

Кавитационная технология улучшения качества углеводородных топлив

Промтов М.А., д-р техн. наук

(ГОУ ВПО «Тамбовский государственный технический университет»)

Описан способ изменения физико-химических параметров нефтепродуктов за счет многофакторного воздействия в роторном импульсном аппарате. Приведены экспериментальные данные, подтверждающие эффективность предлагаемого способа повышения качества углеводородных топлив.

Российскими и зарубежными исследователями предлагаются различные способы и технологии позволяющие изменить физико-химические параметры нефтяных топливных продуктов, увеличить выход светлых нефтепродуктов при перегонке нефти. Воздействовать на кинетику процессов переработки нефти и нефтепродуктов можно химическими веществами (катализаторами, поверхностно-активными веществами - ПАВ, присадками и т.д.) и физическими полями (тепловыми, кавитационными, электромагнитными и т.д.). В результате такого вмешательства изменяется радиус ядра и толщина адсорбционно-сольватной оболочки сложной структурной единицы, которая является элементом нефтяной дисперсной системы.

Воздействие на нефть и ее остатки с помощью химических веществ, приводит к ускоренному износу технологического оборудования и является сложно регулируемым процессом. В настоящее время особое внимание многие исследователи уделяют методам интенсивной обработки нефти и нефтепродуктов с целью увеличения выхода светлых фракций при её перегонке, снижения содержания серы, уменьшения вязкости и т.д..

В основе технологий, использующих кавитационное воздействие на нефть и нефтепродукты, лежит метод импульсного энергетического

воздействия за счет акустических волн и кавитации [1-3], вносящих изменения в гидродинамику и дисперсионную стабильность жидких сред, что влияет на разные механизмы процесса – заметно интенсифицирует одни (деструкцию) и резко замедляет другие (коксообразование).

Энергетическое воздействие на нефть и нефтепродукты позволяет увеличить выход легколетучих фракций при ее перегонке. Применяя импульсное энергетическое воздействие из тяжелой нефти можно получить 20-30% бензина, 40-50% дизельного топлива, 20-30% мазута, битума и других тяжелых товарных продуктов. Кавитационная обработка ускоряет диффузию нефти в полости парафина, интенсифицирует процесс его разрушения. Ускорение растворения парафина идет за счет интенсификации перемешивания нефти на границе нефть-парафин и действия импульсов давления, которые диспергируют частицы парафина. Кавитация разрушает связи между отдельными частями молекул, влияет на изменение структурной вязкости. Под воздействием кавитации большой интенсивности на протяжении длительного времени нарушаются С-С связи в молекулах парафина, вследствие чего происходят изменения физико-химического состава (уменьшение молекулярного веса, температуры кристаллизации и др.) и свойств нефтепродуктов (вязкости, плотности, температуры вспышки и др.) [4 - 9].

Для разрыва связей в молекулах углеводородных соединений необходимо обеспечить на сложную многокомпонентную систему, которой является нефть и нефтепродукты, многофакторное энергетическое воздействие в импульсной форме. Такое воздействие реализуется в роторных импульсных аппаратах (РИА) [10]. Энергия диссоциации связи С-Н колеблется в зависимости от молекулярной массы и структуры молекулы, в пределах 322-435 кДж/моль, энергия диссоциации связи С-С – 250-348 кДж/моль [11]. При разрыве связи С-Н от углеводородной молекулы отрывается водород, при разрыве связи С-С – углеводородная молекула разрывается на две неравные части. При кавитационной обработке

углеводородного сырья происходит деструкция молекул, вызванная микрокрекингом молекул и процессами ионизации. В результате протекания этих процессов в системе накапливаются «активированные» частицы: радикалы, ионы, ионно-радикальные образования [8].

РИА используются для обработки таких систем как «жидкость-жидкость», «жидкость – твердое тело» и «газ – жидкость» за счет широкого спектра факторов воздействия:

- механическое воздействие на частицы гетерогенной среды, заключающееся в ударных, срезающих и истирающих нагрузках и контактах с рабочими частями РИА;

- гидродинамическое воздействие, выражающееся в больших сдвиговых напряжениях в жидкости, развитой турбулентности, пульсациях давления и скорости потока жидкости;

- гидроакустическое воздействие на жидкость осуществляется за счет мелкомасштабных пульсаций давления, интенсивной кавитации, ударных волн и нелинейных акустических эффектов.

Нами проведены экспериментальные исследования по обработке вакуумного газойля в РИА. Целью исследований было снижение вязкости смеси газойля со светлыми нефтепродуктами при удержании температуры вспышки в заданных границах, для дальнейшего использования ее в качестве топлива. Проводились серии экспериментов по обработке смеси газойля с керосином и дизельным топливом (летним).

Для многофакторной импульсной обработки газойля и его смеси со светлыми нефтепродуктами проводили обработку в циклическом режиме, отбирая пробы через определенные интервалы времени. Отобранные пробы топлива термостатировали и определяли их физико-механические характеристики: кинематическую вязкость, плотность и температуру вспышки в закрытом тигле. Для этого использовали приборы ВПЖ-2, ГОСТ 10028-81, АНТ-1, ГОСТ 18481-81, ТВЗ-ПХП, ГОСТ 6356.

Для составления композиций газойля со светлыми нефтепродуктами производили импульсную многофакторную обработку газойля с добавлением дизельного топлива летнего и керосина осветительного в заданном соотношении. В таблице 1 приведены параметры топливных смесей при различных концентрациях газойля, дизельного топлива и керосина. На рис. 1 – рис. 3 показаны графические трехмерные зависимости кинематической вязкости топливной смеси от концентрации дизельного топлива и керосина.

Таблица 1.

Содержание легких компонентов в газойле		Параметр		
		μ^{40} , мм ² /с	$t_{всп.}$, °С	ρ^{40} , кг/м ³
Дизельное топливо	-20%	21	100	878
Дизельное топливо	-25%	16	92	880
Дизельное топливо	-30%	14	80	870
Дизельное топливо	-35%	13	83	872
Дизельное топливо	-40%	10	78	867
Дизельное топливо	-10%	13	55	872
Керосин	-15%			
Дизельное топливо	-5%	16	70	876
Керосин	-15%			
Дизельное топливо	-10%	16	75	879
Керосин	-10%			
Дизельное топливо	-15%	18	80	880
Керосин	-5%			
Дизельное топливо	-15%	13	65	875
Керосин	-10%			
Дизельное топливо	-20%	12	65	870
Керосин	-10%			
Керосин	-20%	14	69	873
Керосин	-15%	18	70	875
Керосин	-10%	23	80	879

На основании проведенных исследований можно сделать вывод о том, что импульсная многофакторная обработка газойля в РИА способствует уменьшению вязкости на 1 – 2 мм²/с и температуры вспышки на 4 – 6 °С.

Проведены экспериментальные исследования по импульсной многофакторной энергетической обработке мазутов различных

нефтеперерабатывающих заводов: Карабашский НПЗ, Нижнекамский НПЗ, Шугуровский НПЗ. Исходные и конечные параметры мазутов после обработки в роторном импульсном аппарате приведены в таблице 2.

Таблица 2.

Производитель мазута	Параметры мазута								
	Время истечения через вискозиметр ВЗ-246 (ГОСТ 9070-75), с, при $t=60^{\circ}\text{C}$			Температура вспышки, $^{\circ}\text{C}$			Плотность, $\text{кг}/\text{м}^3$		
	Исх.	Кон.	Δ , %	Исх.	Кон.	Δ , %	Исх.	Кон.	Δ , %
Карабашский НПЗ	155	90	42	120	127	5	925	920	0,5
Шугуровский НПЗ	38	23	39	105	115	9	915	915	0
Нижнекамский НПЗ	165	120	25	145	135	- 7	920	920	0

Многофакторное импульсное энергетическое воздействие на мазуты позволяет снизить вязкость на 20-30%, увеличить температуру вспышки на 5-10%. После кавитационной обработки в РИА в мазуте образуется до 35% дизельного топлива (температура отгонки $250 - 290^{\circ}\text{C}$).

Экспериментальные исследования показали, что обработанная в РИА нефть начинает перегоняться под атмосферным давлением при температуре ниже на 10°C и более, чем необработанная нефть, 50% обработанной нефти перегоняется при температуре 265°C , а 50% необработанной нефти перегоняется при температуре 328°C под атмосферным давлением (таблица 3).

Энергия, вводимая в объем обрабатываемых нефтепродуктов с учетом затрат энергии на их подачу в РИА центробежным насосом, составляла около $200 - 350$ кДж/моль в зависимости от молекулярной массы различных нефтепродуктов. Удельные затраты энергии при обработке нефтепродуктов соотносятся с энергией диссоциации связей в молекулах углеводородов, что

позволяет сделать вывод о наличии условий для разрыва молекул углеводородного топлива за счет импульсного многофакторного воздействия.

Таблица 3.

Сырая нефть	Температура начала конденсации паров, °С	Выход конденсата, объемная доля при температуре °С				
		10%	20%	30%	40%	50%
Необработанная	75°С	134°С	189°С	237°С	286°С	328°С
Обработанная	65°С	110°С	161°С	196°С	241°С	265°С
Δ , °С	10°С	24°С	28°С	41°С	45°С	63°С

Литература:

1. Промтов М.А., Авсеев А.С. Импульсные технологии переработки нефти и нефтепродуктов // Нефтепереработка и нефтехимия. 2007. №6. С. 22-24.
2. В. А. Золотухин, Новая технология для переработки тяжелой нефти и осадков нефтеперерабатывающих производств // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2004. № 10. С. 8–11.
3. Курочкин А.К., Козлов К.Н., Курочкин А.В., Курочкин А.А. Применение процесса "Висбрекинг-ТЕРМАКАТ" в структуре действующих НПЗ // "Нефтепереработка и нефтехимия – 2005": Материалы секции Д VI конгресса нефтегазопромышленников России "Нефтегазовый комплекс – реальность и перспективы". 2005. Уфа. С. 70-71.
4. Патент на изобретение №2078116. РФ. МКИ С10G 15/00. Способ крекинга нефти и нефтепродуктов и установка для его осуществления. Бюл. №6. 1997 г.
5. Патент на изобретение №2149886. РФ. МКИ С10G 32/00. Способ обработки нефти, нефтепродуктов, углеводородов. Бюл. №7, 2000 г.
6. Патент на полезную модель №66220 РФ. Установка для приготовления мазутного топлива. МКИ В01F 3/00.. Бюл. №25, 2007 г.

7. Деструкция углеводов в кавитационной области в присутствии электрического поля при активации водными растворами электролитов / А.С. Бесов, К.Ю. Колтунов, С.О. Брулев и др. // Письма в ЖТФ. 2003. Том 29, вып. 5. С. 71–77.

8. Влияние кавитационного воздействия на углеводородное топливо / А.Ф. Немчин, В.А. Михайлик, Г.Т. Тодорашко, Е.В. Щепкин // Пром. теплотехника. 2002. Том 24, № 6. С. 60–63.

9. Kenneth S. Suslick. The Chemical Effects of Ultrasound // Scientific American, 1989, February.- P. 80 – 86.

10. Промтов М. А. Пульсационные аппараты роторного типа: теория и практика. – М.: Машиностроение - 1; 2001. 260 с.

11. Пилипенко А.Т. Справочник химика. – Киев: Наукова думка, 1987. 407 с.

Опубликовано:

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