

УДК: 665.775.4

**ПЕРЕРАБОТКА НЕФТЕШЛАМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА****Д.У. Бодыков<sup>1\*</sup>, М.С. Абдикаримов<sup>1</sup>, М.А. Сейтжанова<sup>1,2</sup>, Ж.К. Елемесова<sup>1,2</sup>**<sup>1</sup>Институт проблем горения, Богенбай батыра, 172, Алматы, Казахстан<sup>2</sup>Казахский национальный университет им. аль-Фараби, пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан,  
d.bodykov@mail.ru**Аннотация**

Разработана и собрана установка для переработки сложных соединений с использованием электрогидравлического эффекта Юткина. Представлены результаты использования электрогидравлического эффекта для переработки нефтешлама. Для анализа продуктов переработки использованы методы газовой хроматографии, хромато-масс и ИК-спектроскопий. Состав жидкой фракций составляет парафины, изопарафины, ароматические углеводороды, нафтены, олефины и оксигенаты. Показана возможность использования данного эффекта в основу переработки и утилизации нефтешламов, высоковязких и высокозастывающих нефти.

**Ключевые слова:** нефтешлам, электро-гидравлический эффект, кавитация, разряд, бензиновая фракция, переработка, углеводород

**Введение**

Возможным решением проблем снижения негативного воздействия нефтешлама на окружающую среду является извлечение полезных компонентов из углеводородного сырья, содержащегося в нефтешламах и преобразование их в готовую товарную продукцию при доведении доли отходов до возможного минимума. В последние годы нефтедобывающими предприятиями внедряются в производство различные технологические решения, направленные на утилизацию отходов добычи и переработки нефти. Однако, как показывают результаты анализа литературы [1-7], в настоящее время универсального способа обезвреживания и утилизации нефтешламов отвечающего всем требованиям не существует. Различного вида центрифуги и сепараторы, как импортного, так и отечественного производства, очищают воду, уменьшают вредное влияние механических частиц, при этом сохраняют углеводородную составляющую.

Данные способы утилизации требуют меньше затрат, чем просто сжигание нефтешламов, а уровень их эффективности на порядок выше. Каждая из этих известных технологий имеет преимущества и недостатки, но тем не менее, уже сейчас реально в результате утилизации нефтешламов получают много полезных продуктов, в частности, товарную нефть, топливо для котельных установок, некоторые строительные материалы.

В настоящее время в области естественных наук появилось новое направление научных работ, связанное с изучением воздействия на вещество таких физических факторов как радиация, электромагнитное излучение, ультразвук, плазма, высокое давление, повышенная температура, гравитация и т.д., как при изолированном, так и при совместном воздействии. Перечисленные выше действующие факторы характеризуются условным термином «химия экстремальных воздействий».

Одним из видов комплексного экстремального воздействия является эффект высоковольтного короткого импульсного электрогидравлического разряда который сочетает в себе одновременное воздействие на вещество сильного механического сжатия, мощного ультразвука, ультрафиолетового и инфракрасного излучения, кавитационный и резонансных явлений [8-11]. Образующиеся в процессе разряда электромагнитные поля также оказывают сильное влияние, как на сам разряд, так и на ионные процессы, протекающие в окружающей его жидкости.

Под их воздействием происходит разнообразные физические изменения и химические реакции в обрабатываемом материале, частичный разрыв связи в углеводородных цепочках с образованием светлых фракций из нефтешлама выкипающих до 350 °С, а также другие превращения углеводородов, изменяется плотность и вязкость исходного материала.

### Экспериментальная часть

По результатам предыдущих работ [13-15] установлено, что электрогидравлический эффект наиболее эффективен для переработки нефтешлама с высоким содержанием органической массы. Нефтешлам Шымкентского нефтеперерабатывающего завода по содержанию органической массы относится к резервуарным нефтешламам. На территории завода построены шлам накопители, представляющие собой бетонированные бассейны, для захоронения нефтешлама, которые выполнены в бетонном исполнении со специальными слоями гидроизоляции, исключающими попадание нефтепродуктов в почву и в подземные воды. В процессе хранения в шлам накопителях происходит естественное испарение влаги и нефтешламы превращаются в вязкую липкую пасту. Нефтешламы являются отходами производства и в соответствии с действующими нормативными документами подлежат накоплению на территории завода для последующей переработки. Донный осадок образуется в нижней части резервуаров (нефтяные, мазутовые) и электрогидраторов. При очистке резервуаров и электрогидраторов донный осадок вывозится в шлам накопители для дальнейшей утилизации. Содержание нефтепродуктов и механических примесей в разных слоях нефтешлама изменяется в широком диапазоне.

Произведен отбор нефтешлама непосредственно в амбарах и дальнейшие эксперименты проведены с нефтешламом Шымкентского нефтеперерабатывающего завода. Нефтешлам Шымкентского нефтеперерабатывающего завода имеет высокую вязкость и в содержании мало воды, но много механической примеси. Поэтому перед применением ЭГ-эффекта надо уменьшить вязкость нефтешлама и удалить крупные механические примеси. Для уменьшения вязкости решили использовать бензин и дизельное топливо, так как они являются одним из составляющих частей продуктов получаемых при переработке нефти. А для удаления механической примеси решили раствор нефтешлама с растворителем пропустить через металлическую сетку различных размеров.

После удаления через металлическую сетку крупные механические примеси оставшейся нефтешлам содержит растворитель (бензин или дизельное топливо). Нефтешлам с растворителем обработали на ЭГ-установке с целью установить выход светлых фракции с добавле-

нием воды. Воздействие импульсного электрического разряда на нефтяные шламы с водой в кавитационной установке приводит к образованию ионных потоков и расщеплению сложных молекул углеводородов. При кавитации нефтяных шламов воздействием импульсного электрического разряда нарушаются С-С связи углеводородов - происходит разрыв связей и образование из одной, с большей вероятностью тяжелой молекулы, двух более легких и т.д., вследствие чего происходит изменение физико-химического состава нефтяных шламов. Добавление воды в нефтяные шламы позволит осуществить более глубокую конверсию углеводородного сырья в легкие фракции углеводородов. Сопутствующие эффекты ЭГЭ такие как гидроудары, электромагнитные излучения и кавитация, способствуют ионизации воды. Внутримолекулярные связи молекул воды рвутся с образованием свободных радикалов водорода, которые участвуют в образовании легких фракций углеводородов.

Нагрев нефтяных шламов до температуры 350 °С в кавитационной установке после электрогидравлического воздействия способствует осуществлению одноэтапной конверсии нефтяных шламов в легкие фракции углеводородов. Температура нагрева нефтяных шламов до 350 °С определена температурой кипения, получаемых легких фракций углеводородов: бензин, керосин, газойль(солярка). Но так как бензины, а также керосины состоят из смеси углеводородов [12], поэтому не имеют определенной температуры кипения, на первоначальном этапе ставилась задача возможности получения дистиллята при перегонке и при различных температурах. В реактор кавитационной установки с размещенными в нем электродами заливали нефтяной шлам и воду из расчета 6:1. На электроды подавали напряжение 5 кВ для формирования электрогидравлического эффекта. Процесс конверсии нефтешлама в легкие фракции углеводородов начинается при пятикратном воздействии импульсного электрического разряда, которые конденсируются дефлегматором с холодильником. Двадцатикратное воздействие импульсного электрического разряда напряжением 5 кВ обеспечивает интенсивную переработку нефтешламов. Экспериментально установлено, что 20-25 импульсов разряда достаточно для протекания конверсионных процессов. Практически после 5 импульсных разряда начинается выделение газовой фракции. После 20 импульс-

ных разряда останавливали электрогидравлическое воздействия и прогревали рабочий реактор постепенно до 350 °С. При начальных воздействиях разряда наблюдается интенсивное выделение газа и затем происходит конденсация выделенных продуктов.

В предыдущих работах на установке для электрогидравлической обработки нефтешлама с расположением электродов «острие-

острие» были трудности с чисткой рабочей камеры от тяжелых фракций нефти. Также были трудности с нагреванием рабочей камеры для выделения светлой фракций, поэтому был изготовлен реактор (рис. 1) с расположением электродов «острие-дно» со съемкой крышкой. Вначале обрабатывали нефтешлам в рабочей камере и после выделения газа заменяли крышку реактора для перегонки.



Рис. 1. Лабораторный реактор с различным расположением электродов

Собрана установка для обработки ЭГ-ударами с расположением электродов «острие-дно» и для дальнейшей перегонки нефтешлама после электрогидравлической обработки. Установка состоит из корпуса камеры; где нефтешлам обрабатывается высоковольтными короткоимпульсными разрядами; изолятора стального электрода диаметром 6 мм из капролактана, через которого подается высоковольтное напряжение; термопары для контроля температуры в камере при перегонке нефтешлама. Испарившиеся светлые фракции проходят через дефлегматор и далее проходя через холодильник конденсируется и собирается в приемнике. При ЭГ-обработки нефтешлама выделяется газы, которые улавливается через трубку.

Первоначально перегоняли смесь нефтешлама и бензина до 350 °С без электрогидравлической обработки на нашем реакторе и традиционным способом на аппарате АРН-ЛАБ-03. Разгонка образца нефти на фракции с целью установления ее фракционного состава проводили на аппарате АРН-ЛАБ-03 путем постепенного нагрева и конденсация паров в специальных приемных емкостях при атмосферном давлении (ГОСТ 2177-99).

При перегонке раствора 50 мл нефтешлама и 50 мл бензина на изготовленном реакторе и традиционным способом получили 7 мл светлой фракций. При перегонке такого же состава раствора после электрогидравлической обработки мы получили 55 мл светлой фракций. Проведены эксперименты по переработке нефтешлама при различных режимах электрогидравлической обработки. Изучена зависимость выхода светлых фракций от количества ЭГ-ударов при соотношениях нефтешлам/бензин 1:1. При 5 ЭГ-ударов светлая фракция выделяется в незначительном количестве. А при 15 и 20 ЭГ-ударов установлено интенсивное выделение газов. Оптимальная обработка для получения светлых фракций при использованиях в качестве растворителя бензина является при 10 ЭГ-ударов. Также изучена зависимость выхода светлых фракций от количества ЭГ-ударов при соотношениях нефтешлам/дизельное топливо 1:1. Оптимальная обработка для получения светлых фракций при использованиях в качестве растворителя дизельного топлива также является 10 ЭГ-ударов. Поэтому дальнейшие эксперименты по получению светлых фракции при переработке нефтешлама проводились при 10 ЭГ-ударов.

Результаты выхода светлой фракции при перегонке до 350 °С после обработки ЭГ-ударами нефтешлама с бензином и дизельным

топливом при различных соотношениях приведены в таблице 1. Соотношение нефтешлама и растворителя варьировалась от 1:0,3 до 1:1.

**Таблица 1.** Выход светлой фракции при различных соотношениях нефтешлам/растворитель

Шифр	Количество ЭГ-ударов	Соотношение нефтешлама / растворителя	Выход светлой фракции, мл
№1	10	Нефтешлам / бензин. 50 г/50 мл	55
№2	10	Нефтешлам / бензин. 50 гр. / 30 мл	40
№3	10	Нефтешлам / бензин. 50 г/15 мл	18
№4	10	Нефтешлам / диз.топливо. 50 г/50 мл	50
№5	10	Нефтешлам / диз.топливо. 50 г/30 мл	30
№6	10	Нефтешлам / светлая фракция, полученная при перегонке 50 г/50 мл	58

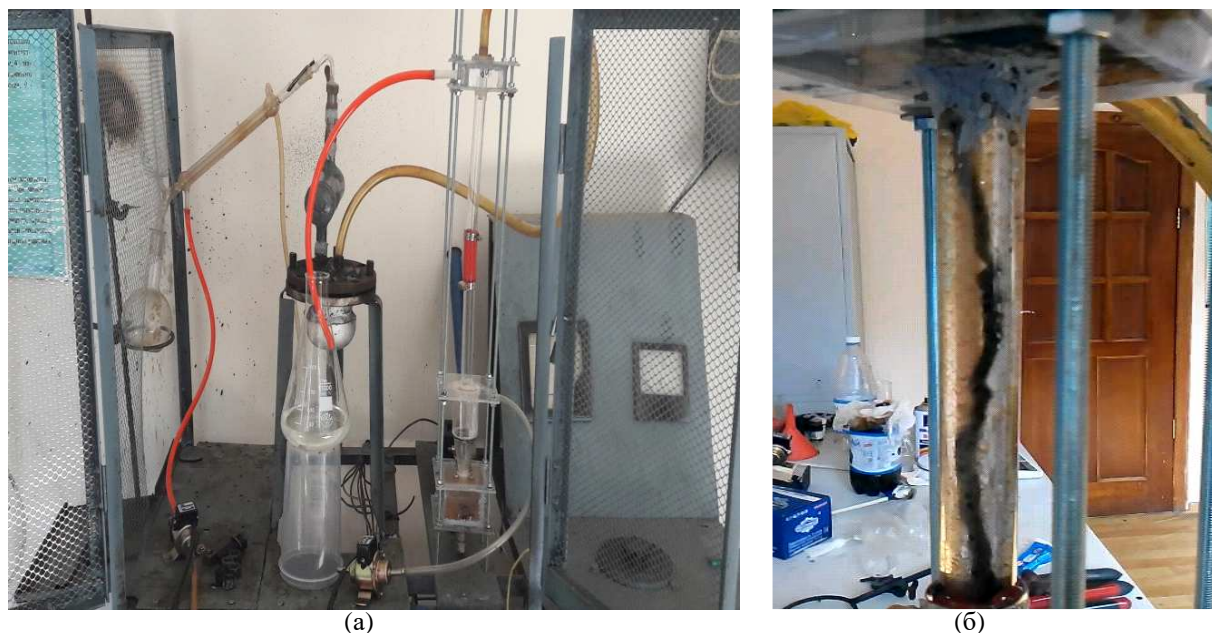
Как видно из таблицы 1, при применениях в качестве растворителем бензина количество полученной светлой фракции чуть больше количества добавленного бензина, а при применениях растворителем дизельного топлива при перегонке получили только добавленное количество растворителя. В эксперименте №6 использовали в качестве растворителя светлые фракции, выделенные при переработке нефтешлама и полученные результаты, указывают на возможность вторичного использования в качестве растворителя полученные при перегонке светлые фракций.

Изготовлена установка с трехпродуктовым гидроциклоном (рис. 2) для разделения нефтешлама на нефть, воду и механическую примесь. Трехпродуктовый гидроциклон изготовлен из оргстекла. Проведены работы по разделению нефтешлама Шымкентского нефтеперерабатывающего завода. По результатам экспериментов установлено, что длина сливной камеры на эффект разделение смеси не оказывает существенного влияния, но глубина погружения ее в гидроциклон играет определенную роль в процессе разделения жидких фракции. Установлено также, что в составе выделенной нефтяной части содержится вода в незначительных количествах. Так как по результатам предыдущих экспериментов по применению электрогидравлического эффекта для переработки нефтешлама установлено, что при добавлении определенной части воды в нефтешлам увеличивается выход светлой фракций, дальнейшее очистка нефти от воды

не требуется. А в составе выделенной воды содержится незначительное количество нефти и это вода будет повторно использована для разбавления нефтешлама.

Проведены эксперименты по переработке нефтешлама при применениях в качестве растворителя керосина. 300 г нефтешлама растворили в 300 мл керосина и пропустили через трехпродуктовый гидроциклон. Из собранной нефти через верхнюю выделена проба в количестве 150 мл для перегонки. При перегонке до 350 °С установлено, что светлая фракция начинает выделяться при температуре 180 °С и общий объем полученной светлой фракций составляет 85 мл. Вторую пробу разбавили водой до 150 мл обработали 10 ЭГ-ударами. При перегонке пробы до 350 °С после ЭГ-ударов светлая фракция начинает выделяться в небольшом количестве при температуре 135 °С, а при температуре 153 °С происходит интенсивное выделение светлой фракций. Общий объем полученной светлой фракций составляет 97 мл.

Анализ газовой фракций проводились на газовом хроматографе «ХРОМОС-1000» с детектором по теплопроводности, скорость газа – носителя (Ar) – 20 мл/мин, определяли H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> с использованием фаз состава СаА длина колонки – 2м d = 3 мм, T = 350 °С. для определения СО, СО<sub>2</sub> и углеводородов с использованием фаз состава АГ-3, скорость газа – носителя (H<sub>2</sub>) – 20 мл/мин, T = 250°С (рис. 3).



а – установка с трехпродуктовым гидроциклоном, б – фрагмент разделения нефтяной фракций в трехпродуктовом гидроциклоном

Рис. 2. Установка с трехпродуктовым гидроциклоном

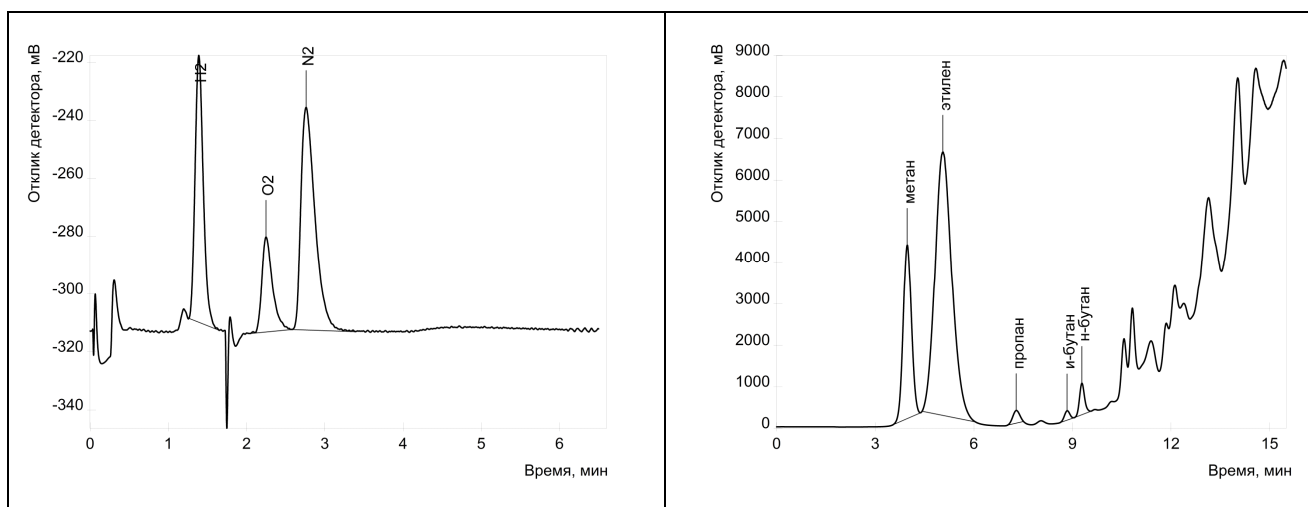


Рис. 3. Хроматограмма газовой фракции, детектор по теплопроводности

На газовом хроматографе «ХРОМОС-1000» проводили анализ газовой фракций для определения углеводородов с использованием капиллярной колонки HP-FFAP длиной 50 м, скорость газа – носителя ( $H_2$ ) – 5 мл/мин,  $T = 250\text{ }^\circ\text{C}$ , детектор пламенно-ионизационный (рис. 4).

В составе газовой фракций обнаружены  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $N_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ,  $C_2H_4$ ,  $C_2H_6$ ,  $C_3H_8$ ,  $n-C_4H_{10}$ ,  $изо-C_4H_{10}$  и метанол. Также в хроматограмме видны следы других веществ которых предстоит идентифицировать.

Хроматографический анализ жидкой фракции исследовали на приборе «Хроматэк

Кристалл». Детектор – пламенно-ионизационный. Газ-носитель – азот, колонка из нержавеющей стали длиной 3 м и диаметром 3 мм, сорбент  $g-Al_2O_3$ , температуры от  $90$  до  $180\text{ }^\circ\text{C}$ . Состав жидкой фракций составляет парафины, изопарафины, ароматические углеводороды, нафтены, олефины и оксигенаты (таблица 2). В таблице приведены количество веществ в легких фракциях и общий состав продуктов в зависимости от температуры прогрева реактора различных нефтешламов после электрогидравлической воздействий

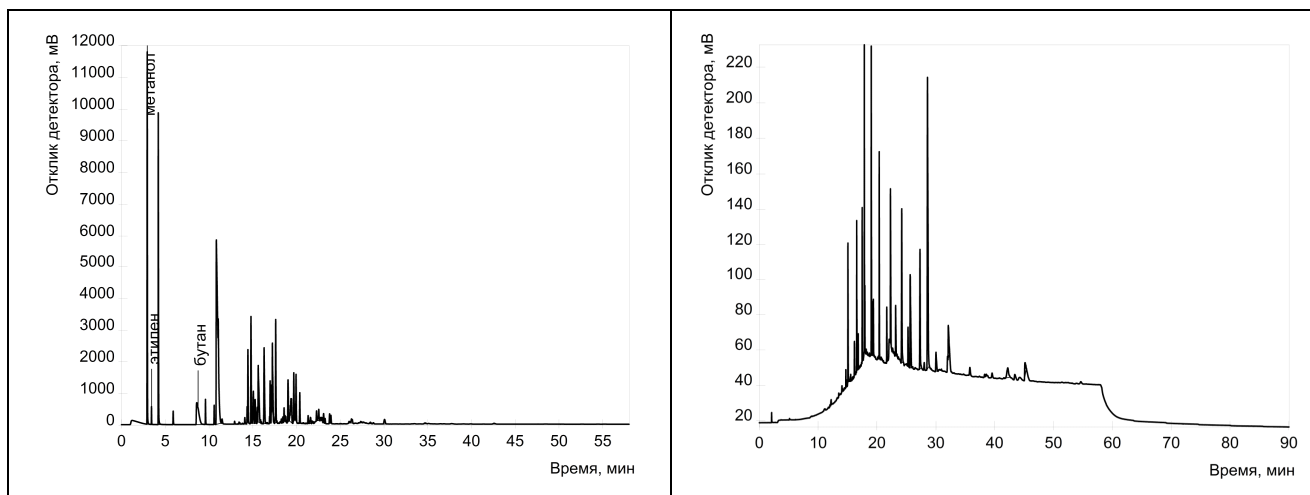


Рис. 4. Хроматограмма газовой фракции, детектор пламенно-ионизационный

Таблица 2. Состав светлой фракции в зависимости от температуры прогрева реактора

Нефтешлам							
Температура, °С	Количество продуктов	Парафины	Изопарафины	Ароматика	Нафтены	Олефины	Оксигенаты
85	196	32,87	30,71	5,46	30,77	0,19	0,001
110	214	33,16	24,05	21,12	20,64	1,02	0,01
150	80	17,88	12,42	45,24	23,72	0,74	-
180	26	0,17	33,96	2,95	61,72	1,2	-

Анализ жидкой фракции исследовали на хромато-масс-спектрометре «Agilent Technologies 6890». Детектор – масс-спектральный. Газ-носитель – гелий, капиллярные колонки № J&N 122-1232 и Agilent 19091z-105 HP-1. Состав жидкой фракций составляет парафины, изопарафины, ароматические углеводороды, нафтены и эфирные соединения.

По данным хромато-масс-спектрометрических спектров светлой фракций обработанные ЭГ-ударами сильно отличается от анализов полученной светлой фракций без обработки ЭГ-ударами и по количеству, и по составу.

Например, из обработанного ЭГ- ударами нефтешлама получили светлую фракцию, которые в составе находится 171 видов углеводородов, в то же время, полученной светлой фракций из нефтешлама необработанным ЭГ-ударами получили 161 видов углеводородов, то есть на 10 видов углеводородов меньше. Здесь необходимо отметить, что по составу полученные светлые фракций существенно отличаются. Эфирных соединений в пробе светлой фракций обработанной ЭГ-ударами 2

раза больше, чем в пробе без обработки. Ко всему этому нужно добавить, что при обработке ЭГ-ударами дополнительно получили различные углеводороды в газообразных состояниях, а также после обработки выделяется больше светлой фракций.

**Выводы**

Таким образом, показана возможность переработки нефтешлама с использованием электрогидравлического эффекта с получением светлой фракции. По результатам лабораторных работ по разделению нефтешлама разработана общая технологическая схема экспериментально-пилотной ЭГ-установки для переработки нефтешлама. Техническим результатом данного исследования является возможность разработки технологических процессов и устройств с включением их в технологический цикл переработки нефти, а также нефтешламов непосредственно в амбарах. Конечным результатом является цель создания безотходной технологии, получение дополнительного количества продуктов, сохранение окружающей среды.

**Литература**

1 Мусина У.Ш., Васичкин А.С. Обзор способов утилизации нефтеотходов и технологии их утилизации // Вестник КазГАСА. – 2014. 2 (52). – С.133-141.

2 Фридман В.М. Комплексная технология утилизации промысловых нефтешламов // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Уфа, – 2002 г.

3 В.С. Владимиров, Д.С. Корсун, И.А. Карпухин, С.Е. Мойзис, Переработка и утилизация нефтешламов резервуарного типа. Источник: <http://www.newchemistry.ru>

4 Смайлова Г.Ж., Исмаилов А.А., Исмаилова Д.А. Утилизация нефтешламов // Журнал МОН РК «Изденис». – 2014. – С.195-198.

5 Миннигалиев Р.З. Разработка технологии переработки нефтяных шламов с применением ВЧ и СВЧ электромагнитных полей // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Уфа, 2010 г.

6 Золотухин В.А. Новая технология для переработки нефти и осадков нефтеперерабатывающих производств // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2004.

7 Патент на изобретение №2149886 РФ. МКИ С10G 32/100. Способ обработки нефти, нефтепродуктов, углеводородов. Бюл. №7, – 2000 г.

8 Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности, Л.; Машиностроение, 1986 г. – 253 с.

9 Промтов М.А. Кавитационная технология улучшения углеводородных топлив // Химическое и нефтегазовое машиностроение, – 2008. – № 2. – С. 6-8.

10 М.Б. Тлебаев, А.К. Ондаганова Применение гидродинамических кавитационных технологий для обработки нефти и его сопровождающих элементов // Вестник КазНТУ. – 2012.

11 Демахин А.Г., Жукова Е.М., Себостьянов В.П., Холкина Т.В. Влияние электрогидравлического воздействия на нефть // Современные проблемы АПК и природопользования. – Саратов: Изд-во СГСЭУ. –2008. – Вып.3. –С. 66-79.

12 Онгарбаев Е.К., Досжанов Е.О., Мансуров З.А. Переработка тяжелых нефтей, нефтяных остатков и отходов. Изд. 2-е, допол. – Алматы: Казак университети, 2011, -254 с.

13 Патент на полезную модель №1729, опубл.30.09.2016 г. Бодыков Д.У., Абдикаримов М.С., Мирталипов Р.Т., Алиев Е.Т., Салахов Р.Х., Мансуров З.А. "Способ переработки нефтяных шламов".

14 Бодыков Д.У., Абдикаримов М.С., Мансуров З.А. «Переработка нефтешлама с использованием электрогидравлического эффекта Юткина» // журнал "Горение и плазмохимия" – 2015, том 13, – №4, – С.303-311.

15 Duisen.U. Bodykov, Meiram. S. Abdikarimov, Zulkhair A. Mansurov, Meruyert Nazhipkyzy. Sludge processing using electrohydraulic effect // "Carbon", USA 2016.

---

**ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИКАЛЫҚ ЭФФЕКТИНІ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП МҰНАЙ ҚАЛДЫҚТАРЫН ӨНДЕУ**

Д.У. Бодыков<sup>1</sup>, М.С. Абдикаримов<sup>1</sup>, М.А. Сейтжанова<sup>1,2</sup>, Ж.К. Елемесова<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Жану проблемалары институты, Алматы, Қазақстан

<sup>2</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

d.bodykov@mail.ru

**Аннотация**

Юткиннің электрогидравликалық әсерін қолдану арқылы жоғарғы қосылыстарды өңдеу үшін қондырғы құрастырылды. Мұнай қалдықтарын қайта өңдеу үшін электрогидравликалық әсердің нәтижелері көрсетілді. Алынған өнімді анализдеуге газ-сұйықты хроматография мен ИҚ-спектроскопия әдісі қолданылды. Сұйық фракцияның құрамында парафиндер, изопарафиндер, ароматты көмірсутектер, нафтендар, олефиндер және оксигенаттар бар. Тұтқырлығы жоғары мұнайды қайта өңдеуге негізделген бұл әсердің мүмкіндігі көрсетілді.

**Түйін сөздер:** мұнай қалдығы, электрогидравликалық эффект, кавитация, разряд, қайта өңдеу, бензин фракциясы, көмірсутек.

**RECYCLING OF OIL SLUDGE USING ELECTROHYDRAULIC EFFECT****D.U. Bodykov<sup>1</sup>, M.S. Abdikarimov<sup>2</sup>, M.A. Seitzhanova<sup>1,2</sup>, Zh.K. Elemessova<sup>1,2</sup>**<sup>1</sup>Institute of Combustion Problems, Almaty, Kazakhstan.<sup>2</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,  
d.bodykov@mail.ru**Abstract**

Designed and assembled plant for processing of complex compounds using electrohydraulic effect Yutkina. The results of the use of electrohydraulic effect for processing sludge. For the analysis of the products used by gas-liquid chromatography and infrared spectroscopy. The composition of the liquid fractions includes paraffins, isoparaffins, aromatic hydrocarbons, naphthenes, olefins and oxygenates. The possibility of using this effect based processing and recycling of sludge, high viscosity and high solidifying oil.

**Keywords:** oil sludge, electrohydraulic effect, cavitation, discharge, gasoline fraction, processing, hydrocarbon.