

СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО КОНТРОЛЯ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ НА БАЗЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО МЕТОДА

© Н. М. Гарифуллин

*Башкирский государственный университет
Россия, Республика Башкортостан, 450074 г. Уфа, ул. Заки Валиди, 32.*

Тел.: +7 (347) 229 96 37.

Рассмотрена возможность применения электромагнитных методов для неразрушающего контроля механических напряжений в трубопроводах. Этот метод основан на измерении параметров магнитного шума (скачки Баркгаузена), возникающих при перемагничивании материала трубы. Измерения параметров магнитного шума позволяют судить как о величине, так и о направлении распределения механических напряжений в ферромагнитных материалах. Приведена структурная схема и изложен принцип работы системы дистанционного контроля напряженно-деформированного состояния трубопроводов. Передача и прием информации между пунктом управления и рабочей станцией системы контроля осуществляется через GSM канал. Электрические схемы пункта управления и рабочей станции реализованы на базе микроконтроллеров и интегральных микросхем. Приведены некоторые результаты измерения параметров магнитного шума на образцах из трубной стали.

Ключевые слова: электромагнитный метод, скачки Баркгаузена, напряженно-деформированное состояние, дистанционный контроль, рабочая станция системы контроля.

Одними из перспективных неразрушающих методов измерения и контроля механических напряжений являются электромагнитные методы, основанные на связи магнитных характеристик ферромагнитных материалов с механическими напряжениями, возникающих в них. Как известно [1–4], при намагничивании и перемагничивании ферромагнетиков намагниченность не является плавной функцией поля, а представляет собой набор дискретных изменений в виде необратимых скачков намагниченности различной величины (рис. 1), которые были названы скачками Баркгаузена.

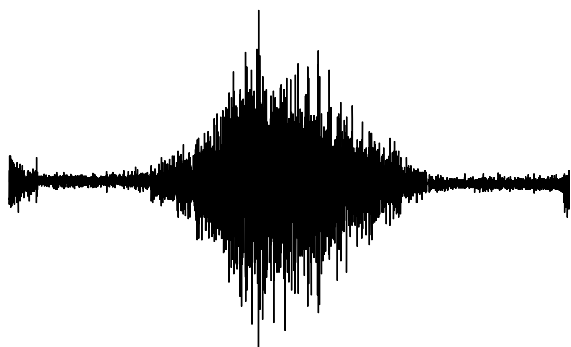


Рис. 1. Форма шумового сигнала от скачков Баркгаузена.

Результаты изучения эффекта Баркгаузена показывают принципиальную возможность применения данного метода и сопутствующих ему магнитных шумов для неразрушающего контроля напряжений в ферромагнитных материалах и изделиях из них. Эффект Баркгаузена является чувствительным индикатором изменений химического и фазового состава, структурного и напряженного состояний ферромагнетика и может быть использован для

анализа изменения свойств изделий в процессе их эксплуатации. При этом для напряжений растяжения амплитуда и число скачков Баркгаузена растут, а при напряжениях сжатия – уменьшаются [5–9] (рис. 2). Таким образом, измерения параметров магнитного шума позволяют судить как о величине, так и о направлении распределения механических напряжений в ферромагнитных материалах.

В данной работе рассматривается система дистанционного контроля напряженно-деформированного состояния (НДС) трубопровода, основанного на измерении числа скачков Баркгаузена и средневыпрямленного значения амплитуды шумов Баркгаузена [10, 12]. Предложенная система контроля НДС состоит из центрального пункта контроля (терминала) и рабочей станции. Центральный пункт контроля предназначен для осуществления запросов, приема и обработки данных через GSM канал. Передачу и прием осуществляется с помощью GSM модема, такой же модем установлен и на рабочей станции. Рабочая станция предназначена для принятия запросов, осуществления измерений напряженного состояния и передачи обратно на терминал собранной информации.

Центральный пункт контроля (рис. 3) содержит персональный компьютер (ПК) с подключенным к ней принтером, узел приема-передачи информации, выполненный на основе модема GSM-связи. Терминал соединяется с компьютером через COM порт. Для согласования уровня напряжений COM порта с уровнями напряжений модема установлен преобразователь уровней MAX232 (RS232 драйвер). В сетях GSM номер телефона определяется SIM картой.

Рабочая станция (рис. 4) включает в себе блок управления с GSM модемом, блок обработки результатов измерений, блок коммутации датчиков и блок питания на базе аккумуляторной батареи. В качестве

датчиков использованы магнитоупругие датчики [11], состоящие из двух вложенных друг в друга П-образных сердечников. Наружный сердечник содержит две обмотки – обмотку возбуждения переменного магнитного поля и обмотку для измерения уровня возбуждения. Второй магнитопровод установлен в межполюсном пространстве первого магнитопровода перпендикулярно к нему и содержит измерительную обмотку для измерения магнитного шума, создаваемого скачками Баркгаузена при перемагничивании контролируемого участка. Рабочая станция может содержать до 16 датчиков, которые устанавливаются и закрепляются механически на специально подготовленной поверхности контролируемого участка трубопровода таким образом, чтобы можно было контролировать как деформацию сдвига, так и растяжения. Для контроля НДС рекомендуется выбирать участок трубопровода, проходящих в областях с активной геодинамикой, например, на оползневых участках.

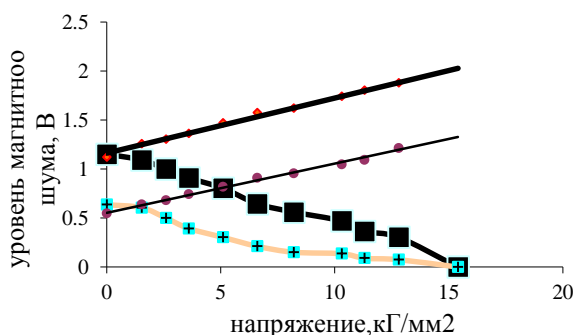


Рис. 2. Зависимость уровня шумов Баркгаузена (Есб) от напряжений(σ) растяжения (кривые 1,2) и сжатия (кривые 3,4) при разных уровнях возбуждения: 64 мТ (кривые 1,3) и 46 мТ (кривые 2,4) [9].

Система контроля НДС работает следующим образом. По кодированному запросу на измерения, поступающего с центрального пункта управления по GSM каналу, микроконтроллер блока управления рабочей станции проверяет, соответствует ли запрос принятому виду. Если запрос правильный, то по сигналу с микроконтроллера включается питание блоков рабочей станции. Запускается генератор, который формирует гармонический сигнал частотой 30 Гц. Усиленный усилителем мощности сигнал посредством первого коммутатора блока коммутации по очереди подается через соединительный кабель на обмотки возбуждения электромагнитных датчиков (очередность включения датчиков определяется адресацией по 4 адресным линиям, формируемого микроконтроллером). Для контроля включения датчика и уровня возбуждения используется датчик тока ДТ, вмонтированный в коммутатор, информация с которого через выпрямитель блока обработки (вых.1) вводится в АЦП микроконтроллера.

Сигнал, формируемый измерительной обмоткой каждого электромагнитного датчика в форме скачков Баркгаузена, коммутируется с помощью второго коммутатора и подается на блок выделения скачков Баркгаузена (БВСБ) блока обработки. С выхода блока БВСБ (вых.1) число скачков подсчитываются микроконтроллером на определенном уровне задаваемым компаратором, а также измеряется вторым аналогово-цифровым преобразователем. В блоке обработки вторым выпрямителем формируется среднее выпрямленное значение скачков Баркгаузена, которое с выхода 3 блока обработки подается на аналоговый вход микроконтроллера. Вся измеренная информация сохраняется в памяти микроконтроллера. По окончании измерений результаты передаются в виде SMS-сообщения на терминал и затем микроконтроллер отключает питание рабочей станции. Отметим, что в принципе одним центральным пунктом можно управлять несколькими рабочими станциями, присваивая каждой рабочей станции свой код запроса. Опрос показаний датчиков рабочих станций проводится периодически в автоматическом режиме или вручную в любой момент времени.

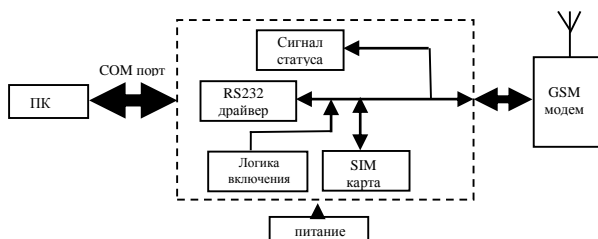


Рис. 3. Блок схема терминала.

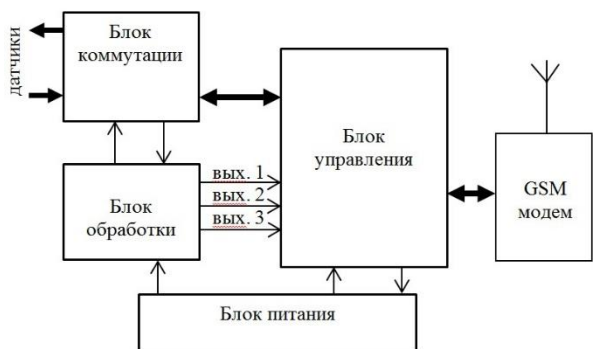


Рис. 4. Блок схема рабочей станции.

Принятые центральным пунктом управления данные с рабочей станции обрабатываются и сравниваются с калибровочными данными, хранящимися в компьютере терминала. По результатам сравнения делается вывод о напряженно-деформированном состоянии контролируемого объекта. При механических напряжениях, близких к аварийной ситуации, центральный пункт подает сигнал о предаварийной ситуации.

Для получения калибровочных данных проводятся измерения зависимости параметров скачков Баркгаузена на разрывной машине на специально подготовленных образцах трубной стали от приложенного напряжения.

В качестве примера на рисунке 5 приведены калибровочные кривые, полученные для трех образцов из стали 17ГС. Измерения проведены используя рабочую станцию предложенной системы контроля НДС. Здесь N_0 – число скачков Баркгаузена для ненагруженного, а N_p – для нагруженного образца. Как следует из графиков, до 300 МПа (в пределах упругой деформации) наблюдается линейный рост разности ($N_p - N_0$) с увеличением механического напряжения и при этом для всех трех образцов кривые практически совпадают. В области пластической деформации (напряжения более 350 МПа) число скачков Баркгаузена остается практически постоянной. При дальнейшем повышении напряжения начинается разрушение образца.

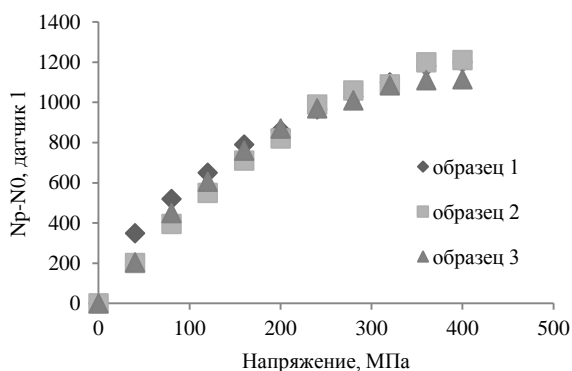


Рис. 5. Калибровочные кривые для образцов из стали 17ГС.

Конструктивно рабочая станция выполняется в виде герметичного цилиндрического контейнера, внутри которого размещаются стойка с печатными платами и батарейный отсек. С датчиками соединение осуществляется с помощью многоконтактного герметичного электрического разъема. Для связи с терминалом используется GSM модем. Рабочая станция должна устанавливаться рядом с диагностируемым трубопроводом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колачевский Н. Н. Магнитные шумы. М.: Наука, 1971.
2. Емалетдинов А. К., Ирмякова Н. Р., Султанов М. Х. Анализ возможности применения магнитоупругого метода для оценки напряженно-деформированного состояния // Научные труды. Уфа: Государственное издательство научно-технической литературы «Реактив», 2001. С. 341–342.
3. Максимочкин В. И., Султанов М. Х., Тангаев И. Г., Ирмякова Н. Р. Определение напряжений в стальных трубах методом шумов Баркгаузена // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. Сборник научных трудов. Выпуск 59. Уфа: Транстэк. 2000. С. 63–68.
4. Максимочкин В. И., Гарифуллин Н. М., Щеглов П. А. Возможности эффекта Баркгаузена для определения структурных изменений в трубных сталях. Труды 4-ой Международной конференции «Научно-технические проблемы прогнозирования надежности и долговечности конструкции и методы их решения». Санкт-Петербург, 2001. С. 204–205.
5. Гарифуллин Н. М., Максимочкин В. И. Устройство для определения механических напряжений в стальных трубах. Тез. докл. 3 Всероссийской научно-технической конференции, 17–18 мая 1998, Нижний Новгород, с. 10.
6. Кутлузаманов Э. Ф., Гарифуллин Н. М. Контроль напряженно-деформированного состояния трубопроводов электромагнитным методом на основе эффекта Баркгаузена с использованием микроконтроллера ATMEGA8L. Сборник трудов Международной конференции «Фундаментальная математика и ее приложения в естествознании». Том 2, Уфа, 2010. С. 134–138.
7. Гарифуллин Н. М., Максимочкин В. И. Устройство и методика оценки напряженного состояния и структурных изменений в стальных изделиях электромагнитным методом. Труды 5 Международной конференции «Актуальные проблемы электронного приборостроения» АПЭП-2000, том 6, С. 192–195.
8. Гарифуллин Н. М., Максимочкин В. И., Сулейманов Н. Т., Королев В. А. Способ дистанционного контроля и диагностики напряженно-деформированного состояния конструкции трубопроводов. Патент на изобретение №2474754 от 10 февраля 2013 г.
9. Гарифуллин Н. М., Максимочкин В. И. Разработка, изготовление и поставка узлов контроля напряженно-деформированного состояния трубопровода для автоматической станции слежения магистральных газопроводов на оползневых участках. Отчет о НИР, № ГР 01.200510333, ИН 03.200600650 Уфа, 2005. 28 с.
10. Гарифуллин Н. М., Сулейманов Н. Т. Интеллектуальная система дистанционного контроля напряженно-деформированного состояния трубопровода на основе эффекта Баркгаузена с использованием навигационной системы ГЛОНАСС/GPS. Материалы Международной научно-практической конференции «Проблемы и методы обеспечения надежности и безопасности систем транспорта нефти, нефтепродуктов и газа». Уфа, 2011. С. 395–405.
11. Максимочкин В. И., Гарифуллин Н. М., Сулейманов Н. Т. Магнитоупругий датчик для определения механических напряжений в ферромагнитных материалах. Патент на изобретение №249459 от 10 сентября 2013 г.
12. Гарифуллин Н. М. Система дистанционного контроля напряженно-деформированного состояния трубопроводов на основе эффекта Баркгаузена. Сб. научных трудов Международной конференции «Современные проблемы радиоэлектроники». Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2014. С. 281–285.

Поступила в редакцию 23.03.2017 г.

REMOTE MONITORING OF STRESS-STRAIN MODE OF PIPELINES, BASED ON ELECTROMAGNETIC METHOD

© N. M. Garifullin

*Bashkir State University
32 Zaki Validi Street, 450076 Ufa, Republic of Bashkortostan, Russia.*

Phone: +7 (347) 229 96 37.

The possibility of using electromagnetic techniques for nondestructive testing of the mechanical stresses in the pipelines is considered. This method is based on measuring the parameters of magnetic noise (Barkhausen jumps) arising during the magnetization reversal of the pipe material. Measurements of magnetic noise parameters allow us to know both a magnitude and a direction of the mechanical stresses in ferromagnetic materials. The block diagram is given and the principle of operation of remote control system of the stress-strain state of pipelines is explained. Sending and receiving data between the control point and workstation control system is carried out via the GSM channel. Electric schemes of the monitoring point and control station are implemented on the basis of microcontrollers and integrated microcircuits. The experimental values of the magnetic noise parameters measured on samples of a steel pipe are presented.

Keywords: electromagnetic method, Barkhausen jumps, stress-strain state, remote control, workstation control.

Published in Russian. Do not hesitate to contact us at bulletin_bsu@mail.ru if you need translation of the article.

REFERENCES

1. Kolachevskii N. N. Magnitnye shumy [Magnetic noises]. Moscow: Nauka, 1971.
2. Emaletdinov A. K., Irmyakova N. R., Sultanov M. Kh. Nauchnye trudy. Ufa: Gosudarstvennoe izdatel'stvo nauchno-tehnicheskoi literatury «Reaktiv», 2001. Pp. 341–342.
3. Maksimochkin V. I., Sultanov M. Kh., Tangaev I. G., Irmyakova N. R. Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov. Sbornik nauchnykh trudov. Vypusk 59. Ufa: Transtek. 2000. Pp. 63–68.
4. Maksimochkin V. I., Garifullin N. M., Shcheglov P. A. Vozmozhnosti effekta Barkgauzena dlya opredeleniya strukturnykh izmenenii v trubnykh stalyakh. Trudy 4-oi Mezhdunarodnoi konferentsii «Nauchno-tehnicheskiiye problemy prognozirovaniya nadezhnosti i dolgovechnosti konstruksii i metody ikh resheniya». Sankt-Peterburg, 2001. Pp. 204–205.
5. Garifullin N. M., Maksimochkin V. I. Ustroistvo dlya opredeleniya mekhanicheskikh napryazhenii v stal'nykh trubakh. Tez.dokl. 3 Vserossiiskoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii, 17–18 maya 1998, Nizhnii Novgorod, s. 10.
6. Kutluzamanov E. F., Garifullin N. M. Kontrol' napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya truboprovodov elektromagnitnym metodom na osnove effekta Barkgauzena s ispol'zovaniem mikrokontrollera ATMEGA8L. Sbornik trudov Mezhdunarodnoi konferentsii «Fundamental'naya matematika i ee prilozhengiya v estestvoznanii». Vol. 2, Ufa, 2010. Pp. 134–138.
7. Garifullin N. M., Maksimochkin V. I. Ustroistvo i metodika otsenki napryazhennogo sostoyaniya i strukturnykh izmenenii v stal'nykh izdeliyakh elektromagnitnym metodom. Trudy 5 Mezhdunarodnoi konferentsii "Aktual'nye problemy elektronnoy priborostroeniya" APEP-2000, tom 6, Pp. 192–195.
8. Garifullin N. M., Maksimochkin V. I., Suleimanov N. T., Korolev V. A. Sposob distantsionnogo kontrolya i diagnostiki napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya konstruksii truboprovodov. Patent na izobretenie No. 2474754 ot 10 fevralya 2013 g.
9. Garifullin N. M., Maksimochkin V. I. Razrabotka, izgotovlenie i postavka uzlov kontrolya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya truboprovoda dlya avtomaticheskoi stantsii slezheniya magistral'nykh gazoprovodov na opolznevnykh uchastkakh. Otchet o NIR, No. GR 01.200510333, IN 03.200600650 Ufa, 2005.
10. Garifullin N. M., Suleimanov N. T. Intellectual'naya sistema distantsionnogo kontrolya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya truboprovoda na osnove effekta Barkgauzena s ispol'zovaniem navigatsionnoi sistemy GLONASS/GPS. Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii « Problemy i metody obespecheniya nadezhnosti i bezopasnosti sistem transporta nefi, nefteproduktov i gaza». Ufa, 2011. Pp. 395–405.
11. Maksimochkin V. I., Garifullin N. M., Suleimanov N. T. Magnitoupругii datchik dlya opredeleniya mekhanicheskikh napryazhenii v ferromagnitnykh materialakh. Patent na izobretenie No. 249459 ot 10 sentyabrya 2013g.
12. Garifullin N. M. Sistema distantsionnogo kontrolya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya truboprovodov na osnove effekta Barkgauzena. Sb. nauchnykh trudov Mezhdunarodnoi konferentsii «Sovremennyye problemy radioelektroniki». Krasnoyarsk: Sib. feder. un-t, 2014. Pp. 281–285.

Received 23.03.2017.