

Оценка реологических характеристик высоковязких нефтей

С.В. Аббасова, к.т.н.

Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности

Электронный адрес: abbasovasamira@mail.ru

Дана методологическая оценка определения количественных характеристик реологических свойств нефти, включающая проведение серии экспериментов с использованием ротационного вискозиметра, представляющего собой ротационное устройство в виде коаксиальных цилиндров, где непосредственно устанавливается связь напряжения и скорости сдвига.

С помощью методов Кросса и Малкина можно определить неньютоновские характеристики, такие как нормальное напряжение и модуль упругости.

Для своевременного принятия решения по регулированию технологических режимов откачки продукции скважин с целью эффективного повышения нефтеизвлечения необходимо иметь качественные и количественные характеристики реологических свойств нефти.

Ключевые слова: нефть, реологические свойства, время релаксации, напряжение сдвига, скорость сдвига, модуль упругости, вязкость.

Введение

Реологические свойства неньютоновских нефтей определяются не систематически и соответственно не учитываются при проектировании разработки месторождений, а также при мероприятиях по регулированию технологических режимов эксплуатации. Между тем применение данных о реологических свойствах нефти позволило бы повысить эффективность нефтеизвлечения, более обоснованно организовать геолого-технологические мероприятия по добыче нефти на месторождениях [1–3].

Постановка задачи

В статье дана методологическая оценка определения количественных характеристик реологических свойств нефти, включающая проведение серии экспериментов с использованием ротационного вискозиметра, представляющего собой ротационное устройство в виде коаксиальных цилиндров, где непосредственно устанавливается связь напряжения сдвига со скоростью сдвига.

Методика и результаты исследований

Исследуемый образец нефти помещается в

зазор между двумя вертикально расположенными коаксиальными цилиндрами, один из которых приводится во вращение с измеряемой угловой скоростью. Другой цилиндр испытывает закручивающее усилие, величина которого измеряется в процессе опыта. Изменение крутящего момента в зависимости от числа оборотов вращающегося цилиндра используют для установления связи между напряжением и скоростью сдвига. В процессе проведения экспериментов, прибор находится в термостатических условиях, а измерение напряжения сдвига производится при фиксированной (заданной) скорости сдвига.

Чтобы получить значения реологических параметров рассматриваемых образцов нефти измеряемое значение умножается на постоянную прибора и на коэффициент, учитывающий скорость сдвига.

На установке в качестве примера были исследованы образцы нефти месторождения Нефть Дашлары.

На рис. 1 показаны качественные и количественные изменения структурной вязкости и число включений и отключений (число щелчков)

ков) термостата.

Как видно из рис. 1, а при температуре 298 К структурная вязкость уменьшается от 0.049 до 0.025 Па·с. Это подтверждает и изменение числа щелчков термостата. Кривую на графике можно разбить на два временных интервала. Первый интервал времени до 80 мин характеризуется высокоамплитудными колебаниями структурной вязкости числа щелчков с одинаковой частотой. Этот интервал времени можно считать переходным от неупорядоченного процесса к упорядоченному. На втором интервале времени наблюдаются низкоамплитудные колебания структурной вязкости и числа щелчков термостата. Стабилизация рассматриваемых показателей свидетельствует о том, что на втором интервале времени процесс упорядоченный.

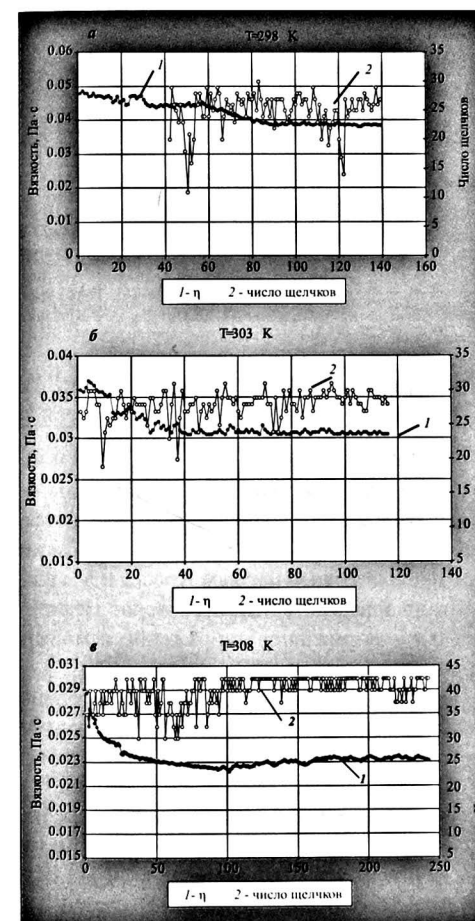


Рис. 1. Изменение во времени вязкости и числа щелчков при температурах 298 К (а), 303 К (б) и 308 К (в)

На рис. 1, б, в приведены аналогичные рис. 1, а экспериментальные данные при температурах 303 и 308 К.

Аналогичным образом было исследовано изменение структурно-механических свойств данных образцов нефти при добавлении 5 %-го парафина и увеличении температуры от 303 до 318 К, где также наблюдается снижение вязкости в пределах 0.058–0.025 Па·с, которое сопровождается интенсивным колебанием числа щелчков на термостате от 22 до 30.

Для интерпретации данных, полученных с помощью ротационного вискозиметра, для экспресс-оценок неньютоновских свойств нефтей можно использовать методику Кросса [2].

По зависимости $\tau = f(\dot{\gamma})$ и $\eta_{эф} = f(\dot{\gamma})$ находим связь между касательным напряжением и эффективной вязкостью

$$1/\tau_{эф}^2 = 1/\eta_1^2 + \tau^2/4G^2\eta_1^2,$$

где $\tau_{эф}$ – эффективное касательное напряжение; G – модуль упругости исследуемой жидкости; η_1 – значение вязкости, замеренное в данный

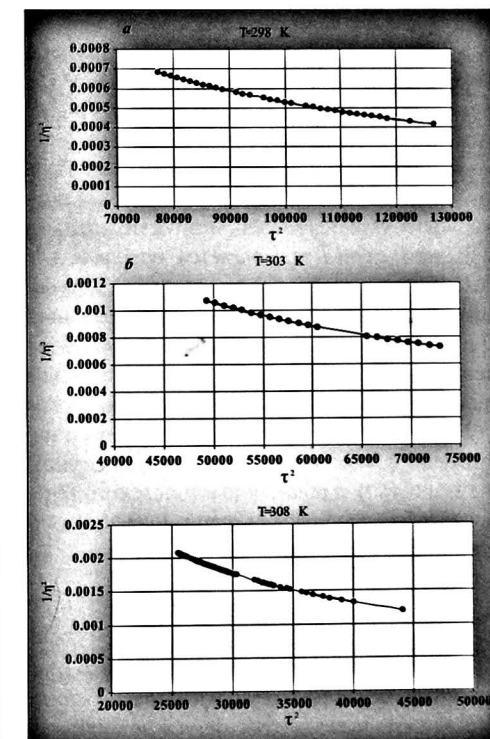


Рис. 2. Реограмма испытуемого образца нефти при температурах 298 К (а), 303 К (б) и 308 К (в)

момент времени или истинная вязкость; $\eta_{\text{эф}}$ – эффективная вязкость.

Строится функция $1/\eta_{\text{эф}}^2$ в зависимости от τ^2 . Участки графика, параллельные оси абсцисс, соответствуют вязкому течению, остальные – течению жидкости с линейными и нелинейными свойствами. По экспериментальным данным на примере образца нефти месторождения Нефть Дашлары, построены реограммы в координатах τ^2 и $1/\eta_{\text{эф}}^2$ при различных температурах (рис. 2).

Реологические исследования нефти на вискозиметре в интервале температур от 298 до 308 К показали, что нефть месторождения Нефть Дашлары характеризуется как неньютоновская, с сильной зависимостью вязкости от скорости сдвига во всем диапазоне исследованных температур и наличия предельного напряжения сдвига τ_0 .

Аналогично, реологические исследования с помощью методики Кросса были проведены и для нефти с добавлением 5 % парафина при температурах 303–318 К, в результате которых было выявлено, что неньютоновские свойства данной нефти усиливаются. Здесь наблюдается резкое падение значений в области малых скоростей сдвига τ , после чего кривая течения приобретает обычную для неньютоновских жидкостей форму.

Итак, обработка полученных данных в специальных координатах Кросса позволяет оценить наличие у нефти неньютоновских свойств.

Одной из характеристик неньютоновской жидкости является модуль упругости, который в данном случае предлагается определить с помощью метода Малкина. Это метод косвенного определения нормальных напряжений при сдвиговом течении в ротационном вискозиметре для нефтей, имеющих неньютоновские свойства при малых скоростях сдвига.

Начальный коэффициент нормального напряжения ϕ_0 может быть определен, если известна вязкость η_0 в области ньютоновского течения и значение скорости сдвига B на её границе

$$\phi = 2\eta_0/\pi B$$

Начальный коэффициент нормальных напряжений ϕ_0 позволяет определить зависимость нормальных напряжений от угловой скорости сдвига γ и модуль упругости линейной области G_0

$$\sigma = 2\phi_0(\eta/\eta_0)^2\gamma, \\ G_0 = \eta_0^2/\phi_0,$$

где ϕ_0 – начальный коэффициент нормального напряжения; η_0 – вязкость в области ньютоновского течения; η – текущая вязкость; γ – скорость сдвига.

По методу Малкина были определены значения модуля упругости и нормального напряжения для испытуемого образца нефти и нефти с добавлением 5 %-го парафина при различных температурах. В табл. 1, 2 представлены результаты расчетов неньютоновских характеристик на основе проведенных экспериментов.

Таблица 1

Показатели (нефть)	T, K			
	298	303	308	313
Модуль упругости по Малкину	157.7	102.7	88.9	19.7
Нормальное напряжение	21.08	18.49	11.75	9.28
Время релаксации	0.004	0.003	0.003	0.002

Таблица 2

Показатели (нефть + 5 %-ый парафин)	T, K			
	303	308	313	318
Модуль упругости по Малкину	162.7	94.1	70.7	61.4
Нормальное напряжение	29.45	24.67	19.13	16.38
Время релаксации	0.003	0.004	0.004	0.004

С увеличением температуры нормальное напряжение и модуль упругости уменьшаются, особенно при добавлении парафина. Таким образом, с помощью методов Кросса и Малкина можно определить неньютоновские характеристики – нормальное напряжение и модуль упругости.

По результатам проведенных исследований также необходимо учитывать проявления релаксационных свойств нефти, так как неучет времени релаксации может привести к многократному изменению величины определяемых параметров [4, 5]. Время релаксации для испытуемой нефти может быть вычислено по известной зависимости:

$$\lambda = \mu/G$$

Было определено время релаксации для испытуемого образца нефти и для нефти с добавлением 5 %-го парафина при различных температурах (см. табл. 1, 2). На примере образцов нефти месторождения Нефть Дашлары показано как можно интерпретировать данные, полученные с помощью ротационного вискозиметра.

Заключение

Знание качественных и количественных характеристик реологических свойств нефти позволяет повысить эффективность нефтеизвлечения путем своевременного принятия решения по регулированию технологических режимов откачки продукции скважин.

Список литературы

1. Мирзаджанзаде А.Х., Шахвердиев А.Х. Динамические процессы в нефтегазодобыче. – Баку: Элм, 1997, 408 с.
2. Мирзаджанзаде А.Х., Ковалев А.Г. Особенности эксплуатации месторождений аномальных нефтей. – М.: Недра, 1977, 229 с.
3. Зиновьев А.М. и др. Обоснование режима разработки залежи аномально вязкой нефти на основе комплексов исходной геолого-промысловой информации // Вестник ЦКР Роснедра, 2014, № 3, с. 15-23.
4. Зиновьев А.М., Ольховская В.А., Максимкина Н.М. Проектирование систем разработки месторождений высоковязкой нефти с использованием модели неньютоновского течения и результатов исследования скважин на приток // Нефтепромысловое дело, 2013, № 1, с. 4-14.
5. Роцин П.В. и др. Исследование реологических свойств высоковязких и высокопарафинистых нефтей месторождений Самарской области // Нефтегазовая геология. Теория и практика, 2013, т. 8, № 1, с.12.

Yüksəközlüklü neftlərin reoloji xassələrinin qiymətləndirilməsi

S.V. Abbasova

Məqalədə sürüşmə gərginliyi ilə sürüşmə dərəcəsinin birbaşa əlaqəsi təyin olduğu koaksial silindrlər şəklində olan rotasyon viskozimetri istifadə etməklə seriya eksperimentlərin aparılması daxil olmaqla, neftin reoloji xassələrinin kəmiyyət xüsusiyyətlərinin müəyyənəşdirilməsinin metodoloji qiymətləndirilməsi verilmişdir.

Kross və Malkin metodlarını istifadə edərək, normal gərginlik və elastiklik modulu kimi qeyri-Nyuton xüsusiyyətləri müəyyən edilə bilər.

Neftin reoloji xassələrinin keyfiyyət və kəmiyyət xüsusiyyətləri haqqında məlumat quyuların nasosla çəkməsi ilə hasilatının texnoloji rejimlərini tənzimləmək üçün vaxtında qərar qəbul edərək neft hasilatının səmərəliliyinin artırılmasına imkan yaradır.

Açar sözlər: neft, reoloji xassələr, relaksasiya vaxtı, sürüşmə gərginliyi, sürüşmə dərəcəsi, elastiklik modulu, özlülük.

Evaluation of rheological characteristics of high viscous oils

S.V. Abbasova

The paper presents the methodological evaluation of specification of quantitative characteristics of oil rheological properties including a series of experiments using rotational viscometer which is a rotary device in the form of coaxial cylinders, where shear stress and shear rate are directly set.

Cross and Malkin methods enable to define non-Newtonian characteristics such as normal shear and elasticity modulus.

To make a timely decision on the regulation of technological regimes of pumping out well production for efficient increase of oil recovery, it is necessary to have qualitative and quantitative characteristics of oil rheological properties as well.

Keywords: oil, rheological properties, relaxation time, shear stress, shear rate, elasticity modulus, viscosity.