



УДК 622.276

## СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ МАГНИТНЫХ СЪЕМОК ОКОЛОТРУБНОГО ПРОСТРАНСТВА ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ ВНУТРИПРОМЫСЛОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

### CURRENT STATE OF MAGNETIC SURVEYS OF THE NEAR-TUBE SPACE WHEN DIAGNOSING IN-FIELD PIPELINES

**Галлямов Ильгиз Ихсанович**

доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры Информационных технологий,  
математики и естественных наук,  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет, филиал в г. Октябрьском  
ilgiz.gallyamov@inbox.ru

**Юсупова Лилия Фановна**

специалист по учебно-методической работе  
кафедры Информационных технологий,  
математики и естественных наук,  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет, филиал в г. Октябрьском  
shalilya@yandex.ru

**Аннотация.** Надежная и безопасная эксплуатация внутрипромысловых трубопроводов во многом зависит от работоспособности линейной части трубопровода. Физическим методом чувствительным к указанным дефектам, является магнитное поле Земли, возмущенное полем ферромагнитной трубы, флуктуации которого связаны с неоднородностью и нарушением сплошности металла стенок и экспериментальные исследования магнитного поля дают информацию о состоянии трубы.

**Ключевые слова:** магнитное поле, дефект, дисперсия магнитного поля, среднее значение магнитного поля, концентрация напряжений, 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  
ilgiz.gallyamov@inbox.ru

**Yusupova Lilya Fanovna**

Specialist in educational and methodical work  
of Information Technologies,  
Mathematics and Natural Sciences,  
Ufa State Petroleum  
Technological University, branch  
of the University in the City of Oktyabrsky  
shalilya@yandex.ru

**Annotation.** Reliable and safe operation of in-field pipelines largely depends on the performance of the linear part of the pipeline. The physical method that is sensitive to these defects is the earth's magnetic field perturbed by the field of the ferromagnetic pipe, whose fluctuations are associated with inhomogeneity and violation of the continuity of the metal walls. Experimental studies of the magnetic field provide information about the state of the pipe.

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

**Н**адежная и безопасная эксплуатация трубопроводов во многом зависит от работоспособности линейной части трубопровода.

К дефектам трубы, как конструктивного элемента трубопровода, относятся механические повреждения и деформации труб изоляционных покрытий, возникающие на разных стадиях (при транспортировании, монтаже и эксплуатации трубопроводов), а также технологические элементы конструкции (крепление и др.).

Главным фактором, приводящим к снижению надежности прямолинейных участков трубопровода, является коррозионное повреждение наружных поверхностей трубопроводов вследствие нарушения изоляции и эрозионное повреждение вследствие межкристаллитной коррозии.

Результаты исследования посвящены изучению магнитного поля в околотрубном пространстве, которые дают информацию о состоянии трубы.

Ферромагнетизм, наблюдаемый на макроскопическом уровне, но самой 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 части-



цей 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 полевые 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 [1–4].

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 как это приведено на рисунке 1.

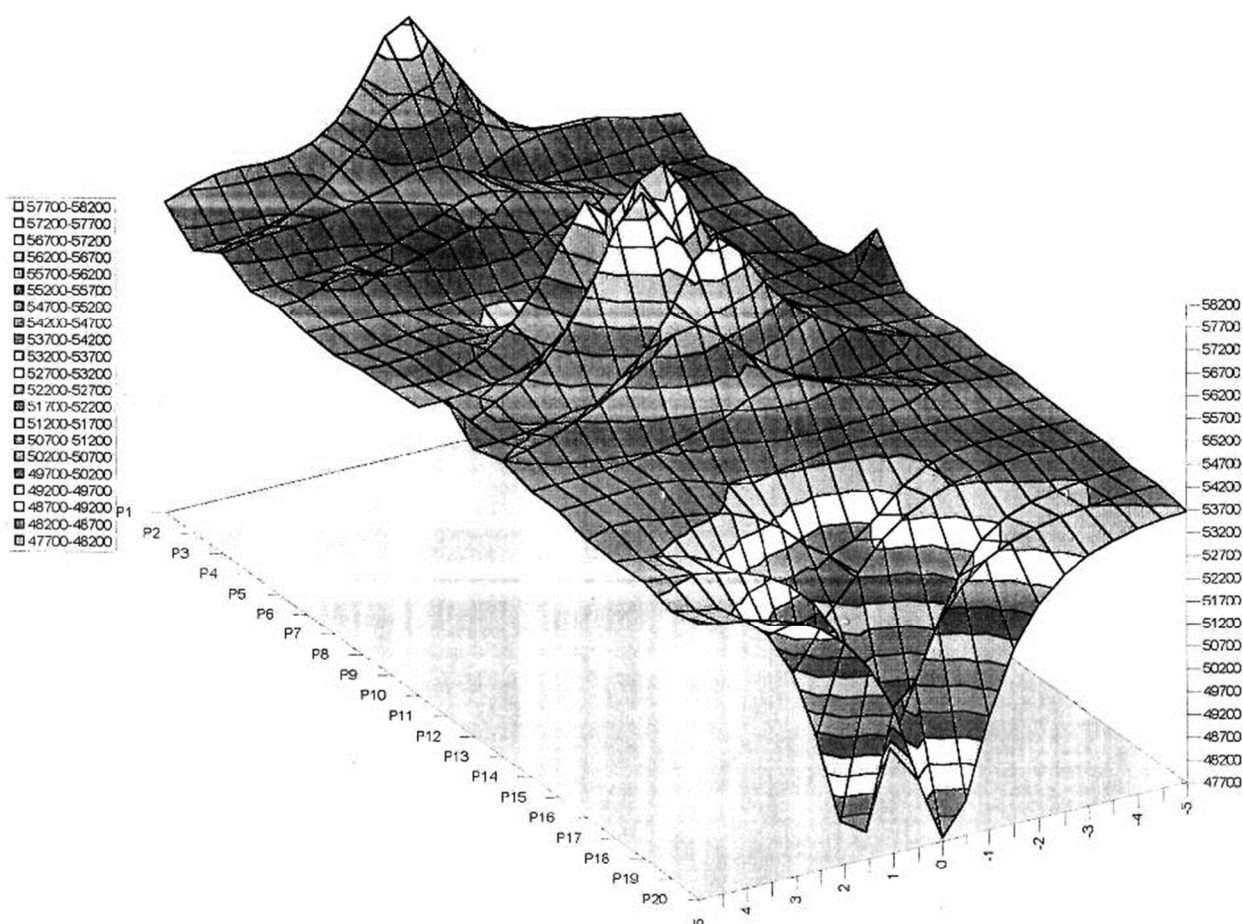


Рисунок 1 – 3D изображение вариаций магнитного поля

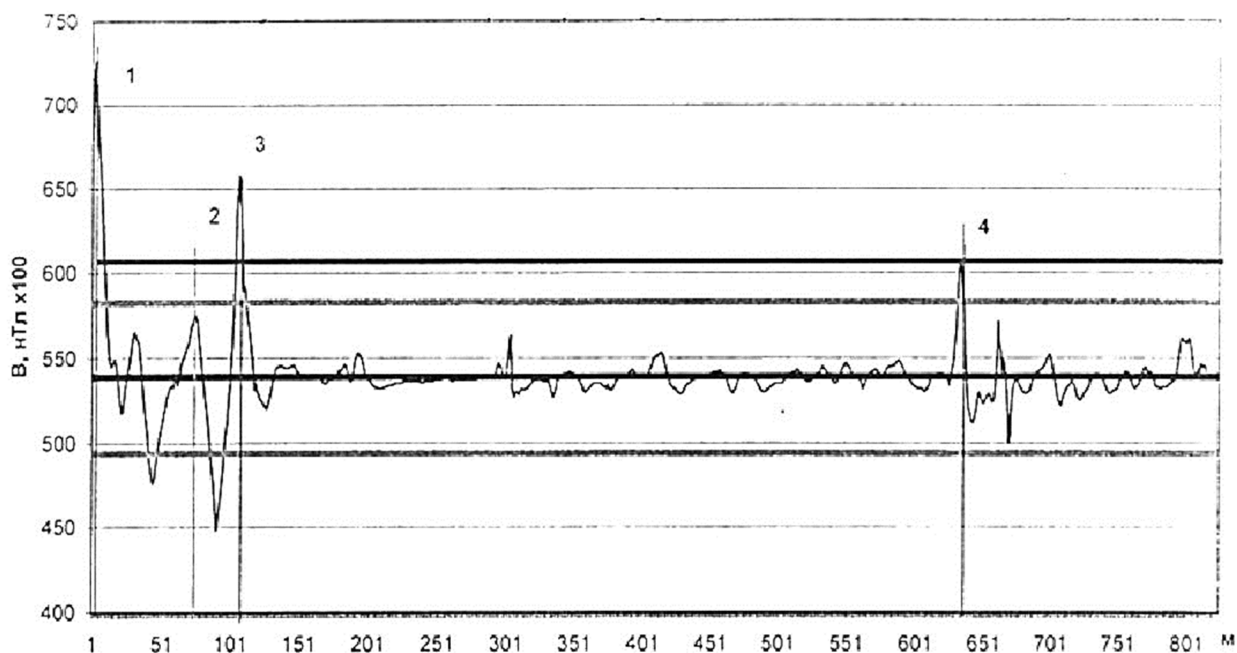
Для повышения эффективности определения дефектов в подземных трубопроводах неконтактным методом предлагается способ, включающий измерение над трубопроводом характеристик магнитного поля в процессе перемещения датчика вдоль трубопровода. Измеряют величину магнитной индукции в пунктах, отстоящих друг от 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 2 изображено изменение величины магнитной индукции вдоль трубопровода. Метод реализуется следующим образом.

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 2 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.



**Рисунок 2** – Эпюра 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

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. Более подробное обсуждение результатом исследований можно найти в работах [5–7].

Приведенные в статье результаты научных исследований позволяют сделать вывод о том, исследование магнитных полей рассеяния вблизи подземных трубопроводов позволяет обнаружить и классифицировать дефекты как на теле трубы, так и на сварных швах, а также находить места разрушения антикоррозионной защиты на внутрипромысловых трубопроводах. Полученная таким образом информация позволяет обслуживать трубопровод наиболее эффективным способом.

### Литература:

1. Галлямов И.И. Микромагнитные съемки околотрубного пространства – перспективный метод диагностики внутрипромысловых трубопроводов / И.И. Галлямов, А.И. Зайдуллин // Научно-практический семинар. – Октябрьский : ОФ УГНТУ, 1998. – С. 162–167.
2. Галлямов И.И. Опыт применения магнитной съемки на внутрипромысловых трубопроводах как способа технического диагностирования / И.И. Галлямов, А.А. Крылов, А.И. Галлямов // Современные технологии нефтегазового дела: тез. докл. Всерос. научно-техн. конф. – Уфа : Изд-во УГНТУ, 2007. – 97 с.
3. Галлямов И.И. Перспективы высокоточной магнитной съемки для целей контроля технического состояния и экспертизы внутрипромысловых трубопроводов // Материалы Республиканской научно-практической кон-



ференции. г. Октябрьский, 23–27 августа 1999 года / Ред. колл.: К.В. Антонов (гл. редактор) и др. – г. Октябрьский : Управление по недрам РБ, ОАОА НПП ВНИИГИС, 1999. – 206 с.

4. Галлямов И.И. Повышение надежности нефтепромыслового оборудования на стадии эксплуатации. – Уфа : Изд-во УГНТУ, 1999. – 206 с.

5. Галлямов И.И. Теоретические основы и некоторые приложения механики сплошных электромагнитных сред : монография / И.И. Галлямов, Л.Ф. Юсупова. – Уфа : Изд-во УГНТУ, 2017. – 128 с.

6. Галлямов И.И. Неразрушающий контроль и техническая диагностика внутрипромысловых подземных трубопроводов с поверхности земли / И.И. Галлямов, Л.Ф. Юсупова // Современные технологии в нефтегазовом деле – 2014: сборник трудов международной научно-технической конференции в 2-х т. – Уфа : УГНТУ, 2014. – Т. 2. – С. 80–87.

7. Пат. на изобретение RU 2301941 C1, 27.06.2007. Способ обнаружения дефектов внутрипромысловых трубопроводов / М.Х. Валеев, А.А. Лаптев, И.И. Галлямов, А.И. Галлямов, Р.Ф. Надршин; заявка № 2006101137/06 от 12.01.2006.

#### References:

1. Gallyamov I.I. Micro-magnetic survey near-tube space is a promising diagnostic tool infield pipelines / I.I. Gallyamov, A.I. Zaidullin // Scientific and practical seminar. – Oktyabrsky : OF USTU, 1998. – P. 162–167.

2. Galyamov I.I. Experience of application of the magnetic survey on the intra-field pipelines as a method of technical diagnostics / I.I. Galyamov, A.A. Krylov, A.I. Galyamov // Modern technologies of oil and gas business: Proc. of All-Russia scientific-technical conf. – Ufa : Publishing house of USTU, 2007. – 97 p.

3. Gallyamov I.I. Perspectives of high precision magnetic surveying for the purpose of technical state control and examination of infield pipelines // Proceedings of the Republican scientific-practical conference. Oktyabrsky, 23–27 August 1999: Antonov K.V. (Editor-in-chief) and others // Proceedings of the Republican Scientific Conference. – Oktyabrsky : Subsoil Department of RB, ОАО NPP VNIIGIS, 1999. – 206 p.

4. Gallyamov I.I. Increase of reliability of oilfield equipment at the stage of operation. – Ufa : USTU Publishing House, 1999. – 206 p.

5. Gallyamov I.I. Theoretical bases and some applications of mechanics of continuous electromagnetic media : monograph / I.I. Gallyamov, L.F. Yusupova. – Ufa : USTU Publishing House, 2017. – 128 p.

6. Gallyamov I.I. Non-destructive control and technical diagnostics of the infield underground pipelines from the ground surface / I.I. Gallyamov, L.F. Yusupova // Modern Technologies in Oil and Gas Business – 2014: Proceedings of International Scientific and Technical Conference in 2 v. – Ufa : USTU, 2014. – V. 2. – P. 80–87.

7. Patent for invention RU 2301941 C1, 27.06.2007. Method of detecting defects in infield pipelines / M.H. Valiev, A.A. Laptev, I.I. Gallyamov, A.I. Gallyamov, R.F. Nadrshin; application № 2006101137/06 from 12.01.2006.