после ремонтно-восстановительных работ.

К недостаткам метода коэрцитивных сил относится то, что чувствительность метода к изменению уровня растягивающих напряжений в конструктивных элементах трубопровода снижена по сравнению с его чувствительностью со случаем действия сжимающих напряжений (рис. 1). В тоже время необходимо отметить, что ведущиеся исследования, направленные на повышение его эффективности, могут этот недостаток значительно уменьшить [6-8].

Перспективность применения магнитометрических измерений для мониторинга трубопроводных систем в нефтегазовой области обеспечивается тем фактом, что использование для мониторинга состояния тензометрических датчиков или хрупких тензочувствительных покрытий, содержащих клеевую прослойку между датчиком и объектом измерения, сопряжено с недостаточной исследованностью устойчивости их показаний во времени: указанная прослойка при циклически повторяющихся нагрузках трубопроводов может испытывать ползучесть, искажающая показания этих датчиков. Использование же датчиков, основанных на использовании магнитометрии, указанного недостатка лишены. По этой причине указанные датчики, например, реализующие метод измерения коэрцитивной силы, являются перспективными.

Список литературы

1. Исламов Р.Р., Агинеи Р.В., Исупова Е.В. Анализ средств и методов мониторинга напряженного состояния подземных магистральных нефтегазопроводов, работающих в

- сложных инженерно-геологических условиях // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 2017. – № 6. – С. 31-40.
2. Бондур В.Г. Аэрокосмические методы и технологии мониторинга нефтегазоносных территорий и объектов нефтегазового комплекса // Исследование Земли из космоса. – 2010. – №6. – С. 3-17.
 3. Андронов И.Н., Агинеи Р.В., Леонов И.С. Анализ плосконапряженного состояния стальных трубопроводов по лепестковым диаграммам коэрцитивной силы // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2013. – Т. 79, №12. – С. 50-52.
 4. Теплинский Ю.А., Агинеи Р.В., Кузьбожев А.С., Андронов И.Н. Исследование особенностей изменения магнитных параметров стали марки 17Г1С в условиях одноосной растягивающей нагрузки // Контроль. Диагностика. – 2004. – №12. – С. 3-6.
 5. Агинеи Р.В., Андронов И.Н., Благовисный П.В. Коэрцитиметрический анализ напряженного состояния в стальных трубах, нагруженных поперечными силами и внутренним давлением // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2014. – №5-6. – С. 78-83.
 6. Балдин А.М., Куртеев А.В., Орлов К.Е., Севастьянов М.М., Ташлыков О.Л. Система для мониторинга металлоконструкций и оборудования АЭС // Ядерные технологии: от исследований к внедрению: Сборник материалов научно-практической конференции. – Нижний Новгород: Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева, 2021. – С. 93-95.
 7. Землянский А.А., Григоренко В.П., Землянский К.А., Дубнов С.А. Эффективное повышение уровня надежности АЭС за счет введения системы активного мониторинга напряженно-деформированного состояния строительных конструкций энергоблока // Глобальная ядерная безопасность. – 2020. – № 1(34). – С. 38-47.
 8. Балдин А.М., Куртеев А.В., Орлов К.Е., Севастьянов М.М., Ташлыков О.Л. Система мониторинга напряженно-деформированного состояния металлоконструкций АЭС // Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии. Атомная энергетика. Даниловские чтения: Сборник научных трудов. – Екатеринбург: Уральский федеральный университет им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2021. – С. 433-436.

Сведения об авторах:

Зеньков Евгений Вячеславович – к.т.н., доцент, доцент кафедры управления качеством и инженерная графика;

Диденко Петр Андреевич – студент.