

ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТАМИ ПО ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ ГРУНТОВ

С.М. ПРОСТОВ, профессор, д.т.н. (КузГТУ)

М.В. ГУЦАЛ, доцент, к.т.н. (КузГТУ)

Е.А. ШАБАНОВ, ст. преподаватель (КузГТУ)

г. Кемерово

Аннотация. Представлены теоретические предпосылки и алгоритмы программных комплексов для оценки содержания нефтепродуктов по данным электрофизических измерений в точке, по профилю и в объеме грунта.

Ключевые слова: нефтепродукт, удельное электрическое сопротивление, структурные параметры грунтов, коэффициент загрязнения

Загрязнение грунтов продуктами нефтепереработки в результате техногенной деятельности человека представляет собой серьезную экологическую угрозу. Усиление техногенного воздействия на природную среду предопределяет необходимость проведения исследований, направленных на выявление условий безопасного функционирования как естественных, так и создаваемых в ходе промышленной деятельности человека экосистем.

Развитие промышленного сектора в Кузбассе обуславливает увеличение объемов образования загрязняющих веществ [3]. В основном в Кемеровской области промышленность направлена на добычу и первичную переработку минерального сырья и, в частности, угля. В данный момент времени в угольной промышленности Кузбасса действуют 62 шахты, 57 разрезов и 49 обогатительных фабрик и установок, производственная мощность которых по добыче угля составляет более 250 млн. тонн в год, а по переработке – более 160 млн. тонн [6]. Каждое из этих предприятий в той или иной мере способствует загрязнению окружающей среды.

К наиболее значимым источникам загрязнения грунтов можно отнести топливо- и маслозаправочные пункты, а также склады горюче-смазочных материалов. Так, по данным маркшейдерского отдела, на Кедровском угольном разрезе зафиксировано более 10 подобных объектов. Визуальный мониторинг участков стационарных и передвижных АЗС показал наличие загрязнений, что вероятнее связано с протечками неисправных заправочных систем, либо с недлежащим обращением обслуживающего персонала с техникой. Вместе с тем по мере продвижения горных работ передвижные пункты АЗС изменяют свое местоположение, что способствует возможному загрязнению нефтепродуктами участков площадью до 10 тыс. м².

Для обоснования наиболее эффективных параметров технологии очистки грунта от загрязнителя необходимо проводить оценку начального и остаточного загрязнения. Существующие методики оценки содержания загрязняющего вещества в грунте связаны с высокой трудоемкостью, со значительными потерями времени, отводимого на подготовку и лабораторные испытания образцов грунта. В данной работе предложена методика количественной оценки содер-

жания нефтепродуктов по измеряемому удельному электрическому сопротивлению (УЭС) загрязненного грунта.

Физическая основа метода контроля заключается в том, что применяемые в автомобильном и железнодорожном транспорте нефтепродукты (масла, дизельное топливо, бензин) имеют ярко выраженные диэлектрические свойства. УЭС этих жидкостей изменяется в диапазоне $\rho = 10^{10} - 10^{12}$ Ом·м. Вместе с тем для природных минеральных растворов этот диапазон составляет $\rho = 0,1 - 100$ Ом·м [1].

Эффективное УЭС влагонасыщенной горной породы, представляющей трехфазную среду, определяется посредством классической эмпирической зависимости [2]

$$\rho_k = \frac{\alpha \kappa_n}{m^\beta W^\gamma} \rho_e, \quad (1)$$

где m – пористость (поровая пустотность); W – коэффициент влагонасыщения пространства пор и трещин; ρ_e – УЭС заполняющего поровое пространство раствора, Ом·м; κ_n , α , β , γ – эмпирические параметры, которые зависят от структурно-текстурных особенностей грунтов; κ_n – параметр, учитывающий поверхностную проводимость глинистого микрослоя на поверхности пор; α – параметр, зависящий от типа геологического отложения; β – параметр, определяемый в основном извилистостью поровых каналов; γ – параметр, зависящий от смачиваемости раствором поверхности пор.

Для угленосных и углевмещающих отложений одного типа величина параметров κ_n и α может быть принята равной 1 [4]. Параметр β зависит от структуры порового пространства и для уплотненных несвязанных грунтов изменяется в диапазоне $\beta = 1,3 - 2,2$; параметр γ определяется степенью смачиваемости поверхности твердой фазы и изменяется в диапазоне $\gamma = 1,8 - 3,5$.

Значения параметров β и γ получены путем обратных расчетов с использованием банка экспериментальных данных геоконтроля увлажненных пород диапазонов ρ_k / ρ_e , а также усредненных значений физико-технических параметров \bar{m} и \bar{W} для основных видов глинистых грунтов Кузбасса [8]. Результаты представлены в табл. 1.

С целью получения данных об электрофизических свойствах природных водных растворов и содержащих загрязняющие вещества жидкостей, насыщающих грунты, проведены лабораторные экспериментальные исследования электрических свойств растворов электролитов, в том числе содержащих нефтепродукты, с измерением на постоянном и переменном электрическом токе [1].

Оценка содержания загрязнителя в поровой жидкости проведена с использованием теоретической зависимости логарифмического средневзвешенного для двухкомпонентной среды, что позволило с большой достоверностью рассчитать искомую величину [5]:

$$\lg \rho_B = V_H \lg \rho_H + V_\Theta \lg \rho_\Theta, \quad (2)$$

где ρ_B , ρ_H , $\rho_{\mathcal{E}}$ - УЭС средневзвешенного, нефтепродукта и электролита соответственно, Ом·м; V_H , $V_{\mathcal{E}}$ – объем в растворе соответственно нефтепродукта и электролита.

Таблица 1. Прогнозные значения структурных параметров β и γ

Вид грунта	Параметр β									
	Супеси ($\frac{\bar{m}}{W} = 0,314$; $\bar{W} = 0,187$)			Суглинки ($\frac{\bar{m}}{W} = 0,296$; $\bar{W} = 0,227$)			Глины ($\frac{\bar{m}}{W} = 0,324$; $\bar{W} = 0,189$)			
Параметр γ	1,8	2,2	2,6	1,8	2,2	2,6	1,8	2,2	2,6	
$\left(\frac{\rho_k}{\rho_e}\right)$	10,0	0,59	1,15	1,72	0,30	0,79	1,27	0,62	1,21	1,80
	5,0	1,18	1,74	2,32	0,87	1,36	1,84	1,23	1,82	2,41
	2,0	1,96	2,51	3,13	1,62	2,11	2,60	2,05	2,64	3,23
	1,5	2,20	2,77	3,34	1,69	2,35	2,83	2,30	2,89	3,84
	1,2	2,40	2,95	3,53	2,04	2,53	3,02	2,50	3,09	4,46

Путем преобразования зависимостей (1) и (2) можно получить величину коэффициента загрязнения грунта, который по сути является отношением объема содержащегося в порах грунта нефтепродукта к общему объему поровой жидкости:

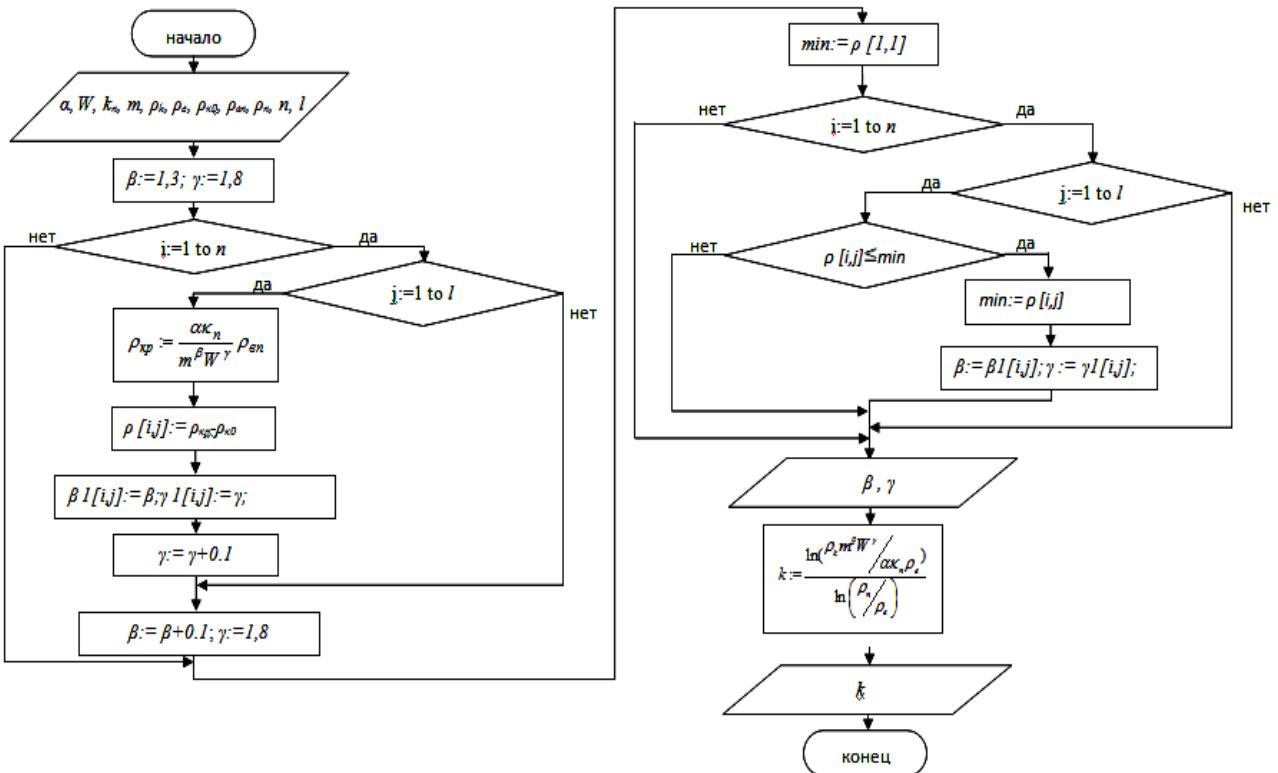
$$k = \frac{V_H}{V_H + V_{\mathcal{E}}} = \frac{\ln(\rho_k m^{\beta} W^{\gamma} / \alpha \kappa_n \rho_e)}{\ln(\rho_n / \rho_e)} \quad (3)$$

В работе [7] представлены результаты опытной апробации изложенной методики оценки содержания загрязнителя в грунте. В ходе исследования проведен ряд лабораторных экспериментов с целью изучения электрофизических свойств загрязняющих веществ и загрязненных грунтов.

Представленные зависимости позволяют оценивать степень загрязнения грунта нефтепродуктами по результатам единичных замеров, профильных и площадных электрических зондирований с использованием циклических алгоритмов, которые реализованы в комплексе программ, созданных в программном продукте Lazarus (среда Free Pascal).

Алгоритм (блок-схема) расчета локального показателя загрязнения грунта представлен на рис. 1.

Алгоритм можно условно разбить на несколько блоков. Первый блок отвечает за определение оптимальных значений структурных параметров β и γ , при которых значения, полученные расчетным путем, минимально отличаются от экспериментальных. При расчете использована зависимость (1), с учетом измеренного УЭС пробы жидкости ρ_{en} , справочных данных и результатов предварительного эксперимента. Второй блок отвечает за расчет степени загрязнения грунта k , с использованием зависимости (2) и полученных значений β и γ .



*Рис. 1. Блок-схема расчета коэффициента загрязнения грунта нефтепродуктами:
 ρ_e , ρ_{k0} , ρ_n – УЭС соответственно электролита, грунта вне загрязненной зоны, нефтепродукта, $\text{Ом}\cdot\text{м}$; n и l – задаваемое количество циклов поиска оптимальных значений β и γ ; k – коэффициент загрязнения грунта*

Для усредненной оценки степени загрязнения грунта по профилю (сечению) или объему целесообразно использовать интегральный показатель, включающий банк локальных значений k_i и площадей S_i (объемов V_i) загрязненных зон:

$$I_p = \frac{\sum k_i \cdot S_i}{S}, \quad I_z = \frac{\sum k_i \cdot V_i}{V} \quad (4)$$

Блок-схема расчета интегральных показателей I_p , I_z представлена на рис. 2.

Предложенная методика позволяет:

- дать оперативную оценку степени содержания в грунте нефти и нефтепродуктов;
 - определить оптимальные параметры технологии очистки грунтов, загрязненных нефтью или нефтепродуктами, и дать рекомендации для принятия решений по дальнейшему восстановлению природной среды.

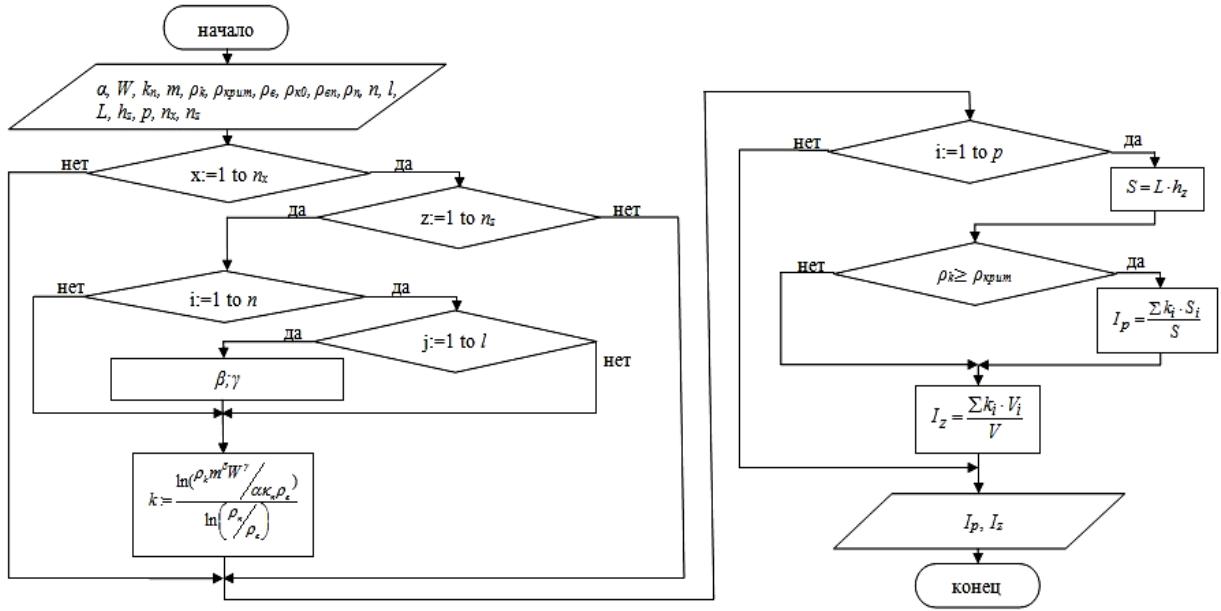


Рис. 2. Блок-схема расчета интегрального показателя загрязнения грунта нефтепродуктами по профилю I_p и по объему I_z

L - длина профиля, м; h_z - глубина зондирования, м; S - площадь загрязнения по контрольному профилю, $S=L \cdot h_z$, м²; p - количество профилей измерений; $\rho_{\text{крит}}$ - критическое значение УЭС по профилю на границе загрязненной зоны, Ом·м; n_x - количество точек замера по длине профиля; n_z - количество точек замера по глубине профиля

Список литературы

1. Physical basis of controlled electrochemical cleaning soils from petroleum / Sergey M. Prostov, Maxim V. Gucal, Evgeniy A. Shabanov// Proceedings of the Taishan Academic Forum – Project on Mine Disaster Prevention and Control / Atlantis Press. – 2014. – p. 433-441.
2. Дахнов, В. Н. Электрические и магнитные методы исследования скважин. – М.: Недра, 1981. – 344 с.
3. Из предварительного отчета о состоянии окружающей среды Кемеровской области за 2004 год // ЭКО-бюллетень ИпЭКА. - №3 (110). - 2005. - С. 12-13.
4. Кобранова, В. Н. Физические свойства горных пород. – М.: Гос. науч.-техн. изд-во нефтяной и горно-топливной лит., 1962. – 490 с.
5. Ржевский, В. В. Основы физики горных пород: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. / В. В. Ржевский, Г. Я. Новик. – Москва.: Недра, 1984. – 359 с.
6. Хорошилова, Л. С. Геоэкологическое состояние угледобывающих регионов Кузбасса. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2007. – 135 с.
7. Шабанов Е.А. Исследование физических свойств грунтов при электроосмотической обработке / Е.А. Шабанов, С.М. Простов, М.В. Гуцал // Вестник КузГТУ. - 2015. - №1. - С. 3-6.
8. Штумпф, Г. Г. Физико-технические свойства горных пород и углей Кузнецкого бассейна / Г. Г. Штумпф, Ю. А. Рыжков, В. А. Шаламанов, А. И. Петров. – М.: Недра, 1994. – 447 с.