

дает его латеральный размер, а каналы обеспечивают поставку материала изнутри и рост вискерсов в длину, при этом в ИМЧ образуется внутренняя полость.

*Работа выполнена в рамках государственных заданий высшим учебным заведениям на 2012 год и на плановый период 2013 и 2014 годов в части проведения научно-исследовательских работ: з/б тема №711792011 и при поддержке фонда содействия малых форм предприятий в научно-технической сфере: проект №19732.*

#### **Список литературы**

1. Викарчук А.А., Воленко А. П. Пентагональные кристаллы меди, многообразие форм их роста и особенности внутреннего строения // Физика твердого тела. 2005. Том 47, вып. 2. С. 339 – 344.
2. Викарчук А.А., Денисова Д.А., Довженко О.А., Тюрьков М.Н., Цыбускина И.И., Ясников И.С. Новые металлические функциональные материалы, состоящие из пентагональных частиц, кристаллов и трубок. Часть I. Механизмы образования и особенности строения пентагональных частиц и кристаллов // Журнал функциональных материалов, 2008, №5 С. 163-174.
3. Викарчук А.А., Ясников И.С. Структурообразование в наночастицах и кристаллах с пентагональной симметрией, формирующихся при электрокристаллизации металлов // Издательство Тольяттинского государственного университета. – Тольятти, 2006 г. – 206 с.
4. Викарчук А.А., Ясников И.С., Довженко О.А., Талалова Е.А., Тюрьков М.Н. Пентагональные кристаллы меди электролитического происхождения: строение, модели и механизмы их образования и роста // Вестник Самарского государственного университета. № 3-3. С. 51-64. 2006.
5. Ясников И.С., Викарчук А.А., Талалова Е.В. Процессы тепло- и массопереноса в металлических нано- и микрочастицах электролитического происхождения // Материаловедение. № 11. С. 46-50. 2006.
6. Gryaznov V.G., Kaprelov A.M., Heydenreich J., Nepijko S.A., Urban J., Romanov A.E. Pentagonal symmetry and disclinations in small particles // Crystal Research and Technology, 34, 9, 1091-1119 (1999).

## **КОМБИНИРОВАННАЯ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ВЯЗКОПЛАСТИЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ**

**Викарчук А.А., Растегаева И.И.**

*Тольяттинский государственный университет, Тольятти, Россия*

*ООО «Нанотехнологии для экологии», Тольятти, Россия*

[fti@tltsu.ru](mailto:fti@tltsu.ru)

Многие технологические жидкости, в частности, глинистые растворы, масляные краски, парафинистая нефть, нефтеотходы, проявляют высокопластичные свойства. Такие жидкости характеризуются двумя основными реологическими параметрами: динамической вязкостью и статическим напряжением сдвига  $\tau_0$ . Они имеют при сравнительно низких температурах пространственную структуру, которая разрушается под действием механических напряжений больших  $\tau_0$ .

В качестве объекта исследований в данной работе были выбраны тяжелые нефти, жидкие нефтеотходы, разбавленный нефтью гудрон и мазут. Для высокоэнергетической обработки нефтепродуктов, проявляющих при низких температурах вязкопластичность, использовали в комбинации физические методы воздействия на гетерогенные жидкости: кавитационное, тепловое, электроимпульсное, ударное, акустическое и др. Базовым среди них является кавитационное. Для обработки применяли три вида гидродинамических кавитационных генераторов: дискового, роторно-пульсационного и резонансного типа. Па-

раллельно или последовательно с ними использовали другие методы воздействия и устройства (ультразвуковой диспергатор, акустический излучатель, акустоэмиссионная диагностическая аппаратура).

Принцип работы кавитатора дискового типа основан на возмущении потока жидкости при прохождении ею сквозь отверстия подвижного диска вдоль выпуклости неподвижного, что приводит к возникновению кавитационных зон. Дисковые кавитаторы использовали для нагревания и гомогенизации гетерогенных жидкостей.

Роторно-импульсная аппаратура предназначена для импульсной энергетической обработки гетерогенных жидкостей с целью изменения физико-химических свойств и структуры жидкостей, она обеспечивает интенсивное многофакторное воздействие на обрабатываемую среду (механическое, гидродинамическое, акустическое).

В резонансных гидродинамических генераторах используется возбуждение колебаний резонирующих элементов. Общий принцип работы всех струйных кавитаторов – использование энергии движения жидкости. Такой подход выгодно применять для трубопроводов и других систем, в которых жидкость уже находится под давлением.

Основная цель такой обработки нефти и нефтепродуктов – это снижение их вязкости и увеличение выхода светлых фракций при их атмосферной перегонке. Вязкость этих жидкостей зависит от химического состава, молекулярной массы и наличия частиц второй фазы, она определяется силами межмолекулярного взаимодействия и может меняться в зависимости от температуры и предварительной высокоэнергетической обработки в широких пределах: от 1, 0 до 500Ст. Например, для Мангишлаковской нефти, имеющей плотность  $857 \text{ кг/м}^3$ , содержащей парафина (до 10%), имеющей температуру застывания  $30^\circ\text{C}$ , статическое напряжение сдвига  $\tau_0$  при  $20^\circ\text{C}$  достигало 500Па, а ее кинематическая вязкость при этих температурах равнялась 19,5 сСт. При нагревании нефти на  $10^\circ\text{C}$   $\tau_0$  падало до 5,0Па, а вязкость уменьшалась на 2 порядка. Образованию пространственной структуры в нефти и нефтепродуктах благоприятствует наличие высокой концентрации мелких твердых частиц второй фазы, а значит большой поверхности раздела фаз с поверхностным слоем, имеющим аномальные свойства. Пространственная структура формируется из кристаллов парафина, частичек асфальтенов и ассоциатов, сформированных за счет молекулярного взаимодействия. При комбинированной высокоэнергетической обработке происходит диспергация механических частиц, ассоциаты разрушаются, а вязкость уменьшается. Например, минутная обработка на роторно-пульсационном аппарате гудрона, разбавленного нефтью (20%) приводит к снижению вязкости нефти в 2 раза.

Нами разработаны технологии и оборудование, в которых используются одновременно несколько факторов воздействия на гетерогенные жидкости, причем на наноструктурном уровне. При этом на жидкость, обрабатываемую на кавитационных кавитаторах дополнительно накладываются физические поля (температурные, силовые, акустические). Многофакторное воздействие на нефть и нефтеотходы организовано в одной модульной установке, основой которой является гидродинамический кавитационный генератор резонансного типа. В генераторе колебания активатора возбуждаются набегающей струей жидкости. В нем струя, вытекающая из сопла с большой скоростью, попадает на пластину с клиновидным краем, имеющую в нашем случае двухточечное крепление. При этом происходит срыв струи, возникают пульсации давления и скорости потока, образуется развитая турбулентность и акустическое поле излучателя, кавитационные зоны и коммуникативные струйки. Дополнительно на обрабатываемую жидкость накладываются температурные, электромагнитные и силовые поля. В установках эти процессы отрегулированы по амплитуде, частоте и последовательности, скоординированы и сонаправлены, так чтобы достигался максимальный эффект обработки, а именно, происходил максимальный выход светлых фракций, выкипающих при температуре ниже  $350^\circ\text{C}$  и атмосферном давлении.

Установка оснащена автоматической системой контроля за процессом обработки. В свою очередь оптимальные режимы обработки определяли по сигналам акустической

миссии, излучаемым из кавитационной камеры. Основными факторами, сильно влияющими на эффективность обработки, являются гидродинамические параметры (давление, температура, скорость потока) и конструктивные, зависящие от типа, формы, размера активатора и конструкции камеры для обработки. В нашем случае, оптимальный режим работы установки определялся из спектра сигналов АЭ, излучаемых обрабатываемой жидкостью, и варьировался в ходе предварительных экспериментов, связанных с подбором давления, температуры, скорости течения жидкости и подгонкой размеров, формы резонирующих пластин и сопла, регулировкой расстояния между соплом и отражателем. Основным недостатком этого устройства является быстрый выход их строя резонирующих элементов, в результате циклического действия на них динамических нагрузок, соизмеримых с пределом усталостной прочности материала. Чтобы устранить этот недостаток в лаборатории «Физика прочности и интеллектуальных диагностических систем» ТГУ были специально разработаны наноматериалы для этих целей, а также создана автоматизированная система контроля за процессом обработки. В основе предлагаемой технологии лежит явление комбинированного высокоэнергетического воздействия на гетерофазные жидкости (эмульсии, нефть и нефтепродукты), которые сводятся к следующим процессам:

- диспергированию твердых частиц вплоть до наноразмеров, разрушению коллоидов и деструкции органических и неорганических соединений, находящихся в гетерофазной жидкости;
- эмульгированию (перемешивание и гомогенизация) разнородных жидкостей;
- интенсификации массообменных процессов, окислительно-восстановительных реакций, нейтрализации токсических веществ;
- расщеплению молекул воды, появлению озона, атомарного кислорода, пероксидных соединений и свободных радикалов;
- нагреванию жидкости, изменению ее характеристик;
- деструкции парафина, диспергированию асфальтенов, карбонов, разрушению ассоциатов и разрыву длинномерных молекул углеводородов, изменению структуры и свойств нефтепродуктов.

Результаты кавитационно-волнового воздействия на товарную, высокопарафинистую нефть и нефтепродукты приведены в таблице:

Таблица 1. Разгонка обработанных на кавитационных установках нефти (образец №3, №5), жидких нефтеотходов (№ 8) и гудрона с нефтью (№ 11)

№ пробы	$\rho_{20} \text{ } ^\circ\text{C г/см}^3$	Фракционный состав, %						
		Тн.к $^\circ\text{C}$	100 $^\circ\text{C}$	150 $^\circ\text{C}$	200 $^\circ\text{C}$	260 $^\circ\text{C}$	300 $^\circ\text{C}$	360 $^\circ\text{C}$
№3 нефть товарная	0,859	42,0	4,7	15,0	23,0	33,0	39,0	58,0
№5 нефть парафинистая	0,920	74		4,8	15,0	25,5	33,5	56,0
№8 ж.н.о.	0,877	45	4,0	11,0	19,0	27,0	34,0	53,0
№11 гудрон (20% нефти)	0,903	124	-	3,3	12,0	22,0	29,5	43,5

Обработка осуществлялась в кавитационной установке резонансного типа при давлении на входе пять атмосфер.

Выход легких фракций при разгонке тяжелой нефти, обработанной на кавитационном генераторе резонансного типа, производительностью 20 тонн/час увеличился от 40 % до 60% при температуре разгонки 350 $^\circ\text{C}$ .

Результаты экспериментов позволяют рекомендовать кавитационную установку для промышленного использования. Ее основным недостатком является частый выход из строя резонирующих пластин. Риск разрушения пластин можно резко уменьшить, если использовать разработанную нами автоматизированную систему управления процессом обработки и специальные сплавы для изготовления этих пластин.

*Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», госконтракт №П392.*

## ОБЩИЙ СЛУЧАЙ БАРОКРИОДЕФОРМИРОВАНИЯ

Хаймович П.А.

*Национальный научный центр "Харьковский физико-технический институт"  
г. Харьков, Украина  
[pavel.41@bk.ru](mailto:pavel.41@bk.ru)*

Трудно назвать какие-либо свойства твердого тела, на которые не оказывало бы влияние приложенное к этому телу высокое давление. Изменяются оптические, магнитные свойства, приобретают другие значения тепло- и электропроводность, смещается температура сверхпроводящего перехода. В значительной мере оказываются иными механические свойства твердых тел, если деформировать их не в нормальных условиях, а при всестороннем сжатии, т.е. под большим гидростатическим давлением.

В 1912 г Карман обнаружил, что под давлением в несколько тысяч атмосфер такие хрупкие вещества, как мрамор и известняк, приобретают заметную пластичность [1].

Первые систематические исследования влияния сил всестороннего сжатия на пластичность металлов осуществил П.Бриджмен [2], который пришел к выводу, что предельная пластичность металла и величина действующих на него сил всестороннего сжатия связаны соотношением:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + \kappa P$$

где  $\varepsilon$  – деформация при разрыве под давлением,  $\varepsilon_0$  – деформация при разрыве без давления,  $\kappa$  – коэффициент пропорциональности (зависимость 1, на рис. 1). При этом величина предельной пластичности определяется, как  $\varepsilon = \ln S_0/S_p$ , где  $S_0$  – начальная площадь поперечного сечения образца,  $S_p$  – площадь сечения шейки образца в момент разрыва.

Последующие исследования позволили установить, что эта зависимость имеет более сложный характер. То, что Бриджмен считал разбросом в значениях пластичности в области больших давлений, в действительности указывало на отклонения от линейной зависимости. У латуни и стали эти зависимости принимают вид, представленный кривой 2 на рис. 1. У хрупких металлов, как, например, хром, было обнаружено «пороговое» давление. выше которого обычно хрупкий хром становился пластичным и деформировался с образованием шейки. Это соответствует кривой 3 на рис. 1.