

УДК 550.84.02:502.55

## **ФИЗИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЭЛЕКТРООСМОТИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ГРУНТОВ ОТ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЙ**

**Е. А. Шабанов**, аспирант, **А. И. Ильдинев**, студент гр. ФП-121, IV курс  
Научный руководитель: **С. М. Простов**, д.т.н., профессор  
Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева  
г. Кемерово

Для выявления закономерностей изменения физических свойств грунтов при электроосмотической очистке от нефтезагрязнений в лаборатории КузГТУ были проведены исследования на объемной физической модели. Основными задачами экспериментальных исследований были следующие: - изучение пространственно-временных изменений свойств грунтов при электроосмотической очистке от нефтезагрязнений; - установление диапазонов физических параметров очищаемого массива; - исследование процессов электрокоагуляции, способствующих переходу нефтепродуктов в твердое состояние.

Физическая модель представляла собой участок зоны электрохимической очистки с реальными поперечными размерами электродов и расстоянием между ними в горизонтальном сечении (рис.1.). В качестве исследуемой среды применялся уплотненный суглинок, смешанный с помощью миксера с нефтепродуктом. Концентрация нефтезагрязнителя соответствовала практически возможной при постепенном периодическом загрязнении или при разливе нефти в результате аварии. Таким образом, все физические параметры модели не отличались от соответствующих параметров природы.

Емкость с размерами 1000x500x360 мм изготовлена из непроводящего электрический ток материала – ламинированной влагостойкой фанеры, гидроизолирована полиэтиленовой пленкой и заполнена суглинком. В грунт на глубину 300 мм погружены электроды-инъекторы – перфорированные стальные электросварные трубы с внутренним диаметром 51 мм, заглушенные внизу деревянной заглушкой.

Методика эксперимента включала измерение истинного удельного электросопротивления (УЭС) загрязненного грунта с помощью датчиков-микророзондов, изготовленных из четырехжильного медного кабеля. Датчики-микророзонды с расстоянием между контактами  $AM = MN = NB = 10$  мм погружены в грунт на глубину 180 мм. Общее количество датчиков – 22. 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 Б5-50 с напряжением  $U = 50-300$  В, при силе тока до 0,6 А.

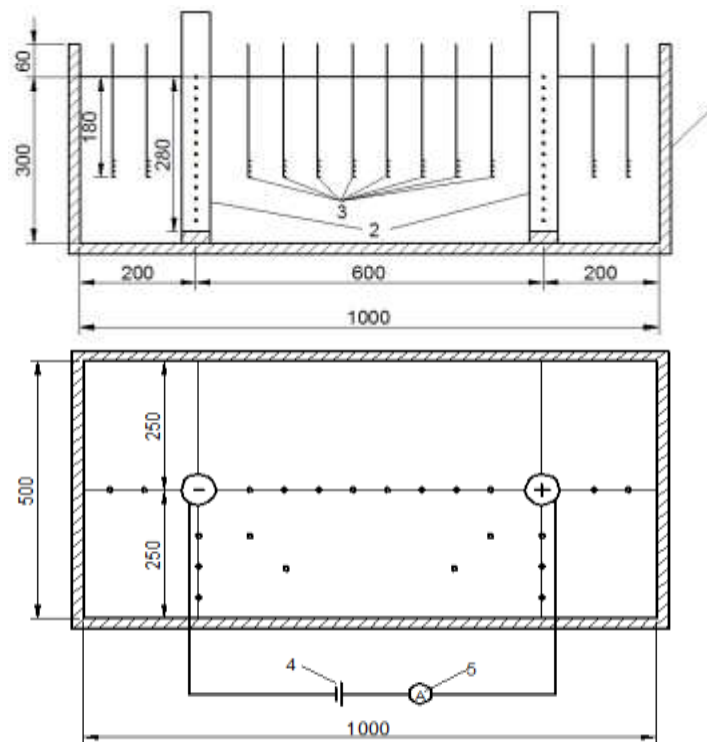


Рис.1 Схема экспериментальной модели: 1 – емкость (ванна); 2 – электроды-инъекторы; 3 – датчики-микрозонды; 4 – источник постоянного электрического тока; 5 – амперметр.

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.

На первой стадии эксперимента была произведена параллельная обработка грунта в двух емкостях. В первую был загружен чистый суглинок массой 260 кг, перемешанный с водой (52) кг, а во вторую был загружен суглинок массой 250 кг, перемешанный с водой (47 кг) и отработанным маслом – нефтезагрязнителем (8,1 кг).

Характерные графики изменения относительного УЭС по основной оси электрообработки на различных ее стадиях приведены на рис.2.

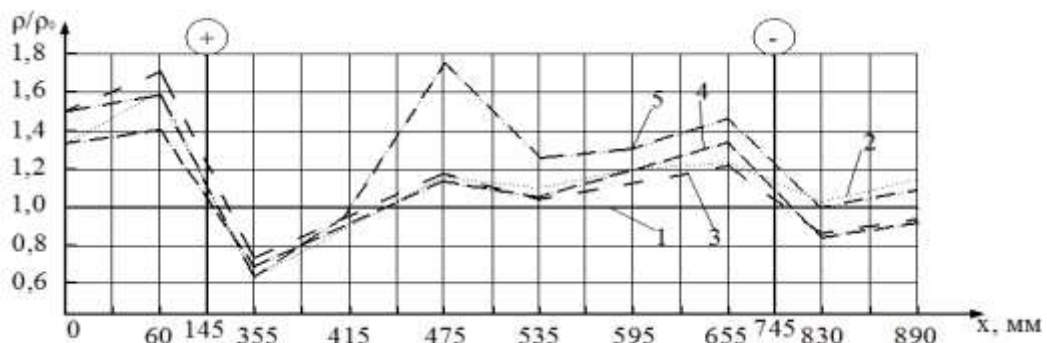


Рис.2 Изменение УЭС чистого грунта при электрохимической обработке: 1 – начало обработки; 2 – через 3,6 А·ч; 3 – 6 А·ч; 4 – 13,5 А·ч; 5 – 22,5 А·ч

Из приведенных результатов эксперимента следует, что электроосмотические процессы в приэлектродных областях при обработке чистого и за-

грязненного нефтепродуктом грунта взаимосвязаны и имеют при этом существенные отличия, обусловленные различием электропроводящих свойств водного раствора (низкое УЭС) и машинного масла (диэлектрик):

- у чистого грунта (рис.2) происходит поступательное перемещение влаги от катода к аноду, сопровождающееся снижением УЭС в зоне скопления влаги и увеличением УЭС в зоне электроосушения, при этом прианодная зона осушения по протяженности превышает зону влагонасыщения, формирование указанных зон происходит достаточно быстро через 30-35 А·ч с момента начала электрообработки;

- в загрязненном грунте зафиксирован волнообразный характер изменения УЭС, связанный с тем, что вязкость нефтепродукта значительно выше, чем водного раствора, при этом положительные пики УЭС, соответствующие преобладанию в порах нефтепродукта, и отрицательные, соответствующие преобладанию водного раствора, в ходе обработки становятся более контрастными и перемещаются в зону анода; в катодной области при оттоке влаги УЭС меняется несущественно, что указывает на преобладающее влияние изоляции минеральных зерен грунта масляной пленкой.

Гидродинамические процессы в приэлектродных областях характеризуются круговыми диаграммами УЭС, часть из которых приведена на рис.3.

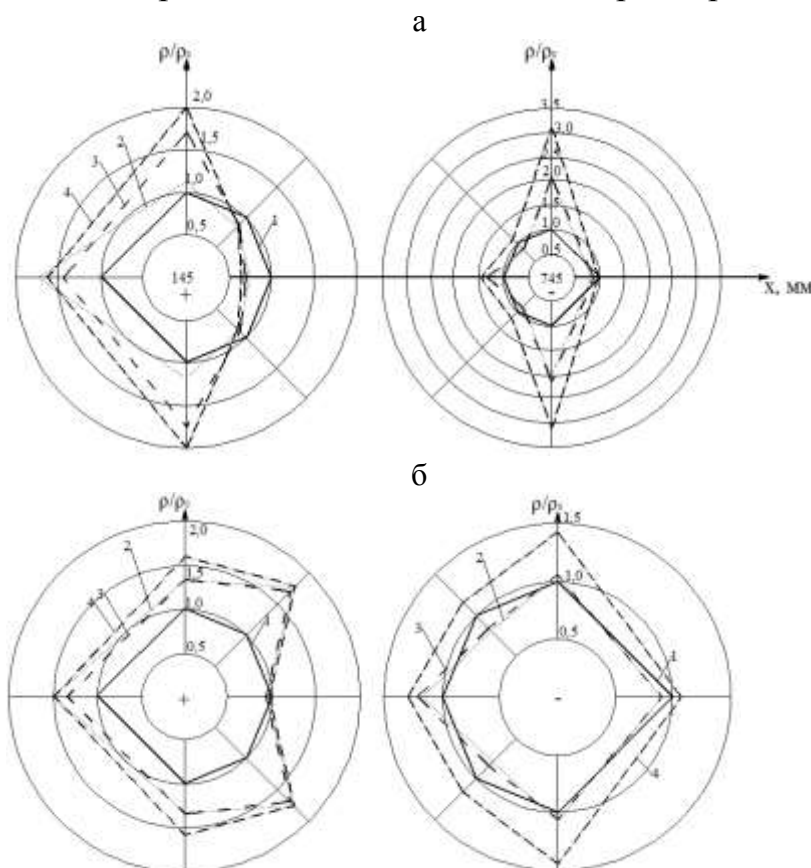


Рис.3. Круговые диаграммы изменения УЭС чистого грунта при электрохимической обработке при  $r = 90$  мм (а) и  $r = 150$  мм (б): 1 – начало обработки; 2 – 6 А·ч; 3 – 13,5 А·ч; 4 – 22,5 А·ч.

Установлены следующие особенности формирования приэлектродных объемных зон:

- вокруг анода в чистом грунте наблюдается асимметрия УЭС, зона скопления влаги с  $\rho/\rho_0 = 0,6-0,7$  соответствует круговому сектору в диапазоне  $\Delta\varphi = 90 - 120^\circ$ , с бокового и обратного направления зафиксирован отток жидкости; непосредственно вблизи электрода-катода формируется зона термического осушения грунта ( $r = 90$  мм), по мере удаления от оси электрода анизотропия УЭС значительно сглаживается;

- в загрязненном грунте в прикатодной зоне не зафиксировано ярко выраженного слоя термического осушения, в остальном структура данной зоны не отличается от чистого грунта; в прианодном объеме сектор скопления нефтепродукта достигает  $\Delta\varphi = 180^\circ$ .

Временной характер описанных выше процессов в приэлектродных областях на основной оси обработки характеризуется графиками зависимостей относительного УЭС  $\rho/\rho_0$  в характерных точках массива от токорасхода  $I \cdot t$ , приведенными на рис.4.

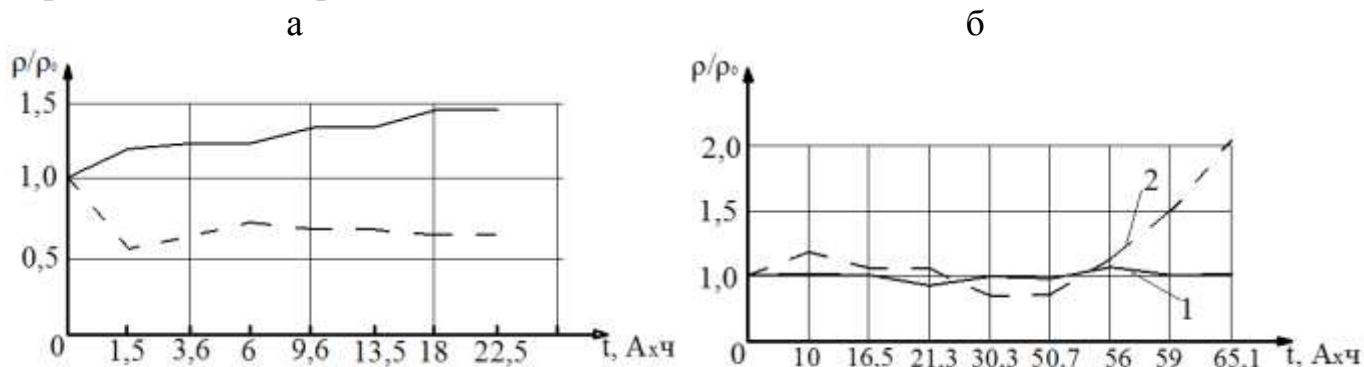


Рис.4. Изменение УЭС чистого (а) и загрязненного отработанным маслом SHELL HELIX (б) грунта при электрохимической обработке: 1 – на датчике №1 около отрицательного электрода; 2 – на датчике №8 около положительного электрода

Результаты исследований физических свойств грунтов до и после обработки массива приведены в табл.1, а гранулометрического состава грунта – в табл.2.

ТАБЛИЦА 1. Изменение физических параметров грунта в результате электрообработки

Ванна № расположение пробы	Характеристики (до/после обработки)		
	Влажность, %	Плотность во влажном состоянии, г/см <sup>3</sup>	Плотность в сухом состоянии, г/см <sup>3</sup>
№ 1 на +электроде	35,3/28,1	2,38/2,22	1,76/1,728
№ 1 в середине	35,2/30,1	2,33/2,2	1,73/1,694
№ 1 на - электроде	35,2/29,6	2,14/2,01	1,58/1,55
№ 2 на +электроде	39,4/29,1	2,51/2,28	1,8/1,766
№ 2 в середине	39,4/31,3	2,48/2,23	1,78/1,746
№ 2 на - электроде	39,4/28,8	2,44/2,22	1,75/1,72

ТАБЛИЦА 2. Изменение гранулометрического состава грунта в результате электрообработки

Ванна № расположение про- бы	Содержание фракций (в мм), % (до/после обработки)				
	2	0,5	0,25	0,1	< 0,1
№ 1 на +электроде	8,8/12	33,3/36	17,5/15	19,2/19	21,2/18
№ 1 в середине	8,8/9,8	33,3/34,1	17,5/16,2	19,2/23	21,2/16,9
№ 1 на - электроде	8,8/9,5	33,3/37,2	17,5/15,7	19,2/22	21,2/15,6
№ 2 на +электроде	8,8/6,1	33,3/41,8	17,5/15,8	19,2/31,2	21,2/5,1
№ 2 в середине	8,8/7,3	33,3/38,2	17,5/16,3	19,2/26,2	21,2/12
№ 2 на - электроде	8,8/8,6	33,3/43,7	17,5/14,5	19,2/24,8	21,2/8,4

Из данных табл.1 следует что в обоих грунтах при электрообработке происходит химическое связывание влаги и нефтепродукта, что приводит к общему снижению влажности грунта на 5-20 % и снижению его плотности на 2-10 % как во влажном, так и в сухом состояниях.

Весьма существенные изменения установлены в гранулометрическом составе грунта:

- в чистом грунте только в анодной зоне установлено резкое снижение содержания фракции <0,1 мм и увеличение фракции 2,0 мм;

- в загрязненном грунте на всем протяжении зоны обработки происходит увеличение размера частиц с переходом фракции <0,1 мм в диапазон 0,1-0,5 мм вследствие процессов коагуляции масла; слипания мелких частиц, при этом вероятен переход нефтепродукта из жидкого в твердое состояние, которое считается менее токсичным и экологически вредным.

Анализ полученных результатов позволил сделать следующие выводы:

- при пропускании электрического тока и воздействии его на нефтепродукты в порах грунта они переходят в твердое связанное состояние, что приводит к увеличению УЭС грунта на всем протяжении зоны обработки, а также к уменьшению влажности;

- 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;

- при обработке грунта электрическим током влажность грунта снижается, а увеличение процентного содержания крупных фракций приводит к снижению плотности грунта, как во влажном, так и в сухом состоянии;

- процесс фазового преобразования нефтесодержащего продукта в порах грунта, обусловленный электрической и термической коагуляцией, происходит во всем межэлектродном пространстве.