

УДК 624.131.4:502.55

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ ПРИ ЭЛЕКТРООСМОТИЧЕСКОЙ ОЧИСТКЕ ОТ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЙ

Е.А. Шабанов, аспирант

Научный руководитель: С.М. Простов, д.т.н., профессор  
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово

Для изучения закономерностей изменения физических свойств грунтов при электроосмотической очистке от нефтезагрязнений в лаборатории КузГТУ были проведены исследования на экспериментальной установке, схема которой представлена на рис. 1.

Физическая модель представляла собой участок зоны электрохимической очистки цилиндрической формы с расстоянием между электродами в горизонтальном направлении, близким к реальному  $l = 0,3\text{ м}$ . В качестве исследуемой среды применялся уплотненный суглинок, смешанный с помощью миксера с нефтепродуктом.

Емкость для помещения грунта представляла собой трубу из непроводящего материала (полиэтилена), наружный диаметр трубы 160 мм, внутренний 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 11. В грунт перед загрузкой для повышения плотности тока было добавлено 800 г воды, 8 г соли поваренной  $\text{NaCl}$  (1 %).

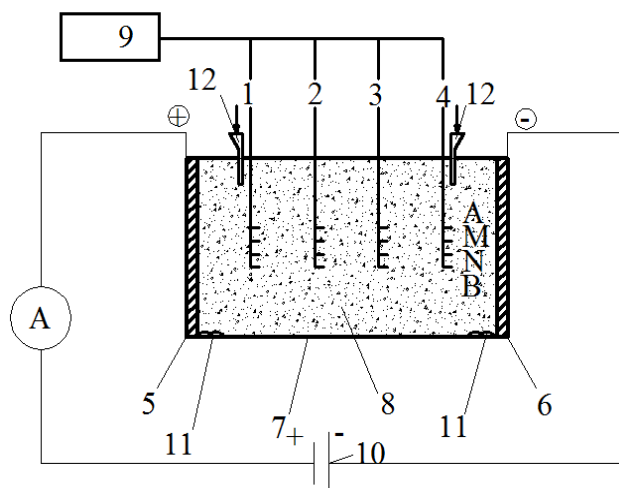


Рис. 1. Схема экспериментальной установки:

1–4 – четырехэлектродные датчики-зонды №1–4; 5 – положительный электрод (анод); 6 – отрицательный электрод (катод); 7 – полиэтиленовая труба  $\varnothing 160\text{ мм}$ ; 8 – обрабатываемый загрязненный грунт; 9 – каротажный прибор КП-2; 10 – источник постоянного напряжения  $U=16\text{ В}$ ; 11 – дренажные отверстия; А, М, N, В – медные микроэлектроды; 12 – отверстия для подачи Гексана

Методика эксперимента включала измерение удельного электросопротивления (УЭС) загрязненного грунта с помощью датчиков-зондов, изготовленных из четырехжильного медного кабеля. Датчики-микрозонды с расстоянием между контактами  $AM = MN = NB = 10\text{ мм}$  погружены в грунт через отверстия в трубе на глубину 70 мм. Измерительным прибором является каро-

тажный 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  $U = 12-16$  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. 2 приведены результаты измерений УЭС  $\rho$  обрабатываемого грунта в зависимости от координаты  $x$  расположения датчиков-зондов в установке с течением времени.

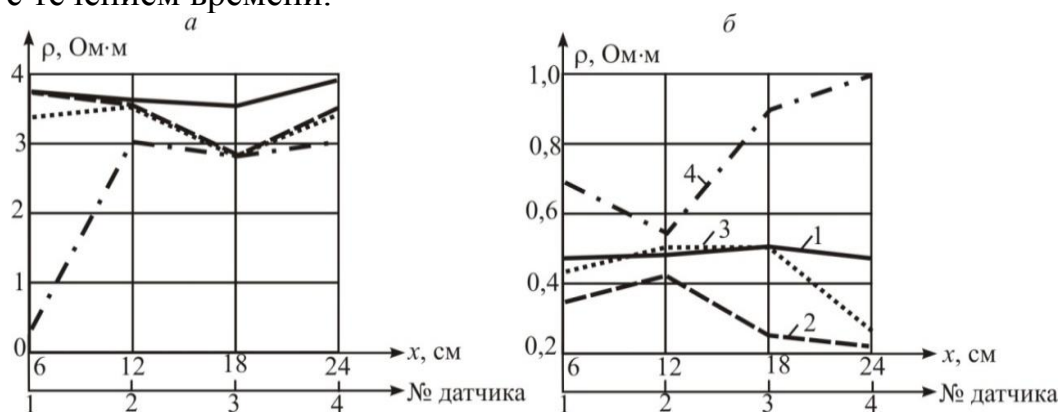


Рис. 2. Изменение УЭС чистого грунта (а) и загрязненного маслом SHELL HELIX (б) с добавлением раствора NaCl при электрохимической обработке: 1 – начало обработки; 2 – через 1 сут; 3 – 2 сут; 4 – 6 сут

Из графиков на рис. 2 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. 3 представлены результаты контроля относительного изменения УЭС  $\rho/\rho_0$  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.

Описанные выше эксперименты характеризуют электротермическое

воздействие обработки на грунтовый массив без растворения густых фракций нефтепродуктов. Проведен опыт с разжижением нефтезагрязнителя. В установку был загружен суглинок, перемешанный с водой (800г), маслом (170г) и поваренной солью (12г). В ходе эксперимента производилась обработка загрязненного грунта постоянным электрическим током и промывка грунта растворителем нефтепродуктов Гексан-н.

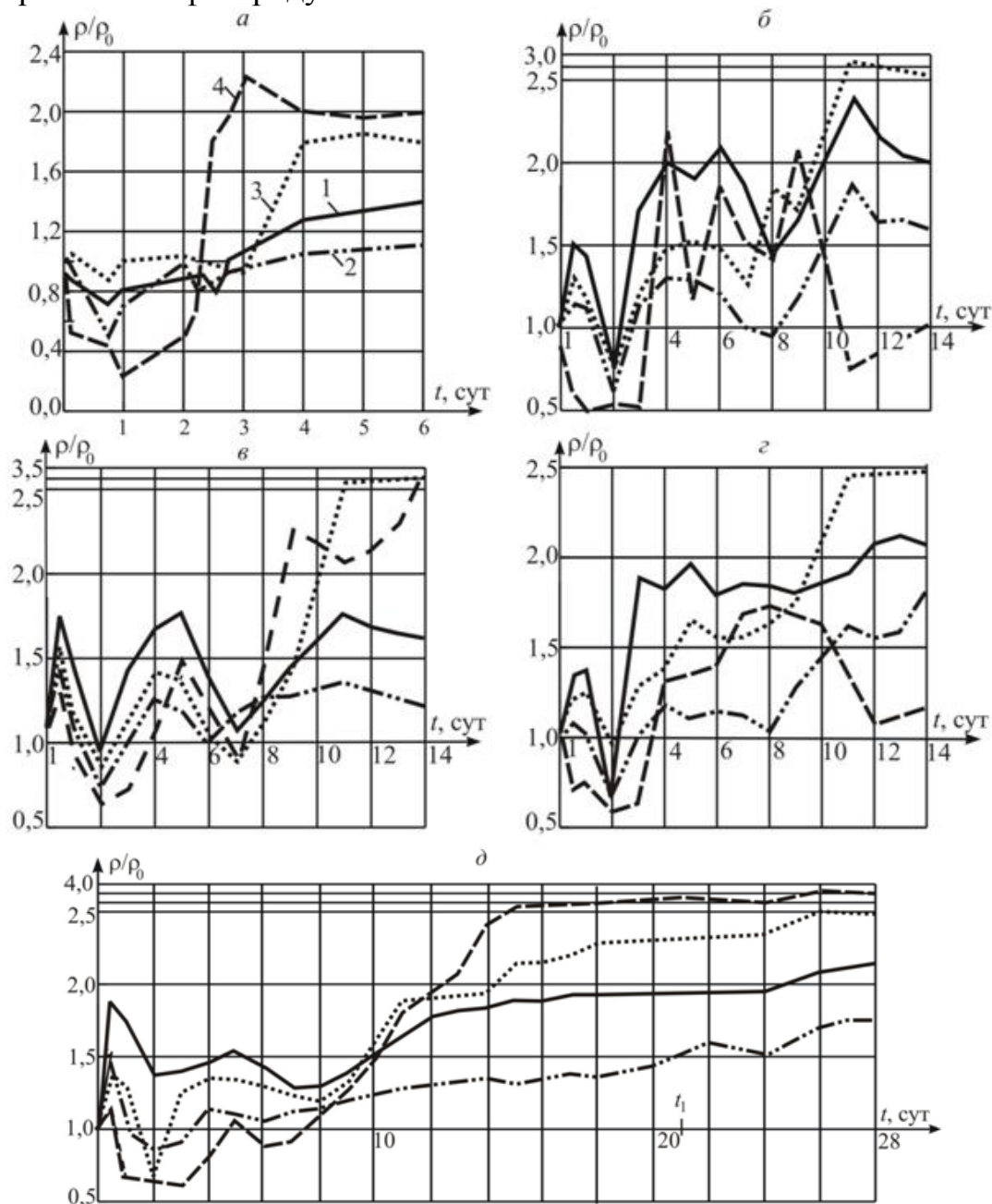


Рис. 3. Графики изменения относительного УЭС массива при электрохимической очистке от загрязнения маслом *Shell Helix Ultra* (а); бензином (б); маслом *Shell Helix Ultra* отработанным (в); дизельным топливом (г); мазутом (д) (объем загрязнителя  $V=100\text{г}$ ): 1 – четырехэлектродный датчик-зонд № 1; 2 – № 2; 3 – № 3; 4 – № 4;  $t_1$  – момент прекращения обработки

Промывающая жидкость подавалась в отверстие в трубе около датчика №1 в момент  $t_1 = 64$  ч от начала эксперимента в объеме 100 мл (70г). Также промывающая жидкость подавалась около датчика №4 в момент  $t_2 = 136$  ч от

начала эксперимента в объеме 100мл (70г). За время эксперимента под отрицательным электродом скапливалась жидкость, по свойствам близкая к свойствам воды, скопление происходило равномерно в ходе всего эксперимента, объем жидкости 150 мл.

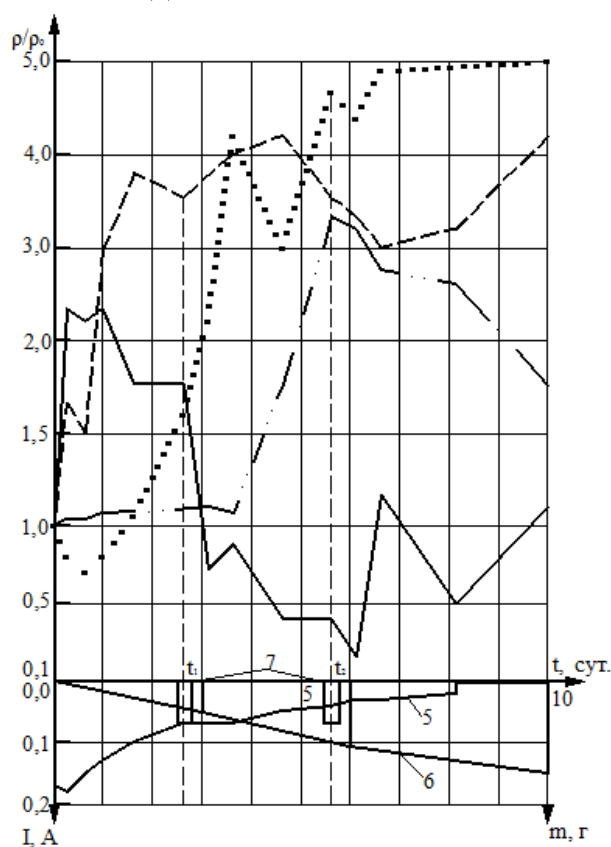


Рис. 4. Графики изменения относительного УЭС массива, силы тока  $I$  и массы  $m$  подаваемой промывающей жидкости при электрохимической очистке от загрязнения маслом *Shell Helix Ultra*, (170 г) промывкой растворителем Гексан-н:

1 – четырехэлектродный датчик-зонд № 1; 2 – № 2; 3 – № 3; 4 – № 4; 5 – сила тока  $I$ ; 6 – масса воды, скопившейся под отрицательным электродом; 7 – количество поданной промывающей жидкости;  $t_1$ ,  $t_2$  – моменты введения растворителя.

При подаче Гексана на датчик №1, жидкость распространялась в массив, при этом не стекала под электроды. При подаче на датчик №4 Гексана, он стекал под отрицательный электрод, суммарный объем жидкости составил 20 мл (14гр).

Из графиков изменения относительного УЭС (рис.4) следует, что в зоне разжижения и растворения нефтепродукта происходят снижение величины УЭС.

Таблица 1

Изменение физических параметров в результате электрообработки

Рис., № датчика	Характеристики (до/после обработки)		
	Влажность, %	Плотность во влажном состоянии, г/см <sup>3</sup>	Плотность в сухом состоянии, г/см <sup>3</sup>
Рис. 6, а, № 1	54/15	2,33/1,72	1,51/1,49
Рис. 6, б, № 1	17,3/12,2	1,80/1,66	1,53/1,48
Рис. 6, в, № 1	15,9/9,3	1,81/1,61	1,56/1,47
Рис. 6, г, № 1	19/16	1,81/1,74	1,52/1,50
Рис. 6, д, № 1	20/13	1,87/1,66	1,56/1,47
Рис. 6, а, № 4	54/52	2,33/2,3	1,51/1,51
Рис. 6, б, № 4	17,3/16,0	1,80/1,74	1,53/1,5
Рис. 6, в, № 4	15,9/7,5	1,81/1,62	1,56/1,51
Рис. 7, №1	33/18	2,04/1,92	1,53/1,63
Рис. 7, №4	33/14,3	2,04/1,64	1,53/1,43

Таблица 2

Изменение гранулометрического состава грунта в результате электро-обработки

Рис., № датчика	Содержание фракций (в мм), % (до/после обработки)				
	2	0,5	0,25	0,1	< 0,1
Рис. 6, а, № 1	0,9/3,6	22,3/30,4	12,2/14,6	14/30,6	50,6/20,75
Рис. 6, б, № 1	1,2/4,0	19,3/32,3	13,5/16,8	16,6/25,4	49,4/21,5
Рис. 6, в, № 1	2,0/2,1	17,6/21,2	15,5/22,3	18,8/28,9	46,1/25,5
Рис. 6, г, № 1	1,4/2,0	19,8/31,1	13,9/15,7	16,1/28,8	48,8/22,4
Рис. 6, д, № 1	2,5/2,8	18,9/22,3	15,5/23,2	19,8/27,8	43,3/23,9
Рис. 6, б, № 4	1,2/1,5	19,3/20,1	13,5/14,0	16,6/17,0	49,4/47,6
Рис. 6, в, № 4	2,0/4,0	17,6/20,1	15,5/20,8	18,8/23,6	46,1/31,5
Рис. 7, №1	7,7/10,6	33,4/40,3	15,1/15,1	18,6/15,3	25,2/18,7
Рис. 7, №4	7,7/20,7	33,4/39,1	15,1/13,1	18,6/24,1	25,2/3

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы:

- при нагревании в процессе пропускания тока и воздействии 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.
- введение в грунт растворителя способствует образованию вокруг электрода зоны разжижения, причём направление электроосмотической фильтрации соответствует преобладанию в растворителе Гексан-н положительно заряженных ионов.