

**ГОРНОПРОМЫШЛЕННАЯ И НЕФТЕГАЗОВАЯ ГЕОЛОГИЯ,
ГЕОФИЗИКА, МАРКШЕЙДЕРСКОЕ ДЕЛО И ГЕОМЕТРИЯ НЕДР**

УДК 504.064.2:550.837.31

Е. А. Шабанов, С. М. Простов, М. В. Гуцал

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ
ПРИ ЭЛЕКТРООСМОТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ**

Промышленное производство сопровождается загрязнением грунтов, при этом в качестве загрязнителей выступают нефть и нефтепродукты, тяжелые металлы, цианиды, хлорорганические соединения, радионуклиды. Одной из отраслей, активно способствующей загрязнению грунтов, является горнодобывающая промышленность.

Электрохимический метод очистки грунтов от промышленных загрязнителей потенциально перспективен, поскольку обеспечивает возможность применения в грунтовых массивах с низкой фильтрационной способностью непосредственно на месте загрязнения без выемки и перемещения грунта [1]. Поскольку происходящие при электро-

обработке массива физико-химические процессы весьма сложны, динамичны в пространстве и во времени, актуальной представляется проблема развития контролируемых методов очистки грунта от загрязнителя. Контроль изменения свойств обрабатываемой зоны позволяет своевременно корректировать технологический режим и оптимизировать затраты [2]. Необходима разработка производительных и малотрудоемких способов геоконтроля, обеспечивающих определение геометрических параметров и обоснование оптимальных технологических режимов обработки зоны очистки. В значительной мере решению данных задач способствует развитие способов геоэлектрическо-

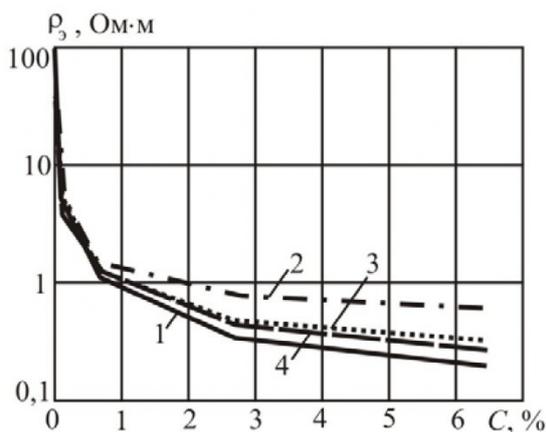


Рис. 1. Зависимость УЭС раствора ρ_3 от концентрации соли C в растворе:
1 – постоянный ток; 2 – переменный ток, $f = 10$ Гц; 3 – 200 Гц; 4 – 1000 Гц

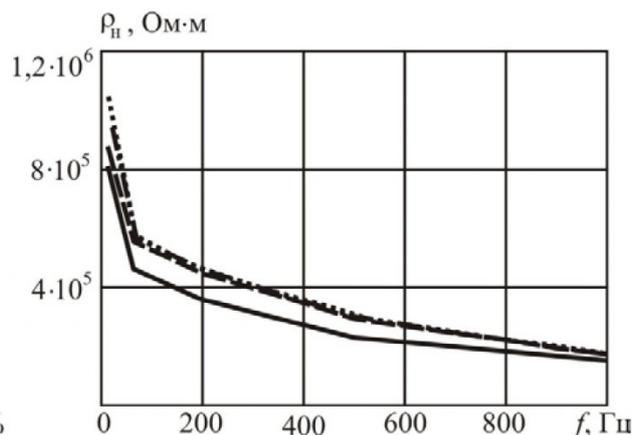


Рис. 2. Зависимость УЭС ρ_n нефтепродуктов от частоты переменного тока:
..... – моторное масло G-Energy F Synth 0W-40;
--- – моторное масло Mobil Synt S 5W-40;
- - - – моторное масло Shell Helix Ultra (отработанное);
-.. – моторное масло Shell Helix Ultra;
— – бензин Au-92

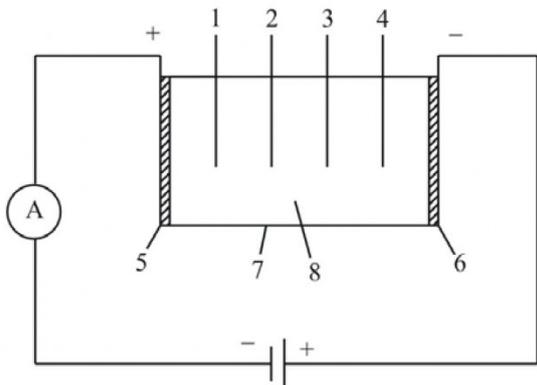


Рис. 3. Схема экспериментальной установки:
1–4 – четырехэлектродные датчики-зонды №1–4; 5 – положительный электрод (анод); 6 – отрицательный электрод (катод); 7 – полиэтиленовая труба $\varnothing 160$ мм; 8 – обрабатываемый загрязненный грунт

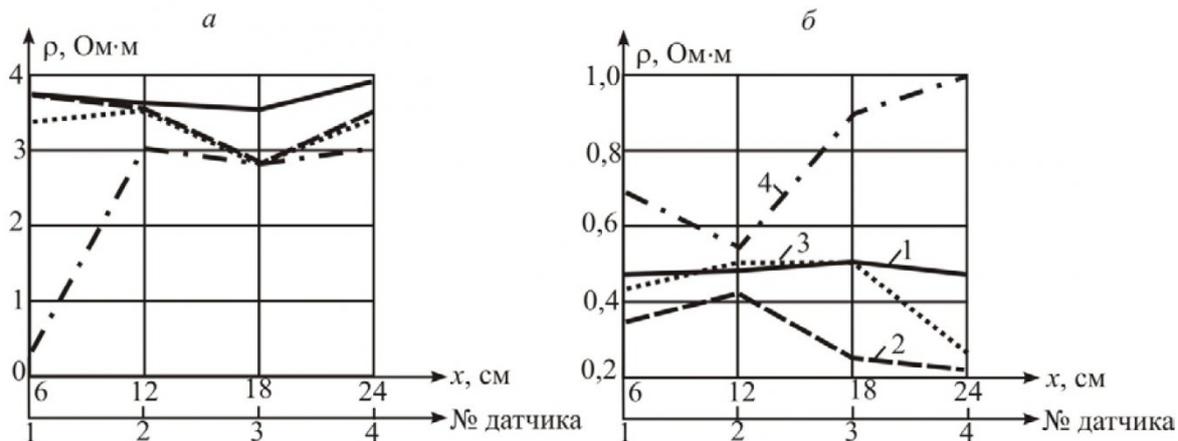


Рис. 4. Изменение УЭС чистого грунта (а) и загрязненного маслом SHELL HELIX (б) с добавлением раствора NaCl при электрохимической обработке: 1 – начало обработки; 2 – через 1 сут; 3 – 2 сут; 4 – 6 сут

го контроля, основанных на связи параметров электрических полей с физическими свойствами и вещественным составом грунтов.

Для математического и физического моделирования процессов электрохимической обработки загрязненных грунтов необходимы сведения о электрофизических и электрохимических свойствах природных водных растворов и жидкостей, содержащих загрязняющие вещества, насыщающих грунты. Проведены лабораторные экспериментальные исследования электрических свойств растворов электролитов, содержащих нефтепродукты, с измерением на постоянном и переменном

электрическом токе. На рис. 1 представлены результаты измерений удельного электросопротивления (УЭС) ρ_s раствора NaCl в зависимости от концентрации соли в растворе и частоты переменного тока, а на рис. 2 – аналогичные зависимости УЭС ρ_n автомобильных масел и бензина.

Из приведенных результатов следует, что все нефтепродукты проявляют свойства диэлектриков, они электрически весьма контрастны, т.к. их УЭС не менее чем на 3 порядка превышает УЭС природных водных растворов.

Для изучения закономерностей изменения физических свойств грунтов при электроосмотиче-

Таблица 1. Изменение физических параметров в результате электрообработки

Рис., № датчика	Характеристики (до/после обработки)		
	Влажность, %	Плотность во влажном состоянии, г/см ³	Плотность в сухом состоянии, г/см ³
Рис. 5, а, № 1	54/15	2,33/1,72	1,51/1,49
Рис. 5, б, № 1	17,3/12,2	1,80/1,66	1,53/1,48
Рис. 5, в, № 1	15,9/9,3	1,81/1,61	1,56/1,47
Рис. 5, г, № 1	19/16	1,81/1,74	1,52/1,50
Рис. 5, д, № 1	20/13	1,87/1,66	1,56/1,47
Рис. 5, а, № 4	54/52	2,33/2,3	1,51/1,51
Рис. 5, б, № 4	17,3/16,0	1,80/1,74	1,53/1,5
Рис. 5, в, № 4	15,9/7,5	1,81/1,62	1,56/1,51

Таблица 2. Изменение гранулометрического состава грунта в результате электрообработки

Рис., № датчика	Содержание фракций (в мм), % (до/после обработки)				
	2	0,5	0,25	0,1	< 0,1
Рис. 5, а, № 1	0,9/3,6	22,3/30,4	12,2/14,6	14/30,6	50,6/20,75
Рис. 5, б, № 1	1,2/4,0	19,3/32,3	13,5/16,8	16,6/25,4	49,4/21,5
Рис. 5, в, № 1	2,0/2,1	17,6/21,2	15,5/22,3	18,8/28,9	46,1/25,5
Рис. 5, г, № 1	1,4/2,0	19,8/31,1	13,9/15,7	16,1/28,8	48,8/22,4
Рис. 5, д, № 1	2,5/2,8	18,9/22,3	15,5/23,2	19,8/27,8	43,3/23,9
Рис. 5, б, № 4	1,2/1,5	19,3/20,1	13,5/14,0	16,6/17,0	49,4/47,6
Рис. 5, в, № 4	2,0/4,0	17,6/20,1	15,5/20,8	18,8/23,6	46,1/31,5

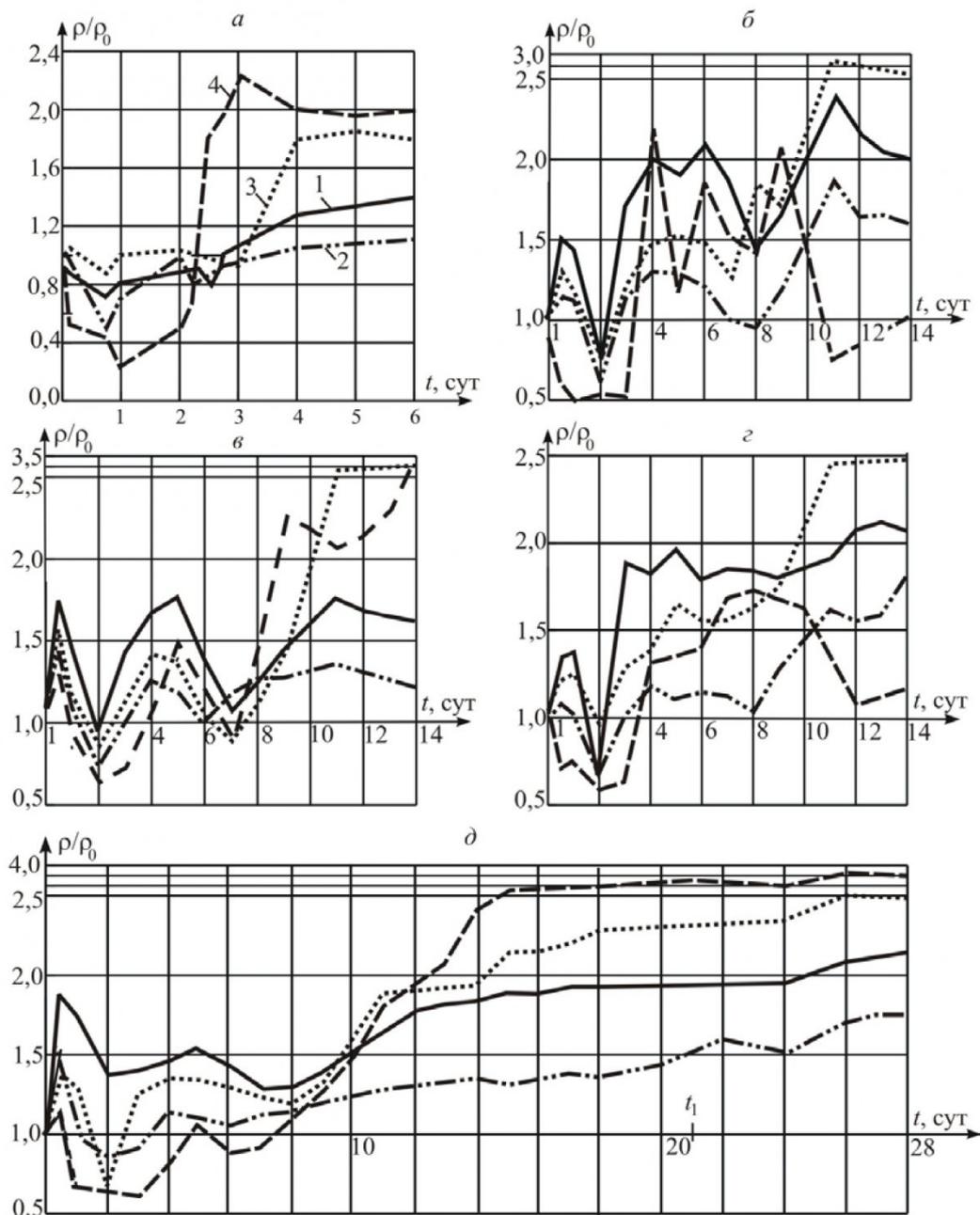


Рис. 5. Графики изменения относительного УЭС массива при электрохимической очистке от загрязнения маслом Shell Helix Ultra, 100 г (а); бензином, 100 г (б); маслом Shell Helix Ultra отработанным, 100 г (в); дизельным топливом, 100 г (г); мазутом, 100 г (д): 1 – четырехэлектродный датчик-зонд № 1; 2 – № 2; 3 – № 3; 4 – № 4; t_1 – момент прекращения обработки

ской очистке в лаборатории КузГТУ были проведены исследования на экспериментальной установке, схема которой представлена на рис. 3.

Физическая модель представляла собой участок зоны электрохимической очистки цилиндрической формы с расстоянием между электродами в горизонтальном направлении, близким к реальному. В качестве исследуемой среды применялся уплотненный суглинок, смешанный с помощью миксера с нефтепродуктом.

Установка представляла собой трубу из не-

проводящего материала (полиэтилена), наружный диаметр трубы 160 мм, внутренний диаметр 140 мм. К торцам трубы прикреплены пластины из оцинкованной стали толщиной 0,7 мм, пластины подрезаны по сечению трубы. В нижней части трубы вблизи электродов 5, 6 предусмотрены дренажные отверстия. В грунт перед загрузкой для повышения плотности тока было добавлено 800 г воды, 8 г соли поваренной NaCl (1 %) и загрязнитель.

Методика эксперимента включала измерение

УЭС загрязненного грунта с помощью датчиков-зондов, изготовленных из четырехжильного медного кабеля. Датчики-микрозонды с расстоянием между контактами $AM = MN = NB = 10$ мм погружены в грунт через отверстия в трубе на глубину 70 мм. Измерительным прибором является каротажный прибор КП-2, реализующий измерения УЭС на постоянном токе в импульсном режиме с автоматической компенсацией поляризации, разработанный в КузГТУ. Остальные электрические характеристики грунта и установки измерены электронным мультиметром МУ64. Электрическое поле в модели создавалось стабилизированным блоком питания с напряжением 12–16 В.

Физико-механические характеристики грунта определены с помощью следующих приборов и принадлежностей полевой лаборатории ПЛЛ-2: набор бюкс для определения влажности, весы электронные, духовой шкаф, набор сит.

Основными задачами экспериментальных исследований были следующие:

- установление влияния нагревания массива электрическим током на разложение органических веществ;
- изучение физических параметров очищаемого массива;
- исследование процессов электрокоагуляции, способствующих переходу нефтепродуктов в твердое состояние.

На рис. 4 приведены результаты измерений УЭС ρ обрабатываемого грунта в зависимости от координаты x расположения датчиков-зондов в установке с течением времени.

Из графиков на рис. 4 следует, что физические процессы при электрообработке в течение 6 сут чистого и загрязненного маслом грунта принципиально отличаются: у чистого грунта происходит электроосмотическое перемещение влаги в область анода; в загрязненном грунте зафиксировано движение жидкости в обоих направлениях, причем нефтепродукты по порам перемещаются в сторону катода. Через дренажные отверстия наблюдались выделения накопленной жидкости: у анода с незначительными следами нефтепродуктов, у катода – с их заметным содержанием.

На рис. 5 представлены результаты контроля

относительного изменения УЭС ρ/ρ_0 по продольной оси трубы в ходе процессов электрообработки грунта и после его прекращения.

Изменения основных физических параметров грунта в районе датчиков № 1 и № 4 (в зонах основного электроосмоса) приведены в табл. 1, а изменения гранулометрического состава в табл. 2.

Анализ полученных графиков позволил сделать следующие выводы:

- УЭС природных жидкостей и нефтесодержащих загрязнителей, насыщающих грунты, электрически контрастны и отличаются на несколько порядков в сторону загрязнителя, что позволяет с достаточной информативностью определить геометрические параметры зоны загрязненных грунтов и степень загрязнения;
- при нагревании в процессе пропускания тока и воздействия на нефтепродукты в порах грунта они переходят в твердое связанное состояние, что приводит к увеличению УЭС грунта на всем протяжении зоны обработки при $t > 3$ сут;
- в результате электролитического воздействия постоянного тока на загрязненный массив происходит образование твердых частиц и слипание этих частиц, что приводит к изменению гранулометрического состава глинистого грунта в сторону увеличения содержания более крупных фракций;
- в приэлектродных зонах вследствие дренирования накопленной влаги влажность снижается, а увеличение процентного содержания крупных фракций приводит к снижению плотности грунта как во влажном, так и в сухом состоянии;
- с момента начала процесса коагуляции нефтепродуктов при $t > 3$ сут процесс увеличения УЭС происходит относительно монотонно как в приэлектродных, так и в центральной переходной области при обработке грунтов, смешанных с вязкими тяжелыми жидкостями (масла, мазут); для легких фракций (бензин, дизельное топливо) характерно снижение УЭС в прикатодной зоне.

Дальнейшие этапы исследований связаны с дополнительным воздействием при обработке загрязненного грунта жидкостями – химическими нейтрализаторами нефтепродуктов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Королев, В. А. Очистка грунтов от загрязнений. – М.: МАИК «Наука/Интерпериодика», 2001. – 365 с.
2. Простов, С. М. Электрохимическое закрепление грунтов / С. М. Простов, А. В. Покатилов, Д. И. Рудковский; РАЕН. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2011. – 294 с.

Авторы статьи

Шабанов Евгений Анатольевич
аспирант, т. 89505843782

Простов Сергей Михайлович
д.т.н., профессор каф. теоретической и геотехнической механики КузГТУ, e-mail: psm.kem@mail.ru,

Гуцал Максим Владимирович
к.т.н., доцент каф. теоретической и геотехнической механики КузГТУ, т. 89039164789

Поступило в редакцию 28.12.2014