

ГИДРОДИНАМИЧЕСКАЯ КАВИТАЦИОННАЯ ОБРАБОТКА КАК СПОСОБ СНИЖЕНИЯ ВЯЗКОСТИ ВЫСОКОВЯЗКИХ НЕФТЕЙ И ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТИРОВКИ

Бранд А.Э., Закирзаков А.Г., Торопов С.Ю., Соколов С.М.¹

¹ФГБОУ ВО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», Тюмень, Россия (625000, Тюмень, ул. Володарского, 38), e-mail: muzemenkova@mail.ru

В статье авторами исследован вопрос применения гидродинамической кавитационной обработки с целью уменьшения вязкости и повышения качества реологических характеристик, таких как напряжения сдвига, вязких и высоковязких нефтей, транспортируемых по трубопроводной транспортной системе России. Разработана кавитационная установка, представляющая из себя кавитационно-сепарационное оборудование, совмещенное с плунжерным насосом. Разработана и предложена технологическая схема применения реактора в системе трубопроводного транспорта нефтей и нефтепродуктов. Представлен результат по проведенным лабораторным экспериментам с элементами комбинирования гидродинамической кавитационной обработки и отечественных депрессорных присадок с графическим отражением времени восстановления реологических свойств. Авторами предложены варианты внедрения технологии на производственные объекты и их технологические обвязки, а так же условия ограничения по применению.

Ключевые слова: высоковязкие нефти; гидродинамическая кавитация; депрессорная присадка; термический нагрев.

HYDRODYNAMIC CAVITATION TREATMENT AS A WAY REDUCE THE VISCOSITY OF HEAVY OIL AND EFFICIENCY TRANSPORT

Brand A.E., Zakirzakov A.G., Toropov S.U., Sokolov S.M.

FGBO of higher professional education "Tyumen State Oil and Gas University, Tyumen, Russia, (625000, Tyumen, Volodarskogo street, 38), e-mail: muzemenkova@mail.ru

The article investigated the application of hydrodynamic cavitation treatment to reduce viscosity and improve the quality of rheological characteristics such as shear stress, viscous and high-viscous oil transported by pipeline transport system of Russia. Developed cavitation installation, which is a cavitation-separation equipment, combined with plunger pump. Developed and offered technological scheme of the application of the reactor in the pipeline transport of oil and oil products. Presents the result on the conducted laboratory experiments with elements of combination of hydrodynamic cavitation treatment of domestic and depressants with a graphical reflection of the recovery time of the rheological properties. The authors proposed the options of implementing the technology on production facilities and process piping, as well as the limiting conditions on the application.

Keywords: heavy oil; hydrodynamic cavitation; depressant additive; thermal heating.

Нефтяная отрасль Российской Федерации характеризуется высокой долей вязких (далее ВН) и высоковязких (далее ВВН) нефтей в общей структуре запасов углеводородного сырья. Разработка месторождений с преобладанием ВН и ВВН является перспективным направлением с точки зрения особых реологических свойств и необходимости решения возникающих технологических проблем, связанных с низкими скоростями транспортировки и высокими экономическими издержками при их обработки. По данным Счетной палаты на 2014 год доля ВВН от общероссийских составляет почти 30% или 7,5 млрд. т. Тенденция показывает, что, начиная с 1992 года, их доля постоянно увеличивается [1].

Проведенный анализ экономической эффективности добычи и транспортировки ВН и ВВН в России характеризуется нерентабельностью или малой рентабельностью. Наиболее

распространенными способами обработки сырья с целью достижения больших скоростей транспортировки являются: термический нагрев, добавление присадок и разбавителей, применение электромагнитного излучения.

Термический нагрев является самым распространенным и одновременно самым дорогостоящим методом обработки, осуществляемый попутными подогревателями нефти. По данным компании АО «Транснефть - Сибирь» на всей протяженности магистрального нефтепровода (далее МН) «Заполярье – Пурпе» будет построено восемь пунктов подогрева нефти с целью обработки ВН и ВВН в условиях низких температур и суровых условий Севера. Наиболее часто встречаемый вид подогревателей нефти – печь трубная блочная ПТБ-10А, имеет следующие характеристики, представленные в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика печи трубной блочной

Параметр	Величина
Производительность по продукту	900 м ³ /час
Топливная мощность	4,2 ГДж/час
Температура нефти на выходе из печи	70 °С
Потребляемое топливо	Природный газ
КПД, %	71

Топливом для работы печей, расположенных на пунктах подогрева нефти на всем протяжении МН, является природный газ. Примером изменения температуры является магистральный нефтепровод «Уса-Ухта-Ярославль», представленный на рисунке 1.

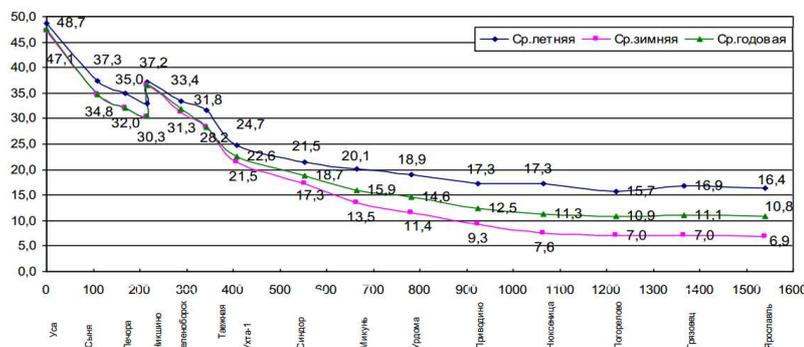


Рис.1. Изменение температуры перекачиваемой нефти по МН «Уса-Ухта» и «Ухта-Ярославль»

С учетом стоимости газа для крупных промышленных предприятий Ямало-Ненецкого автономного округа и Тюменской области в среднем в 2848 руб./м³ ориентировочные потери на подогрев нефти на величину в 1оС составляют 280 000 рублей в год при объеме перекачки в 1 млн. т.. Исходя из данных по подогреву нефти с месторождения «Уса» на 30 оС на головной нефтеперекачивающей станции и общего объема перекачки в 30 млн. тонн, годовые затраты на подогрев составят 252 млн. рублей, что является существенной экономической нагрузкой. В условиях нестабильной экономической ситуации важность экономии

энергоресурсов при сохранении эффективности встает на первый план. В связи с этим авторами работы разработан новый более экономичный способ обработки нефти на нефтяных станциях.

По мнению отечественных и зарубежных ученых, таких как Промтов В.А., Хэммит Ф, Дейли Дж., из американского сообщества инженеров-механиков, наиболее перспективным способом является гидродинамическая кавитационная обработка, характеризующаяся своей эффективностью, экономичностью и возможностью использовать внутренние резервы вещества с целью изменения реологических свойств нефти (структурная вязкость, температура застывания и др.).

Явление кавитации возникает в момент приближения давления жидкости и давления насыщенных паров жидкости и характеризуются обильным парообразованием и дальнейшей конденсации парогазовой смеси в потоке жидкости. Схлопывание сопровождается резкими скачками температуры и давления, а распространение волны с высокой энергетической плотностью способствует разрушению близлежащих углеродистых цепочек и молекулярных соединений.

На рисунке 2 показана лабораторная установка, кавитационное оборудование представлено в нижнем левом углу и на рисунок 3. В процессе испытания было задействован насос центробежный, цилиндрические трубки диаметром 3 см², датчики температуры и давления, испытывалась депрессорная присадка ДПН-1Р российского производителя, подаваемая плунжерным насосом, было обработано около 200 литров высоковязкой Усинской нефти $\rho = 945 \text{ кг/м}^3$ и $\nu = 150 \text{ мПа}\cdot\text{с}$.



Рис.2. Лабораторная установка

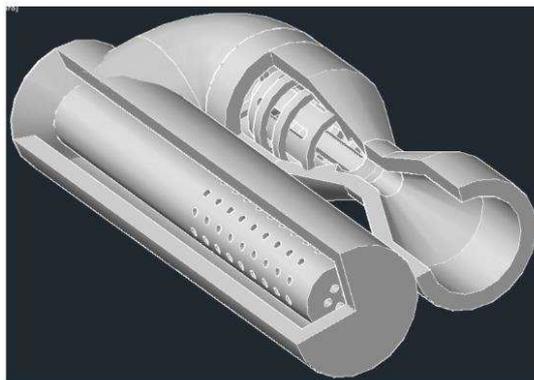


Рис.3. Кавитационное оборудование

Минимальная скорость течения нефти в модуле необходимая для возникновения кавитации определяется по формуле:

$$v_{\text{крит}} = \frac{64 \cdot P_{\text{кр}}}{g \cdot P_{\text{сп}}} \left(\frac{29 \cdot \rho \cdot g}{P_{\text{н}}} \right)^{1,9} \quad (1)$$

$P_{\text{кр}}$ – критическое давление кавитации (Па), $P_{\text{н}}$ – давление насыщенных паров (Па).

Необходимый напор насоса для возникновения кавитации:

$$H_{\text{к}} = \frac{v_{\text{к}}^2}{2g} + h_{\text{м}} \quad (2)$$

где $h_{\text{м}}$ – суммарные потери напора в модуле, м; Суммарные потери напора в модуле складываются из потерь напора в конфузоре, диффузоре и цилиндрической части модуля и рассчитываются по формуле:

$$h_{\text{м}} = \left(\frac{\lambda}{8 \sin \alpha / 2} \left(1 - \frac{1}{n^2} \right) + \lambda \frac{L_{\text{ц}}}{d} + \frac{\lambda}{8 \sin \beta / 2} \left(1 - \frac{1}{n_1^2} \right) + \sin \beta \left(1 - \frac{1}{n_1} \right)^2 \right) \cdot \frac{v_{\text{к}}^2}{2g} \quad (3)$$

где β – угол раскрытия диффузора, град. n_1 – степень расширения диффузора, α – угол раскрытия конфузора, град. n – степень сужения.

В ходе лабораторных испытаний было выявлено, что наименьшие гидравлические потери наблюдаются в конфузорах с углом раскрытия до 40° и отношением степенью сужения 1,2 - 3,0 и в диффузорах с углом раскрытия менее 50° . Добавление сетчатого цилиндра уменьшила степень кавитационной эрозии. Конечный вид формулы напора выглядит следующим образом:

$$H_{\text{к}} = \frac{v_{\text{к}}^2}{2g} \cdot (\zeta_{\text{к}} + \zeta_{\text{ц}} + \zeta_{\text{д}} + 1) \quad (4)$$

Проведенные исследования показали, что комплексная обработка нефти является перспективным направлением (табл. 2 и рис. 3).

Таблица 2

Сравнительный анализ эффективности методов снижения вязкости нефти			
Характеристики	ДПН-1Р	Кавитационная обработка	Комплексная обработка
Депрессия $T_{\text{заст.}}$, °С	10-14	5-7	17-20

Снижение вязкости, %	42-57	32-40	66-70
Снижение предельно динамического напряжения	2-3	4	6-7
Снижение предельно статического напряжения	4-5	3-4	5-7
Время восстановления реологических свойств, дней	5	4	7

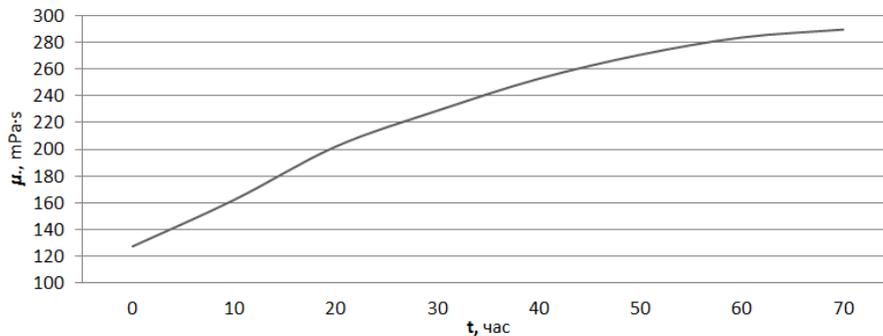
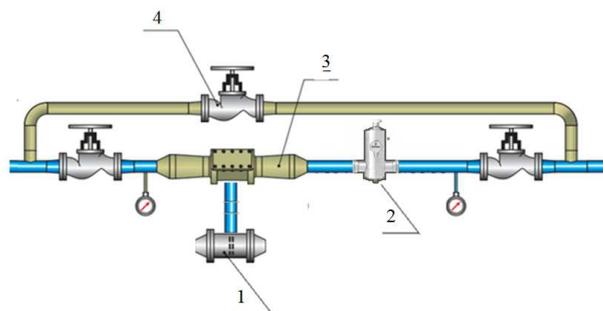


Рис.4. Зависимость восстановления динамической вязкости от времени релаксации

За счет локального изменения давления и, вследствие этого, создания условий для кавитации и разрыва жидкостной сплошности, выделяется энергия. Выделившаяся энергия эквивалента изменению температуры нефти при средней плотности 945 кг/м^3 и вязкости $150 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ на $2\text{-}3^\circ\text{C}$. В связи с возможностью изменения начальной температуры подогрева нефти, меняются и экономические затраты.

Используя полученные данные по кавитационной обработке нефти с применением присадок, авторами была разработана аппаратурно-технологическая схема по установке кавитационного оборудования на нефтяных перекачивающих станциях, встраивая в технологический трубопровод, представленная на рисунке 5.



*Рис.5. Аппаратурно-технологическая схема
1 – Плунжерный насос-дозатор, 2 – Сепаратор,
3 – Гидродинамический кавитатор, 4 – Запорная арматура*

Проведенный авторами анализ и расчеты показывают, что применение метода кавитационной обработки с целью уменьшения экономической нагрузки является обоснованным и имеет положительный экономический эффект. Целесообразность и эффективность применения комплексной обработки нефти заключается в следующем:

- повышение начальной температуры подогрева высоковязкой нефти на 2-3°C за счет кавитационной обработки;
- уменьшение вязкости нефти за счет комплексного метода, что в свою очередь приведет к уменьшению затраченной мощности подогревателей и расхода топлива;
- улучшение реологических свойств нефти за счет разрыва углеродистых связей, что позитивно скажется на дальнейшей транспортировке и переработке нефти, позволив увеличить выход легколетучих фракций при атмосферной перегонке.

Применяемая технология может быть использована на промышленных или технологических трубопроводных системах с диаметрами до 300 мм и значениями вязкости транспортируемых нефтей 150-200 мПа·с.

Список литературы

- 1.АО «Транснефть - Сибирь»: [Электронный ресурс]. М., 1994-2015. URL: <http://sibnefteprovod.transneft.ru/press/news/?id=13931>. (Дата обращения: 12.03.2015).
- 2.Земенков Ю.Д. Резервирование энергоресурсов для обеспечения надежности системы газоснабжения/Земенков Ю.Д., Акулов К.А., Васильев Г.Г и др.- Тюмень: ТГНГУ, 2006.-244с.
- 3.Земенкова М.Ю., Шиповалов А.Н., Дудин С.М., Земенков Ю.Д. Системный анализ в процессах контроля и управления нефтегазовых объектов//Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. -2007, № 5. -С. 116-119.
- 4.Курушина Е.В. Транснациональный менеджмент: стратегический аспект: учебное пособие/Е.В. Курушина -Тюмень: ТюмГНГУ, 2012. -128 с.
- 5.Тарасенко, М. А. Уменьшение вязкости нефти методом гидродинамической кавитации / М. А. Тарасенко, А.Э. Бранд // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2014 : материалы XV межд. науч.-практ. конф. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2014. – С. 44-45
- 6.Vengerov, A. A. Oil cavitation treatment to prevent formation of paraffin deposits / A. A. Vengerov, A. E. Brand // Природные и интеллектуальные ресурсы Сибири. Сибресурс 2014 : материалы XV межд. науч.-практ. конф. – Кемерово : Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2014. – С. 36-37

Рецензенты:

Шантарин В.Д., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г.Тюмень;

Чекардовский М.Н., д.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет», г.Тюмень.