

УДК: 622.692.4:550.832

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ДИСТАНЦИОННОЙ ДИАГНОСТИКИ ТРУБОПРОВОДОВ

ELECTROMAGNETIC COMPLEX FOR OIL AND GAS PIPELINES REMOTE EXAMINATION

Крапивский Е. И., Некучаев В. О., Пахотин П. А.
ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет»,
г. Ухта, Российская Федерация

E. I. Krapivskiy, V. O. Nekuchaev, P. A. Pahotin
FSBEI NPE «Ukhta state technical university», Ukhta, Russian Federation
e-mail ninanek@yandex.ru

Аннотация. Разработан и испытан комплекс дистанционной электромагнитной диагностики нефте- и газопроводов. Комплекс содержит 6 трехкомпонентных ортогональных феррорезонансных датчиков постоянного магнитного поля, три индукционных датчика переменного низкочастотного электромагнитного поля, два блока взаимно ортогональных датчиков переменного электромагнитного поля, трехкомпонентный акселерометр для определения отклонения приемников магнитометра от вертикального положения, GPS приемник, датчик пути, генератор прямоугольных импульсов тока с частотой от 0 до 1500 Гц). Все результаты с частотой 100 Гц записываются в промышленную немагнитную ЭВМ, носимую оператором или находящуюся на вспомогательном судне. Аппаратура обеспечивает звуковую сигнализацию об отклонении глубины, магнитных аномалий от заданных оператором пределов, а также о выходе оператора из зоны контроля, при этом факт и координаты места срабатывания звуковой сигнализации автоматически записываются в ЭВМ.

Abstract. Electromagnetic complex for oil and gas pipelines remote examination has been developed and tested. It contains six threecomponent orthogonal ferroresonant sensors of constant magnetic fields, three induction sensors of alternating low frequency electromagnetic field, two units of perpendicular sensors of alternating electromagnetic field, threecomponent accelerometers for definition of magnetometer detectors deviation from vertical direction., GPS receiver, distance sensor, rectangular current impulses generator with frequency from 0 to 1500 hertz. All results are recorded with 100 hertz frequency in nonmagnetic computer. The device provides sound signaling of depth and magnetic deviations from limits given by operator and the signal is automatically recorded in computer.

Ключевые слова: магнитные и электромагнитные поля, дистанционная диагностика, нефтегазопроводы, техническое состояние, трехкомпонентный феррорезонансный датчик.

Keywords: magnetic and electromagnetic fields, remote examination, oil and gas pipelines, technical state, threecomponent ferroresonant sensor.

В связи со строительством в России новых трубопроводов большой протяженности необходимость дистанционного контроля их технического состояния стала еще более актуальной. Широко используемые для контроля технического состояния методы внутритрубной магнитной, акустической диагностики очень дороги. Недостаточно производительны и в России обеспечивают ежегодный контроль около 30 000 км подземных трубопроводов, что составляет менее 5% от их общей протяженности.

Наиболее эффективным в настоящее время методом диагностики трубопроводов является внутритрубная дефектоскопия, позволяющая сочетать относительно высокую эффективность выявления дефектов с высокой скоростью обследования.

В то же время, существует еще немало магистралей, не приспособленных по различным причинам к пропуску внутритрубных приборов-дефектоскопов. Это – отсутствие камер приема-запуска дефектоскопов, наличие участков с неравнопроходным сечением, недопустимые для пропуска прибора углы поворота, внутренние подкладные кольца или футеровка и др. Кроме того, пропуск приборов-дефектоскопов требует тщательной подготовки и значительных финансовых затрат.

К недостаткам внутритрубной дефектоскопии следует отнести и способность выявлять только существующие (развитые) дефекты в ограниченной для каждого типа прибора номенклатуре. При этом в любом случае остаются потенциально опасные зоны повышенного напряженного состояния трубопровода, которые не выявляются внутритрубными дефектоскопами.

Протяженность построенного в России глубоководного газопровода Голубой поток составляет около 1000 км, протяженность строящегося (2011 г.) морского трубопровода NORD STREAM составляет более 1200 км. Оба трубопровода не оборудованы камерами приема-запуска внутритрубных приборов в связи, с чем применение внутритрубной диагностики весьма проблематично.

Из изложенного следует необходимость комплексирования внутритрубной дефектоскопии и диагностики с высокопроизводительными дистанционными методами и проведения дефектоскопии на потенциально опасных участках, выявленных высокопроизводительными методами.

Поэтому в течение ряда лет в Санкт-Петербургском горном институте (техническом университете), Ухтинском государственном университете, НПО ГЕОЛОГОРАЗВЕДКА, НПО ЭНТ и ЗАО ВНИИСТ-ПОИСК разрабатывается и

испытывается комплекс дистанционной электромагнитной диагностики КЭМГТ (комплекс электромагнитной диагностики трубопроводов).

Комплекс содержит: 6 трехкомпонентных ортогональных феррорезонансных датчиков постоянного магнитного поля; три индукционных датчика переменного низкочастотного электромагнитного поля; два блока взаимно ортогональных датчиков переменного электромагнитного поля; трехкомпонентный акселерометр для определения отклонения приемников магнитометра от вертикального положения, GPS приемник, датчик пути, генератор прямоугольных импульсов тока с частотой от 0 (постоянный ток) до 1500 Гц. Все результаты с частотой 100 Гц записываются в промышленную немагнитную ЭВМ, носимую оператором или находящуюся на вспомогательном судне. Аппаратура обеспечивает звуковую сигнализацию об отклонении глубины, магнитных аномалий от заданных оператором пределов, а также о выходе оператора из зоны контроля, при этом факт и координаты места срабатывания звуковой сигнализации автоматически записываются в ЭВМ.

Привязка диаграмм (магнитограмм) к трассе осуществляется датчиком пути и, кроме того, с помощью GPS-приемника координаты точек контроля через заданное расстояние фиксируются в глобальной навигационной системе GPS. Аппаратура обеспечивает возможность записи меток в ЗУ для привязки диаграмм к естественным ориентирам или, по усмотрению оператора, при этом координаты этих меток в системе GPS также должны записываться в ЗУ.

Дальнейшая обработка и документирование результатов контроля обеспечиваются специальной программой и осуществляются на любом персональном компьютере.

Конструктивно КЭМДТ состоит из следующих частей, которые могут использоваться автономно.

Феррорезонансный магнитометр PIPEMAG (рисунок 1), включающий два трехкомпонентных датчика индукции магнитного поля, расположенных на расстоянии 1 м друг от друга, индукционную немагнитную антенну для измерения низкочастотной составляющей магнитного поля катодной защиты или генератора, подключаемого к трубопроводу, цифровой измерительный прибор, память до 2 Гбит, датчики отклонения градиентометра от вертикальной оси - акселерометры. Магнитометр-градиентометр снабжен комплектом постоянных малогабаритных магнитов, цилиндрическим экраном для ослабления внешнего магнитного поля. Автономный измерительный прибор позволяет записывать и визуализировать знак (+/-) и 4 значащих цифры по каждой (X,Y,Z) постоянной и низкочастотной переменной составляющих магнитного поля.

Назначение магнитометра-градиентометра. Градиентометр предназначен для измерения трех ортогональных компонент индукции и их разности (градиента на двух высотах от поверхности Земли):

- магнитного поля;
- низкочастотного электромагнитного поля частотой 100 Гц (частота тока

катодной защиты трубопровода);

- низкочастотного поля в диапазоне частот 0,1-20 Гц (частота шумов Баркгаузена и тока, обусловленного движением нефти или газа по трубопроводу).

В градиентометре предусмотрена возможность передачи результатов измерений в цифровой форме в персональный компьютер (интерфейс RS-232).

Магнитометр выполнен в виде переносного прибора и может быть использован при контроле магнитного поля различного рода трубопроводов.

Условия эксплуатации:

Рабочий диапазон температуры окружающего воздуха от -200°C до $+50^{\circ}\text{C}$.

Влажность до 80%.

Прибор нормально работает после воздействия транспортной тряски (в предназначенной для этого упаковке) с частотой 2-3 Гц при максимальном ускорении 30 м/с^2 .

Технические характеристики:

1. Количество трехкомпонентных датчиков индукции магнитного поля в датчике Градиентометра, шт. 2.
2. Количество индукционных немагнитных антенн, шт. 1.
3. Размер геометрической базы прибора, м 1.
4. Рабочий диапазон индукции постоянного магнитного и низкочастотного электромагнитного полей, мкТл ± 150 .
5. Рабочий диапазон индукции низкочастотного электромагнитного поля, мкТл ± 10 .
6. Рабочий диапазон частот индукции низкочастотного электромагнитного поля, Гц 0,1-200.
7. Неортогональность компонент датчиков, угл. град. 0,5.
8. Несоосность одноименных компонент датчиков, угл. град. 0,5.
9. Основная погрешность измерения $3\%+5\text{EMF}$.
10. Разрешающая способность при измерении градиента эквивалентна оцифровке индукции поля с разрядностью 16 бит.
11. Индикация результатов измерения на двухстрочном жидкокристаллическом индикаторе.
12. Связь с персональным компьютером по интерфейсу RS232.
13. Питание от автономного источника питания.
14. Габаритные размеры пульта, мм 120x90x35.
15. Габаритные размеры датчика, мм 1050x40x40.
16. Длина кабеля, соединяющего пульт прибора с датчиком, м 1,5.
17. Масса, кг 3,5.
18. Срок эксплуатации прибора, лет 8.
19. Ресурс прибора, час 10000.

В последней модификации градиентометра предусмотрена энергонезависимая память на 10 000 измерений и GPS приемник.

Конструкция прибора. В состав прибора входят:

- датчик градиентометрический,
- пульт магнитометра-градиентометра,
- поддерживающее устройство (тренога и столик).

Датчик градиентометрический представляет собой трубу из стеклопластика (корпус датчика), в оконечностях которой размещены два трехкомпонентных преобразователя индукции магнитного поля (феррозонды). Корпус датчика заделан в термоусаживающуюся трубку. На одной из оконечностей датчика размещен кабельный ввод с соединительным кабелем.

Пульт магнитометра-градиентометра выполнен из алюминиевого сплава.

На лицевой панели размещены:

- двухстрочный буквенно-цифровой жидкокристаллический индикатор;
- кнопка включения питания «ВКЛ»;
- кнопка включения подсветки «ПОДСВ»;
- кнопка выбора режима работы градиентометра «РЕЖИМ»;
- кнопка выбранного режима «ВЫБОР».

В состав прибора входят:

- датчик градиентометрический;
- пульт градиентометра;
- поддерживающее устройство.

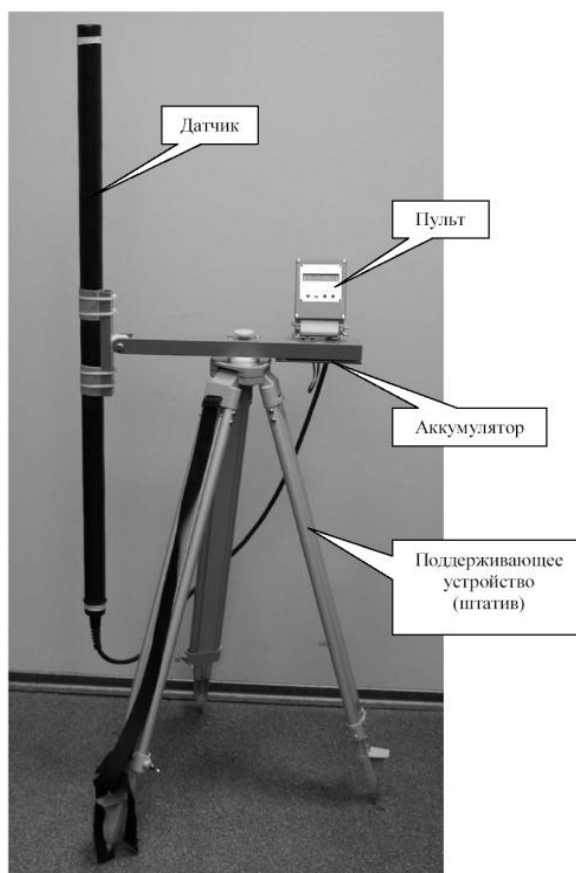


Рисунок 1. Внешний вид магнитометра-градиентометра PipeMaG



Рисунок 2. Внешний вид пульта градиентометра

Датчик градиентометрический представляет собой трубу из стеклопластика (корпус датчика), в оконечностях которой размещены два трехкомпонентных преобразователя индукции магнитного поля НВ0302. Корпус датчика заделан в термоусаживаемую трубку. На одной из оконечностей датчика размещен кабельный ввод с кабелем соединительным.

Пульт градиентометра выполнен из алюминиевого сплава и покрыт порошковой краской. Внешний вид пульта приведен на рисунке 3.

На лицевой панели пульта размещены:

- двухстрочный буквенно-цифровой жидкокристаллический индикатор;
- кнопка включения питания «ВКЛ»;
- кнопка включения подсветки индикатора «ПОДСВ»;
- кнопка выбора режима работы градиентометра «РЕЖИМ»;
- кнопка фиксации выбранного режима «ВЫБОР».

На задней стенке пульта размещены:

- разъем «ДАТЧИК» для подключения датчика градиентометрического к пульту;
- разъем «КОМПЬЮТЕР» для подключения пульта градиентометра к персональному компьютеру;
- разъем «ЗАР. УСТР.» для подключения источника питания градиентометра.

Магнитометр-градиентометр КЭМДТ (комплекс электромагнитной диагностики трубопроводов) содержит 4 трехкомпонентных датчика индукции постоянного и низкочастотного переменного магнитного поля, и три однокомпонентных датчика индукции переменного магнитного поля (индукционные антенны). Прибор позволяет выполнять измерения трех компонент индукции постоянного магнитного поля и градиента (разности) одноименных компонент индукции по-

стоянного и низкочастотного магнитного поля в четырех пространственных точках, а также измерение компонент индукции переменного поля в трех пространственных точках. Измерение и накопление результатов измерений производится с помощью компьютера. Прибор носится за спиной, а компьютер на груди оператора. Конструкция прибора позволяет оперативно изменять геометрическое положение и направление компонент измерительных преобразователей в соответствии с рисунком 3.

Конструкция каркаса позволяет при выполнении экспериментальных исследований оперативно менять геометрическое положение и направление компонент измерительных преобразователей. Каркас представляет устойчивую конструкцию и может быть установлен на грунт для выполнения статических измерений. При выполнении измерений в движении несущий каркас с помощью системы плечевых рамок фиксируется на спине оператора.

В несущем каркасе установлены два трехкомпонентных разностных феррозондовых преобразователя длиной 800 мм (в вертикальном положении) и 600 мм (в горизонтальном положении). Планируется установка трехкомпонентного феррозонда в геометрическом центре прибора.

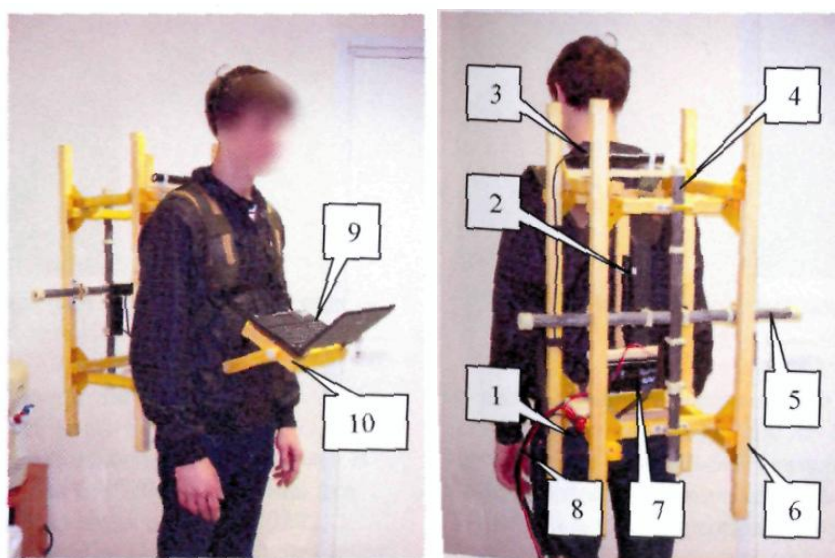


Рисунок 3. Общий вид магнитометра-градиентометра КЭМДТ

1, 2, 3 - преобразователи индукции переменного магнитного поля (индукционные антенны); 4, 5 - преобразователи индукции магнитного поля трехкомпонентные разностные (феррозонды); 6 - несущий каркас измерительного блока, 7 – жгут кабелей, соединяющий измерительный блок и пульт прибора; 9 – компьютер, 10 – пульт прибора.

Рабочий диапазон индукции постоянного магнитного поля ± 200 мкТл. Разрешающая способность индукции постоянного магнитного поля – 50 нТл. Разрешающая способность градиента (разности) индукции постоянного магнитного поля 10 нТл.

Прибор содержит три однокомпонентных датчика индукции переменного магнитного поля (два расположены горизонтально и один вертикально).

Измерения в КЭМДТ выполняются под управлением программного обеспечения в среде программного пакета LabView. Программное обеспечение позволяет проводить:

- измерение первичных сигналов, поступающих со входов преобразователей;
- преобразование систем координат датчиков (ортогонализация и соосность датчиков прибора выполняется математическими методами);
- устранение сдвига нуля преобразователей;
- калибровку коэффициентов передачи преобразователей; визуализацию результатов измерений;
- накопление результатов измерений.

Система сбора данных обеспечивает:

- сбор и сохранение в текстовый файл 18 каналов данных,
- отображение на дисплее в цифровой и графической формах данных, поступающих по любым 6 каналам из 18 возможных.

В магнитометре-градиентометре КЭМДТ выполняется сбор и накопление значений следующих величин.

BXx - компонента X индукции магнитного поля (МП), измеренная горизонтальным X преобразователем,

BXu - компонента Y индукции МП, измеренная горизонтальным X преобразователем,

BXz - компонента Z индукции МП, измеренная горизонтальным преобразователем,

BZx - компонента X индукции МП, измеренная вертикальным преобразователем,

BZu - компонента Y индукции МП, измеренная вертикальным преобразователем,

BZz - компонента Z индукции МП, измеренная вертикальным преобразователем,

GXx - компонента X градиента индукции МП, измеренная горизонтальным преобразователем,

GXu - компонента Y градиента индукции МП, измеренная горизонтальным преобразователем,

GXz - компонента Z градиента индукции МП, измеренная горизонтальным преобразователем,

GZx - компонента X градиента индукции МП, измеренная вертикальным преобразователем,

GZu - компонента Y градиента индукции МП, измеренная вертикальным преобразователем,

GZz - компонента Z градиента индукции МП, измеренная вертикальным преобразователем,

BXh~ - действующее значение индукции X компоненты переменного МП, измеренная верхним преобразователем,

BXu~ - действующее значение индукции X компоненты переменного МП, измеренная нижним преобразователем,

BZ~ - действующее значение индукции Z компоненты переменного МП, измеренная вертикальным преобразователем,

Ax - компонента X акселерометра,

Ay - компонента Y акселерометра,

Az - компонента Z акселерометра.

Введение поправок за отклонение прибора от вертикального положения осуществляется по алгоритму:

$$N_0 = N(1 + k_1 A_x + k_2 A_y + k_3 A_z + n_1 A_x A_y + n_2 A_x A_z + n_3 A_y A_z + m_1 A_x^2 + m_2 A_y^2 + m_3 A_z^2) \quad (1)$$

В формуле N – измеренная индукция магнитного поля или ее градиент, A – показания акселерометров при различном отклонении прибора от вертикального положения.

Коэффициенты k, n, m могут принимать как положительные, так и отрицательные значения и устанавливаются оператором на основании результатов планируемого эксперимента на магнитометре-градиентометре PIPEMAG.

При проведении исследований датчик магнитометра-градиентометра PIPEMAG закрепляется вертикально на несущем каркасе КЭМДТ, что позволяет измерять компоненты магнитного поля в 6 точках пространства. Блоки трехкомпонентных взаимно-ортогональных датчиков низкочастотного электромагнитного поля закрепляются горизонтально на несущем каркасе КЭМДТ, что позволяет измерять индукцию электромагнитного поля катодной защиты трубопроводов или импульсов переменного электромагнитного поля в 5 точках пространства.

Схема размещения датчиков постоянного магнитного и переменного электромагнитного поля приведена на рисунке 4.

Применение полых магнитных экранов позволяет получать информацию о магнитном поле с заданных точек пространства. Ослабление магнитного поля достигает 1000 раз.

Программное обеспечение приборов PipeMag и КЭМДТ позволяет выполнять следующее:

- циклический ввод результатов измерения с одним из следующих периодов квантования 5 мс, 10 мс, 100 мс и 1000 мс для режима измерения индукции постоянных полей;

- вычисление модуля вектора индукции постоянного магнитного поля;

- осреднение результатов измерения по заданному пользователем числу точек (от 2 до 100) для режима измерения индукции постоянных полей;
- компенсацию постоянного смещения нуля, с учетом осреднения, для режима измерения индукции постоянных полей;
- автоматическую компенсацию постоянного смещения нуля, для режима измерения индукции электромагнитных полей;
- вычисление следующих параметров электромагнитного поля:
 - вычисление модуля вектора индукции;
 - действующих значений компонент и модуля вектора индукции;
 - размаха значений компонент и модуля вектора индукции;
- автоматическое документирование результатов измерений в виде графика и таблицы, сохраняемых в графических и текстовых файлах соответственно;
- контроль напряжения питания прибора;
- отображение служебной информации о типе, версии и серийном номере прибора;
- сохранение в системном реестре параметров настройки COM порта, используемого для подключения прибора к ПК.

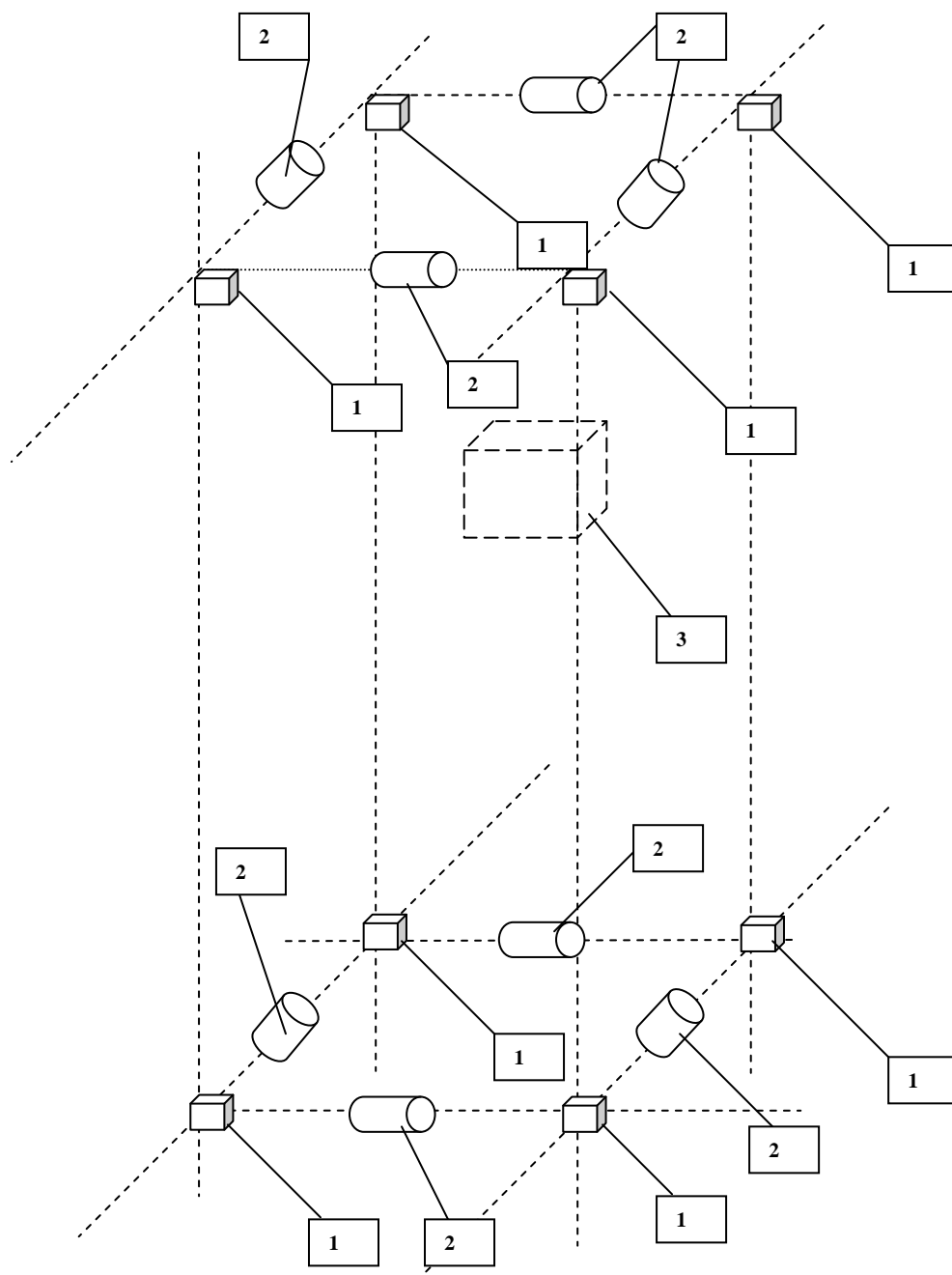


Рисунок 4. Схема размещения датчиков постоянного магнитного и переменного электромагнитного поля:

- 1 – трехкомпонентные датчики
- 2 – преобразователи индукции переменного магнитного поля
- 3 – трехкомпонентный акселерометр

В состав комплекса входят приемный блок, генератор, датчик пути и GPS-приемник.

Приемный блок состоит из блока обработки и представления информации и блока приемных антенн.

Блок приемных антенн состоит из двух блоков трехкомпонентных индуктивных преобразователей и двух блоков трехкомпонентных магнитных преобразователей.

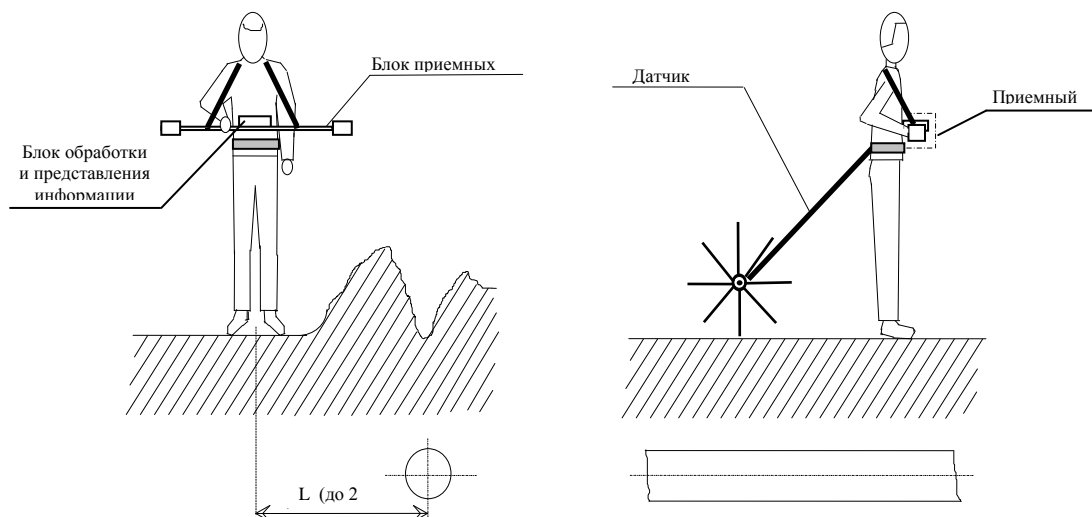


Рисунок 5. Измерение информации с привязкой к трассе

Блок обработки и представления информации выполнен на основе одно-платного компьютера, имеет сенсорный цветной дисплей и обеспечивает обработку результатов измерения напряженностей переменного и постоянного магнитных полей, вычисление контролируемых параметров и запись их значений в запоминающее устройство (ЗУ).

Блок обработки в реальном времени непосредственно в процессе движения оператора вдоль оси трубопровода выдает на экран дисплея графическую и цифровую информацию о токе, глубине, расстоянии L от оператора до оси трубопровода в плане, расположении оси трубопровода относительно оператора и продольной оси блока приемных антенн (слева, справа и под каким углом), а также положение блока приемных антенн относительно горизонта (рисунок 5). Измеренная информация о токе, глубине и расстоянии L выдается на дисплее в виде диаграмм с привязкой их к трассе.

Результаты магнитометрического контроля блок обработки выдает на экран дисплея в виде магнитограмм распределения постоянного магнитного поля над трубопроводом через заданные отрезки трассы (шаг сканирования) в двух точках пространства по каждой из трех его составляющих (нормальной, горизонтальной вдоль и горизонтальной поперек трубопровода), а также его результирующее значение в этих точках. Кроме того, на экран дисплея выдаются магнито-

граммы дифференциального значения результирующих значений и дифференциального значения по каждой составляющей магнитного поля. Получение магнитограмм может осуществляться не только в функции пути, но и в функции времени, при этом минимальный шаг сканирования по пути 10 см, а по времени 55мс. Шаг сканирования и вид сканирования (по пути или времени) задается оператором.

Блок обработки обеспечивает возможность одновременного вывода на экран дисплея в различном сочетании магнитограмм распределения магнитного поля и диаграмм глубины, расстояния L , распределения тока. Тип и количество одновременно отображаемых на дисплее магнитограмм (диаграмм) задается оператором.

При проведении работ оператор может находиться не только над осью трубопровода, но и слева или справа от нее в коридоре ± 2 м (рисунок 1). Таким образом, обеспечивается возможность контроля даже в тех случаях, когда нет возможности идти над осью трубопровода (неровности грунта над трубопроводом, вода, кустарник и т. п.). При непрерывном перемещении оператора вдоль трассы трубопровода приемный блок изменяет свое пространственное положение относительно его оси, однако это не влияет на точность контроля.

Комплекс обеспечивает звуковую сигнализацию об отклонении глубины, тока, магнитных аномалий от заданных оператором пределов, а также о выходе оператора из зоны контроля, при этом факт и координаты места срабатывания звуковой сигнализации автоматически записывается в ЗУ.

Совмещение измерений нескольких параметров в одном приборе повышает его разрешающую способность и достоверность обследования. Так при обработке результатов магнитометрического контроля учитывается положение магнитных преобразователей относительно оси трубопровода в плане и по глубине, так как диаграммы этих параметров записываются одновременно с магнитограммами.

Привязка диаграмм (магнитограмм) к трассе осуществляется датчиком пути и, кроме того, координаты точек контроля через заданное расстояние с помощью GPS-приемника фиксируются в глобальной навигационной системе GPS. Комплекс обеспечивает возможность записи меток в ЗУ для привязки диаграмм к естественным ориентирам или по усмотрению оператора, при этом координаты этих меток в системе GPS также записываются в ЗУ.

Все результаты контроля автоматически записываются в ЗУ. Блок обработки имеет режим просмотра на его дисплее записанных в ЗУ результатов контроля. Дальнейшая обработка и документирование результатов контроля осуществляется на любом персональном компьютере по специальной программе. При этом могут выдаваться еще и диаграммы затухания тока и сопротивления изоляции трубопровода.

Выводы

По своим функциональным возможностям комплекс не имеет аналогов.

Комплекс заменяет аппаратуру для электрометрического контроля и аппаратуру для магнитометрического контроля. Производительность работ с применением комплекса во много раз выше, чем с использованием известных приборов.

Кроме того, комплекс «М-1» является незаменимым для контроля состояния металла и сварных соединений трубопроводов без их вскрытия там, где нет возможности их диагностики с помощью внутритрубных снарядов из-за технологических причин (нет камер пуска и приема, трубопровод имеет внутренние подкладные кольца или футеровку, трубопровод имеет недопустимые для пропуска снаряда углы поворота).

Особенно эффективно применение комплекса при проведении работ по паспортизации и плановым обследованиям газонефтепроводов. При этом, учитывая, что трудозатраты на обследование во много раз меньше, чем с использованием известных приборов, плановые обследования можно проводить чаще, что будет способствовать повышению эксплуатационной надежности и долговечности газонефтепродуктопроводов.

На основе вышеперечисленной аппаратуры разрабатывается электромагнитный комплекс для подводной диагностики подводных переходов трубопроводов.

Таблица 1. Технические характеристики

Максимальная измеряемая глубина, м	5
Максимальный измеряемый ток, А	10
Относительная погрешность измерения глубины, расстояния L и тока, не более	$\pm 2 \%$
Относительная погрешность измерения степени затухания тока, не более	$\pm 1 \%$
Относительная погрешность измерения пути, не более	$\pm 1 \%$
Рабочая частота генератора, Гц	625
Максимальная выходная мощность генератора, Вт	100, 200, 1000
Диапазон измерения магнитного поля, мкТл	± 100
Основная абсолютная погрешность измерения магнитного поля, нТл, не более	50
Скорость контроля, км/ч	до 5
Диапазон рабочих температур	от -20° до $+50^{\circ}\text{C}$
Исполнение	пылебрызгозащищенное IP53 по ГОСТ 14254-96

Питание генератора:	
Г1/100	=12 В
Г1/200	= 24 В
Г1/1000	~ 220 В, 50 Гц
Габаритные размеры, мм, не более:	
приемного блока	1200×160×160
генератора:	
Г1/100	200×174×142
Г1/200	300×200×180
Г1/1000	400×300×250
датчика пути	1500×653×55
Вес, кг, не более:	
приемного блока	3,5
генератора:	
Г1/100	3,0
Г1/200	5,2
Г1/1000	17,0
датчика пути	2,2

Литература

1. Крапивский Е.И., Некучаев В.О. Дистанционная магнитометрия газо-нефтепроводов: учебное пособие. Ухта: УГТУ, 2011. 142 с.
2. Крапивский Е.И., Пахотин П.А. Электромагнитный комплекс для дистанционной диагностики морских трубопроводов. // Газовая промышленность. 2011. №6. С. 63-66.
3. Геоэкологическое обследование предприятий нефтяной промышленности. Геоэкологическое обследование предприятий нефтяной промышленности / Редкол.: И.Н. Модин, В.А., Шевнин. М.:РУССО, 1999. 511 с.
4. Демченко Н.П. Крапивский Е.И. Геофизические методы диагностики технического состояния подземных трубопроводов: учебное пособие Ухта, 2002. – Ч. 1. Методы постоянного и низкочастотного переменного тока, 220 с.
5. Magnetic In-Line Inspection of Pipelines. Magnetic In-Line Inspection of Pipelines: Some Problems of Defect Detection, Identification and Measurement / Belitsky S. and other // ECNDT. 2006. V. 3. P. 1-2

References

1. Krapivskij E.I., Nekuchaev V.O. Distancionnaja magnitometrija gazonefteprovodov: uchebnoe posobie. Uhta: UGTU, 2011. 142 s. [in Russian]
2. Krapivskij E.I., Pahotin P.A. Jelektromagnitnyj kompleks dlja distancionnoj diagnostiki morskikh truboprovodov. //Gazovaja promyshlennost'. 2011. №6. S. 63-66. [in Russian]
3. Geojekologicheskoe obsledovanie predpriyatij neftjanoj promyshlennosti. Geojekologicheskoe obsledovanie predpriyatij neftjanoj promyshlennosti / Redkol.: I.N. Modin. V.A., Shevnin. M.:RUSSO, 1999. 511 s. [in Russian]
4. Demchenko N.P. Krapivskij E.I. Geofizicheskie metody diagnostiki tehničeskogo sostojanija podzemnyh truboprovodov: uchebnoe posobie Uhta, 2002. – Ch. 1. Metody postojannogo i nizkochastotnogo peremennogo toka, 220 s. [in Russian]
5. Magnetic In-Line Inspection of Pipelines. Magnetic In-Line Inspection of Pipelines : Some Problems of Defect Detection, Identification and Measurement / Belitsky S. and other // ECNDT. 2006. V. 3. P. 1-2

Сведения об авторах

Крапивский Е. И., д-р геол.-минерал.наук, проф. ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

E. I. Krapivskiy, dr of geol.-mineral. sci. prof. FSBEI HPE National mineral Resources University, Saint-Petersburg, Russian Federation

Некучаев В.О., д-р физ.-математ. наук, зав. кафедрой физики, ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет», г. Ухта, Российская Федерация

V.O. Nekuchaev, dr. phys. - mathem. sci, head department of “Physics” FSBEI HPE Ukhta State Technical University, Ukhta, Russian Federation

Пахотин П. А., аспирант ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

P. A. Pahotin, postgraduated student FSBEI HPE National mineral Resources University, Saint-Petersburg, Russian Federation

e-mail ninanek@yandex.ru