

2. Об интегрированном воспитании и обучении детей с отклонениями в развитии в дошкольных образовательных учреждениях. Методическое письмо Министерства образования РФ от 16 января 2002 г. N 03-51-5ин/23-03. – М., 2002. – 12 с.
3. Звонников В.И. Качество образования, или кое-что новое о старой проблеме / В.И. Звонников // Качество образования. – 2021 – № 6. – 17с.
4. Круглинский И.К. Периодизация этапов становления и развития системы оценки и контроля качества образования / И.К. Круглинский // Интернет-журнал «Науковедение» – 2020 – №4. – 112с.
5. Рямов Р.Ф. Оценка качества образования – инструмент воздействия на развитие системы образования / Р.Ф. Рямов // Вестник Башкирского университета. – 2012. – Т. 17, № 3. – С. 1423–1425.

УДК 620.179.14

МЕТОД РАССЕЯНИЯ МАГНИТНОГО ПОТОКА И ЕГО РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИМЕНИТЕЛЬНО К ЗАДАЧЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО КОНТРОЛЯ СТАЛЬНЫХ БУРИЛЬНЫХ ТРУБ

Стряпчев Кирилл Андреевич

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

E-mail: kas44@tpu.ru

Научный руководитель: Гольдштейн Александр Ефремович,

д.т.н., профессор отделения контроля и диагностики ТПУ

MAGNETIC FLUX SCATTERING METHOD AND ITS IMPLEMENTATION IN APPLICATION TO THE PROBLEM OF OPERATIONAL CONTROL OF STEEL DRILL PIPE

Stryapchev Kirill Andreevich

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk

Scientific adviser: Goldstein Alexander Efremovich,

Ph.D., Professor, Division for Testing and Diagnostics, TPU

Аннотация: в статье рассматривается метод рассеяния магнитного потока и его реализация в виде мобильного измерительного комплекса неразрушающего контроля, применительно к контролю стальных бурильных труб. В рамках оптимизации, при создании такого комплекса, была создана математическая модель индуктора и объекта контроля, применив метод конечных элементов, для дальнейших исследований взаимодействия магнитного поля с дефектами на объекте контроля. В будущем планируется развитие математической модели, получение экспериментальных данных с реального устройства и сравнение полученных результатов. Результаты моделирования позволят найти оптимальные режимы для гарантированного обнаружения различного рода дефектов в теле трубы.

Abstract: the article discusses the method of magnetic flux dissipation and its implementation in the form of a mobile measuring complex for non-destructive testing, as applied to the inspection of steel drill pipes. As part of the optimization, when creating such a complex, a mathematical model of the inductor and the test object was created, using the finite element method, for further studies of the interaction of the magnetic field with defects on the test object. In the future, it is planned to develop a mathematical model, obtain experimental data from a real device and compare the results obtained. The simulation results will allow us to find optimal modes for guaranteed detection of various types of defects in the pipe body.

Ключевые слова: рассеяние магнитного поток; неразрушающий контроль; бурильные трубы.

Keywords: magnetic flux leakage; non-destructive testing; drill pipes.

Целью проекта является разработка мобильного измерительного комплекса, позволяющего проводить неразрушающий контроль стальных буровых труб (СБТ) непосредственно в полевых условиях на буровых площадках. Длина одной СБТ 12 метров.

Для контроля СБТ применяются различные виды контроля, однако, учитывая, что СБТ выполнены из ферромагнитного материала, применение метода рассеяния магнитного потока (далее РМП) Magnetic Flux Leakage (MFL) позволяет проводить контроль с высокой производительностью. В среднем это 50–60 труб в день, а при благоприятных внешних условиях на буровой площадке может достигать до 100 труб в день.

При обнаружении аномалии сплошности трубы, согласно стандарту DS-1, необходимо провести дополнительный контроль любым другим методом, обычно в полевых условиях это акустический или капиллярный.

Суть метода РМП заключается в намагничивании объекта контроля в постоянном либо низкочастотном переменном магнитном поле и возникновении вблизи дефектов сплошности искривлений силовых линий магнитного поля. В результате этого часть магнитного потока вытесняется дефектом на поверхность, образуя местный магнитный поток рассеяния. Возмущение магнитного потока зависит от размеров и формы дефекта, глубины залегания и ориентации в объекте контроля и относительно направления намагничивающего поля.

Как правило, одновременно с контролем на наличие дефектов сплошности осуществляется контроль толщины стенки трубы путем измерения индукции магнитного поля вблизи поверхности трубы.

Имеется большое число научных работ, посвященных теории метода рассеяния магнитного потока и его реализации. На рынке присутствуют реализующие метод отечественные и зарубежные мобильные системы автоматизированного эксплуатационного контроля буровых труб. В качестве примеров можно привести портативную систему контроля ARTIS-3 [1] (США) и установку неразрушающего контроля буровых труб магнитным методом в мобильном исполнении «Магпортабур 1.2» [2] (Россия) (см. рисунок 1). Однако анализ практического опыта их применения показывает наличие целого ряда недостатков, устранение которых требует проведения дополнительных научных исследований.



Рисунок 1 – Общий вид измерительной головки ARTIS-3 на трубе

Для оптимизации работы измерительного комплекса, необходимо разработать математическую модель взаимодействия постоянного магнитного поля с объектом контроля. После обзора литературы и имеющегося программного обеспечения, наиболее эффективным будет применение метода конечных элементов. Современные пакеты моделирования позволяют довольно быстро построить математическую модель и провести симуляции при различных условиях, размерах и прочих факторов.

На рисунках 2, 3 приведена модель индуктора и объекта контроля в виде трубы с примененной комбинированной сеткой, оптимизированная таким образом, чтобы вокруг дефекта (дефектом выступает сквозное и глухое отверстие диаметром 1,6 мм) сетка была

высокой плотности, на остальных участках – более редкая. Это позволяет уменьшить вычислительное время модели.

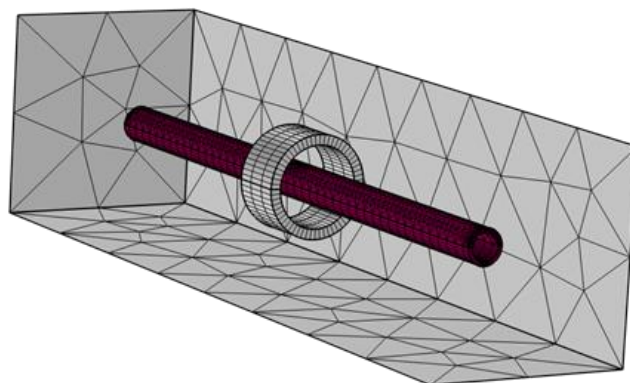


Рисунок 2 – 3D-модель индуктора на трубе 3 1/2 дюйма

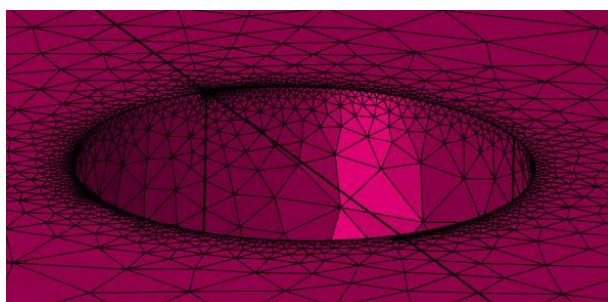


Рисунок 3 – Построенная сетка вокруг сквозного отверстия ф1,6 мм в теле трубы

На рисунке 4, в качестве примера, показана зависимость напряженности поля (нормальная составляющая) от тока намагничивания трубы. Полученные характеристики совпадают с экспериментальными.

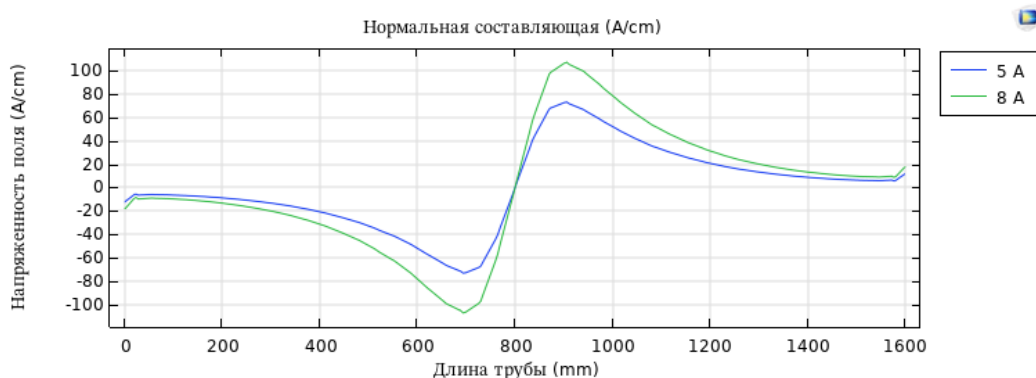


Рисунок 4 – Нормальная составляющая напряженности поля при различных токах намагничивания индуктора по поверхности трубы

Интерес к нормальной составляющей заключается в том, что для выявления дефекта используются индукционные преобразователи, направленные перпендикулярно к телу трубы. Тангенциальная составляющая, в первую очередь, позволит контролировать толщину тела трубы (поиск локальных утонений), где подразумевается применение датчиков Холла.

Моделирование также позволяет накладывать расчеты непосредственно на саму 3D-модель, позволяя визуализировать физические величины в пространстве. На рисунке 5 показана визуализация нормальной составляющей напряженности поля рисунка 4, в сечении по средней линии модели:

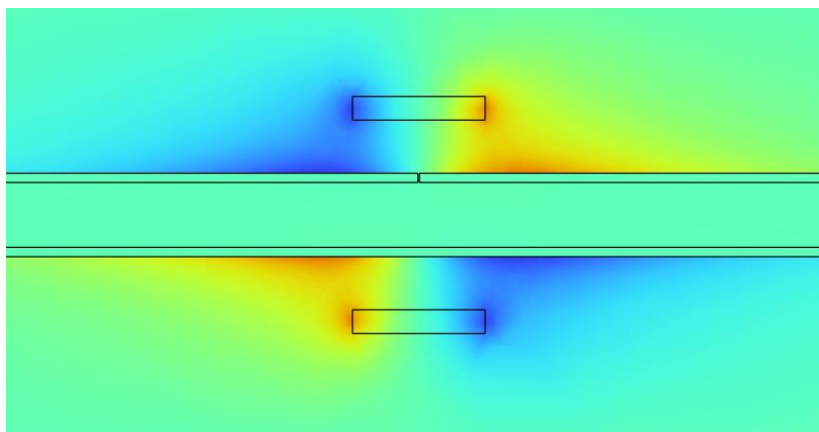


Рисунок 5 – Визуализация напряженности магнитного поля на 3D-модели

Таким образом, конкретизировав магнитные свойства буровой трубы (образца), размеры индуктора и его электрические характеристики, появится возможность, при дальнейшей работе, сравнить экспериментальные данные, зависимость тока намагничивания и величины напряженности магнитного поля воле всего образца, подобрать оптимальный ток намагничивания для достаточного различия дефекта в теле трубы, а также провести другие моделирования [3–7].

После полученных теоретических данных появится возможность создания измерительного комплекса с оптимальными техническими характеристиками, а также программой обработки и управления комплексом.

Список литературы

1. The ARTIS-3 Portable Inspection System. Текст: электронный // oem-usa.com: [сайт]. – URL: <http://www.oem-usa.com/products/EMIportable4500.html> (Дата обращения: 20.09.2023).
2. Установка неразрушающего контроля буровых труб магнитным методом в мобильном исполнении «Магпортабур 1.2» // Руководство по эксплуатации. – СПб., 2016. – 20 с.
3. Monitoring and Managing Coiled Tubing Integrity / R. Christie, Ch. Liu, R. Stanley, M. Torregrossa, E. Zheng, L. Zsolt // Oilfield Review. – May 2015. – V. 27, No. 1.
4. Неразрушающий контроль. Справочник / под ред. В.В. Ключева: в 8 томах. Т 6: в 3-х кн.: Кн. 1: Магнитные методы контроля. Кн. 2: Оптический контроль. Кн. 3: Радиоволновой контроль. – М.: Машиностроение. – 2006. – 848 с.
5. Кушнер А.В. Анализ моделей дефектов в теоретических исследованиях магнитных полей рассеяния, возникающих при намагничивании ферромагнитных объектов / А.В. Кушнер, В.А. Новиков // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2014. – № 1 (42). – С. 95–105.
6. Slesarev D.A. Data processing and representation in the MFL method for nondestructive testing / D.A. Slesarev, A.A. Abakumov // Russian Journal of Nondestructive Testing. – 2013. – V. 49, № 9. – P. 3–9.
7. Потапов А.И. Электромагнитные и магнитные методы неразрушающего контроля материалов и изделий. Научное справочно-методическое пособие в 2-х томах: Т. 2: Электромагнитные и магнитные методы дефектоскопии и контроля свойств материалов / А.И. Потапов, В.А. Сясько, П.В. Соломенчук. – СПб : Нестор-История, 2015. – 440 с.