

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО НАТЯЖЕНИЯ МЕТОДОМ ВРАЩАЮЩЕЙСЯ КАПЛИ

Заводовский Александр Геннадьевич

канд. физ.-мат. наук, доцент, Сургутский государственный университет, РФ, г. Сургут

THE STUDY OF SURFACE TENSION BY THE ROTATING DROPLET METHOD

Alexandr Zavodovskiy

cand. phys.-mat. sciences, associate professor, Surgut State University, Russia, Surgut

Аннотация. Целью данной работы является определение температурной зависимости коэффициента поверхностного натяжения на границе нефть – водный раствор ПАВ с помощью метода вращающейся капли нефти. Для подтверждения достоверности получаемых результатов с помощью используемой экспериментальной установки были проведены опыты с образцами, свойства которых известны. Результаты исследования двух образцов ПАВ при различной концентрации позволили определить наиболее эффективный и выгодный для добычи используемой нефти из скважины.

Abstract. The purpose of this study is to determine the temperature dependence of surface tension at the oil – aqueous surfactant solution by the method of rotating drops of oil. To validate the results obtained by use of the experimental device, experiments were conducted with samples whose properties are known. Results of the study of several samples with different surfactant concentration allowed us to determine the most effective and beneficial for the extraction of used oil from well.

Ключевые слова: коэффициент поверхностного натяжения; нефть; ПАВ; метод вращающейся капли; эмульгатор; неонол; полиэкс.

Keywords: surface tension factor; oil; surfactans; spinning drop method; chemicals emulgent; neonol; polieks.

Поверхностное межфазное натяжение на границе жидкость – газ, жидкость – жидкость, жидкость – твердое тело является одним из важнейших факторов, определяющим многие технологические процессы. В качестве основного способа регулирования его величины применяются разнообразные поверхностно-активные вещества (ПАВ). Для определения значения поверхностного натяжения используются различные экспериментальные методы, которые в зависимости от состояния поверхности делятся на три группы: статические,

полустатические и динамические. Каждый из используемых методов имеет свою область применения, достоинства и недостатки. Для определения малого межфазного натяжения известные классические методы не подходят, т. к. силы взаимодействия между молекулами малы, а сама поверхность очень нестабильна.

Метод вращающейся капли [1] относится к статическим методам и позволяет измерять очень низкие значения межфазного натяжения на границе жидкость – газ и жидкость – жидкость. Диапазон измерения поверхностного натяжения составляет от 10^{-7} до 100 мН/м. В этом методе против сил поверхностного натяжения используют центробежные силы.

Капля легкой фазы А (масло, нефть, газ) с плотностью ρ_1 вводится с помощью капилляра в толщу тяжелой фазы В с плотностью ρ_2 , находящейся в рабочей кювете. Кювета вращается вокруг своей оси с заданной частотой ω . При этом молекулы межфазного слоя подвергаются воздействию центробежных сил, направленных от оси вращения. При определенной частоте вращения ω силы межфазного натяжения становятся равными центробежной силе и молекулы в межфазном слое начинают двигаться по определенной траектории с радиусом r . В результате капля вытягивается вдоль оси вращения и принимает форму цилиндра при равновесии сил (рис.1).

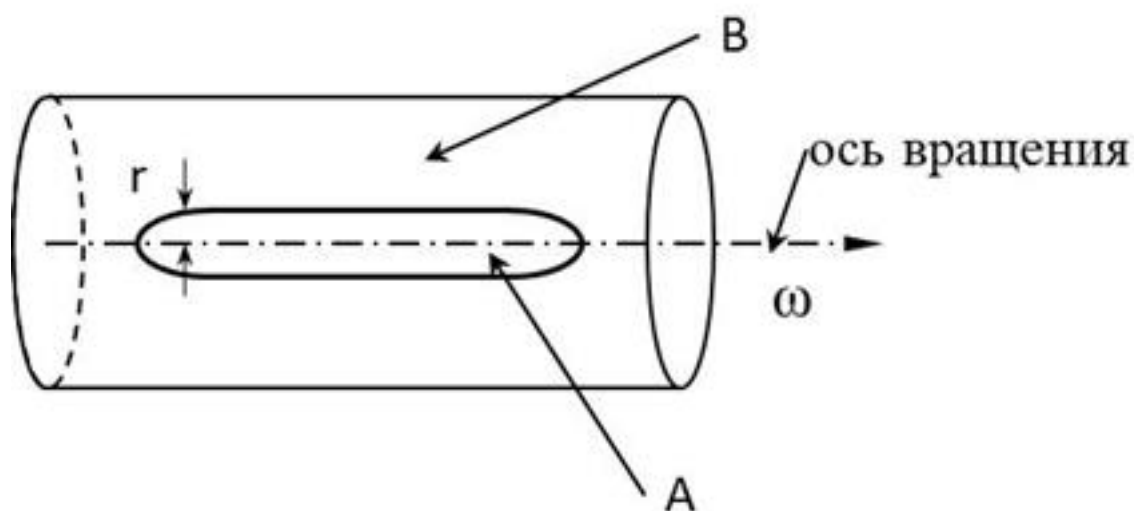


Рисунок 1. Определение параметров вращающейся капли

Измеряя значение радиуса r цилиндрической капли при данном значении частоты вращения кюветы ω и определяя разность плотностей фаз $\Delta\rho = \rho_1 - \rho_2$, можно рассчитать величину поверхностного межфазного натяжения σ с помощью формулы:

$$\sigma = \frac{\omega^2 r^3 \Delta\rho}{4}$$

Для исследования поверхностного натяжения на границе раздела различных фаз была создана экспериментальная установка по методу вращающейся капли, подробно описанная в работе [2]. Для проверки правильности ее работы были выполнены эксперименты по определению зависимости поверхностного натяжения на границе вода – воздух от температуры. Методика проведения таких экспериментов представлена в работах [3, 4]. Полученные результаты показаны на рис.2.

На этом графике также представлены табличные данные [5], полученные другими экспериментальными методами. Сравнение результатов показывает, что они совпадают в пределах погрешности. Кроме этого, было определено поверхностное натяжение на границе этиловый спирт – воздух. Полученное значение в пределах погрешности совпало с табличным значением. Таким образом, данный метод позволяет проводить исследования поверхностного межфазного натяжения с различными жидкостями и газами.

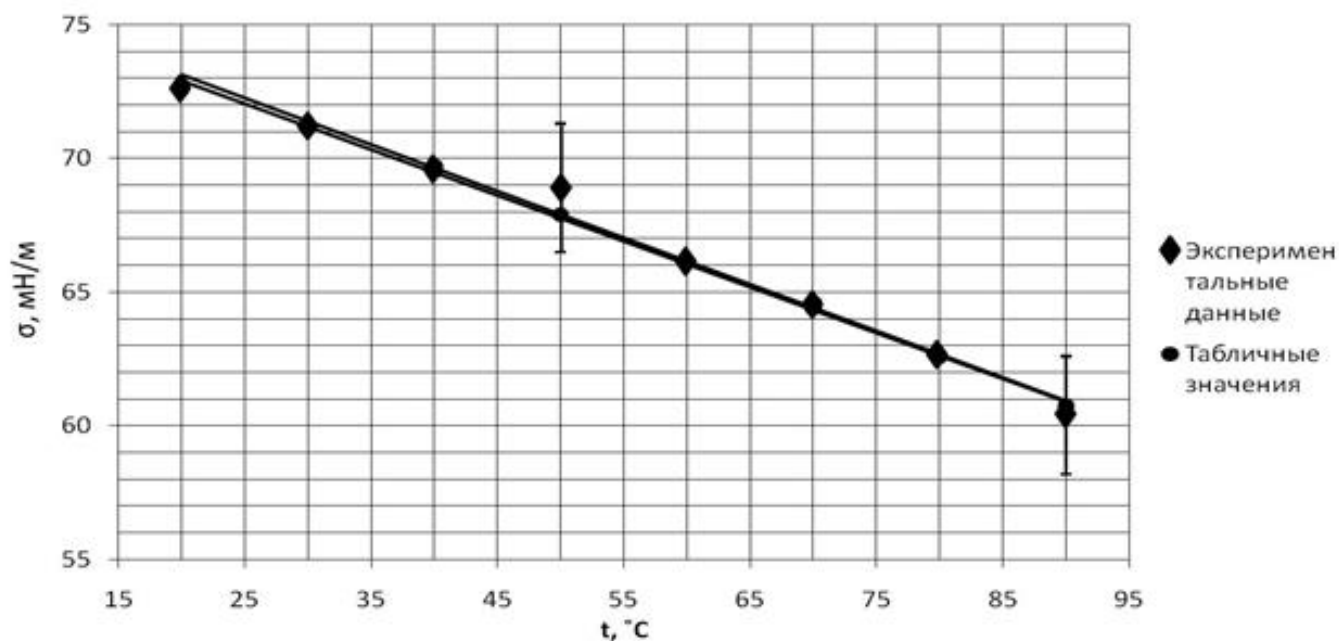


Рисунок 2. Температурная зависимость поверхностного натяжения на границе вода - воздух

В процессе изучения возможностей метода были также выполнены эксперименты по определению поверхностного натяжения на границе вода – нефть при температуре 20 °C. Использовалась нефть Северо-Юрьевского месторождения НГДУ «Быстринскнефть» с плотностью 860 кг/м³. Полученное опытное значение $s_o=(28,5\pm0,9)$ мН/м в пределах погрешности совпало с известным табличным значением $s_T=29,3$ мН/м.

Для изменения коэффициента поверхностного натяжения на границе вода – нефть с целью

увеличения эффективности добычи нефти в воду добавляют различные ПАВ, которые при определенных концентрациях могут значительно снижать поверхностное натяжение до 10^{-6} Н/м [6]. Правильный подбор ПАВ для условий конкретного месторождения требует проведения трудоемких лабораторных исследований. Где основным является определение условий, при которых обеспечивается достижение сверхнизкого межфазного натяжения.

Механизмы «отмывания» нефти в поровых каналах породы нефтяной залежи при использовании ПАВ до конца не изучены, что предопределяет необходимость дальнейших экспериментальных исследований. По ионной характеристике все ПАВ разделяют на две группы: неионогенные вещества, которые при растворении в воде не диссоциируют на ионы, и ионогенные. В зависимости от того, какие ионы определяют поверхностную активность ионогенных соединений, их принято подразделять на анионные, катионные и амфолитные. Анионные поверхностно-активные вещества более активны в щелочных растворах, катионные в кислых, амфолитные – и в тех и других. Наиболее широкое применение в технологии повышения нефтеотдачи нашли неионогенные ПАВ.

Для изучения влияния различных ПАВ на межфазное натяжение лабораторией СургутНИПИнефть были представлены два вида поверхностно-активных веществ. Нефтенол применяется для приготовления инвертных эмульсий, используемых для повышения нефтеотдачи пластов, в бурении, для ремонта скважин. Полиэкс представляет собой комплексный реагент, включающий эмульгатор и добавку, повышающую стабильность эмульсии. Является термически стабильным вплоть до температуры 90°C . Для этих двух ПАВ были экспериментально получены температурные зависимости коэффициента поверхностного натяжения на границе нефть – водный раствор ПАВ. Экспериментальные данные представлены на рис. 3.

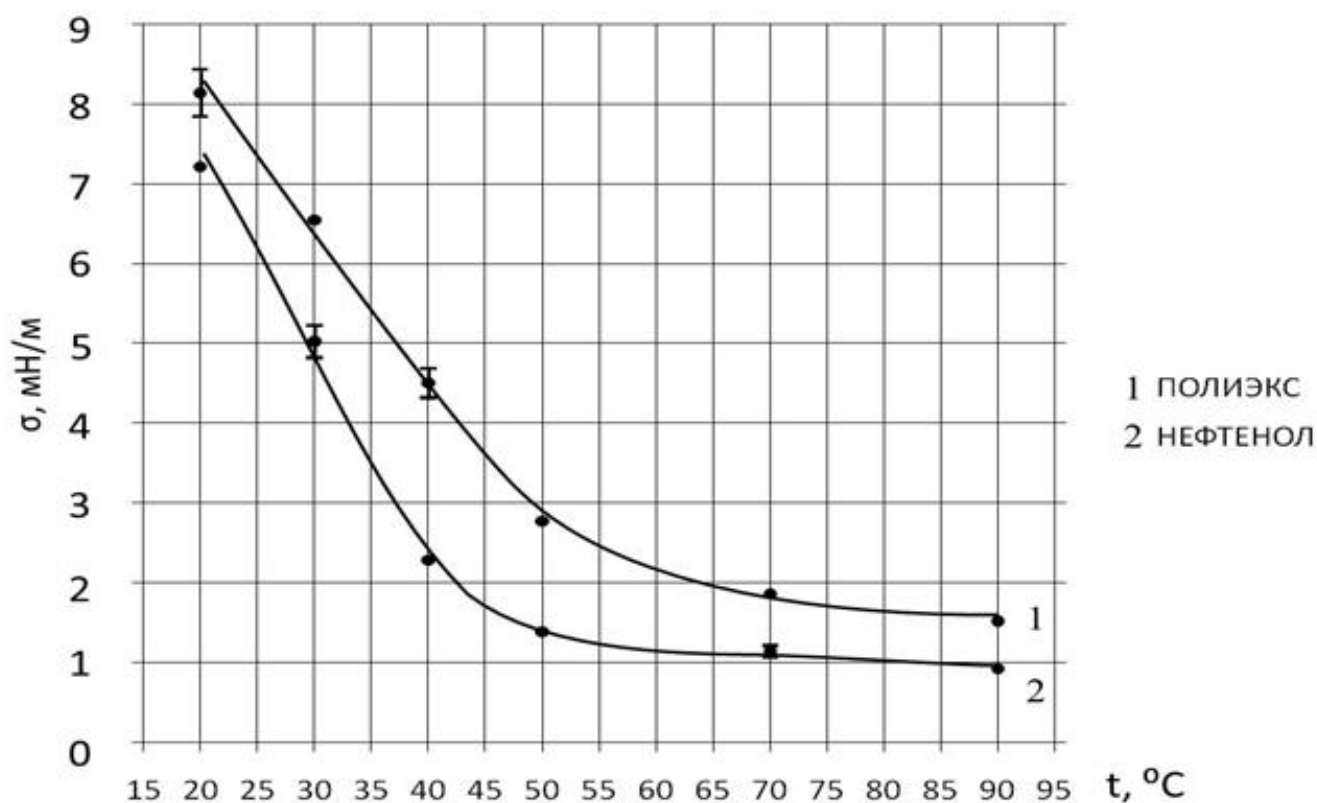


Рисунок 3. Зависимость коэффициента поверхностного натяжения на границе нефть – водный раствор ПАВ от температуры (концентрация ПАВ в растворе составляет 0,1 %)

Анализ полученных данных показывает, что при одной и той же концентрации ПАВ в водном растворе при начальной температуре 20 °С значения межфазного натяжения для разных ПАВ получаются различными. С увеличением температуры поверхностное натяжение резко уменьшается, а в температурном интервале от 70 до 90 °С меняется незначительно, при этом различие в величине межфазного натяжения у этих ПАВ сохраняется, что подтверждает результаты работы [4].

На рис. 4 показана зависимость межфазного натяжения при постоянной температуре от концентрации ПАВ в водном растворе.

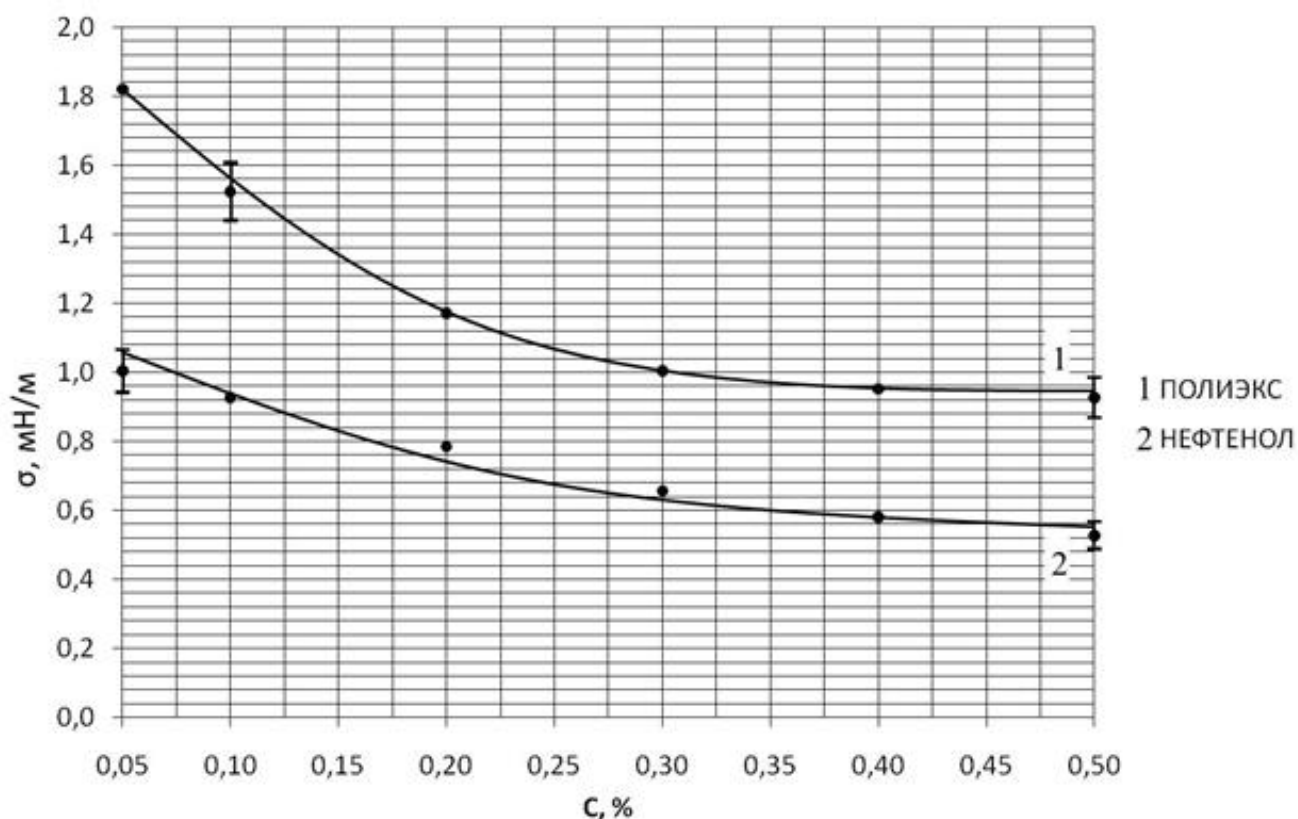


Рисунок 4. Зависимость коэффициента межфазного натяжения на границе нефть - водный раствор ПАВ от концентрации ПАВ в водном растворе при температуре 90 °С

Из графиков видно, что поверхностное натяжение на границе раздела фаз водный раствор ПАВ - нефть при температуре 90 °С интенсивно уменьшается уже при небольших значениях концентрации ПАВ. При концентрациях Нефтеноло больше 0,5% значение поверхностного натяжения становится меньше чем 1 мН/м. Такой концентрации раствора ПАВ уже достаточно для добычи оставшейся в породе нефти. В результате выполненных исследований по заданию лаборатории НГДУ «Быстринскнефть» было установлено, что для данной нефти максимально эффективно уменьшает поверхностное натяжение при температуре 90 °С (соответствующей температуре в призабойной зоне скважины) ПАВ Нефтенол.

Список литературы:

1. Vonnegut B. Rotating bubble method for the determination of surface and interfacial tensions. // Research and development laboratories, Hartford-Empire Company, Hartford, Connecticut. 1942. V. 13, P. 6-9.

2. Гашумова Л.А., Ненахова Н.А., Заводовский А.Г. Определение коэффициента поверхностного натяжения на границе нефть – раствор ASP методом вращающейся капли // Известия вузов. Сер. Нефть и газ, 2014, № 5. – С. 10 15.
3. Трумбетова З.М., Заводовский А.Г. Исследование коэффициента поверхностного натяжения на границе нефть – раствор ASP для различных ПАВ // Известия вузов. Сер. Нефть и газ, 2016, № 5. – С. 86 90.
4. Заводовский А.Г., Сысоев С.М. Определение коэффициента поверхностного натяжения на границе нефть – раствор ASP // Вестник кибернетики, 2017, № 2. – С. 80 86.
5. Яворский Б.М., Детлаф А.А., Лебедев А.К. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов. - М.: Оникс, 2006. - 1056 с.
6. Абрамзон А.А. Поверхностные явления и поверхностно-активные вещества. – Л.: Химия, 1984. – 392 с.