

УДК 622.276.65

*И.А. Гуськова¹, e-mail: guskovaagni1@mail.ru; А.Т. Габдрахманов¹, e-mail: Artur.gabdrahmanov@rambler.ru;**Д.М. Гумерова¹, e-mail: gumerova.Dilyara2011@yandex.ru; Д.Р. Хаярова¹, e-mail: GilDinara14@mail.ru; И.И. Гуськов¹*¹ Кафедра «Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений» Альметьевского государственного нефтяного института (Альметьевск, Россия).

Использование реологических исследований для оптимизации параметров технологий интенсификации добычи нефти

Показана сложность и неоднозначность процессов, обуславливающих появление осложняющих факторов в процессе эксплуатации скважин. При планировании и реализации технологий интенсификации добычи нефти необходимо внедрение системного подхода, предусматривающего анализ и оценку технологий с точки зрения их взаимовлияния. Необходима оценка возможного влияния технологий интенсификации добычи на изменение реологических характеристик нефти и связанное с этим появление параметрических отказов при эксплуатации скважин. Показано, что при планировании и реализации технологий интенсификации добычи нефти необходим системный подход, предусматривающий анализ и оценку технологий с точки зрения их взаимовлияния, определение рисков появления параметрических отказов при эксплуатации скважин. Объектом исследований реологических свойств являлись промысловые пробы нефти Ерсубайкинского, Архангельского и Ромашкинского месторождений (221 залежь и Северо-Альметьевская площадь). Для получения более полной и достоверной информации о реологических свойствах промысловых проб нефти было принято решение по отбору проб с различной обводненностью. Представлены результаты исследований реологических характеристик промысловых проб нефти различных продуктивных горизонтов Республики Татарстан. Определено влияние термообработки на реологические характеристики промысловых проб нефти и появление параметрических отказов в работе скважин. Выявлено наиболее существенное влияние скорости сдвига на изменение вязкости для проб с большей обводненностью. Отмечено проявление тиксотропных свойств для всех исследованных промысловых проб нефти. Показана необходимость оценки тиксотропных свойств нефти для определения оптимального времени остановки скважины при реализации технологий интенсификации добычи нефти.

Ключевые слова: промысловые пробы нефти, реологические характеристики, тиксотропные свойства, системный подход, взаимовлияние технологий.

.....

*И.А. Гуськова¹, e-mail: guskovaagni1@mail.ru; А.Т. Габдрахманов¹, e-mail: Artur.gabdrahmanov@rambler.ru;**Д.М. Гумерова¹, e-mail: gumerova.Dilyara2011@yandex.ru; Д.Р. Хаярова¹, e-mail: GilDinara14@mail.ru; И.И. Гуськов¹*¹ Oil and Gas Fields Development Department, Almet'yevsk State Oil Institute (Almet'yevsk, Russia).

Rheogoniometry for optimizing parameters of oil production stimulation technologies

The paper displays the complexity and ambiguity of the processes that determine and stipulate complicating factors in the process of operating a well. System approach involving analysis and appraisal of technologies from the point of view of their interrelationship is essential for planning and introducing oil production stimulation technologies. It is necessary to assess the possible influence of oil production stimulation technology on rheological behavior of oil and related to it parametric failures while operating a well. When planning and implementing oil production stimulation it is necessary to pursue a systematic approach implying analysis and assessment of technologies from the point of view of their interrelation, and prediction of parametric failure risks while operating a well. An objective for rheological properties research was oil sampling from the Yersubaykino, the Arkhangelsk and the Romashkino oil fields (221 deposits and the North-Almet'yevsk area). To ensure obtaining information concerning rheological properties of oil samples as full and accurate as possible the decision was taken to obtain samples of oil with different water content values. Rheological characteristic

research results of oilfield sampling and possible well operation parametric failure risks have been considered. The most essential influence of shear rate on viscosity change of oil field samples with high water content has been revealed. It has been also observed that thixotropic properties appeared in all oil samples analyzed. Assessment of thixotropic properties of oil proved to be necessary to determine optimal shut-in time when applying oil production stimulation technologies.

Keywords: oilfield sampling, rheological properties, thixotropic properties, systematic approach, technologies interrelationship.

Пласт – призабойная зона – скважина представляют собой единую гидродинамическую добывающую систему, сложность работы которой связана не только с изменением давления, температуры, фазовыми превращениями, но и, при определенных условиях, с проявлением эффекта взаимовлияния технологий, который необходимо учитывать при эксплуатации скважин. В отдельных элементах системы протекают сложные физические явления, существенно меняющие законы работы взаимосвязанных элементов.

Следует отметить сложность и неоднозначность процессов, обуславливающих появление осложняющих факторов в процессе эксплуатации скважин. Одной из наиболее важных физических характеристик нефти, оказывающих влияние на появление различного рода осложнений в работе скважин, является вязкость. От величины вязкости зависят срок эксплуатации залежи, полнота выработки запасов и другие показатели разработки нефтяных месторождений, определяющие экономическую эффективность добычи нефти. В связи с этим работы многих исследователей посвящены изучению факторов, определяющих величину вязкости различных нефтей. Хорошо изучена в настоящее время зависимость вязкости нефти от температуры, давления, состава, содержания высокомолекулярных соединений [1].

При планировании и реализации технологий интенсификации добычи нефти необходимо внедрение системного подхода, предусматривающего анализ и оценку технологий с точки зрения их

взаимовлияния. Необходима оценка возможного влияния технологий интенсификации добычи на изменение реологических характеристик нефти и связанное с этим появление параметрических отказов при эксплуатации скважин.

Объектом исследований реологических свойств являлись промысловые пробы нефти Ерсубайкинского, Архангельского и Ромашкинского месторождений (221 залежь и Северо-Алметьевская площадь). Для получения более полной и достоверной информации о реологических свойствах промысловых проб нефти было принято

решение по отбору проб с различной обводненностью.

Для проведения реологических исследований использовался ротационный вискозиметр Rheotest RN 4.1, оборудованный термостатом с точностью поддержания температуры $\pm 0,1$ при температуре от 5 до 80 °С и скоростях сдвига от 11 до 500 1/с.

Для каждой пробы выполнено по три измерения с увеличением числа оборотов с 5 до 200 об./мин. с шагом 10 об./мин. и для температур 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 °С. Все исследуемые жидкости до начала измерений хранились при комнатной температуре (19–20 °С).

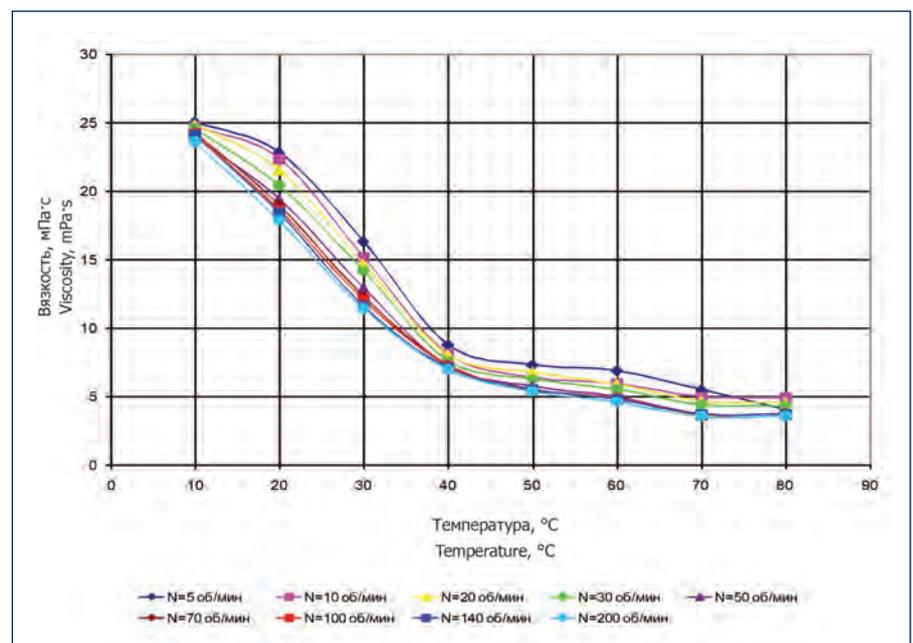


Рис. 1. Влияние температуры на эффективную вязкость эмульсии обводненностью 16% (скважина № 11700, Ерсубайкинское месторождение, пашийский горизонт)

Fig. 1. Temperature effect on the effective viscosity of the emulsion with water encroachment of 16% (well No. 11700, Ersubaykinskoye field, Pashiysky horizon)

Ссылка для цитирования (for references):

Гуськова И.А., Габдрахманов А.Т., Гумерова Д.М., Хаярова Д.Р., Гуськов И.И. Использование реологических исследований для оптимизации параметров технологий интенсификации добычи нефти // Территория «НЕФТЕГАЗ». 2015. № 11. С. 60–63.

Guskova I.A., Gabdrahmanov A.T., Gumerova D.M., Khayarova D.R., Guskov I.I. Rheogoniometry for optimizing parameters of oil production stimulation technologies (In Russ.). *Territorija «NEFTEGAZ» = Oil and Gas Territory*, 2015, No. 11. P. 60–63.

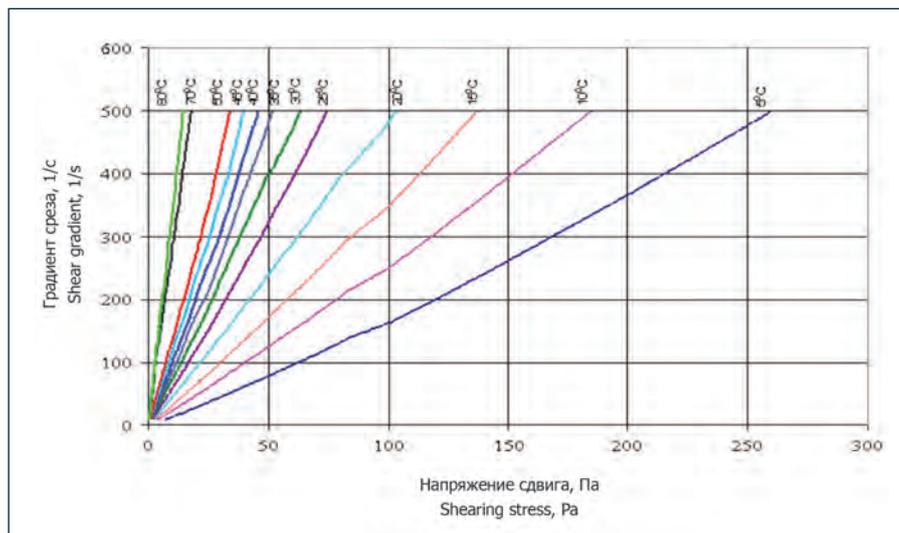


Рис. 2. Зависимость градиента среза от напряжения сдвига эмульсии обводненностью 30% при различных температурах (скважина № 10841, турнейский ярус, залежи 221)

Fig. 2. The dependence of the shear gradient from emulsion water content of 30% shear strength at various temperatures (well No. 10841, Tournaisian stage, deposits 221)

Для всех образцов с понижением температуры отмечено существенное усиление зависимости вязкости от температуры (рис. 1).

С понижением температуры увеличивается влияние скорости сдвига на вязкость. Наиболее существенный рост вязкости проявляется при температурах менее 40 °С. При повышении температуры разность между вязкостью для различных градиентов скорости уменьшается, при температурах 60–70 °С становится минимальной.

Несмотря на общность законов, описывающих поведение механических свойств любых твердых тел и жидкостей, т.е. их способность сопротивляться деформации и разрушению под действием извне приложенной механической нагрузки, механические свойства структурированных нефтяных дисперсных систем имеют свои характерные особенности, обусловленные присутствием парафинов, смол, асфальтенов и проявляющиеся при низких температурах в нелиней-

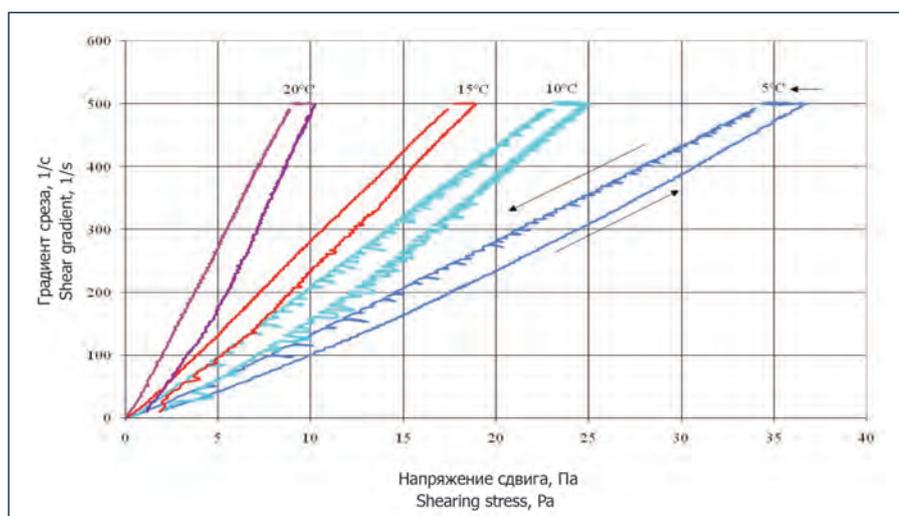


Рис. 3. Реологические кривые прямого и обратного хода (петля гистерезиса) нефти Северо-Алметьевской площади (скважина № 5595Д)

Fig. 3. Rheological curves of forward and reverse stroke (hysteresis loop) North Almet'yevsk area oil (well No. 5595Д)

ных эффектах при термообработке и компаундировании различных нефтей и нефтепродуктов [2].

В работе [3] были представлены результаты исследования реологических характеристик промысловых проб нефти, содержащих 1–2% парафинов и 3,5% асфальтенов, отобранных из скважин, пробуренных на пашийский горизонт Ромашкинского месторождения, подвергнутых термообработке и без нее. Авторами были сняты реологические кривые при стандартной температуре, а затем были исследованы реологические свойства нефти после нагрева до 40 и 60 °С и последующего охлаждения до 20 °С. Реологические характеристики снимались после выдержки проб в течение 30 мин. при данных температурах. Для термообработки каждый раз использовалась новая порция нефти. Анализ полученных реологических кривых показывает, что независимо от величины градиента среза вязкость исследованных проб после термообработки возросла. В результате термообработки нефти при 40 °С произошло минимальное увеличение вязкости, в среднем на 6–7%. Однако при термообработке при 60 °С величина динамической вязкости увеличилась на 38%.

Характер изменения эффективной вязкости эмульсий в зависимости от скорости сдвига и температуры имеет некоторое сходство для всех скважин, но степень влияния последних в различных температурных интервалах различна даже для проб одного месторождения. Наиболее существенное влияние скорости сдвига на изменение вязкости отмечено для проб с большей обводненностью. Увеличение вязкости эмульсий с повышением концентрации в них воды, вероятно, обуславливается увеличением взаимодействия между каплями благодаря более тесному сближению глобул воды, вследствие чего трение между слоями увеличивается и вязкость растет, что особенно характерно для низких скоростей сдвига [3]. На рисунке 2 хорошо прослеживается влияние нагрева на реологические свойства нефти. Влияние температуры наиболее значительно проявляется при охлаждении проб нефти турнейского яруса в интервале от 25–30 до 5 °С.

Так, для скважины № 10841 (турнейский ярус, залежь 221) при изменении температуры от 5 до 25 °С при градиенте среза 400 1/с напряжение сдвига возрастает более чем в 4,5 раза.

В целом при снижении температуры до 5 °С и увеличении интенсивности нагрузки, выражаемой через градиент среза, происходит возрастание напряжения сдвига до 10 раз, причем напряжение сдвига нефти для девонской нефти при той же температуре и скорости среза меньше почти в 7 раз, чем для угленосной нефти.

Для исследования тиксотропных свойств промысловых проб задавались следующие условия: скорость сдвига плавно увеличивалась до 500 1/с в течение 300 с (прямой ход), затем она поддерживалась еще 300 с (ожидание полного разрушения структуры), после этого скорость сдвига уменьшалась до нуля за 300 с (обратный ход). Полученная площадь гистерезиса характеризует тиксотропные свойства нефти Северо-Альметьевской площади Ромашкинского и Архангельского месторождений (рис. 3, 4).

Для всех исследованных проб отмечено проявление тиксотропных свойств. Учитывая, что упрочнение структуры в нефти может оказать существенное влияние на появление осложнений при эксплуатации нефтяных скважин, а также необходимость остановок добывающих скважин при реализации технологий воздействия на призабойную зону пласта, необходимо проведение дополнительных исследований по определению оптимального времени остановки скважины.

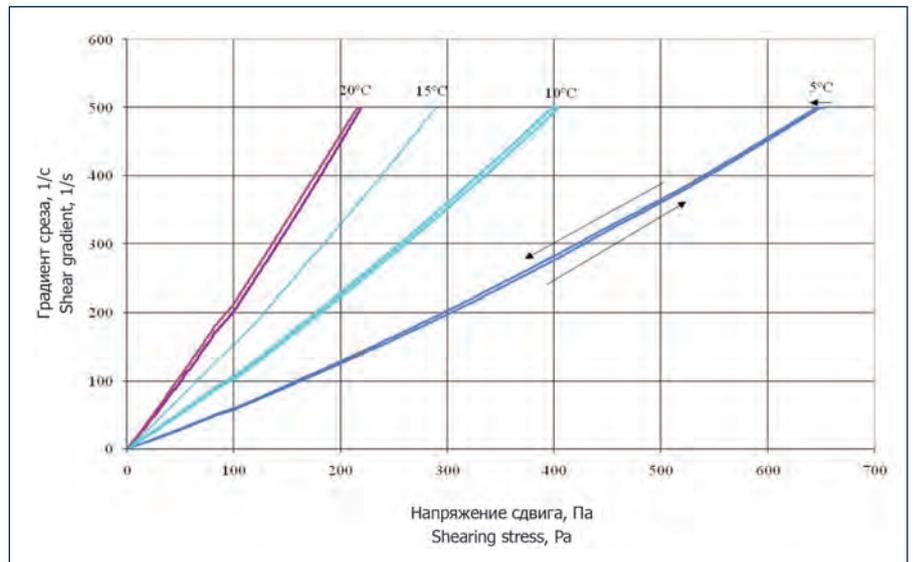


Рис. 4. Реологические кривые прямого и обратного хода (петля гистерезиса) нефти Архангельского месторождения (скважина № 4305)

Fig. 4. Rheological curves of forward and reverse stroke (hysteresis loop) Arkhangelsk area oil (well No. 4305)

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Показано, что при планировании и реализации технологий интенсификации добычи нефти необходимо внедрение системного подхода, предусматривающего анализ и оценку технологий с точки зрения их взаимовлияния, определение рисков появления параметрических отказов при эксплуатации скважин.
2. Для всех исследуемых образцов промысловых проб нефти с понижением температуры отмечено существенное усиление зависимости вязкости от температуры. С понижением температуры увеличивается влияние скорости сдвига на вязкость. Наиболее существенный рост вязкости проявляется при температурах менее 40 °С.

3. При повышении температуры разность между вязкостями, вызванная различными градиентами скорости, уменьшается, а при температурах 60–70 °С становится минимальной.

4. При сравнении реологических кривых течения нефтей различных продуктивных горизонтов, подвергнутых термообработке, выявлено, что в исследованном диапазоне температур термообработка приводит к увеличению вязкости нефти. Характер изменения вязкости нефти каменноугольной системы после термообработки нефтей зависит от состава и свойств нефти и носит, как правило, полиэкстремальный характер.

Литература:

1. Девликамов В.В., Хабибуллин З.А., Кабилов М.М. Аномальные нефти. М.: Недра, 1975. 168 с.
2. Сафиева Р.З. Физикохимия нефти. Физико-химические основы технологии переработки нефти. М.: Химия, 1998. 448 с.
3. Гуськова И.А., Гумерова Д.М. Реологические исследования влияния термического воздействия на свойства нефти и промысловых водонефтяных эмульсий // Газовая промышленность. 2014. № 5708 (708). С. 104–106.

References:

1. Devlikamov V.V., Khabibullin Z.A., Khabirov M.M. *Anomal'nye nefiti* [Abnormal Oils]. Moscow, Nedra Publ., 1975. 168 pp.
2. Safina R.Z. *Fizikohimija nefiti. Fiziko-himicheskie osnovy tehnologii pererabotki nefiti* [Physics and Chemistry of Crude Oil]. Moscow, Khimia Publ., 1998. 448 pp.
3. Guskova I.A., Gumerova D.M. Reologicheskie issledovaniya vlijaniya termicheskogo vozdejstviya na svojstva nefiti i promyslovyh vodoneftnyh jemul'sij [Rheological Investigation into Thermal Impact on Oil Properties and Oilfield Water-and-Oil Emulsions]. *Gazovaja promyshlennost'* = *Gas Industry*, 2014, No. 5708 (708). 104–106 pp.