

М.Д. БАКНИН,
А.О. КОВАЛЕНКО,
Н.В. ДОРОФЕЕВ

**Применение резистивно–
акустического метода контроля при
мониторинге нефтешламовых
проливов**

УДК 504.064.36

Муромский институт
(филиал) ФГБОУ ВО
«Владимирский
государственный
университет имени
А.Г. и Н.Г. Столетовых»,
г. Муром

В данной статье рассмотрена актуальность задач своевременного обнаружения и предупреждение начало проливов нефтепродукта на объектах топливно-энергетического комплекса. Обосновано использование резистивно – акустического метода при обнаружении и мониторинге разливов нефтепродукта на топливно-энергетических объектах.

Введение

При эксплуатации объектов топливно-энергетического комплекса (ТЭК), наблюдается проблема с образованием грунтового нефтешлама. Это происходит в результате техногенных проливов и попадания нефтепродуктов в грунт в процессе производственных операций, авариях, дефектах сварных швов резервуаров ТЭК, износа элемента конструкций и т.д. В результате одним из серьезных последствий является образование техногенных нефтешламовых линз в приповерхностных слоях грунта, которые могут достигать значительных размеров в случае халатного отношения к этой проблеме.

В качестве примера можно привести известный случай выявления в грунтовых водах плавающей линзы керосина площадью 2 га на территории склада ГСМ воинской части на севере г. Иваново. А также очаг загрязнения на территории Моздокского аэродрома общей площадью 163 кв. км., состоящий из 5 линз керосина мощностью 0,01-0,6 м [1].

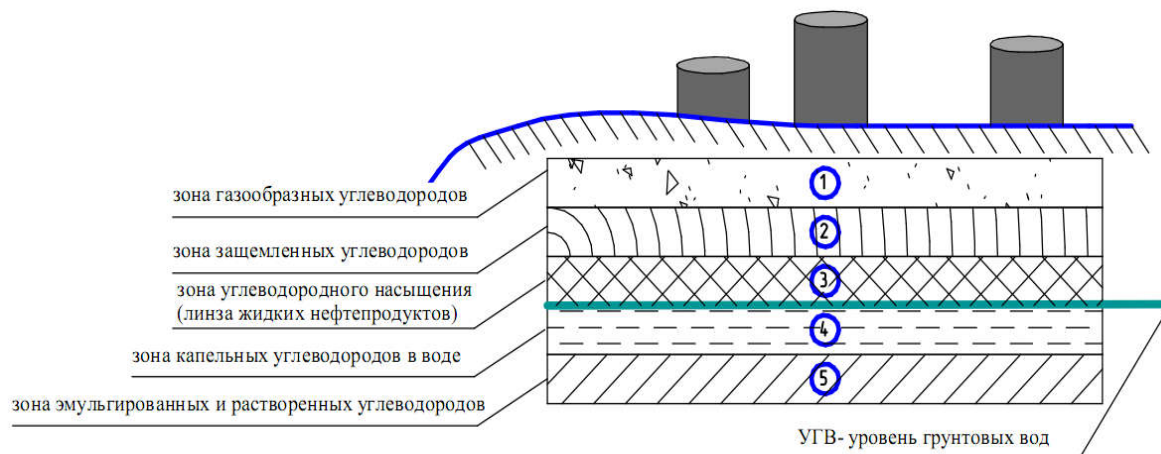


Рис 1. Схематичное представление УВ загрязнения геологической среды

Основной сложностью решения данных задач является необходимость контроля зоны грунта непосредственно под самими сооружениями (ТЭК), где и возникают утечки. Это делает практически невозможным использование прямых скважинных методов контроля для раннего обнаружения утечек и управления рекультивацией. Наиболее перспективным направлением является разработка и применение методов, основанных на совместном действии на изучаемую среду сейсмоакустических и электромагнитных полей, таких как сейсмоэлектрические и резистивно-акустические методы контроля.

Принцип резистивно–акустического метода мониторинга

Резистивно-акустический метод основан на регистрации разных вариантов силы тока в горных породах при распространении упругих колебаний и при фиксированной разности потенциалов на исследуемом участке геологической среды (сейсмоэлектрический эффект 1-ого рода).

При этом в качестве информативного параметра используется параметрическая передаточная функция в виде комплексного сопротивления исследуемого участка геологической среды [2]:

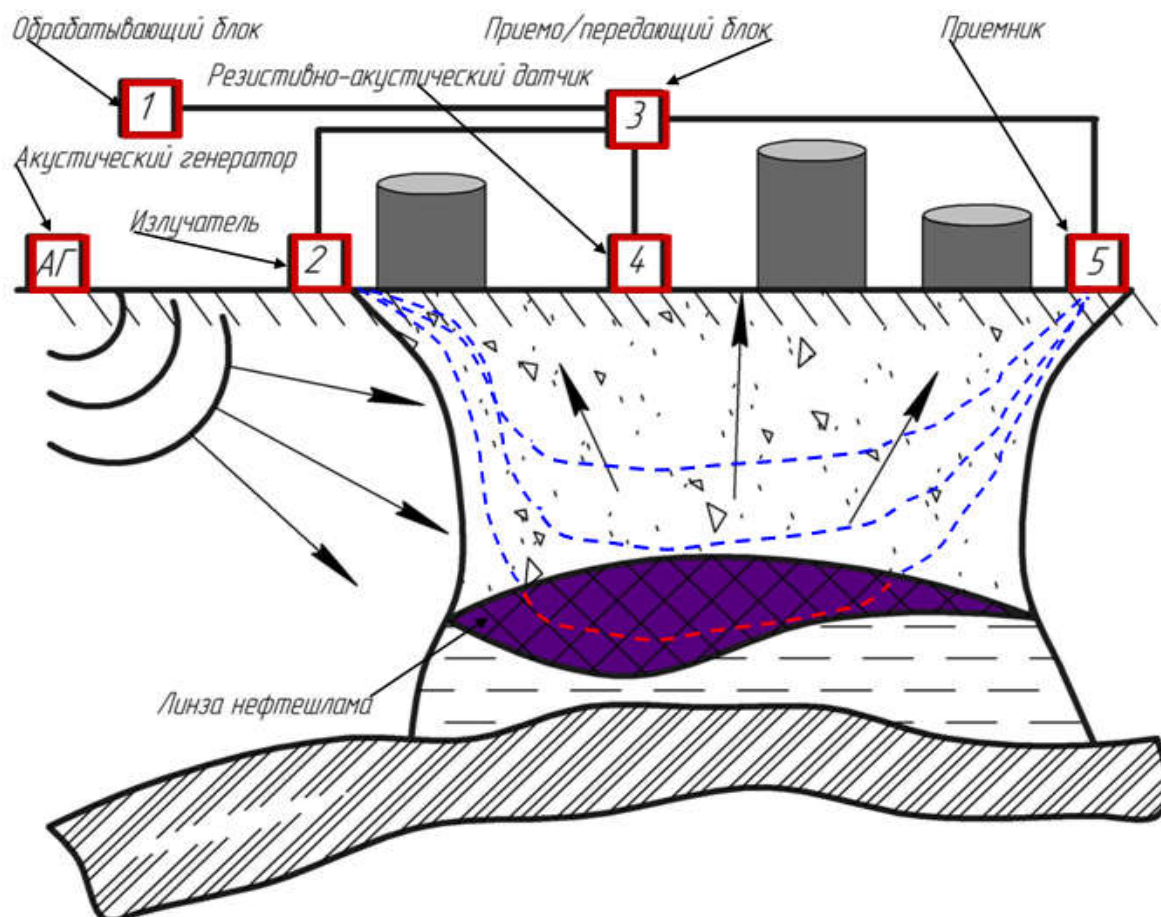


Рис. 2. Схематичное изображение системы резистивно-акустического мониторинга

$$\dot{H}(j\omega, \Delta u) = \frac{\dot{E}(j\omega)}{\dot{I}(j\omega)} = \dot{Z}_A(j\omega) + \dot{Z}_B(j\omega) + \dot{Z}_0(j\omega) + \sum_{i=1}^n \dot{Z}_i(j\omega, \Delta u), \quad (1)$$

где $\dot{Z}_A(j\omega), \dot{Z}_B(j\omega)$ - сопротивление заземления; $E(j\omega), I(j\omega), \dot{Z}_0(j\omega)$ - параметры источника электрического поля; ω - частота зондирующего сигнала; $\dot{Z}_i(j\omega, \Delta u)$ - сопротивление i -ого элемента исследуемого участка геологической среды, находящегося под сейсмоакустическим воздействием Δu .

Представление передаточной функции (1) исследуемого участка геологической среды в виде геоэлектрической модели последовательно соединенных комплексных сопротивлений позволяет нам воспользоваться моделью N - слойного несовершенного диэлектрика. Приведенная модель содержит N элементов с толщиной слоя d и электрическими параметрами i -ого элемента диэлектрической проницаемостью ε_i , удельным

электрическим сопротивлением ρ_i . В этом случае передаточная функция исследуемого участка геологической среды может быть представлена в виде последовательно соединенных RC - цепей с параметрами [3]:

$$C_i = \varepsilon_i S(j\omega, \Delta u_i) / d(\Delta u_i), \quad R_i = \rho_i d(\Delta u_i) / S(j\omega, \Delta u_i), \quad (2)$$

где $S(j\omega)$ - эффективная площадь элемента среды, определяемая с учетом скин-эффекта.

Передаточная функция геоэлектрического разреза без учета параметров заземления может быть выражена через электрические параметры слоистого несовершенного диэлектрика (2):

$$H(j\omega, \Delta u) = \sum_{i=1}^N \frac{R_i}{1+x_{ii}^2} - j \sum_{u=1}^N \frac{R_u x_{uu}}{1+x_{uu}^2}, \quad (3)$$

где $x_{uu} = \omega R_u C_u = \omega \varepsilon_u \rho_u$.

Для пространственно стационарной модели, введя параметр $a_i(j\omega) = S(j\omega) / d_i$, характеризующий геометрические размеры i -ого слоя слоистого полупространства с учетом скин-эффекта, уравнение (3) примет окончательный вид:

$$H(j\omega, \Delta u) = \sum_{i=1}^N \frac{\rho_i / a_i(j\omega)}{1+x_i^2} - j \sum_{i=1}^N \frac{\rho_i x_i / a_i(j\omega)}{1+x_i^2}. \quad (4)$$

При распространении в среде сейсмоакустической волны каждый i -ый элемент находится под механическим воздействием, определяемым деформационным тензором $\Delta u = \{\Delta u_x, \Delta u_y, \Delta u_z\}$. В случае применения одномерной модели ячеек и при наличии неоднородности в среде соотношение (4) примет следующий вид [12]:

$$H(j\omega, \Delta u) = \sum_{i=1}^N \frac{\rho_i / a_i(j\omega)}{1+x_i^2} \frac{1+u_x^i}{1+u_y^i + u_z^i} - j \sum_{i=1}^N \frac{\rho_i x_i / a_i(j\omega)}{1+x_i^2} \frac{1+u_x^i}{1+u_y^i + u_z^i}. \quad (5)$$

Уравнение (5) показывает возможность резистивно-акустического метода выделять неоднородности в среде за счет регистрации общего сопротивления с локализацией участка неоднородности за счет сейсмоакустического воздействия. Изменяя частоты зондирования можно менять глубину зондирования за счет скин-эффекта.

Следует также отметить, что при использовании низкочастотных методов зондирования, со снижением частоты поля

возрастает дифференциация электромагнитных свойств почв в зависимости от ее влажности [4]. На рисунке 3 приведены зависимости электрических параметров серой почвы при различной влажности от частоты.

Актуальность использования резистивно – акустического метода при обнаружении и мониторинге разливов нефтепродукта

Резистивно-акустический метод относится к классу механоэлектрических методов контроля, базирующихся на вторичных сейсмических эффектах, пьезоэлектрическом и сейсмоэлектрическом. Он основан на регистрации вариаций силы тока в горных породах при распространении упругих колебаний и при фиксированной разности потенциалов на исследуемом участке геологической среды.

Механоэлектрические методы хорошо зарекомендовали себя в задачах оконтуривания и определения границ горных пород с различными электрическими и механическими свойствами, а также при выделении карстовых нарушений.

Разрешающая способность резистивно-акустического метода определяется системой зондирования, а также условием соизмеримости глубины зондирования с размерами искомого объекта.

По своей сути применение резистивно-акустического метода аналогично использованию многополюсных электролокационных установок. Они позволяют создать в точке наблюдения эллиптически поляризованное электрическое поле, вследствие того, что источники территориально разнесены и имеют изначально различные параметры зондирующих сигналов. Следует отметить важное свойство, характерное для многополюсных установок – это возможность балансировки результирующего поля в точке наблюдения, что позволяет размещать установку около объекта контроля утечек. При этом балансировки можно добиться за счет управления зондирующими сигналами с целью задания амплитудно-фазовых соотношений между этими сигналами. Это позволяет устранить влияние искажений мультипликативного типа

на фазовые характеристики регистрируемого поля и обеспечить более высокую чувствительность измерительной системы [5-9].

Заключение

Таким образом, используя резистивно – акустический метод при обнаружении и мониторинге разливов нефтепродукта для создания систем раннего предупреждения техногенных нефтешламовых проливов на объектах ТЭК, является актуальным научно-техническим направлением в рамках рационального природопользования. Кроме того, это позволит автоматизировать технологические процессы рекультивации зон нефтешламовых проливов за счет адаптивного управления переработкой нефтешлама по выделению контура нефтешламовых линз и оценки объемов нефтепродуктов в них.

Литература

1. Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды и природных ресурсов РСО-Алания в 2005 году. Владикавказ, 2006.
2. Быков А.А., Кузичкин О.Р. Геодинамический контроль раздела двух сред на основе сейсмoeлектрического эффекта. Южно-Сибирский научный вестник. – 2013. – № 2. – С. 61–63. – Режим доступа: http://s-sibsb.ru/images/articles/2013/2/14_61-63.pdf
3. Талалов А.Д., Даев Д.С. О структурном механизме частотной дисперсии электрических свойств гетерогенных горных пород. Физика Земли, № 8, 1996, с. 56 – 66.
4. Хмелевский В.К., Шевнин В.А. Электроразведка методом сопротивлений. Учеб. пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1994.
5. Хаустов А.П., Редина М.М. Ресурсология и менеджмент природных ресурсов: Учеб. пособие. – М.: Изд-во РУДН, 2008.
6. Еременко В.Т., Кузичкин О.Р., Быков А.А. Контроль образования техногенных нефтешламовых линз на основе резистивно-акустического метода. // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2014. № 6 (308). С. 169-176. [http://oreluniver.ru/public/file/archive/ZHurnal_66.pdf].
7. Кузичкин О.Р., Финогенов С.А. Принципы построения автоматизированных систем геодинамического контроля на основе электромагнитных методов зондирования. // Проектирование и технология электронных средств. №1. 2010. стр. 38-42. [<http://elibrary.ru/item.asp?id=20191148>].
8. Быков А.А., Кузичкин О.Р. Применение сейсмoeлектрического метода при геодинамическом контроле в природно-технических системах. Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2013. - №2(16). – С.22-28.
9. Быков А. А., Кузичкин О. Р. Применение сейсмoeлектрического метода для проверки токопроводящих сред. // Прикладная механика и материалы. Вып. 490-491, 2013. с. 1712-1716.