



УДК 622.276

## РЕЗУЛЬТАТЫ МАГНИТОМЕТРИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ ВНУТРИПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

### RESULTS OF MAGNETOMETRIC SURVEY OF IN-FIELD PIPELINES

#### Галлямов Ильгиз Ихсанович

доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры информационных технологий,  
математики и естественных наук,  
Филиал Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования,  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет в г.Октябрьском

#### Юсупова Лилия Фановна

ассистент кафедры информационных технологий,  
математики и естественных наук,  
Филиал Федерального государственного бюджетного  
образовательного учреждения высшего образования,  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет в г.Октябрьском

**Аннотация.** В статье обсуждаются результаты наших исследований магнитной съемки над трубопроводом. Подведены некоторые итоги и определены перспективы дальнейших исследований. Процессы диагностирования по разработанной технологии не оказывает отрицательного воздействия на экологию и поэтому не предусматривает специальных мер по охране окружающей среды.

**Ключевые слова:** магнитное поле, дефект, дисперсия магнитного поля, среднее значение магнитного поля, магнитоупругий, магнитомеханический эффекты.

#### Gallyamov Ilgiz Ikhsanovich

Doctor of Engineering Sciences, Professor,  
Professor Department of Information  
Technologies, Mathematics and  
Natural Sciences,  
Ufa State Petroleum Technological University,  
Branch of the University  
in the City of Oktyabrsky

#### Yusupova Lilya Fanovna

Assistant Department of Information  
Technologies, Mathematics and  
Natural Sciences,  
Ufa State Petroleum Technological University,  
Branch of the University in  
the City of Oktyabrsky

**Annotation.** The article discusses the results of our studies of magnetic survey over the pipeline. Some results were summed up and prospects for further research were determined. Diagnostic processes based on the developed technology do not have a negative impact on the environment and therefore do not provide for special measures to protect the environment.

**Keywords:** magnetic field, defect, variance of the magnetic field, the average value of the magnetic field, magneto-elastic, magneto-mechanical effects.

Недостатком РД 30-132-94 «Правила по эксплуатации, ревизии, ремонту и отбраковке нефтепромысловых трубопроводов является необходимость шурфовки трубопровода через каждые 500 м и металлографическое обследование вскрытого участка, в результате которого получают информацию фрагментарную, связанную с большими трудовыми затратами. Следовательно необходимо вести работу, связанную с совершенствованием неразрушающего контроля и диагностики внутрипромысловых трубопроводов различного назначения и совершенствованию руководящего документа [4].

Известно, что для оценки технического состояния подземных трубопроводов можно использовать высокоточную магнитную съемку на поверхности земли над трубопроводом. Наши исследования в этой области позволяют подвести некоторые итоги и определить перспективы на будущее.

1. Описание деформируемых ферромагнетиков с феноменологической точки зрения. Ферромагнетизм, наблюдаемый на макроскопическом уровне, по своей сути является квантово-механическим явлением, поэтому для описания таких магнитных материалов нужно сформулировать эвристическую модель, учитывающую взаимодействия такого типа. При помощи этой модели можно дать описание на языке физики сплошных сред взаимодействий между континуумом решетки – носителем информации – и полем намагниченности. Последнее через понятие о гиромангнитном эффекте связано со спиновым континуумом. Действительно, так как с каждой отдельной частицей квантово-механическим образом связан магнитный момент атома и спин, а электроны дают преобладающий вклад в магнитный момент атома, то удобнее назвать континуум, непрерывным образом выражающий дискретное распределение отдельных спинов в реальном ферромагнитном теле, электронным спиновым континуумом. Таким образом, необходимы правые уравнения, описывающие континуум решетки – уравнения движения механики, а также уравнения, которые описывают электронный спиновый континуум. Это можно сделать, к примеру, на упругих материалах. Такие попытки предпринимались и они известны в литературе [2–4].



2. Вычисление магнитных аномалий, создаваемых намагниченными телами. Сведения о распределении магнитного поля на поверхности Земли служат ценным материалом для суждений о состоянии подземного объекта – трубопровода.

К настоящему времени разработаны способы вычислений напряженности поля в вертикальной плоскости ниже линии, на которой поле известно.

Последнее позволяет моделировать дефекты на поверхности трубы, рассчитывать вклады дефектов в измеряемое поле. Совпадение расчетных величин с измеренными позволяет прийти к выводу о реализации рассматриваемой модели, несовпадение – к рассмотрению новой модели.

Число моделей ограничено, они известны [5].

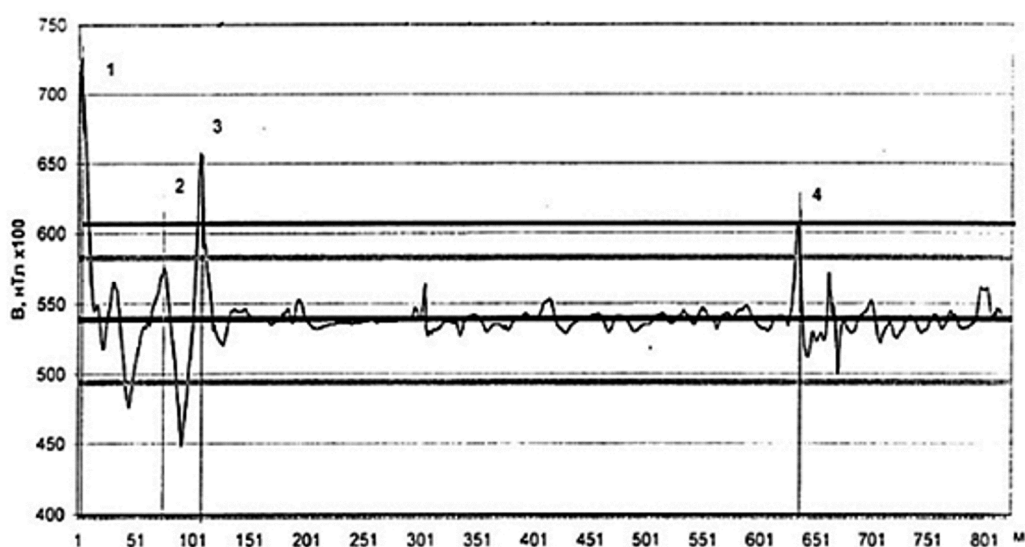
Аналитические решения прямой задачи осуществляются при упрощающих предположениях. Этот недостаток можно устранить путем учета спин-решеточных взаимодействий в деформируемой трубе, находящейся под механическим напряжением. Существующие методы отличаются друг от друга, по существу, только в форме элементарной аппроксимирующей ячейки и техническими особенностями построения алгоритмов и программ. Ограничившись в расчетах телами наиболее простых форм, мы получаем в пределах точности данного аппроксимирующего метода значения компонент магнитного поля [1].

Одним из факторов, приводящим к снижению надежности трубопроводов, является коррозионное повреждение наружных поверхностей трубопроводов вследствие нарушения изоляции и другим – эрозийное повреждение внутренних поверхностей трубопроводов вследствие межкристаллитной коррозии и гидродинамических ударов транспортируемого продукта, приводящих к потере металла в стенке трубы. Эти два повреждения трубопроводов, способствующих уменьшению толщины стенок трубопровода, при определенных условиях могут привести к трещинообразованию и разрыву металла.

Известно, что дефект на трубе является концентратором напряжений. Напряжения такого рода на ферромагнитном материале приводят к дополнительной намагниченности в области дефекта.

Для повышения эффективности определения дефектов в подземных трубопроводах неконтактным методом предлагается способ, включающий измерение над трубопроводом характеристик магнитного поля в процессе перемещения датчика вдоль трубопровода. Измеряют величину магнитной индукции в пунктах, отстоящих друг от друга на расстоянии от 0,25 – 0,5 м. Затем строят график зависимости величины магнитной индукции от координат трубопровода и находят средние значения величины магнитной индукции для выбранного участка, затем определяют величины среднеквадратичных отклонений и выделяют области, где величины значений индукции магнитного поля равны или превышают удвоенное значение величины среднеквадратичных отклонений. Выделенные на графике области определяют на местности, раскапывают эти участки и осуществляют визуально-измерительный контроль с использованием ультразвуковых толщиномеров или вихретоковых дефектоскопов. Средние значения величин магнитной индукции определяют для участка длиной не более 250 м.

Сущность технологии будет понятна из нижеследующего описания и графического материала. На рисунке 1 изображено изменение величины магнитной индукции вдоль трубопровода. Метод реализуется следующим образом.



**Рисунок 1** – Эюра магнитометрического диагностирования

- 1, 3 – недопустимые дефекты, требуется шурфовка и проведение диагностирования (дефектоскопия, толщинометрия); 2 – дефект допустимый (в начальной стадии); 4 – дефект близко к критическому, требуется шурфовка



На местности вдоль трубопровода осуществляют измерение магнитной индукции на пунктах, отстоящих друг от друга на расстоянии от 0,25–0,5 м. Для проведения измерений используется магнитометр. Как правило, положение трубопровода на местности известно. В случае отсутствия такой информации магнитометр используется в качестве трассоискателя и предварительно определяют положение трубопровода на местности. На рисунке 1 представлен в качестве примера результат магнитной съемки трубопровода и на десятом пикете обнаружена аномалия, выходящая за пределы среднее значение плюс два среднеквадратичных отклонения, что является свидетельством наличия дефекта на трубе. Провели раскопку трубы и обнаружили дефект, приведенный на рисунке 2.

Предлагаемый способ обнаружения дефектов неконтактный, сплошности стенок трубопровода неразрушающий, не требует выполнения земляных работ при измерении, снижает трудовые затраты на выполнение измерений имеет перспективы осуществления высокого уровня автоматизации, позволяет документировать результаты измерений, строить базу данных на основе которой можно построить систему оценки сплошности стенок трубопровода. Способ применим как для «черных» труб, так и для металлополимерных, залегающих в земле на глубине до 3 метров [9–10].



Рисунок 2 – Демонстрация обнаруженного дефекта

3. Прямая и обратная задачи математической физики в магниторазведке. Математическая теория намагниченных тел рассматривает решение двух основных задач [11].

3.1. Определение магнитного поля, создаваемого намагниченным телом заданной формы, объема и характера намагничивания.

3.2. Определение формы, размеров, положения в пространстве и характера намагничивания тела по данным измерения магнитного поля, связанного с намагниченностью этого тела.

Прямая задача (1) в силу известных свойств потенциала и его производных всегда имеет единственное и однозначное решение. Обратная задача (2) в общем случае однозначного решения не имеет, то есть, теоретически можно найти множество различных источников, создающих во внешнем пространстве одно и то же магнитное поле. Однако, решение обратной задачи, в принципе позволяет установить расчетным путем линейные размеры дефекта.

4. Графические способы.

Разработка методики нахождения вертикальной составляющей магнитного поля и его абсолютного значения, создаваемых телами, приближающимися по форме к реальным, привела к построению специальных палеток, позволяющих графически определить величины составляющих индукции магнитного поля в отдельных точках профиля, что позволяет ранжировать дефекты через значения характеристик магнитного поля вблизи подземного трубопровода.

5. Аппаратура.

Исследование магнитного поля можно осуществить с помощью шаговых магнитометров, работа которых основана на использовании датчиков в основе работы которых лежат явления ядерного магнитного резонанса на протонах и эффект Оверхаузера [4]. Их широкое использование до недавнего времени задерживалось низким уровнем автоматизации вычислительных процессов, ввода и вывода информации, экспрессности. На сегодняшний день частично эти проблемы решены. Поэтому возникла возможность разработать и внедрить технологию диагностирования промышленных трубопроводов,



в основе которой лежит исследование магнитных полей рассеяния вблизи подземных трубопроводов. Назначение технологии будет заключаться в определении неоднородностей магнитного поля вблизи трубопровода, через которые проявляются напряженно-деформированные состояния и зоны концентрации напряжения – основные источники развития повреждений коррозионного характера при эксплуатации трубопровода. Осуществить контроль эволюции сварных соединений трубопроводов. Необходимо повысить информативность, скорость диагностирования, сокращение объемов работы и материальных затрат, осуществляя комплексирование с визуально-измерительным контролем, что позволит определять координаты критических дефектов и тем самым реализовать предупреждение порывов трубопроводов, своевременно осуществив планово-предупредительные ремонтные мероприятия. Областью применения разрабатываемой технологии являются трубопроводы систем сбора и внутрипромыслового транспорта нефти, газа и воды нефтяных месторождений [5–6].

Технические требования к использованию и проведению диагностики промысловых трубопроводов основываются на применении специальных приборов – магнитометров для высокоточных измерений, прошедшие государственную поверку. Технические требования к используемым магнитометрам следующие:

- диапазон измерения 20000–100000 нТл;
- датчик с регистрирующим устройством и с аналого-цифровым преобразователем;
- блок памяти;
- жидкокристаллический дисплей;
- навигатор, обеспечивающий регистрацию GPS (Global Position System). Требования к программному обеспечению:

- возможность создавать файл данных съемки с привязкой к данным GPS;
- обработка и вывод данных на печать в текстовом и графическом режимах.

Прибор должен быть выполнен в полевом исполнении для работы в диапазоне температур 10–40 С.

При проведении работ по разрабатываемой технологии следует руководствоваться требованиями:

ПБ 08-624-03 «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности», утвержденные постановлением Госгортехнадзора России от 05.06.03 № 56;

инструкциями по эксплуатации используемых приборов и требованиями техники безопасности.

Обеспечение безопасных условий труда в конкретных производственных процессах обеспечивается в порядке, установленном Трудовым кодексом Российской Федерации от 30.12.01 № 197-ФЗ.

Процесс диагностирования по разработанной технологии не оказывает отрицательного воздействия на экологию и поэтому не предусматривает специальных мер по охране окружающей среды.

Из изложенного следует, что предложенная технология удовлетворяет общей концепции [7] и интегрируется в систему технического диагностирования промысловых трубопроводов [8].

### Литература:

1. Галлямов И.И., Зайдуллин А.И. Микромагнитные съемки околотрубного пространства – перспективный метод диагностики внутрипромысловых трубопроводов. // Научно-практический семинар. – Октябрьский : ОФ УГНТУ, 1998. – С. 162–167.
2. Галлямов И.И., Крылов А.А., Галлямов А.И. Опыт применения магнитной съемки на внутрипромысловых трубопроводах как способа технического диагностирования // Современные технологии нефтегазового дела: тез. докл. Всерос. научно-техн. конф. – Уфа : Изд-во УГНТУ, 2007. – 97 с.
3. Галлямов И.И., Юсупова Л.Ф. Неразрушающий контроль и техническая диагностика внутрипромысловых подземных трубопроводов с поверхности земли // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2014 : сборник трудов международной научно-технической конференции в 2-х т. / отв. ред. К.Т. Тынчеров. – Уфа : Аркаим, 2014. – Т. 2. – С. 80–87.
4. РД-39-132-94. Правила по эксплуатации, ревизии, ремонту и отбраковке нефтепромысловых трубопроводов. – М. : НПО ОБТ, 1994.
5. Патон Б.Е., Недосека А.Я. Концепция технической диагностики трубопроводного транспорта // Техн. диагностика и неразруш. контроль. – 1992. – № 3. – С. 3–13.
6. Концепция развития системы технического диагностирования промысловых трубопроводов / А.Г. Гумеров [и др.] // Нефтяное хозяйство. – 2005. – № 1. – С. 78–83.
7. Галлямов И.И., Юсупова Л.Ф. Современное состояние магнитных съемок околотрубного пространства при диагностировании внутрипромысловых трубопроводов // Булатовские чтения. – 2020. – Т. 4. – С. 36–39.
8. Галлямов И.И., Юсупова Л.Ф. Исследование электромагнитного поля вблизи скважины // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2020. – № 6 (563). – С. 37–40.
9. Галлямов И.И., Юсупова Л.Ф. Теоретические основы и некоторые приложения механики сплошных электромагнитных сред: монография. – Уфа : Изд-во УГНТУ, 2017. – 128 с.
10. Галлямов И.И., Юсупова Л.Ф. Нелинейное намагничивание упругого ферромагнетика // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности. – 2016. – № 4. – С. 43–46.
11. Галлямов И.И., Юсупова Л.Ф. К вопросу о намагничивании упругого ферромагнетика // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2016 : сборник трудов международной научно-технической конференции, посвященной 60-летию филиала в 2-х т. / отв. ред. В.Ш. Мухаметшин. – Уфа : Изд-во УГНТУ, 2016. – Т. 2. – С. 212–216.

**References:**

1. Galliamov I.I., Zaidullin A.I. Micromagnetic surveys of near-pipe space – a promising method of diagnostics of intrafield pipelines. // Scientific-practical seminar. – October : Franz Joseph UGNTU, 1998. – P. 162–167.
2. Galliamov I.I., Krylov A.A., Galliamov A.I. Experience in application of magnetic survey in the inner-field pipelines as a technical diagnostic // Modern Technologies of Oil and Gas Business: Abstracts of All-Russian Scientific and Technical Conf. – Ufa : Publishing house of USPTU, 2007. – 97 p.
3. Galliamov I.I., Yusupova L.F. Nondestructive testing and technical diagnostics of in-field underground pipelines from the ground surface // Modern technologies in oil and gas business – 2014: collection of papers of the international scientific and technical conference in 2 volumes / ed. by K.T. Tyncherov. – Ufa : Arkaim, 2014. – Vol. 2. – P. 80–87.
4. RD-39-132-94. Rules for the exploitation, revision, repair and rejection of oilfield pipelines. – M. : SCIENTIFIC AND PRODUCTION ASSOCIATION «OBT», 1994.
5. Paton B.E., Nedoseka A.Y. Concept of technical diagnostics of pipeline transport // Technological diagnostics and nondestructive control. – 1992. – № 3. – P. 3–13.
6. Concept of development of technical diagnostics system of field pipelines / A.G. Gumerov [et al.]. – 2005. – № 1. – P. 78–83.
7. Gallyamov I.I., Yusupova L.F. Modern state of magnetic surveys of the near-pipe space at diagnosing of the in-field pipelines // Bulatov's readings. – 2020. – Vol. 4. – P. 36–39.
8. Galliamov I.I., Yusupova L.F. Investigation of electromagnetic field near the well // Automatization, telemechanization and communication in the oil industry. – 2020. – № 6 (563). – P. 37–40.
9. Galliamov I.I., Yusupova L.F. Theoretical foundations and some applications of continuum mechanics of electromagnetic media: monograph. – Ufa : UGNTU Publishing House, 2017. – 128 p.
10. Galliamov I.I., Yusupova L.F. Nonlinear magnetization of an elastic ferromagnet // Automatization, telemechanization and communication in the oil industry. – 2016. – № 4. – P. 43–46.
11. Galliamov I.I., Yusupova L.F. On the issue of magnetization of elastic ferromagnetism // Modern technologies in oil and gas business – 2016 : Proceedings of the international scientific and technical conference dedicated to the 60th anniversary of the branch in 2 volumes / ed. by V.S. Mukhametshin. – Ufa : Publishing house USNTU, 2016. – Vol. 2. – P. 212–216.