

УДК 622.691

P.B. АХМЕТКАЛИЕВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЯЗКОСТИ НЕФТЯНЫХ ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМ

Проведен анализ зависимости вязкости водонефтяной эмульсии от концентрации эмульгированной воды и высокопарафиновой нефти от температуры и скорости сдвига. Получена формула, определяющая зависимость этих жидкостей от концентрации дисперсной фазы. Предлагается эмпирическая формула определяющая изменение вязкости рассмотренных дисперсных систем при нагревании и гидродинамической обработке. Показано, что одновременное действие двух факторов разрушений дисперсной системы увеличивает скорость уменьшения вязкости и приводит к состоянию с меньшей вязкостью за более короткое время обработки такой нефти.

Большинство высокопарафинистых и высоковязких нефтей (ВПН, ВВН) в широком диапазоне температур являются неньютоновскими жидкостями. Высококонцентрированные водонефтяные эмульсии (ВНЭ) многих нефтей также относятся к таким системам. Сравнительный анализ реологических свойств указанных дисперсий (ВПН, ВНЭ) показывают наличие многих общих свойств, характерных для неньютоновских жидкостей.

Наличие твердых частиц в ВПН обусловлено образованием кристаллов парафина при охлаждении нефти до температуры кристаллизации указанных компонентов сырья.

Образование и рост количества этих частиц сопровождается увеличением вязкости нефти. Общее увеличение вязкости этих жидкостей пропорционально содержанию парафинов в нефти. Изучение реологических свойств ВНЭ показывает, что эффективная (измеренная) вязкость указанных систем возрастает с ростом концентрации эмульгированной воды.

При механической (гидродинамической) обработке обоих дисперсных систем в виде размешивания пропеллерной мешалкой или аналогичном воздействии происходит значительное изменение вязкости этих жидкостей.

На графиках приведена зависимость вязкости ВПН от температуры при различных скоростях сдвига (рис. 1); зависимость вязкости ВНЭ от содержания эмульгированной воды (рис. 2); зависимость вязкости ВПН от скорости сдвига при различных температурах (рис. 3).

Анализ этих графиков показывает, что на них имеются два общих характерных участка изменения от рассмотренных параметров: область быстрого изменения вязкости и область относи-

тельно медленного изменения этого параметра.

Для объяснения указанных зависимостей необходимо исходить из строения обоих дисперсных систем.

В ВПН при охлаждении образование кристаллов парафинов, рост их числа и размеров происходит постепенно. Далее идет структурирование отдельных частиц с образование единого пространственного каркаса по всему объему нефти. При нагревании процесс происходит в обратном порядке: разрушение связей между частицами, отрыв их друг от друга, уменьшение размеров и числа дисперсных частиц. Первая стадия разрушения сопровождается переходом из гелеобразного состояния в жидкое, во второй – происходит уменьшение концентрации дисперсной фазы.

При гидродинамической обработке ВПН указанные стадии разрушения происходят за счет механического воздействия и сопровождаются аналогичными изменениями вязкости системы.

Водонефтяные эмульсии представляют собой полидисперсную систему капель воды в нефти. На поверхности капель имеется адсорбционно-сольватный слой (АСС) из смоло-асфальто-парафиновых веществ, толщина и прочность которых возрастает по мере старения эмульсии.

При нагревании и гидродинамической обработке (ГДО) часть сорбированных веществ может переходить обратно в дисперсионную среду. Рост обводненности нефти ведет к агрегации капель воды, прочность их связей со временем возрастает.

Нагревание и ГДО разрушает образовавшиеся структуры. Анализ графика зависимости вязкости ВНЭ от концентрации эмульгированной воды (рис. 2) дает следующую формулу:

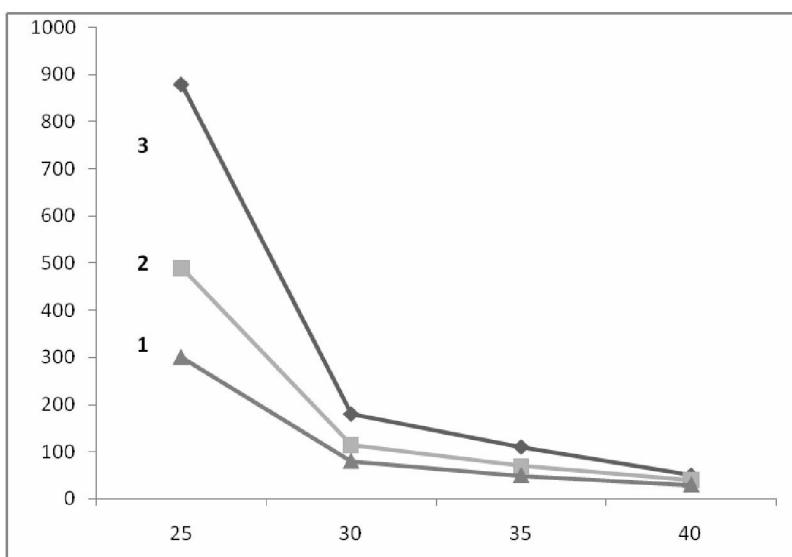


Рис. 1. Зависимость эффективной вязкости ВНЭ от температуры при скоростях сдвига:

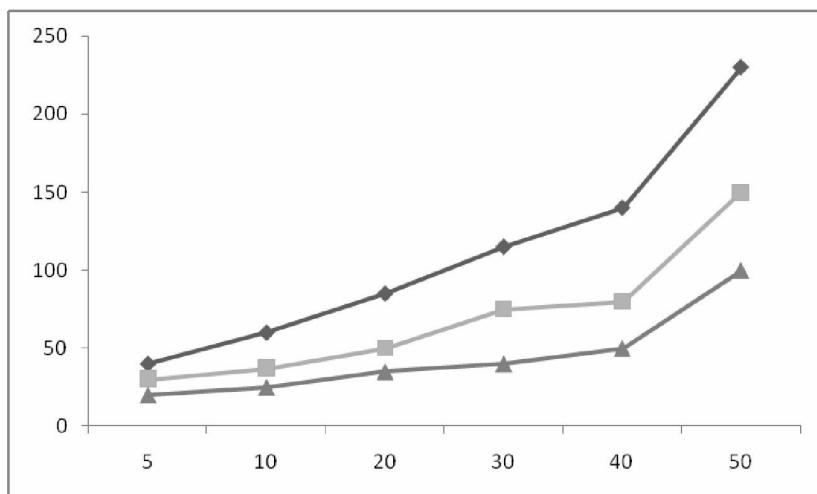
1 - 27 c⁻¹; 2 - 81 c⁻¹; 3 - 243 c⁻¹

Рис. 2. Зависимость эффективной вязкости ВНЭ от содержания эмульгированной воды при различных температурах: 1 - 10 °C; 2 - 20 °C; 3 - 30 °C

$$\eta = \eta_0 + k_1 c_1 + k_2 c_2, \quad (1)$$

где η, η_0 - вязкости эмульсий и дисперсионной среды; c_1, c_2 - содержание воды на I и II участках; k_1, k_2 - линейные коэффициенты вязкости для этих участков.

Аналогичные формулы могут быть записаны для двух других графиков:

$$\eta = \eta_0 + k_1 \Delta t_1 + k_2 \Delta t_2, \quad \eta = \eta_0 + k_1 S_1 + k_2 S_2, \quad (2)$$

где $\Delta t_1, \Delta t_2, S_1, S_2$, - изменения температуры и градиента скорости сдвига для I и II участков; k_1, k_2 - соответствующие им линейные коэффициенты.

Написанные формулы могут быть представлены в виде:

$$\eta = \eta_0 + \eta_c + \eta_u, \quad (3)$$

где η_c - увеличение вязкости, обусловленное наличием примесей и пропорциональное ее количеству; η_u - увеличение вязкости от структурирования дисперсных частиц, пропорциональное их энергии или силе взаимодействия.

Из анализа движения жидкости с дисперсной фазой и закона сохранения энергии формула для ее вязкости может быть представлена в виде:

$$\eta = \eta_0 + (\eta_n + \eta_b) + \eta_u + \eta_{\Delta\rho} = \eta_0 + \eta_c + \eta_u + \eta_{\Delta\rho}, \quad (4)$$

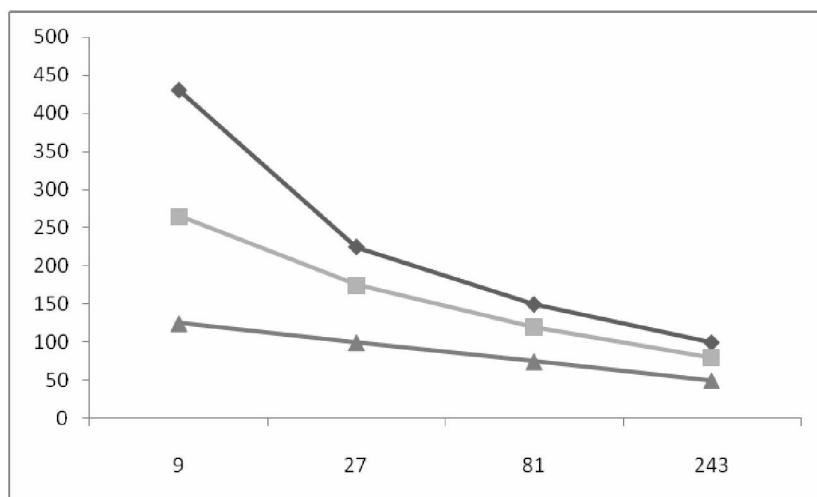


Рис. 3. Зависимость эффективной вязкости ВНЭ от скорости сдвига при различных температурах:
1 – 27 °C; 2 – 30 °C; 3 – 35 °C

где η_u, η_b - увеличение вязкости, обусловленное поступательным и вращательным движением примесных частиц; $\eta_{\Delta\rho}$ - увеличение вязкости от движения примесей перпендикулярно потоку.

Из формулы (4) следует, что увеличение вязкости от наличия примесей пропорционально количеству и размеру примесных частиц, которые в объединенном виде представлены их концентрацией. Изменение размера частиц дисперсной фазы при постоянной концентрации может сопровождаться изменением вязкости системы за счет остальных составляющих формулы (4).

Увеличение вязкости ВНЭ при ее старении происходит за счет роста толщины АСС капель воды, которое ведет к увеличению объема и концентрации дисперсной фазы. Увеличивается также составляющая η_u , обусловленная уменьшением среднего расстояния между каплями, увеличивающая силу притяжения между ними (агрегация капель), (рис. 4).

Образование агрегатов из капель воды или других дисперсных частиц увеличивает $\eta_c, \eta_u, \eta_{\Delta\rho}$. У агрегатов из двух и более частиц усложняется поступательное движение, появляется возможность вращения вокруг трех осей. Все это может происходить без увеличения концентрации примесей. При увеличении толщины АСС капель воды и наличии достаточного количества эмульгированной фазы, отсутствии коалесценции, полная агрегация всех капель ведет к преобразованию эмульсии в гель и резкому росту вязкости системы.

Из формулы (2) и соответствующих графиков видно, что вязкость ВПН значительно уменьшается при нагревании и ГДО. Указанные воздействия уменьшают размер и концентрацию дисперсных частиц, разрывают связи между ними. В виде формулы это может быть записано в виде:

$$\eta = \eta_0 + \eta_c \varepsilon_1^{-k_1} + \eta_u \varepsilon_2^{-k_2} = \eta_0 + (\eta_c + \eta_u) \varepsilon^{-k}, \quad (5)$$

$$k = \Delta T + R; \quad R = A_i - A_0,$$

где t - время; $A_0 = U_1$ - энергия связи капель в агрегатах; A_i - фактическая энергия турбулентных пульсаций; ΔT - изменение температуры ВПН; $\varepsilon, \varepsilon_1, \varepsilon_2$ - коэффициенты, определяемые из опыта.

При одновременном действии обоих факторов разрушения дисперсной системы скорость уменьшения вязкости будет больше и достигнутое значение вязкости будет меньше, чем при отдельном нагревании или ГДО. В таблице 1 приведены результаты определения коэффициентов k_1, k_2 линейного изменения вязкости при изменении температуры и скорости сдвига для ВПН.

Выводы:

1. Путем анализа графиков изменения вязкости водонефтяной эмульсии от концентрации эмульгированной воды и высокопарафинистой нефти от температуры и скорости сдвига получена формула, определяющая зависимость вязкости этих жидкостей от концентрации дисперсной фазы, изменение вязкости рассмотренных

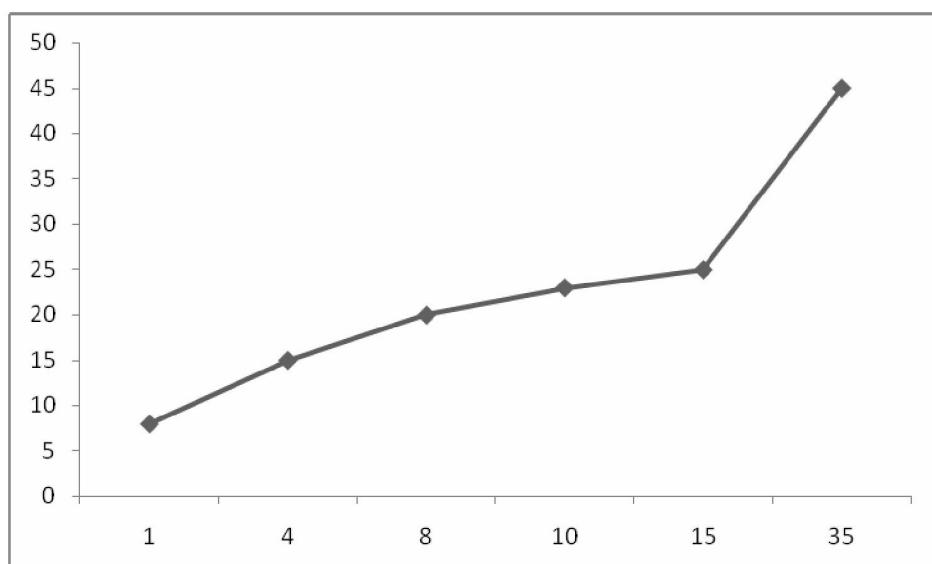


Рис. 4. Изменение эффективной вязкости водонефтяной эмульсии при ее хранении, $t = 70^\circ\text{C}$

Таблица 1. Зависимость линейного коэффициента k_1, k_2 температурного изменения вязкости мангышлакской нефти от скорости сдвига

Скорость сдвига, с^{-1}	Интервал температуры, $^\circ\text{C}$			
	25 - 30		30 - 40	
	$k_1, \frac{\text{мПа}\cdot\text{с}}{\text{°C}}$	$\eta, \text{мПа}\cdot\text{с}$	$k_2, \frac{\text{мПа}\cdot\text{с}}{\text{°C}}$	$\eta, \text{мПа}\cdot\text{с}$
9	295	260	17,4	87
27	144	173	11,7	57
81	74	112	7,1	42
243	44	84	5,2	32

дисперсных систем при нагревании и гидродинамической обработке.

2. Одновременное действие двух факторов разрушения дисперсной системы приводит к состоянию с меньшей вязкостью за более короткое время обработки сырья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Надиров Н.К., Тугунов П.И., Уразгалиев Б.У. Трубопроводной транспорт вязких нефтей. Алматы. Наука, 1985, 264 с.

2. Ахметкалиев Р.Б. Фактор устойчивости и разрушение эмульсии. // Вестник НИА РК. 2008. №1. С. 63 – 69.

Резюме

Су-мұнай эмульсия тұтқырлығының су концентрациясына байланысты және жоғары парафинды мұнайдың тұтқырлығы температурасы мен ығысу жылдамдығы бойынша өзгерістер зерттелген. Қарастырылған сұйыктардың тұтқырлық өзгерісінің қоспаға байланыстылы-

ғын анықтaitын формула табылды. Қыздырғанда және гидродинамикалық өсер жасағанда дисперсиялық жүйелердің тұтқырлық өзгерісін анықтaitын формула шығарылды. Дисперсия жүйесінің күйін өзгеретін екі параметрлі өсер ететін жағдайда оның тұтқырлығының өзгерісіне қажет уақыт қыскарады.

Summary

The analysis of dependence of water- in - oil emulsion from concentration of emulsion water and highparaffin oils from temperature and shift of speed is carried out. The formula determining dependence of viscosity of this liquids on concentration of dispersed phase is received. The empirical formula determining change of viscosity of dispersed systems by heating and hydrodynamics processing is offered. It is shown, that the same time action of two factors of destruction of dispersed systems increases speed of reduction viscosity and results in a condition with smaller viscosity for short time of processing of such oils.

Алматинский институт
энергетики и связи

Поступила 12.04.10 г.