

---

# ЖЫЛУ ФИЗИКАСЫ ЖӘНЕ ТЕОРИЯЛЫҚ ЖЫЛУ ТЕХНИКАСЫ

## ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

### THERMOPHYSICS AND THEORETICAL THERMOENGINEERING

УДК 531.226.621.38

К.К.Кусаиынов, А.Ж.Сатыбалдин, К.К.Саденова, М.Н.Сагимбекова, Д.А.Кажығали

*Карагандинский государственный университет им. Е.А.Букетова  
(E-mail: mereke\_sn\_93@mail.ru)*

#### **Использование электрогидроимпульсной технологии для улучшения физико-химических характеристик нефтяного шлама Атасу-Алашанькоу**

Данные по накоплению нефтешламов в Казахстане показывают, что их переработка не перекрывает объемы годового образования. Амбарные твердые нефтешламы (битум, гудрон, асфальтены), которых накопилось в шламохранилищах и полигонах Казахстана более 4 млн тонн, имеют достаточно высокий потенциал для последующей их переработки в коммерциализуемую продукцию, однако эта проблема до сих пор не решена. В статье приведены способы утилизации, а также методы переработки нефтешламов в продукты нефтехимической промышленности. Было исследовано влияние электрогидроимпульсного воздействия на нефтяной шлам, образовавшийся на рабочих поверхностях нефтепровода Атасу-Алашанькоу. Определено влияние электрогидроимпульсного разряда на изменение реологических свойств до и после обработки нефтяного шлама.

*Ключевые слова:* нефтешлам, переработка, электрогидроимпульсная технология, кавитация, реологические свойства, товарная нефть.

Проблема утилизации и обезвреживания отходов производства и потребления — одна из наиболее значимых в мире, а нефтяная промышленность по уровню отрицательного воздействия на окружающую среду — в лидерах отраслей народного хозяйства. Рост добычи нефти в Казахстане, объемов ее переработки и транспортировки сопровождается увеличением площади нефтезагрязнений и количества различных токсичных отходов.

Ежегодно в нашей стране во время переработки или транспортировки нефти в результате стихийных разливов и аварий образуется более 400 тыс. тонн нефтеотходов, а ресурсы, находящиеся в земляных амбарах, оцениваются в 4,5 млн тонн. При этом надо понимать, что наличие таких амбаров повышает риск гибели животных, загрязнения грунтовых вод, воздуха. А загрязнение почв нефтью, помимо своего прямого воздействия, может приводить к сверхнормативному накоплению в них тяжелых металлов — цинка, меди, свинца, что наихудшим образом сказывается как на экологии края, так и на качестве жизни людей [1, 2].

Существует и потенциальная опасность остановки некоторых нефтеперерабатывающих предприятий из-за фактического переполнения нефтяных амбаров нефтешламами в результате зачистки резервуаров от остатков нефтепродуктов. Строительство же новых современных полигонов и амбаров для хранения нефтешламов дорого и не решает проблему.

Поэтому проблема утилизации и переработки жидких и твердых нефтеотходов является актуальной и требует безотлагательного решения.

Очевидно, что все сложности, возникающие при переработке нефтешламов, обусловлены в большинстве случаев неоднородным поликомпонентным составом этих смесей: в них присутствуют нефть, вода, нефтяные эмульсии, асфальтены, гудроны и ионы металлов, различные механические примеси, иногда даже радиоактивные элементы. Кроме того, нефтяные шламы имеют три ярко выра-

женных фракции: водную, нефтяную и твердую, что также значительно осложняет процессы переработки.

Унифицированного способа переработки нефтешламов нет, однако любая технология базируется на 2-х последовательных этапах: предварительная подготовка (обезвоживание и удаление механических примесей) и непосредственно переработка.

Существует несколько методов конечной переработки нефтешламов:

- биологические — микробиологическое разложение в почве непосредственно в местах хранения, биотермическое разложение;
- физические — захоронение в специальных могильниках, разделение в центробежном поле, вакуумное фильтрование и фильтрование под давлением;
- химические — экстрагирование с помощью растворителей, отверждение с применением (цемент, жидкое стекло, глина) органических (эпоксидные и полистирольные смолы, полиуретаны и др.) добавок;
- физико-химические — применение специально подобранных реагентов, изменяющих физико-химические свойства, с последующей обработкой на специальном оборудовании;
- термические — сжигание в открытых амбарах, печах различных типов, получение битуминозных остатков [3, 4].

Несмотря на усилия ученых и нефтяников, унифицированного способа переработки всех видов нефтеотходов еще не найдено. Ясно, что нефтепродукты нежелательно сжигать (это просто, но вредно для экологии), закапывать (что означает уничтожение всей флоры в окрестностях по причине заражения углеводородами). Теоретически неплох метод биоремедиации, однако действие бактерий занимает несколько лет. О таких дорогостоящих методах, как химическая обработка реагентами или закачка в пласт, пока и речи не идет. Приходится искать подходящие комбинации технологий, учитывая их стоимость, производительность, мобильность, соответствие экологическим требованиям и безопасность.

С другой стороны, во всем мире нефтешламы уже давно не отходы, а источник ценного сырья — товар с реальной рыночной ценой, и необходимо использовать их по прямому назначению, т.е. как энергетические ресурсы. Важно осознать, что шламы надо не просто утилизировать, а перерабатывать в продукты нефтехимической промышленности.

Так, например, методом термического крекинга (высокотемпературная переработка нефти, смол и нефтешламов) удается получать легкие моторные и котельные топлива, высокоароматизированное сырье, нефтяной кокс. Подбором углеводородного и фракционного состава сырья, а также температуры, давления и продолжительности процесса крекинг направляют в сторону получения заданных целевых продуктов. При переработке нефтешламов применяется также метод пиролиза. В результате на выходе получают твердые, газообразные и жидкие продукты сложного состава. Однако каждый метод имеет свои преимущества и недостатки. Недостатки этих методов: медленное протекание процесса, термический крекинг дает бензины с недостаточно высоким октановым числом (65–68 по моторному методу) и в бензине содержится много непредельных углеводородов, которые легко окисляются и полимеризуются [5].

В связи с этим большой практический интерес представляет использование явления электрогидроимпульсной обработки в переработке нефтяных шламов, которая сочетает в себе одновременное воздействие на вещество сильного механического сжатия, мощного ультразвука, жесткого рентгеновского, УФ- и ИК-излучений. 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 происходят разнообразные физические изменения и химические реакции в обрабатываемом материале.

В настоящее время кавитационное воздействие на обрабатываемую среду является одним из эффективных методов интенсификации физико-химических и технологических процессов в жидкостях.

Явление кавитации при электрогидроимпульсной обработке представляет собой способ локальной концентрации энергии низкой плотности в высокую, которая связана с захлопываниями кавитационных пузырьков и пульсациями. В жидкости, в фазе разрежения акустической волны или за счёт местного понижения давления при обтекании твердого тела, образуются каверны, т.е. кавитационные пузырьки, которые заполняются насыщенным паром данной жидкости. Под действием повышенного давления и сил поверхностного натяжения в фазе сжатия каверна захлопывается, а пар конденсирует-

ся на границе раздела фаз. В нее через стены каверны проникает газ, растворенный в жидкости, который затем подвергается сильному адиабатическому сжатию.

Давление и температура газа в момент схлопывания кавитационной каверны локально могут достичь достаточно значительных величин (по расчётным данным до 100 МПа и 10000 К соответственно). В жидкости после схлопывания каверны распространяется сферическая ударная волна, которая быстро затухает в пространстве. При генерировании импульсных растягивающих напряжений в жидкости зародыши кавитации (устойчивые паровые и газовые пузырьки малых размеров), присутствующие в ней, начинают расти, образуя кавитационный кластер, форма и размеры которого определяются начальным спектром размеров кавитационных зародышей, характером прикладываемого напряжения и граничными условиями [6].

В монографии академика Республики Казахстан Н.К. Надирова [7] приведены результаты влияния кавитации, которая способна разрушить не только межмолекулярные связи, но и прочную объемную структуру решетки, характерную для высокомолекулярных и парафинистых нефтей, снижая тем самым реологические свойства высоковязких нефтей.

Нами было изучено влияние электрогидроимпульсных ударных волн на реологические свойства нефтешлама. Электрогидроимпульсная установка и ее характеристика были описаны ранее в статьях [8, 9]. Для определения реологических свойств был выбран нефтешлам, образовавшийся на рабочих поверхностях нефтепровода Атасу-Алашанькоу. Время электрогидроимпульсного воздействия на образцы нефтешлама составляло 5 минут. Вязкость исследуемых образцов нефтешлама определяли по ГОСТу 11503-74 [10].

В таблице 1 представлены результаты измерения вязкости в зависимости от температуры до и после обработки электрогидроимпульсным эффектом. Измерение вязкости нефтешлама проводилось в интервале температур 45-55 °С.

Т а б л и ц а 1

**Измерение вязкости нефтешлама Атасу-Алашанькоу до и после обработки электрогидроимпульсными разрядами**

t, °С	ν, ВЯЗКОСТЬ мм <sup>2</sup> /с							
	ν <sub>1</sub>		ν <sub>2</sub>		ν <sub>3</sub>		ν <sub>ср</sub>	
	до обр.	после обр.	до обр.	после обр.	до обр.	после обр.	до обр.	после обр.
45	11,68	10,62	11,59	10,98	11,41	11,86	11,56	11,15
50	11,1	10,90	11,33	10,99	11,68	10,87	11,37	10,92
55	11,18	10,60	11,17	10,82	11,26	11,08	11,2	10,8

На рисунке 1 представлена зависимость вязкости от температуры до и после обработки электрогидроимпульсными разрядами.

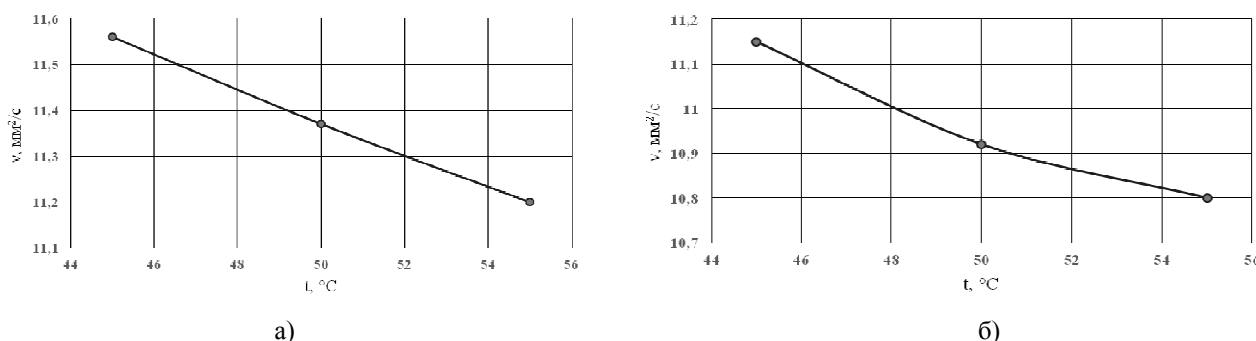


Рисунок 1. Результаты измерения зависимости вязкости от температуры а) до и б) после обработки электрогидроимпульсными разрядами нефтяного шлама, образовавшегося на трубопроводах Атасу-Алашанькоу

Как видно из рисунка 1, значения кинематической вязкости нефтяного шлама, образовавшегося на трубопроводах Атасу-Алашанькоу, на всем интервале температур снижаются, что связано с ростом алифатических и уменьшением ароматических углеводородов. Это объясняется тем, что

под воздействием электрогидроимпульсной ударной волны большой интенсивности на протяжении короткого времени нарушаются С – С-связи в молекулах парафина, вследствие чего происходят изменения физико-химического состава (уменьшение молекулярного веса, температуры кристаллизации и др.) и свойств нефтешламов (вязкости, плотности, температуры вспышки и др.).

Нефтешлам представляет собой эмульсию (вода в нефтепродукте не превышает 10–15%). Допуская аддитивность их объемов, средняя плотность нефтешлама определялась по правилу смешения. Метод применяется для определения плотности нефти и нефтепродуктов ареометром для нефти. Сущность метода заключается в погружении ареометра в испытуемый продукт, снятии показания по шкале ареометра при температуре определения и пересчете результатов на плотность при температуре 40–60 °С.

В таблице 2 представлены результаты измерения плотности до и после обработки электрогидроимпульсным эффектом в зависимости температуры.

Таблица 2

**Измерение плотности нефтешлама Атасу-Алашанькоу до и после обработки электрогидроимпульсными разрядами**

t, °С	$\rho$ , плотность Г/см <sup>3</sup>							
	$\rho_1$		$\rho_2$		$\rho_3$		$\rho_{cp}$	
	до обр.	после обр.	до обр.	после обр.	до обр.	после обр.	до обр.	после обр.
45	797	796	798	798	798	797	798	797
50	790	792	794	791	795	792	793	791,7
55	795	790	797	792	798	791	797	791

На рисунке 2 показана зависимость плотности от температуры до и после обработки электрогидроимпульсными разрядами.

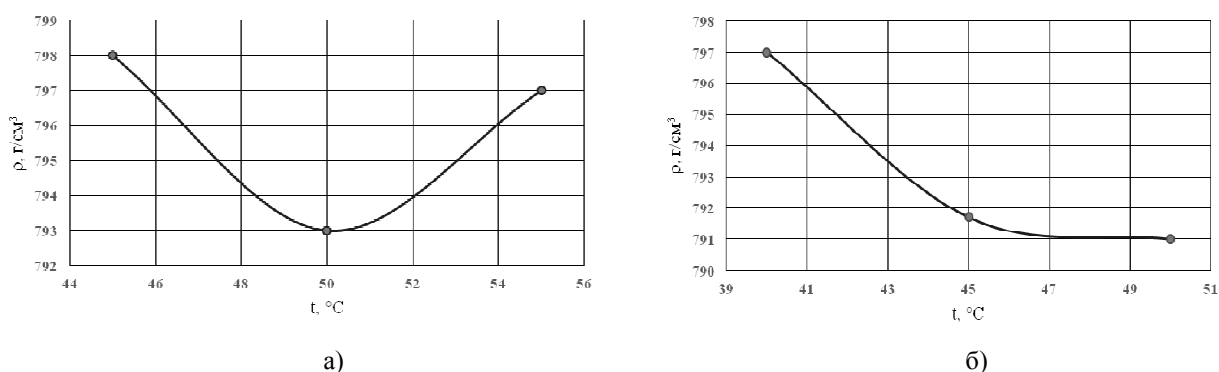


Рисунок 2. Результаты измерения зависимости плотности от температуры а) до и б) после обработки электрогидроимпульсными разрядами нефтяного шлама, образовавшегося на трубопроводах Атасу-Алашанькоу

Под влиянием больших градиентов давления и скорости происходит интенсивное возбуждение отдельных крупных молекул высоковязкой нефти, в результате чего ослабевают межмолекулярные взаимодействия и уменьшаются размеры агрегатов. Попадая в область ударных волн, они разрушаются по С – С-связям, что приводит к изменению соотношений различных углеводородов.

Как видно из рисунка 2, значения плотности нефтяного шлама, образовавшегося на трубопроводах Атасу-Алашанькоу, на всем интервале температур снижаются, что связано с ростом алифатических и уменьшением ароматических углеводородов в обоих случаях.

Установлено, что электрогидроимпульсное воздействие приводит к максимальному снижению плотности при электрогидроимпульсном воздействии в течение 5 минут. Согласно современным представлениям механоразрушение рассматривается как непрерывный процесс, на отдельных стадиях которого проходят конкурирующие реакции деструкции и синтеза. Этим и объясняется непрямолинейное снижение плотности.

Данная технология может быть использована как для утилизации нефтешламов из нефтяных амбаров, так и во всех безотходных производственных технологиях переработки нефтепродуктов. Она

также может быть использована для чистого превращения энергии токсичных нефтешламов в полезные продукты — топливо, тепло и электроэнергию.

### Список литературы

- 1 *Темиргалиев С.* Превращая отходы в доходы // Казахстанская правда. — 2015. — № 19 (27895). — С. 26. — [ЭР]. Режим доступа: <http://www.kazpravda.kz>.
- 2 *Кусаиынов К., Байкенов М.И., Нусупбеков Б.Р., Сатыбалдин А.Ж.* Влияние электрогидроимпульсного воздействия на физико-химические свойства высоковязкого углеводородного сырья. Органика. I-й Междунар. Российско-Казахстанская конф. по химии и химической технологии. — Томск, 2011. — С. 534–538.
- 3 *Жаров О.А., Лавров В.Л.* Современные методы переработки нефтешламов // Экология производства. — 2004. — № 5. — С. 43–51.
- 4 *Юльтимирова И.А.* Проблемы утилизации нефтешламов // Налоги. Инвестиции. Капитал. — 2004. — № 1. — С. 65–80.
- 5 *Соловьянов А.А.* Переработка нефтешламов с использованием химических и биологических методов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. — 2012. — № 5. — С. 30–39.
- 6 *Федоткин И.М., Гулый И.С.* Кавитация, кавитационная техника и технология. — Киев: ОКО, 2000. — 898 с.
- 7 *Надиров Н.К.* Высоковязкие нефти и природные битумы. Добыча. Подготовка. Транспортировка. — Алматы: Ғылым, 2001. — Т. 2. — 344 с.
- 8 *Кусаиынов К., Сатыбалдин А.Ж., Булкаирова Г.А., Саденова К.К., Сагимбекова М.Н.* Электрогидроимпульсная установка для обработки нефтесодержащего техногенного сырья // Хаос и структуры в нелинейных системах. Теория и эксперимент: материалы 9-й междунар. науч. конф., посвящ. 90-летию академика Е.А.Букетова. — Караганда, 2015. — С. 262–266.
- 9 *Kussaiynov K., Satybaldin A.Zh., Sadenova K.K., Sagimbekova M.N.* Electrohydropulse technology of processing oil slimes and oil-containing technogenic raw materials // Eurasian Physical Technical Journal. — 2015. — № 1 (23). — С. 65–70.
- 10 ГОСТ 11503-74. Битумы нефтяные. Метод определения условной вязкости. — [ЭР]. Режим доступа: [vsegest.com](http://vsegest.com)

К.К.Кусаиынов, А.Ж.Сатыбалдин, К.К.Саденова, М.Н.Сағымбекова, Д.А.Қажығали

### **Атасу-Алашанькоу мұнай қалдықтарының физика-химиялық сипаттамаларын жақсарту үшін электрогидроимпульстік технологияны қолдану**

Қазақстандағы мұнай қалдықтарының қоры бойынша мәліметтер мұнай қалдықтарын өңдеу, жинақталатын жылдық көлемді жаппайтынын көрсетеді. Қазақстандағы қалдықтар қоймасында және полигондарда жинақталған 4 млн тоннадан астам қатты мұнай қалдықтары (битум, гудрон, асфальтен) оларды коммерцияланған өнімге келесідей өңдеу үшін айтарлықтай жоғары әлеуетке ие, алайда бұл мәселе әлі де шешімін таппаған. Мақалада қалдықтарды кәдеге жарату әдістері, сондай-ақ мұнай қалдықтарын мұнай-химия өнеркәсібі өніміне өңдеу тәсілдері көрсетілген. Атасу-Алашанькоу мұнай құбырының жұмыстық беттерінде пайда болған мұнай қалдықтарына электрогидроимпульстің әсері зерттелді. Мұнай қалдықтарының өңдеуге дейінгі және өңдеуден кейінгі реологиялық қасиеттерінің өзгерісіне электрогидроимпульстік соққы толқындарының әсері анықталды.

К.К.Kussaiynov, A.Zh.Satybaldin, K.K.Sadenova, M.N.Sagimbekova, D.A.Kazhygali

### **The use of electrohydropulse technologies to improve physico-chemical characteristics of oil sludge Atasu-Alashankou**

Data on the accumulation of sludge in Kazakhstan shows that their processing does not cover the volume of the annual education. Barn solid sludge (bitumen, tar, asphalt), which accumulated sludge ponds and landfills of Kazakhstan for more than 4 million tons and have a high enough potential for subsequent processing into products which are commercializing, but the problem is still not solved. The article presents the methods of disposal, as well as methods of processing sludge in petrochemical products. There was investigated the effect of exposure of electrohydropulse to oil sludge which formed on the working surfaces of the Atasu-Alashankou. The identification effect of discharge of electrohydropulse to change rheological properties before and after treatment of oil sludge.

## References

- 1 Temirgaliev S. *Kazakhstanskaya pravda*, 2015, 19 (27895), p. 26, [ER]. Access mode: <http://www.kazpravda.kz>
- 2 Kussaiynov K., Baikenov M.I., Nusupbekov B.R., Satybaldin A.Zh. *The influence of electrohydropulse influence on the physico-chemical properties of high-viscosity hydrocarbons. Organic. I-St international Russian-Kazakh conference on chemistry and chemical technology*, Tomsk, 2011, p. 534–538.
- 3 Zharov O.A., Lavrov V.L. *Industrial Ecology*, 2004, 5, p. 43–51.
- 4 Yultimirova I.A. *Taxes. Investments. Capital*, 2004, 1, p. 65–80.
- 5 Solovyanov A.A. *Environment protection in oil and gas complex*, 2012, 5, p. 30–39.
- 6 Fedotkin I.M., Guly I.S. *Cavitation, cavitation technology*, Kiev: OCO, 2000, 898 p.
- 7 Nadirov N.K. *Heavy oil and natural bitumen. Mining. Preparation. Transportation*, Almaty: Nauka, 2001, 2, 344 p.
- 8 Kussaiynov K., Satybaldin A.Zh., Bulkairova G.A., Sadenova K.K., Sagimbekova M.N. *Chaos and structures in nonlinear systems. Theory and experiment: proceedings of 9-th international scientific conference dedicated to the 90th anniversary of academician Ye.A. Buketov*, Karaganda, 2015, p. 262–266.
- 9 Kussaiynov K., Satybaldin A.Zh., Sadenova K.K., Sagimbekova M.N. *Eurasian Physical Technical Journal*, 2015, 1 (23), p. 65–70.
- 10 GOST 11503-74 Bitumen oil. Method of determination of conditional viscosity, [ER]. Access mode: [vsegost.com](http://vsegost.com)