

УДК 665.666.002.8

## РЕГУЛИРОВАНИЕ С ПОМОЩЬЮ ФИЗИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СОСТАВА НА ОСНОВЕ ПЕТРОЛАТУМА

© 2022 г. Ю. В. Лоскутова<sup>1,\*</sup>, Н. В. Юдина<sup>1,\*\*</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН Институт химии нефти СО РАН (ИХН СО РАН), 634055 Томск, Россия

\*e-mail: reoloil@ipc.tsc.ru

\*\*e-mail: natal@ipc.tsc.ru

Поступила в редакцию 22.11.2021 г.

После доработки 26.11.2021 г.

Принята к публикации 08.12.2021 г.

Исследовано влияние низкочастотной акустической обработки на вязкостные, температурные и энергетические параметры, а также адгезионные свойства жирового состава на основе петролатума, который используется в технологической схеме на горно-обогажительных фабриках алмазодобывающей промышленности. Обработка полем жирового состава сопровождается снижением температуры плавления, вязкости и энергии активации вязкого течения. При этом состав сохраняет текучесть в течение 8 ч, не теряя адгезионных свойств. Уровень энергетических затрат на разогрев состава в несколько раз ниже, чем при традиционной термической технологии.

Ключевые слова: *жировой состав, низкочастотная акустическая обработка, вязкость, адгезия, релаксация*

DOI: 10.31857/S0023117722020050

### ВВЕДЕНИЕ

На горно-обогажительных фабриках алмазодобывающей промышленности как за рубежом, так и в России технологическая схема процесса доводки черновых алмазных концентратов включает в себя в разнообразных комбинациях жировую, рентгенолюминесцентную, электростатическую и электромагнитную сепарации. На отечественных обогажительных фабриках процесс липкостной сепарации является контрольным, так как обогащению на жировой поверхности автоматизированных ленточного типа сепараторов с полным удалением и заменой жира подвергаются хвосты рентгенолюминесцентной сепарации. Реагенты, используемые в процессе, – петролатум, октол-600 и масло индустриальное. Из них приготавливается методом варки липкий состав, который наносится на рабочую поверхность ленты сепаратора. Процессов, альтернативных липкостной сепарации на этой технологической операции, практически нет, так как хвосты рентгенолюминесцентной сепарации содержат, в том числе, и алмазы со слабой интенсивностью рентгенолюминесценции [1].

Кроме ленточного сепаратора в процессе также предполагается использование такого высокоэнергетического оборудования, как мазеварки и

жиротопки. В мазеварке, снабженной водяной рубашкой и якорной мешалкой, при температуре 90°C непрерывно идет процесс приготовления мазеподобного состава на основе петролатума. Расплавленный состав подается в емкость готовой мази, в которой поддерживается температура 70°C. Готовая мазь с помощью насоса периодически поступает и равномерно наносится тонким слоем на транспортерную ленту специального барабана, по которому движется отработанная руда. С барабана руда смывается водой, а мельчайшая алмазная крошка прилипает к поверхности транспортера. Через 3–4 ч происходит съем мази в жиротопку для отделения от воды и минералов. Расплавленный жир возвращается в емкость готовой мази. Таким образом, технологический процесс доочистки руды связан со значительными затратами электроэнергии и топлива, которые резко возрастают в суровых климатических условиях Восточной Сибири [2].

Большой интерес исследователей к различным типам малоэнергетических воздействий, с помощью которых можно без заметных внешних энергетических затрат или с использованием внутренних резервов перестраивать структуру вещества, связан с тем, что при помощи таких воздействий появляется возможность сравнительно легко достичь эффектов, соответствующих увеличению

**Таблица 1.** Физико-химические характеристики жирового состава на основе петролатума

Характеристика образца	Значение
Температура плавления, °С	58–65
Температура застывания, °С	56–49
Вязкость, мПа · с:	
при 70 °С	49.0
80 °С	33.3

или, наоборот, снижению упорядоченности в надмолекулярной структуре веществ. В качестве воздействий, регулирующих структуру веществ, могут быть использованы различные варианты электрических, электромагнитных, магнитных, вибрационных или акустических полей [3, 4]. В настоящее время акустические технологии, как низко-, так и высокочастотные, ввиду их экономичности, эффективности и доступности, находят все более широкое применение в промышленности. Их использование позволяет за короткий промежуток времени достичь значительного уровня разрушения коллоидно-дисперсной структуры вещества и поддерживать этот уровень в течение времени, необходимого для осуществления массообменных процессов [5].

Метод низкочастотной акустической обработки (НАО) жидкостей является запатентованным способом многокомпонентного физико-химического воздействия на сложные жидкие системы для изменения их реологических свойств и получения требуемых параметров [6]. Технология с использованием НАО обеспечивает диспергирование дисперсных составов на микронном уровне, высокоэффективное и производительное получение или разрушение устойчивых надмолекулярных структур различных жидких систем, интенсификацию массообменных процессов.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе эксперимента объектом исследования являлся жировой состав (ЖС), который представляет собой смесовую композицию на основе петролатума. Исходные характеристики ЖС представлены в табл. 1.

Петролатум – это смесь твердых углеводородов (парафина, церезина), полученных при депарафинизации остаточных нефтяных масел серно-кислотной и селективной очистки (ТУ 0255-053-48120848-2007). Петролатум состоит в основном из насыщенных кристаллических и жидких углеводородов состава  $C_{25}$  и выше, представляет собой вязкую светло-коричневую массу с температурой каплепадения 55–65 °С и температурой вспышки 230–255 °С. Содержание петролатума в

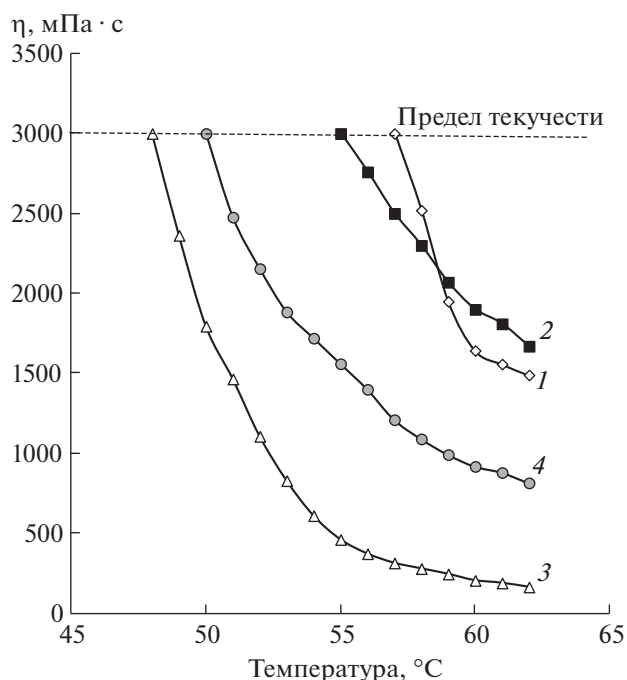
смеси составляет порядка 55 мас. %. В состав ЖС также добавляют 7 мас. % Октола-600, который относится к низкомолекулярным полибутиленам (ТУ-380011-79-74), 38 мас. % индустриальных масел общего назначения без присадок И-40А или И-30А.

Низкочастотная акустическая обработка реализует резонансно-колебательный принцип работы механической системы, который позволяет при минимальных энергозатратах оказывать комплексное воздействие на жидкие дисперсные системы: акустическое воздействие; мощное омагничивание; интенсивное перемешивание с высокими сдвиговыми скоростями. Энергия, необходимая для создания режима, передается магнитным полем подвижным элементам, поэтому весь объем жидкого продукта подвергается активному омагничиванию [7]. В результате НАО разрушается дисперсная структура жидкости, снижаются ее вязкость и температура застывания [8]. На данные физико-химические процессы затрачивается значительно меньше энергии, чем при термической технологии.

НАО образца ЖС проводилась на лабораторной установке мощностью 30 Вт и объемом пробы порядка 0.3–0.5 дм<sup>3</sup>. В ходе эксперимента предварительно нагретый до 50 °С ЖС подвергали обработке в течение 1, 5 и 10 мин. Динамическую вязкость образца до и после НАО измеряли на ротационном вискозиметре *Brookfield DV-III+* (США). Для этого ЖС при постоянной скорости перемешивания (10 об./мин или 3 с<sup>-1</sup>) нагревали в термостатирующей ячейке вискозиметра до температуры начала течения и затем, понижая температуру термостата, проводили измерения вязкости до температуры потери текучести ( $T_{пт}$ ).

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

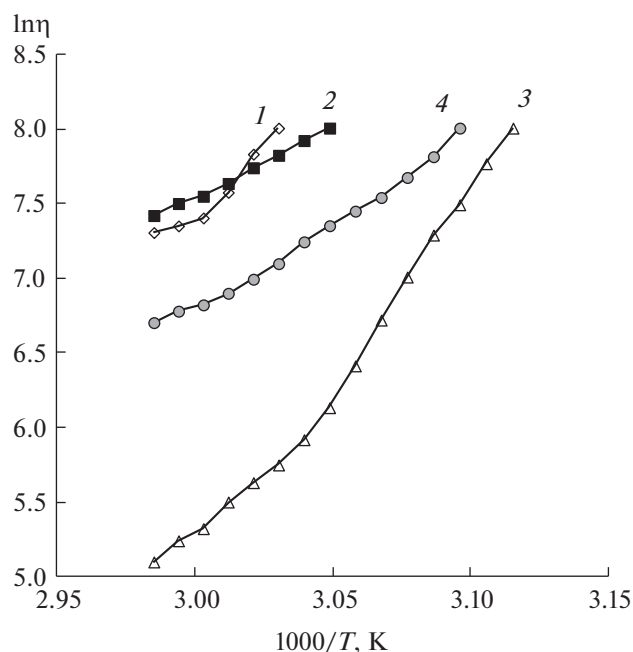
При температуре начала течения (~62 °С), соответствующей переходу образца исходного ЖС из твердого состояния в текучее, значения его динамической вязкости существенно ниже вязкости обработанного в течение 1 мин образца (рис. 1). Однако с понижением температуры до 58 °С исходный ЖС быстро теряет свою текучесть, а обработанный акустическим полем образец сохраняет жидкостную консистенцию до полной потери текучести при 55 °С. Увеличение до 5 мин времени НАО приводит к резкому (в 9 раз) снижению начальной вязкости, и только при температуре 48 °С обработанный образец полностью теряет свои вязкостно-пластические свойства. Дальнейший рост продолжительности НАО до 10 мин, напротив, сопровождается возрастанием вязкости во всем температурном диапазоне и полной потерей текучести при более высокой температуре (табл. 2).



**Рис. 1.** Изменение с понижением температуры динамической вязкости  $\eta$  жирового состава и потеря текучести до и после НАО: 1 – исходный; 2 – 1 мин НАО; 3 – 5 мин НАО; 4 – 10 мин НАО.

Состояние любой термодинамической системы зависит от соотношения энергии межмолекулярного взаимодействия и теплового движения, поэтому для высокоструктурированной дисперсной системы оказываются взаимосвязанными энергия вязкого течения и параметр ассоциативности (структурированности) жидкости. Для описания температурной зависимости вязкости неньютоновских жидкостей используют известное уравнение Аррениуса–Френкиля–Эйринга [9]:  $\eta = A \exp^{E_{a(вт)}/RT}$ , где  $E_{a(вт)}$  – энергия активации вязкого течения, кДж/моль;  $A$  – предэкспоненциальный коэффициент, зависящий от молекулярной природы и имеющий размерность вязкости;  $R$  – газовая постоянная,  $R = 8.314$  кДж/моль;  $T$  – абсолютная температура, К.

Для расчета  $E_{a(вт)}$  строилась логарифмическая зависимость динамической вязкости от температуры  $\ln \eta(1/T)$  в диапазоне от 62 до 48°C (рис. 2). Величина  $E_{a(вт)}$ , которая определяется по тангенсу угла наклона касательной к криволинейной зависимости, характеризует прочность связей в агрегатах в каждом структурном состоянии. Для исходного образца ЖС график имеет два разделенных точкой перегиба участка, каждый из которых отвечает за определенный тип структурообразования. Точка перегиба соответствует температуре фазового перехода ( $T_{фп}$ ), при которой происходит разрушение кристаллической структуры парафи-



**Рис. 2.** Полулогарифмические зависимости вязкости  $\eta$  от температуры  $T$  жирового состава до и после НАО в аррениусовских координатах ( $\ln \eta - 1/T$ ): 1 – исходный; 2 – 1 мин НАО; 3 – 5 мин НАО; 4 – 10 мин НАО.

новых углеводородов и переход нефтяной системы “золь  $\leftrightarrow$  гель” (рис. 2 и табл. 2). Для необработанной ЖС два различных значения  $E_{a(вт)}$  связаны со скачкообразным изменением степени ассоциации молекул в парафинсодержащей системе ЖС, что свидетельствует о произошедших фазовых переходах. После НАО графическая зависимость аппроксимируется одной линейной функцией без точки  $T_{фп}$ , соответствующей одному значению  $E_{a(вт)}$  (табл. 2). НАО образца сопровождается значительным снижением энергетических затрат: так, при нагревании обработанной полев ЖС на 1°C тратится в 4–5 раз меньше энергии в сравнении с образцом ЖС до обработки.

После НАО вязкостные свойства ЖС не восстанавливаются до исходных значений в течение 8 ч, при этом нагревание в течение 30 мин выше 70°C полностью снимает эффект обработки (рис. 3).

**Таблица 2.** Влияние НАО образца ЖС на температуры фазового перехода ( $T_{фп}$ ) и потери текучести ( $T_{пт}$ ), энергию активации вязкого течения  $E_{a(вт)}$

Образец ЖС	$E_{a(вт)}$ , кДж/моль	$T_{фп}$ , °C	$E_{a(вт)}/1^\circ\text{C}$ , кДж/моль	$T_{пт}$ , °C
Исходный	22.8/92.2	60	23	57
1 мин НАО	38.4	–	5.5	55
5 мин НАО	90.3	–	6.4	48
10 мин НАО	49.1	–	4.1	50

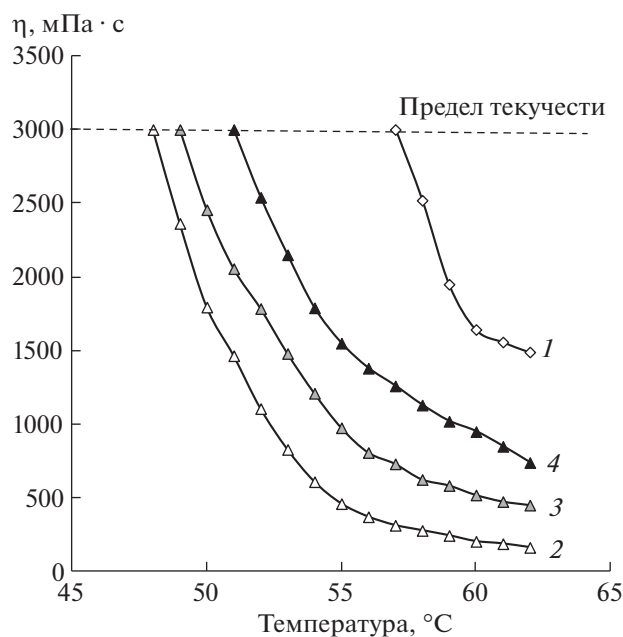


Рис. 3. Изменение во времени динамической вязкости  $\eta$  жирового состава после 5 мин ААО: 1 — исходный; 2 — после ААО; 3 — через 1 ч после ААО; 4 — через 8 ч после ААО.

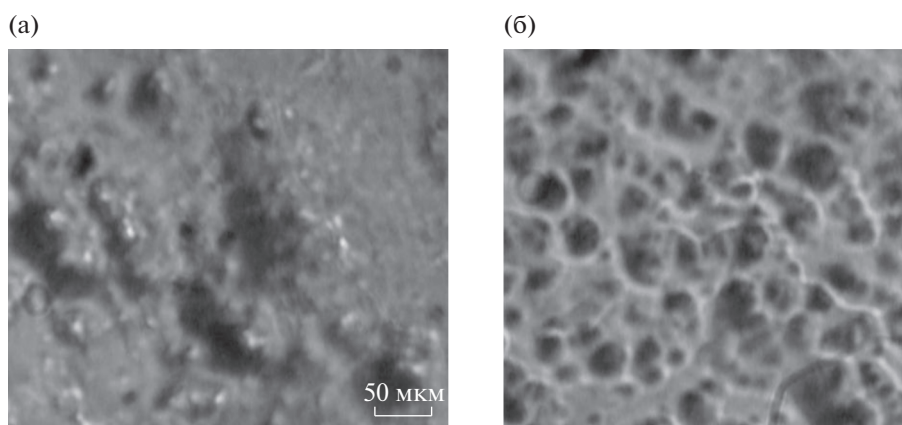


Рис. 4. Микрофотографии жирового состава: исходный (а), 5 мин ААО (б) (увеличение  $\times 600$ ).

Адгезионную способность ЖС до и после 5 мин ААО определяли с помощью торсионных весов методом отрыва металлической пластины от поверхности образца. Данные по адгезии трех параллельных опытов приведены в табл. 3.

После 5 мин акустической обработки адгезионная способность в течение 8 ч изменяется незначительно за счет того, что обработанный ЖС имеет более аморфную и однородную структуру (рис. 4).

Таблица 3. Изменение во времени адгезионной способности образца ЖС после ААО

Образец ЖС	Адгезия, Н/м <sup>2</sup>			
	опыт № 1	опыт № 2	опыт № 3	среднее значение
Исходный	61.7	64.1	62.5	62.8
5 мин ААО	60.9	61.7	60.1	60.9
Через 1 ч	61.1	61.1	60.9	61.0
Через 8 ч	61.1	61.2	61.3	61.2

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование технологии низкочастотного акустического воздействия для обработки жировых составов на основе петролатума позволяет снизить температуру плавления состава, его вязкость, увеличить время релаксации вязкостно-температурных свойств, не изменяя адгезионных свойств. Уровень энергетических затрат на данные физико-химические процессы в несколько раз меньше, а уровень энергетического воздействия значительно выше, чем при традиционной термической технологии.

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках Государственного задания ФГБУН Института химии нефти СО РАН при финансовой поддержке МИНОБРНАУКИ РФ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Авдохин В.М., Чернышева Е.Н.* // ГИАБ. 2010. № 1. С. 465.
2. *Чантурия А.В., Двойченкова Г.П., Трофимова Э.А., Чаадаев А.С., Зырянов И.В., Островская Г.Х.* // Горное дело. 2011. № 1. С. 71.
3. *Ткачев О.А., Тугунов П.И.* Сокращение потерь нефти при транспорте и хранении. М.: Недра, 1988. 118 с.
4. *Урьев Н.Б.* // Успехи химии. 2004. Т. 73. № 1. С. 39. [*Russ. Chem. Rev.*, 2004. vol. 73, no. 1. P. 37. <https://doi.org/10/1070/RC2004v073n01ABEH000861>].
5. *Rodionova G., Serkan Kelessoglu S., Sjöblom J.* // Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects. 2014. V. 448. P. 60. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2014.01.019>
6. *Рикконен С.В., Малиновский В.В.* Способ подготовки высоковязких нефтепродуктов к транспорту и устройство для его осуществления. Пат. РФ 2584840С2 // Б.И. 2016. № 14. 13 с.
7. *Лоскутова Ю.В., Юдина Н.В.* // Химия в интересах устойчивого развития. 2020. № 2. С. 266. [Chemistry for Sustainable Development, 2020. vol. 28. P. 256. <https://doi.org/10.15372/CSD2020228>]. <https://doi.org/10.15372/KhUR202022>
8. *Данекер В.А.* Расчет и конструирование электромагнитных преобразователей для активации жидких систем: Учебно-методическое пособие. Томск: ТПУ, 2018. 102 с.
9. *Loskutova Iu.V., Yudina N.V.* // AIP Conference Proceeding. 2018. V. 2051. P. 020171. <https://doi.org/10.1063/1.5083416>