

УДК 550.84.02:502.55

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ДЛЯ НАТУРНЫХ ИСПЫТАНИЙ МЕТОДА КОНТРОЛИРУЕМОЙ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОЧИСТКИ ГРУНТА ОТ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕНИЙ

Е. А. Шабанов, аспирант, **В. А. Полукеев**, студент гр. ФП-111, V курс
Научный руководитель: **С. М. Простов**, д.т.н., профессор
Кузбасский государственный технический университет им. Т. Ф. Горбачева
г. Кемерово

В настоящее время загрязнение грунтов нефтепродуктами в результате техногенной деятельности человека представляет собой острую экологическую угрозу. Постоянный рост антропогенной нагрузки на окружающую среду обуславливает необходимость проведения исследований, направленных на выявление условий безопасного функционирования систем как естественных, так и создаваемых в ходе промышленной деятельности человека. Одной из нерешенных проблем является разработка методов диагностирования загрязненных участков и контроля процессов их дезактивации.

Способы очистки от нефтезагрязнений делятся на 4 типа: физические, химические, физико-химические, биохимические. Сформировались три основных подхода к борьбе с нефтезагрязнителями: непосредственное удаление нефтепродукта за счет его извлечения из грунта; подавление активности (детоксикации) нефтепродукта на месте, непосредственно в массиве; локализация нефтепродукта в массиве за счет создания вокруг аномалии защитного экрана, препятствующего дальнейшему распространению нефтезагрязнений.

При обработке малопроницаемых глинистых грунтов весьма перспективен метод электроосмотической очистки, основанный на комплексном воздействии активным веществом и электрическим током и включающие два основных физических процесса: электротермическое воздействие, приводящее к изменению фазового состояния загрязнителя; растворение загрязнителя легкими фракциями с последующей откачкой.

Технологии прямого определения наличия нефтепродукта в массиве (химический, спектральный анализ, хроматография) не дают количественной оценки содержания нефтезагрязнений, а определяют только их присутствие в пробе грунта.

Метод «инфракрасной спектроскопии» обеспечивает определение концентрации нефти в грунте, однако имеет ряд недостатков: большое количество и дороговизна используемых приборов, реактивов и материалов, высокая трудоемкость измерений, дороговизна, значительное время для определения концентрации.

Возможен контроль очистки косвенным методом, основанный на сравнении УЭС загрязненного и чистого грунта, и определении с помощью экспериментально-теоретических зависимостей концентрации нефтепродукта или

изменения его концентрации в массиве грунта. Метод электросопротивлений эффективен для оперативной оценки степени загрязнения грунта нефтепродуктами при их содержании до 15-20%, после чего происходит нарушение структурных связей грунта.

Основная физическая предпосылка исследуемого метода геоэкологического контроля состоит в том, что все используемые в автомобильном и железнодорожном транспорте нефтепродукты (масла, дизельное топливо, бензин) проявляют ярко выраженные диэлектрические свойства. Удельное электросопротивление (УЭС) этих жидкостей изменяется в диапазоне $\rho = 10^{10} - 10^{12}$ Ом·м, в то время, как для природных минеральных растворов этот диапазон составляет $\rho = 0,1 - 100$ Ом·м. Таким образом загрязненный нефтепродуктом грунт будет иметь более высокое УЭС по сравнению с чистым грунтом при одинаковых физических свойствах (влажность, плотность).

Для обоснования параметров технологии контролируемой электрохимической очистки глинистых грунтов от нефтезагрязнений проведен комплекс лабораторных экспериментов на следующих физических моделях:

- одномерная модель, представляющая собой грунт, заключенный в непроводящую трубчатую разъемную опалубку, с плоскими питающими электродами;
- объемная модель 2-электродной установки с трубчатыми питающими электродами.

В обоих случаях база установок (расстояние между питающими электродами) соответствовала реальному диапазону ($l = 0,5-0,7$ м), плотность тока при обработке поддерживалась в диапазоне $j = 7-10$ А/м², а токорасход составлял $I \cdot t = 60-120$ А·ч. В качестве активного вещества использовался растворитель «Гексан-н».

Основные полученные научно-практические результаты сводятся к следующему:

1. В процессе электрообработки за счет электроосмотического движения влаги и коагуляции нефтепродуктов при нагревании происходит уменьшение влажности и плотности грунта, изменение гранулометрического состава в сторону увеличения содержания песчаных и глинистых частиц с размером $\delta > 0,1$ мм и уменьшение содержания мелких фракций ($\delta < 0,1$ мм).

ТАБЛИЦА 1. Изменение физических параметров в результате электрообработки на одномерной физической модели

№ эксперимента	Характеристики (до/после обработки)		
	Влажность, %	Плотность во влажном состоянии, г/см ³	Плотность в сухом состоянии, г/см ³
1	54/15	2,33/1,72	1,51/1,49
2	17,3/12,2	1,80/1,66	1,53/1,48
3	15,9/9,3	1,81/1,61	1,56/1,47
4	19/16	1,81/1,74	1,52/1,50
5	20/13	1,87/1,66	1,56/1,47
6	54/52	2,33/2,3	1,51/1,51
7	17,3/16,0	1,80/1,74	1,53/1,5
8	15,9/7,5	1,81/1,62	1,56/1,51
9	33/18	2,04/1,92	1,53/1,63
10	33/14,3	2,04/1,64	1,53/1,43

ТАБЛИЦА 2. Изменение гранулометрического состава грунта в результате электрообработки на одномерной физической модели

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

2. В межэлектродном пространстве происходит формирование трех характерных зон, примерно равных по протяженности: анодной, переходной, катодной. Характер изменения свойств грунта, оцениваемый по изменению УЭС в пределах этих зон, существенно отличается в зависимости от режима обработки.

3. В загрязненном грунте без подачи растворителя (рис.1) 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, становятся более контрастными и перемещаются в зону анода. В катодной области при оттоке влаги УЭС меняется несущественно, что указывает на преобладающее влияние электрической изоляции минеральных зерен грунта масляной пленкой.

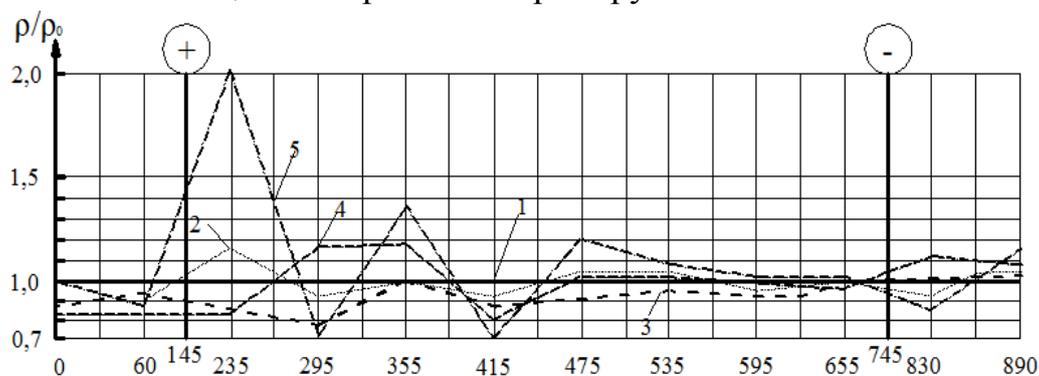


Рис.1. Изменение УЭС загрязненного отработанным маслом SHELL HELIX грунта при электроосмотической обработке: 1 – начало обработки; 2 – через 10 А·ч; 3 – 30,3 А·ч; 4 – 50,7 А·ч; 5 – 65,1 А·ч

4. В загрязненном грунте с подачей растворителя (рис.2) происходит поступательное перемещение влаги от катода к аноду, при этом в первом периоде обработки без растворителя наблюдается уменьшение УЭС на аноде, и увеличение УЭС на катоде (скопление нефтепродукта – диэлектрика). После добавления растворителя в поровом пространстве происходит смешивание жидкостей (влаги, растворителя и загрязнителя), что ведет к уменьшению УЭС в зонах скопления разжиженного раствора, и увеличению УЭС в зонах массива, где процесс разжижения по причине отсутствия растворителя не произошел. Около

катода формируется зона концентрации разжиженного загрязнителя, что ведет к его скоплению в дренажных отверстиях электрода и частичному ее испарению.

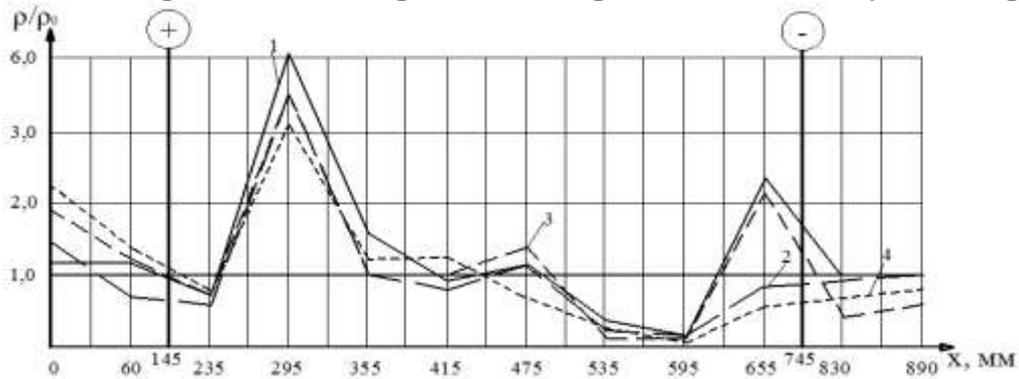


Рис.2. Изменение УЭС загрязненного отработанным маслом грунта с очисткой растворителем «Гексан-н» при электрохимической обработке: 1 – через 17,1 А·ч; 2 – 42,7 А·ч; 3 – 87,1 А·ч; 4 – 108 А·ч

При сохранении геометрической адекватности, условия лабораторного эксперимента существенно отличаются от натуральных. Принципиальные отличия состоят в следующем:

- ограниченность объема грунта изолирующими поверхностями приводит к искажению физических полей (электрических, гидро- и термодинамических);
- исключается взаимодействие зоны обработки с прилегающим грунтовым массивом;
- не учитывается взаимовлияние пар в многоэлектродных установках;
- не обеспечивается интегральной геофизический контроль процессов в зоне обработки.

Проведение натурального эксперимента позволит проверить истинность установленных в лабораторных условиях закономерностей, а также выявить особенности диагностирования загрязненных зон и геофизического мониторинга процессов очистки от нефтезагрязнений электроосмотическим методом.

Схема установки, разработанная совместно с ООО «НООЦЕНТР» представлена на рис.3

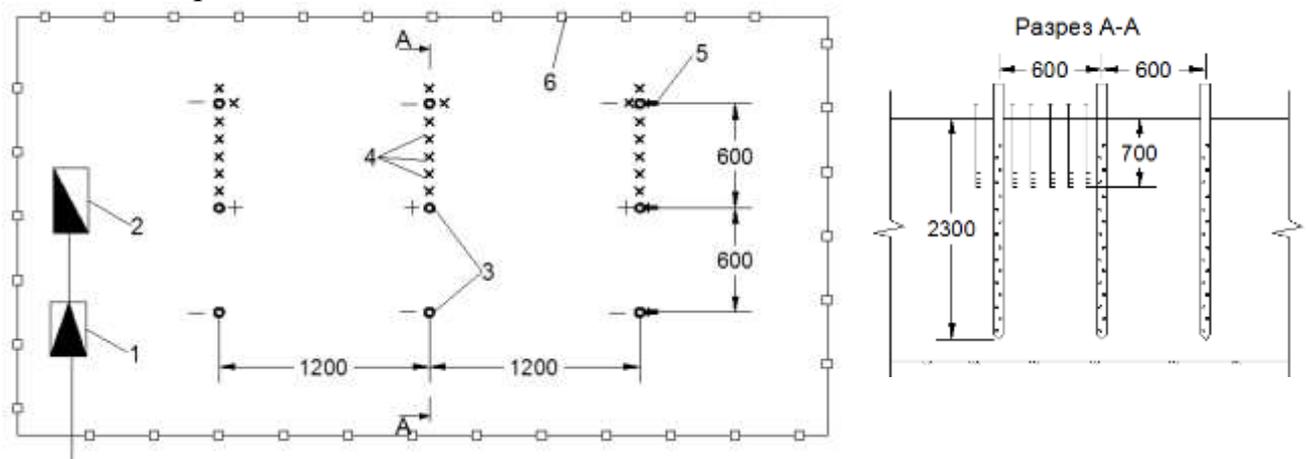


Рис.3. Схема установки для проведения натурального эксперимента: 1 - силовой трансформатор; 2 – выпрямитель-преобразователь; 3 – электроды-инъекторы; 5 – устройство для подачи растворителя; 6 – временное защитное ограждение

Электросиловая установка состоит из силового трансформатора ТС-40 и выпрямительного преобразователя. Постоянный ток от установки подается к электродам по кабелю типа КГХЛ 2х35. С помощью установки возможно регулировать силу от 0,1 до 20 А и напряжение до 300В.

Глинистый массив в естественном состоянии будет искусственно загрязнен нефтепродуктом для проведения эксперимента, для чего в шпур диаметром 12 мм, на глубину 700 мм (объем полости около 80 мл) будет залит загрязнитель. Отверстия расположены через 80-100 мм равномерно во всех направлениях. Нефтезагрязнитель из полостей впитается в грунт, проникая вглубь и в стороны, тем самым сформируется загрязненная зона минимальной глубиной до 2 метров, что соответствует параметрам загрязнения грунта в естественных условиях.

Основные параметры опытной установки следующие:

- количество электродов инжекторов – 9;
- глубина обработки – 2,3 м;
- расстояние между электродами инжекторами- 0,6 м;
- диапазон плотности тока – 8-20 А/м²;
- максимальный токрасход – 200 А·ч;
- режимы обработки – электроосмотический незагрязненного массива, электроосмотический загрязненного массива, электроосмотический с разжижением загрязнителя растворителем «Гексан-н»
- загрязняющий нефтепродукт – бензин А80; отработанное автомобильное масло.

Способы физико-технического контроля процессов в зоне обработки приведены в табл.1

ТАБЛИЦА 1. Способы физико-технического контроля процессов в зоне обработки.

Способы контроля	Аппаратура	Решаемые задачи, определяемые параметры
1.Инженерно-геологические изыскания	Полевая лаборатория ПЛЛ-2: набор бюкс для определения влажности, весы электронные, духовой шкаф, набор сит.	Определение физико-механических характеристик и гранулометрического состава грунта в различные моменты времени
2.Микродатчики УЭС	Каротажный прибор КП-2 Датчики микрозонды	Мониторинг изменения истинного УЭС грунта с шагом 0,1-0,15 м
3.Электрическое зондирование	Каротажный прибор КП-2 электроды	Определение эффективного УЭС грунта на различных стадиях электрообработки
4.Георадиолокация	Георадар ОКО-2	Диагностирование аномалии по глубине и в плане по радарограмме