

МОДИФИКАЦИЯ БАЗОВЫХ КОМПОНЕНТОВ КОНСЕРВАЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КАВИТАЦИЕЙ

Т.Я. Царюк, В.Н. Сакевич, В.П. Стригуцкий,
И.П. Фалюшина

УДК 666.97.001.015:[53.09+53.06]; 620.197

РЕФЕРАТ

УЛЬТРАЗВУК, КАВИТАЦИЯ, ПРОДУКТЫ МАСЛЯНОГО ПРОИЗВОДСТВА, ЗАЩИТНЫЕ СВОЙСТВА, ПАРАМАГНИТНАЯ АКТИВНОСТЬ

Исследовано влияние ультразвукового воздействия на физико-химические и защитные свойства продуктов масляного производства ОАО «Нафтан». Установлено, что вязкость вакуумных дистиллятов и экстракта нефтяного снижается на 5–20 %, а пластификатора нефтяного повышается на 23 %. Ультразвуковая обработка не оказывает негативного влияния на низкотемпературные свойства исследованных компонентов. Влияние ультразвуковой обработки на защитную эффективность компонентов неоднозначно и зависит от их группового состава и типа коррозионной среды: воздействие на экстракт нефтяной и вакуумный газойль повышает уровень их защитных свойств на 20–40 %, на нефтяной пластификатор – снижает на 15–59 %. Установлено, что ультразвуковая обработка приводит к повышению парамагнитной активности компонентов. Основным фактором ультразвукового воздействия является формирование ароматических систем полисопряжения вследствие сшивки по разорванным связям, образовавшимся при разрушении парафиновых структур. Системы полисопряжения с одной стороны являются активным структурным элементом, но в то же время их высокое содержание может приводить к уменьшению лабильности систем.

ABSTRACT

ULTRASOUND, CAVITATION, PRODUCTS OF OIL PRODUCTION, PROTECTIVE CAPABILITY, PARAMAGNETIC ACTIVITY

The article is aimed at finding of the influence of ultrasonic treatment on the physical and chemical, protective properties of oil products produced by OJSC «Naftan». It is established that the viscosity of vacuum distillates and petroleum's extract reduces by 5–20 %, and the plasticizer of petroleum increases by 23 %. The ultrasonic machining has no negative impact on the low-temperature properties of the investigated components. Effect of ultrasonic machining on the protective efficiency of the components is different and depends on the group composition and the type of corrosive environment: the impact on the extract of petroleum and vacuum gasoil increases the level of their protective properties by 20–40 %, petroleum plasticizer reduces by 15–59 %. It is established that the ultrasonic machining leads to the increase of the paramagnetic activity of components. The main factor of ultrasonic influence is the formation of aromatic systems polyconjugation due to cross-linking on broken links formed during the destruction of paraffin structures. Systems of polyconjugation on the one hand are an active structural element, but at the same time, their high content may lead to a decrease in lability of systems.

Консервационные масла и смазки в основном, представляют собой нефтяные дисперсные системы (НДС). Унгер Ф.Г. отмечает [1], что дисперсная частица может быть представлена как центрально-симметричное образование с плотным ядром, содержащим парамагнитные молекулы (высокомолекулярные парафины, высококон-

денсированная ароматика, гетероциклические соединения, металлоорганика), вокруг которых группируются ароматические, нафтеновые и парафиновые углеводороды в соответствии со значениями потенциалов парного взаимодействия. При этом дисперсионная среда также является многокомпонентным нефтяным раство-

ром. Размеры дисперсных частиц изменяются в зависимости от природы НДС. Так, для очищенной масляной фракции эти размеры составляют 30–60 нм, для вакуумных дистиллятов – от десятков до сотен нанометров, для остаточных прямогонных нефтепродуктов – более сотни нанометров [2, 3].

Регулирование основных параметров НДС с помощью физического воздействия (кавитация, магнитное поле, ультразвук, лазерное излучение) оказывается эффективным способом влияния на их поведение в технологических процессах и свойствах получаемых при этом продуктов [4]. Для многих систем характерны полиэкстремальные зависимости физико-химических свойств от интенсивности воздействия внешних факторов, что является следствием изменения дисперсного состояния и перестройки структурных единиц НДС [5].

В нефтехимии кавитация нашла практическое применение, прежде всего для интенсификации крекинга тяжелых нефтяных остатков [6]. В общем случае кавитация связана с появлением в жидкости при определенных условиях многочисленных кавитационных пузырьков, которые пульсируют, осциллируют, растут, уменьшаются, схлопываются и при этом перемещаются вместе с потоком жидкости. При схлопывании кавитационного пузырька (каверны) в результате несферического сжатия возникают кумулятивные струйки, а в окрестности места исчезновения пузырька выделяется энергия. При этом в точках схлопывания пузырька возникают экстремально высокие значения давления (200–400 МПа) и температуры (10^4 К) [7]. Генерация этих условий и является принципиальной основой процесса интенсификации крекинга углеводородов нефти.

В настоящее время имеются большие пробелы как в понимании механизмов воздействия ультразвуковых полей на сложные многокомпонентные среды, к которым относятся смеси углеводородов, так и эффективности протекающих при этом физико-химических процессов [6]. Происходящие в системе процессы могут привести к изменению защитной эффективности консервационных материалов, однако данные по влиянию различных физических воздействий на защитные свойства нефтяных систем

отсутствуют.

Целью настоящей работы являлось исследование возможности улучшения эксплуатационных характеристик базовых компонентов консервационных и смазочных материалов ультразвуковой кавитацией.

При разработке отечественного ассортимента консервационных и смазочных материалов в качестве базовых компонентов наибольшее применение нашли продукты масляного производства ОАО «Нафтан». В связи с этим для исследований были выбраны вакуумный газойль ВГ, вакуумные дистилляты ВД-2 и ВД-4, экстракт нефтяной ЭФО и пластификатор нефтяной ПН-6. Краткая характеристика химической структуры и физико-химических свойств объектов исследования представлена ниже.

- Вакуумные дистилляты, получаемые при вакуумной дистилляции мазута атмосферно разгонки нефти, представляют собой мазеобразные при комнатной температуре продукты плотностью 920–995 кг/м³ и кинематической вязкостью при 100 °С от 4,5 до 20 мм²/с. С повышением температурных пределов выкипания вакуумных дистиллятов их вязкость, температуры вспышки и застывания повышаются. Вакуумные дистилляты содержат 5–8 % парафиновых, 27–39 % парафино-нафтяных, 49–60 % ароматических углеводородов, а также 3–6 % смол. При этом содержание в дистилляте парафиновых и парафино-нафтяных углеводородов уменьшается с повышением температуры выкипания фракции, а ароматических и смол – увеличивается. Твердые углеводороды, входящие в состав второго вакуумного дистиллята, в основном представлены парафиновыми углеводородами нормального строения, а в состав четвертого погона – парафиновыми углеводородами изомерного строения с примесью нафтяных и ароматических углеводородов.

- Вакуумный газойль производят дистилляцией нефти или продуктов ее переработки при вакуумной перегонке нефти, он служит сырьем для каталитического крекинга и гидрокрекинга. Газойль марки Б представляет собой мазеобразный при комнатной температуре продукт плотностью 870–950 кг/м³, кинематической вязкостью при 50 °С от 25,1 до 50 мм²/с, температурой застывания не ниже 16 °С и темпе-

ратурой вспышки 190 – 215 °С. Вакуумный газойль содержит 46–57 % парафино-нафтяных, 42–52 % ароматических углеводородов и около 2 % смол.

- В результате фенольной очистки дистиллятных и остаточных масел фракций третьего и четвертого погонов и деасфальтизатов получают экстракт нефтяной ЭФО и пластификатор нефтяной ПН-6к, представляющий собой концентрат ароматических углеводородов, получаемый компаундированием экстрактов фенольной очистки масляных фракций нефти. Данные продукты представляют собой жидкости темно-коричневого цвета с вязкостью при 100 °С 10–15 мм²/с и 30–35 мм²/с, плотностью 950–990 кг/м³, температурой вспышки не ниже 210 °С. Экстракт нефтяной содержит до 30 % парафино-нафтяных углеводородов, до 68 % ароматических, в т.ч. моно- – 17, би- – 36, полиароматических – 15, а также до 5 % смол. Пластификатор нефтяной ПН-6к содержит до 18 % парафино-нафтяных углеводородов, до 80 % ароматических, в том числе моно- – 14, би- – 40, полиароматических – 26, а также до 7 % смол, при этом фракции ароматических углеводородов этих масел насыщены серосодержащими соединениями

Кавитационное воздействие на объекты исследования (по 150 г каждый) осуществлялось мощным ультразвуком (0,63 кВт) на частоте 22 кГц в течение 15 мин, при этом обработка проводилась циклами по 5 мин с охлаждением на воздухе до 40 °С. Следует отметить, что в одинаковых условиях образцы в результате ультразвукового воздействия разогревались до разных температур, при этом минимальная температура после первого цикла зафиксирована у вакуумного газойля (80 °С), а максимальная – 95 °С – у пластификатора нефтяного. Кроме того, органолептическим методом установлено появление более сильного запаха нефтепродуктов.

Поскольку значительная часть объектов исследования представляла собой мазеобразные продукты, оценка влияния ультразвуковой обработки на их физико-химические и защитные свойства была проведена для их 50 %-ных растворов в масле И-20 А.

Для оценки физико-химических свойств объектов исследования использовали стандартные методы оценки нефтепродуктов. Кинемати-

ческую вязкость определяли по ГОСТ 33–2000 (расхождение между временем истечения двух определений не превышало 0,5 % среднеарифметического), плотность – по ГОСТ 3900–85 ареометром, температуру застывания – по ГОСТ 20287–91 (расхождение между двумя параллельными измерениями не превышало 1 °С). Эмульгирующую способность определяли при соотношении вода–объект исследования как 4 : 1 после встряхивания в течение 1 мин в делительной воронке. Поскольку объекты исследования в большинстве своем являются мазеобразными продуктами, их и воду предварительно нагревали до 50 °С. Критериями оценки эмульгируемости служили объемы образуемых пены и эмульсии, а также их стойкость в течение 1 и 24 ч.

Защитные свойства устанавливали с помощью методов ускоренных испытаний по ГОСТ 9.054–75 при воздействии повышенной влажности, температуры и сернистого ангидрида с периодической конденсацией влаги; при постоянном погружении в электролит (искусственную морскую воду). Критерием оценки служила потеря массы пластины из стали марки 10 после удаления продуктов коррозии (ее определяли гравиметрическим методом, при этом отклонения параллельных измерений от среднеарифметического значения составляло не более 5 %).

Показатель преломления определяли с помощью рефрактометра ИРФ-22 (точность измерений 0,0002).

Для установления механизмов воздействия ультразвуковой обработки на функциональные свойства и особенности молекулярной структуры объектов исследования использовался метод электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). Регистрацию спектров ЭПР осуществляли на серийном радиоспектрометре РЭ-1301. Чтобы избежать насыщения сигнала ЭПР СВЧ-мощностью, его интенсивность (концентрация ПМЦ) и параметры (ширина ΔH и положение по полю – g -фактор) определяли при низком уровне СВЧ-мощности (0,1 мВт).

Оценка влияния ультразвука на основные физико-химические характеристики объектов показала, что ультразвук оказывает различное воздействие на вязкость компонентов: так, вязкость вакуумного газойля остается неизменной,

незначительно снижается у вакуумных дистиллятов и уменьшается на 20 % у экстракта нефтяного, а у самого высоковязкого компонента – нефтяного пластификатора, повышается на 23 % (рис. 1).

Ультразвуковая обработка незначительно снижает плотность вакуумных дистиллятов, но существенно повышает плотность вакуумного газойля. Ультразвуковая обработка практически не влияет на температуру застывания компонентов, исключение составляет лишь вакуумный дистиллят ВД-2, температура застывания которого снижается на 2 °С (таблица 1).

Оценка способности компонентов к эмульгированию показала (рис. 2), что ультразвуковая обработка не оказывает влияния на эту характеристику вакуумного дистиллята ВД-2 и вакуумного газойля и снижает эмульгируемость вакуумного дистиллята ВД-4 и пластификатора нефтяного, однако для экстракта нефтяного зафиксировано повышение склонности к эмульги-

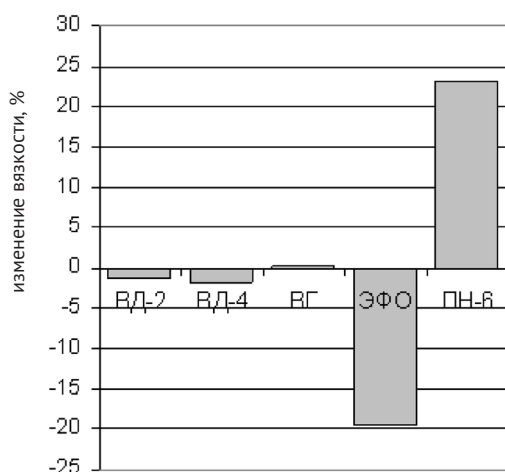


Рисунок 1 – Влияние ультразвуковой обработки на вязкость базовых компонентов

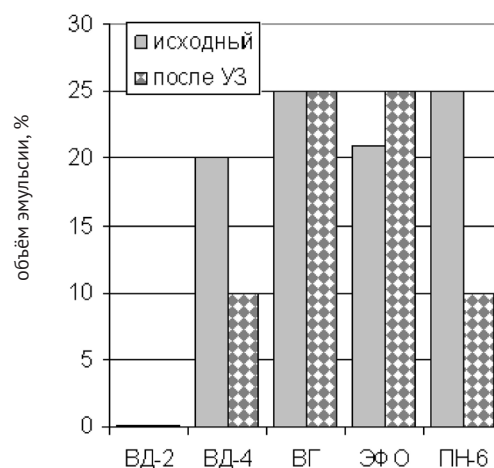


Рисунок 2 – Влияние ультразвуковой обработки на эмульгируемость базовых компонентов

рованию и стойкости образуемых им эмульсий (рис. 3).

Анализ результатов оценки защитных свойств базовых компонентов показал, что влияние ультразвукового воздействия на защитную эффективность исследуемых компонентов неоднозначно (рис. 4). При обработке экстракта нефтяного и вакуумного газойля происходит повышение их защитной эффективности в сернистом ангидриде и электролите на 20–40 %. Эффективность вакуумного дистиллята ВД-4 в условиях воздействия сернистого ангидрида возрастает на 15 %, а в электролите снижается на 50 %.

Ультразвуковая обработка оказывает негативное влияние на защитные свойства нефтяного пластификатора в обеих средах, при этом максимальное снижение его эффективности почти на 60 % имеет место при воздействии сернистого ангидрида.

Таблица 1 – Влияние ультразвуковой обработки на физико-химические свойства базовых компонентов

Компонент	Плотность кг/м ³		Температура застывания, °С	
	исходный	после УЗК	исходный	после УЗК
ВГ	932	961	6	6
ВД-2	898	897	-16	-18
ВД-4	991	988	-2	-2
ЭФО	921	921	-15	-15
ПН-6	923	923	-8	-8

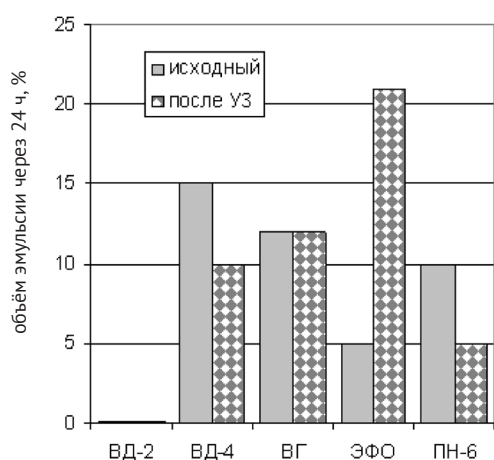


Рисунок 3 – Влияние ультразвуковой обработки на стойкость эмульсий базовых компонентов

Таким образом, анализ полученных данных показал, что ультразвуковая обработка исследуемых компонентов в ряде случаев приводит к изменению их физико-химических характеристик, как правило, уменьшает их вязкость и не ухудшает их низкотемпературные свойства. Данные изменения положительно скажутся на технологичности разрабатываемых консервационных и смазочных материалов в процессе применения. Кроме того, в ряде случаев в результате ультразвуковой обработки происходит повышение защитной эффективности базовых компонентов, что внесет дополнительный вклад в способность консервационных материалов защищать металл от коррозионного разрушения.

Для уточнения изменений, происходящих с исследуемыми компонентами при ультразвуковом воздействии, был проведен рефрактометрический анализ образцов. Полученные результаты показали, что изменение структуры, влияющие на показатели преломления компонентов, происходят при обработке вакуумного дистиллята ВД-4 и экстракта ЭФО, коэффициенты рефракции которых уменьшаются на 0,0009–0,0010. Для остальных компонентов подобные изменения не отмечены.

Для установления механизмов влияния ультразвуковой обработки также было выполнено сопоставление ее влияния на парамагнитные свойства (таблица 2) и изменение защитной эффективности и вязкости.

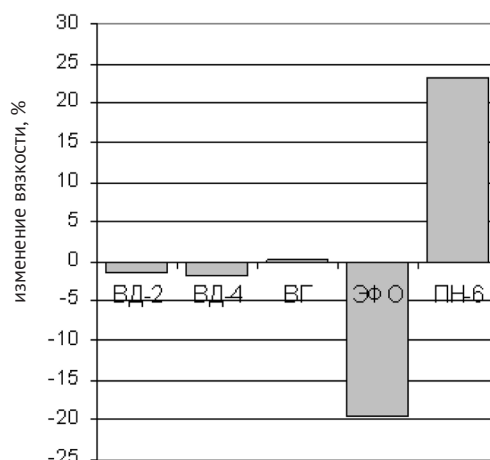


Рисунок 4 – Влияние ультразвуковой обработки на защитные свойства базовых компонентов

В экстракте нефтяном ЭФО сигнал ЭПР регистрируется только после воздействия ультразвука, что свидетельствует о крайне низком содержании ароматических систем полисопряжения. Появление сигнала ЭПР сопровождается улучшением защитных свойств и уменьшением вязкости, что согласуется с полученными ранее данными, что системы полисопряжения являются одним из активных структурных элементов. Уменьшение же вязкости указывает, что системы полисопряжения формируются сшивками по разорванным связям, образовавшимся, как предполагают авторы [8, 9], вследствие разрушения парафиновых структур. Повышение лабильности системы является другим фактором улучшения защитных свойств.

В исходных образцах вакуумных дистиллятов ВД-2 и ВД-4 сигнал ЭПР также не регистрируется и появляется только при ультразвуковой обработке дистиллята ВД-4, что согласуется с установленным ранее повышением интенсивности сигнала ЭПР при переходе от ВД-2 к ВД-4 [10]. Некоторое ослабление вязкости и улучшение защитных свойств ВД-2 согласуется с предложенной выше интерпретацией влияния ультразвука. Однако для ВД-4 улучшение защитных свойств имеет место только в среде сернистого ангидрида.

Повышение защитных свойств вакуумного газойля ВГ согласуется с интерпретацией для экстракта нефтяного.

Таблица 2 – Влияние УЗ обработки на параметры сигнала ЭПР

Образец	$\Delta H_{0,1\text{мВт}}, \text{ Гс}$	$\Delta H_{2,5\text{мВт}}, \text{ Гс}$	$g_{0,1\text{мВт}}$	$g_{2,5\text{мВт}}$	$I, 10^{16}\text{сп/г}$	A/A_0^*
ВД-4	Сигнал не регистрируется **					
ВД-4у	7,1	6,5	2,0031	2,0030	2,26	3,5
ЭФО	Сигнал не регистрируется					
ЭФОу	5,6	5,4	2,0028	2,0026	1,56	3,0
ПН-6	5,7	6,5	2,0028	2,0031	5,74	2,0
ПН-6у	6,0	5,6	2,0028	2,0028	6,97	2,1

* - A/A_0^* – отношение амплитуд сигналов, снятых при 2,5 и 0,1 мВт

** - концентрация ПМЦ менее $1 \cdot 10^{16}$ сп/г

В случае пластификатора ПН-6 сигнал ЭПР регистрируется уже в исходном образце, что согласуется с его высокой вязкостью по сравнению с другими исследованными компонентами. При этом резкое повышение его вязкости и усиление сигнала ЭПР свидетельствуют о дальнейшем увеличении ароматических систем полисопряжения. Уменьшение лабильности надмолекулярных ассоциатов приводит к ухудшению защитных свойств в обеих средах.

Полученные данные согласуются с результатами, представленными в [8, 11, 12]. При исследовании влияния ультразвуковой обработки на полидисперсное строение нефтяного сырья авторами были получены данные, свидетельствующие об изменении качественного и количественного состояния надмолекулярных структур нефтяных остатков. Подчеркивается, что кроме диспергирующего эффекта, ультразвуковое воздействие приводит к изменению группового состава – увеличению содержания смолисто-асфальтовых веществ и снижению парафино-нафтеновых и ароматических углеводородов. В зависимости от количества дисперсной фазы ультразвуковая обработка может вызывать как уменьшение размеров надмолекулярных образований, так и их увеличение. Механоактивационная обработка, с одной стороны, снижает вероятностные и пространственные затруднения к сближению сложных структурных единиц, при этом появляется возможность их слияния с образованием более крупных структур. С другой стороны, при продолжающемся механоактивационном воздействии происходит повышение кинетической энергии всей системы, что при-

водит к разрушению крупных сложных структурных единиц и зависимость полидисперсного распределения частиц по размерам от продолжительности механоактивации принимает полиэкстремальный характер. Кроме того, авторами [8] показано, что в результате ультразвукового воздействия может происходить не только диспергирование, но и химические реакции. Под действием ультразвука возможно разрушение свободных высокомолекулярных нитевидных молекул линейного и разветвленного характера и алкилароматических углеводородов с длинными боковыми цепями [13]. В результате такого разрыва в исследуемой системе образуются свободные радикалы различной молекулярной массы и различного строения, которые обладают высокой реакционной способностью. Вследствие таких реакций в системе возможно образование высокомолекулярных компонентов, формирующих в дальнейшем новые центры сложных структурных единиц.

Таким образом, установлено, что ультразвуковая обработка приводит к повышению парамагнитной активности компонентов. Основным фактором воздействия ультразвука является формирование ароматических систем полисопряжения вследствие сшивки по разорванным связям, образовавшимся при разрушении парафиновых структур. Разрушение парафиновых структур приводит к повышению лабильности системы. Системы полисопряжения с одной стороны являются активным структурным элементом, но в то же время их высокое содержание может приводить к уменьшению лабильности.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Унгер, Ф.Г., Андреева, Л.Н. (1995), *Фундаментальные аспекты химии нефти. Природа смол и алфальтенов*, Новосибирск, Наука, 1995, 192 с.
2. Гилязетдинов, Л.П., М. Аль Джомая, (1994), Определение параметров темных частиц дисперсной фазы в нефтяных системах, *Химия и технология топлив и масел*, 1994, № 3, С. 27.
3. Лихтерова, Н.М., Агаянц, И.М. (2002), Феноменологическая модель квазимицеллярного строения светлых погонов нефти и моторных топлив, *Наука и технология углеводородов*, 2002, № 4, С. 24–37.
4. Сюняев, З.И., Сафиева, Р.З., Сюняев, Р.З. (1990), *Нефтяные дисперсные системы*, Москва, Химия, 1990, 224 с.
5. Сафиева, Р.З. (1998), *Физико-химические основы технологии переработки нефти*, Москва, Химия, 1998, 448 с.
6. Бахтин, Б.И., Десятов, А.В., Корба О.И. (2009), Низкотемпературный крекинг углеводородов в кавитационных ультразвуковых полях, *Мир нефтепродуктов*, 2009, № 6, С. 14–18.
7. Федоткин, И.М., Немчин, А.Ф. (1984), *Использование кавитации в технологических процессах*, Киев, Вища шк., 1984, 68 с.
8. Клокова, Т.П., Володин, Ю.А., Глаголева, О.Ф. (2006), Влияние ультразвука на коллоидно-дисперсные свойств нефтяных систем, *Химия и технология топлив и масел*, 2006, № 1, С. 32–34.

REFERENCES

1. Unger, F.G., Andreeva, L.N. (1995), *Fundamental'nye aspekty himii nefti. Priroda smol i alfal'tenov* [Fundamental aspects of petroleum chemistry. The nature of the pitches and alphaltenes], Novosibirsk, Nauka, 1995, 192 p.
2. Giljazetdinov, L.P., M. Al' Dzhomaa, (1994), Determination of the parameters of the dark particles of the dispersed phase in petroleum systems [Opredelenie parametrov temnyh chastic dispersnoj fazy v neftjanyh sistemah], *Chemistry and technology of fuels and oils*, 1994, № 3, pp. 27.
3. Lihterova, N.M., Agajanc, I.M. (2002), Phenomenological model of quasi micellar structure of light oil distillates and motor fuels [Fenomenologicheskaja model' kvazimicelljarnogo stroenija svetlyh pogonov nefti i motornyh topliv], *Science and technology of hydrocarbons*, 2002, № 4, pp. 24 – 37.
4. Sjunjaev, Z.I., Safieva, R.Z., Sjunjaev, R.Z. (1990), *Neftjanye dispersnye sistemy* [Disperse systems of petroleum], Moscow, Himija, 1990, 224 p.
5. Safieva, R.Z. (1998), *Fiziko-himicheskie osnovy tehnologii pererabotki nefti* [Physical and chemical bases of technology of petroleum refining], Moscow, Himija, 1998, 448 p.
6. Bahtin, B.I., Desjatov, A.V., Korba O.I. (2009), Low-temperature cracking of hydrocarbons in the cavitation ultrasonic fields [Nizkotemperaturnyj kreking uglevodorodov v kavitacionnyh ul'trazvukovyh poljah], *World of petroleum derivative*, 2009, № 6, pp. 14–18.
7. Fedotkin, I.M., Nemchin, A.F. (1984), *Ispol'zovanie kavitacii v tehnologicheskix processah* [The use of cavitation in technological processes], Kiev, Vishha shk., 1984, 68 p.

9. Промтов, М.А. (2008), Перспективы применения кавитационных технологий для интенсификации химико-технологических процессов, *Вестник Тамбовского государственного технического университета*, 2008, Т. 14, № 4, С. 861–869.
10. Царюк, Т.Я. (2008), Использование промежуточных и остаточных продуктов масляного производства в качестве компонентов консервационных материалов, *Природопользование*, Минск, 2008, Вып. 14, С. 208–214.
11. Теляшев, И.Р., Обухова, С.А. (2001), Влияние механоактивационной обработки на полидисперсное строение нефтяных остатков, *Нефтехимия и нефтепереработка*, 2001, вып. XXXIII. – С. 122–123.
12. Лесин, В.И. (2004), Нетепловое воздействие электромагнитных и акустических полей на нефть для предотвращения отложений парафина, *Нефтяное хозяйство*, 2004, № 1, С. 68–70.
13. Маргулис, М.А. (1986), *Звукохимические реакции и сонолюминесценция*, Москва, Химия, 1986, 288 с.
8. Klokova, T.P., Volodin, Ju.A., Glagoleva, O.F. (2006), The influence of ultrasound on the colloid-dispersed qualities of petroleum systems [Vlianie ul'trazvuka na kolloidno-dispersnye svoystv neftjanyh system], *Chemistry and technology of fuels and oils*, 2006, № 1, pp. 32–34.
9. Promtov, M.A. (2008), Prospects of application of cavitation technologies for intensification of chemical and technological processes [Perspektivy primeneniya kavitatsionnyh tehnologij dlja intensivkacii himiko-tehnologicheskikh processov], *Bulletin of the Tambov state technological University*, 2008, Т. 14, № 4, pp. 861–869.
10. Carjuk, T.Ja. (2008), The use of intermediate and residual products of oil production as a component of conservation materials [Ispol'zovanie promezhutochnykh i ostatochnykh produktov masljanogo proizvodstva v kachestve komponentov konservatsionnykh materialov], *Nature management*, Minsk, 2008, Ed. 14, pp. 208–214.
11. Teljashev, I.R. Obykchova, S.A. [and others]. (2001), Influence of mechanical activation treatment on polydisperse structure of oil residues [Vlianie mehanoaktivatsionnoj obrabotki na polidispersnoe stroenie neftjanyh ostatkov], *Petrochemistry and refining*, 2001, ed. XXXIII, pp. 122–123.
12. Lesin, V.I. (2004), Nonthermal effects of electromagnetic and acoustic fields on oil to prevent deposition of paraffin [Neteplovoe vozdejstvie jelektromagnitnykh i akusticheskikh polej na neft' dlja predotvrashhenija otlozhenij parafina], *Petroleum industry*, 2004, № 1, pp. 68–70.
13. Margulis, M.A. (1986), *Zvukohimicheskie reakcii i sonoljuminescencija* [Sonochemical reaction and sonoluminescence], Moscow, Himija, 1986, 288 pp.

Статья поступила в редакцию 04. 02. 2015 г.