

Г. А. Тептерева (к.х.н., доц.)<sup>1а</sup>, С. Ю. Шавшукова (д.т.н., проф.)<sup>1б</sup>, В. Г. Конесев (к.т.н., рук. напр.)<sup>2</sup>,  
И. И. Султанов (магистрант)<sup>2</sup>, Р. Р. Рахимов (студ.)<sup>1</sup>, М. Г. Буянова (асп.)<sup>2</sup>

## УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРАЕВОГО УГЛА СМАЧИВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРОГРАММЫ «КОМПАС-3D»

<sup>1</sup> Уфимский государственный нефтяной технический университет

<sup>а</sup> кафедра бурения нефтяных и газовых скважин

<sup>б</sup> кафедра общей, аналитической и прикладной химии

450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1; тел. (347) 2431271, e-mail: teptereva.tga@yandex.ru

<sup>2</sup> ООО «Газпромнефть НТЦ»

190000, г. Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, д. 75-79 лит. Д, e-mail: Konesev.VG@gazpromneft-ntc.ru

G. A. Teptereva<sup>1</sup>, S. Yu. Shavshukova<sup>1</sup>, V. G. Konesev<sup>2</sup>,  
I. I. Sultanov<sup>1</sup>, R. R. Rakhimov<sup>1</sup>, M. G. Buyanova<sup>1</sup>

## IMPROVEMENT OF THE METHOD OF MEASURING THE CONTACT ANGLE OF WETTING WITH THE USE OF THE COMPASS-3D PROGRAM

<sup>1</sup> Ufa State Petroleum Technological University

1, Kosmonavtov str., 450062, Ufa, Russia; ph. (347) 2431271, e-mail: teptereva.tga@yandex.ru

<sup>2</sup> LLC Gazprom Neft Scientific and Technical Center

75-79 lit. D, Naberezhnaya reki Moiki Str., 190000, St. Petersburg, Russia, e-mail: Konesev.VG@gazpromneft-ntc.ru

Смачиваемость поверхности горных пород является важным параметром, от которого зависят основные показатели разработки нефтяного месторождения. По величине краевого угла смачивания можно оценить поверхностную энергию, работу адгезии, а также охарактеризовать смачивающую способность различных поверхностно-активных веществ. Нами усовершенствован метод определения краевого угла смачивания – метод лежащей капли при использовании программного обеспечения «Компас-3D». Найдено, что при увеличении концентрации ПАВ «Неол УФ 9-10» краевой угол смачивания уменьшается, в связи с этим увеличивается работа адгезии нефти и, как следствие, улучшается смачивающая способность ПАВ.

**Ключевые слова:** адгезия; краевой угол смачивания; Компас-3D; поверхностно-активные вещества.

Смачивание, как совокупность поверхностных явлений на границе соприкосновения трех фаз, одна из которых, как правило, является твердым телом, а две другие – несмешиваемыми жидкостями или жидкостью и газом, имеет важное практическое значение во многих технологических процессах, в том числе и в нефтегазовой отрасли<sup>1</sup>. Количественной ха-

Wettability of rock surface is an important parameter on which the main indicators of oil field development depend. A number of surface phenomena, such as surface energy, adhesion work, as well as the wetting ability of various surfactants, can be estimated by the magnitude of the edge wetting angle. We have improved the method of determining the edge angle of wetting – the method of lying drop, when using the software Kompas-3D. It is found that by increasing the concentration of surfactants Neonol UV 9-10 the edge wetting angle decreases, in this regard, the work of oil adhesion increases and, as a result, the wetting ability of surfactants improves.

**Key words:** adhesion; wetting angle; software Kompas-3D; surface-active substances.

рактеристикой этого поверхностного явления служит величина краевого угла смачивания на границе раздела фаз, для определения которой существует несколько аналитических методов<sup>2</sup>. Величина краевого угла смачивания позволяет оценить молекулярную природу контактирующих фаз, изменение их поверхностных свойств путем добавок различных поверхностно-активных веществ (ПАВ), и другие пара-

Дата поступления 16.12.17

метры, характеризующие эффективность процессов нефтедобычи<sup>3</sup>. Так, например, по величине краевого угла смачивания ( $\theta$ ) можно определить количество проникающей в пласт воды и глубину ее проникновения<sup>4</sup>.

Интенсивность смачивания зависит от химического состава породы, первоначального состояния ее поверхности, от гидрофильно-липофильного баланса ПАВ. Различают гидрофильную ( $\theta < 90^\circ$ ) и гидрофобную ( $\theta > 90^\circ$ ) поверхности с переходной точкой, соответствующей углу  $90^\circ$  – точкой инверсии. Карбонатные породы более гидрофобны, чем терригенные, что связано с ионным типом связей в их кристаллической решетке, способствующих активному взаимодействию полярных компонентов нефти с породой и ее гидрофобизации. Угол смачивания карбонатных пород составляет  $140\text{--}150^\circ$ . Изменение твердой поверхности карбонатных пород с гидрофобной на гидрофильную способствует улучшению отрыва пленок и капель нефти, увеличению их подвижности, активизации капиллярного впитывания.

Смачивание имеет важное значение при разработке буровых растворов, поскольку фильтрат промывочной жидкости, содержащий ПАВ, может изменить тип смачиваемости пор породы<sup>5</sup>. По значению краевого угла можно определить область применения поверхностно-активных веществ с целью гидрофилизации или гидрофобизации поверхности.

Известен ряд методов измерения краевого угла смачивания<sup>2,5</sup>, из которых наиболее распространенным является метод лежащей капли. Он основан на измерении угла между твердой поверхностью и жидкостью в точке контакта трех фаз. Различают три положения капель нефти в водной среде и капель воды в нефтяной среде на твердой поверхности (рис. 1).

Применение этого метода имеет значительный уровень погрешности при выполнении графических измерений – проведении касательной к профилю капли, что требует наличия специальных навыков и устройств, поэтому нами разработан простой и удобный метод определения краевого угла смачивания при помощи ПО «Компас-3D».

## Методика проведения эксперимента

При проведении эксперимента использовались следующее оборудование и реагенты: колбы, мерный цилиндр, предметное стекло, микропипетка (шприц), чашка Петри, фотоаппарат с функцией макросъемки, дистиллированная вода, керосин; водные растворы ПАВ: неионо-

генный «Неонол УФ 9-10» и катионный «Нефтенол ГФ» концентрацией, %: 0.1; 0.2; 0.3; 0.5; 1.0.

В чашку Петри устанавливается предметное стекло, чашка наполняется керосином так, чтобы стекло скрылось под слоем жидкости. Микропипеткой (шприцем) на предметное стекло наносятся 2-3 капли дистиллированной воды. Через 2-3 мин осуществляется фотосъемка капель. Аналогично проводится эксперимент с растворами ПАВ, при этом концентрация раствора ПАВ выбирается от меньшей к большей. После каждого нанесения капель предметное стекло промывается, при необходимости заменяется керосин.

Полученные фотографии обрабатываются с помощью ПО «Компас 3D» в следующей последовательности. Во вкладке *Файл* выбирается *Создать* и *Чертеж*. Во вкладке *Вставка* выбирается *Рисунок*, и загружается фотография. Выбрав нужный масштаб, через группу команд *Геометрия* и команду *Отрезок* по двум точкам строится отрезок – плоскость, на которой будут находиться капли, которая совпадает с плоскостью контакта стекла и капли (рис. 2).

Также в группе команд *Геометрия* выбирается команда *Непрерывный ввод объектов* и *Дуга по трем точкам*. Необходимо ввести поочередно три точки, по ним построить дугу (рис. 3).

Затем в группе команд *Геометрия* выбирается *Отрезок*, удерживая левую кнопку мыши, выбирается *Касательный отрезок через точку кривой*. Программа предлагает выбрать кривую, указывается дуга. Далее предлагается выбрать точку, выбирается точка касания дуги и отрезка. При движении мыши влево и вверх появляется фантом касательной, выбирается нужная длина, и создается отрезок касательной (рис. 4). Аналогично создаются касательные в остальных точках (рис. 5).

Для определения величины угла в группе команд *Размеры* выбирается команда *Угловой размер*. Программа автоматически определяет размер между двумя выбранными отрезками (рис. 6). Аналогично указываются остальные угловые размеры (рис. 7).

## Результаты и их обсуждение

Результаты определения краевого угла смачивания для ПАВ «Неонол УФ 9-10» представлены на рис. 7, для ПАВ «Нефтенол ГФ» – на рис. 8.

Средние значения краевых углов смачивания представлены в табл. 1.

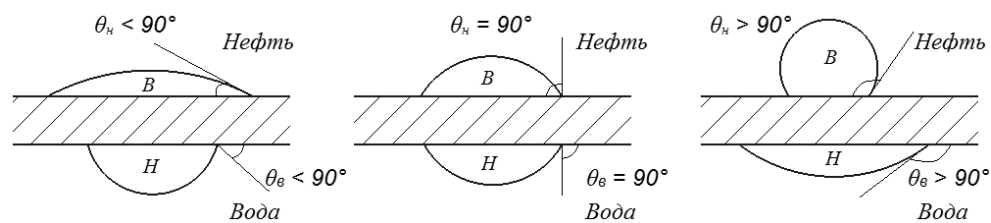


Рис. 1. Изменение краевого угла смачивания при различных положениях капель нефти и воды

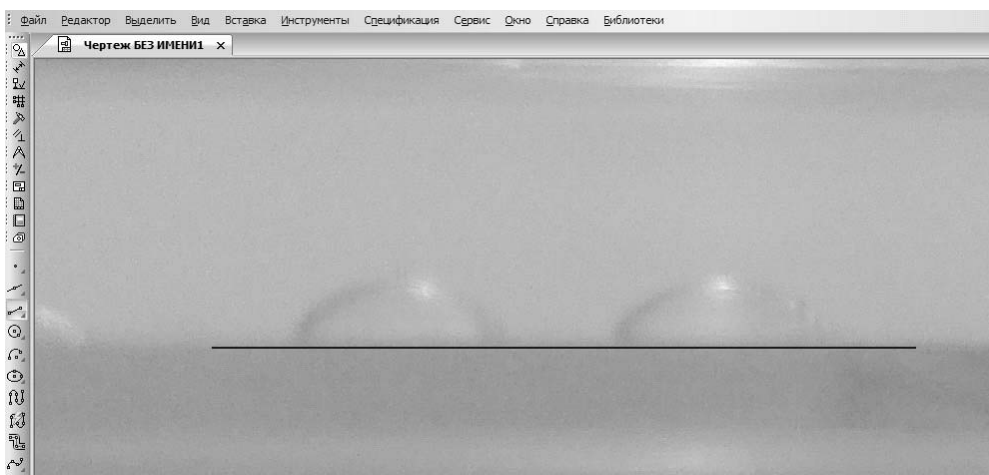


Рис. 2. Проведение горизонтального отрезка

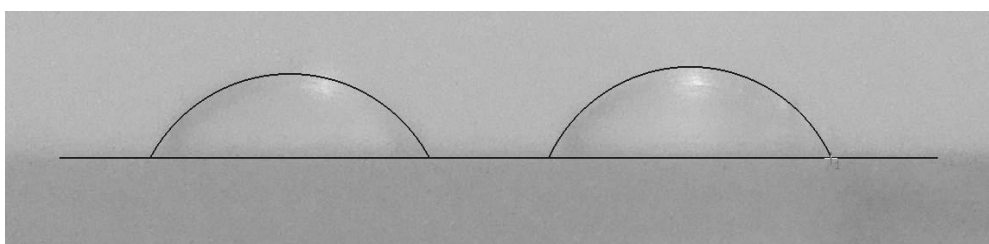


Рис. 3. Построение дуги по трем точкам

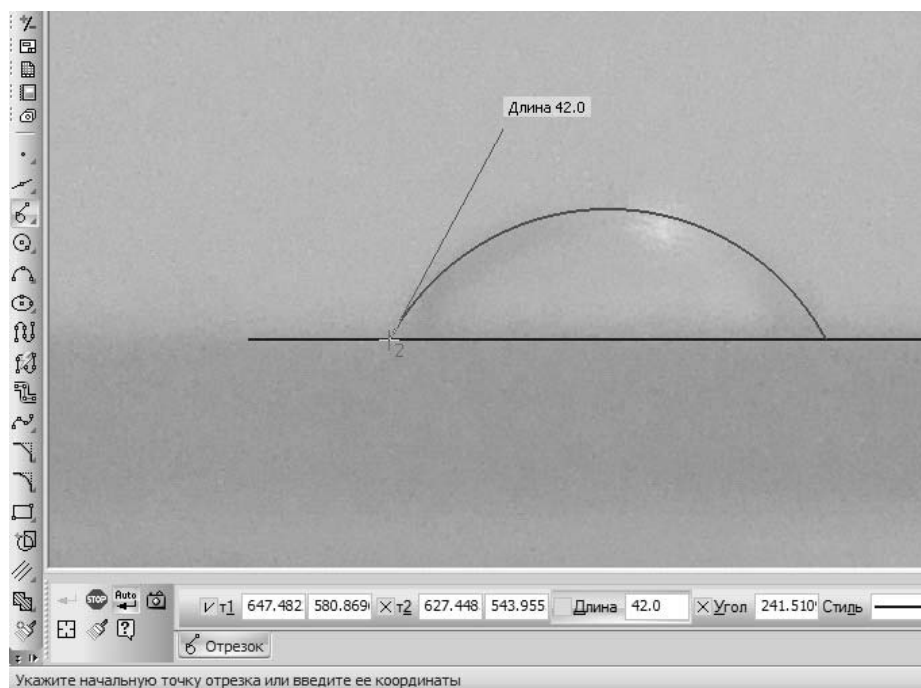


Рис. 4. Построение касательной к дуге

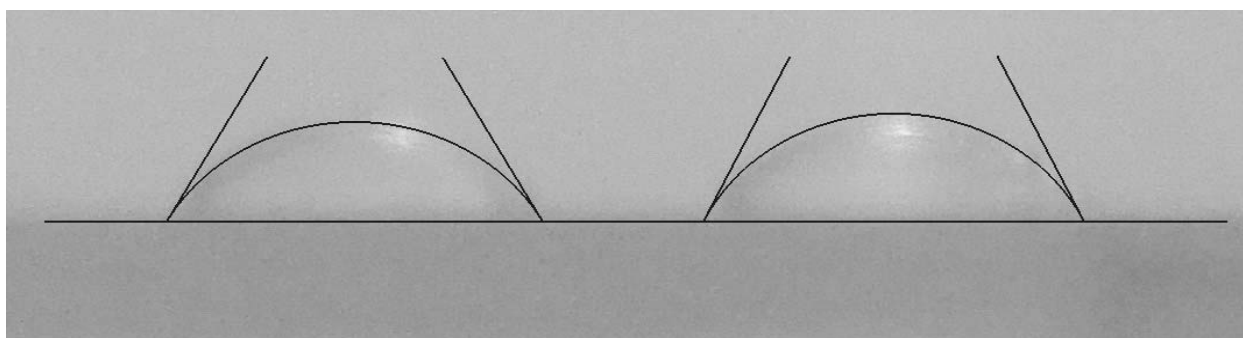


Рис. 5. Построенные касательных к дугам

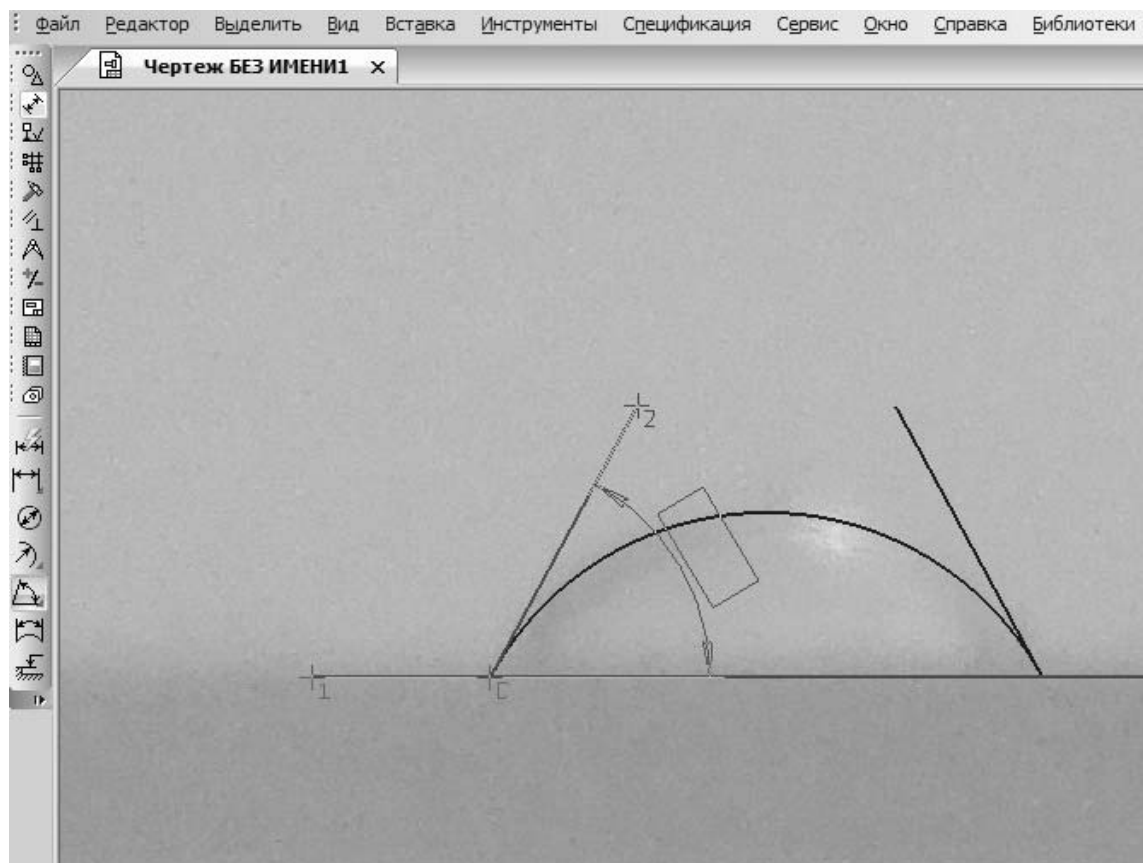


Рис. 6. Определение углового размера

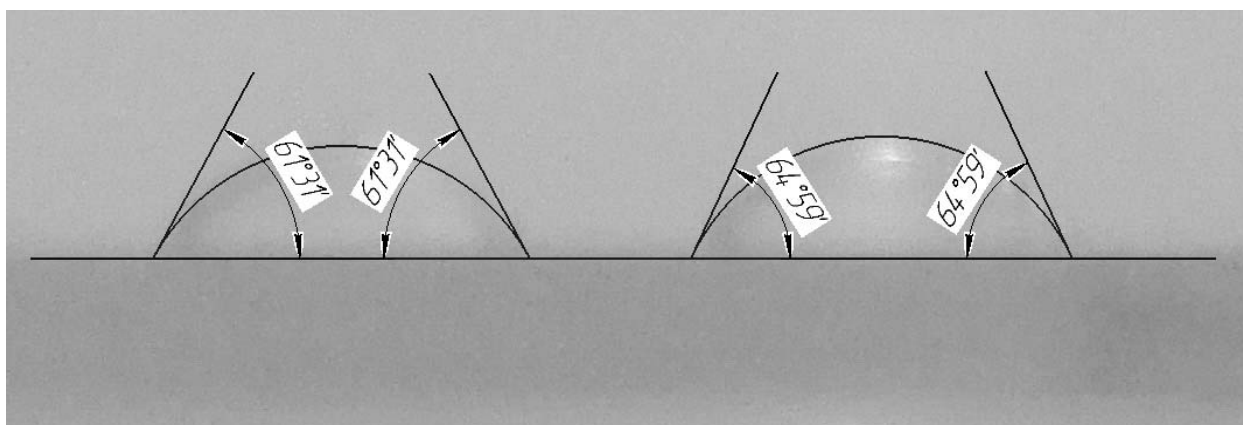


Рис. 7. Краевые углы смачивания

Результаты эксперимента (табл. 1, рис. 7) показывают, что при увеличении концентрации ПАВ «Неонол УФ 9-10» краевой угол смачивания уменьшается. При уменьшении краевого угла избирательной смачиваемости увеличивается работа адгезии нефти и, следовательно, улучшается смачивающая способность ПАВ. Стекло относится к веществам с гидрофильной поверхностью, а добавка ПАВ «Неонол УФ 9-10» позволила улучшить смачиваемость стекла водным раствором в углеводородной среде за счет уменьшения поверхностного натяжения, являющегося мерой свободной поверхностной энергии.

Катионный ПАВ «Нефтенол ГФ» относится к гидрофобизирующим веществам, для которых краевой угол смачивания изначально

превышает  $90^\circ$ . При повышении концентрации раствора ПАВ происходит увеличение краевого угла смачивания (рис. 8, табл. 1), что указывает на повышение поверхностного натяжения и уменьшение работы адгезии (прилипания). Для 1%-го раствора ПАВ «Нефтенол ГФ» значение краевого угла близко к  $180^\circ$ , капля перестает удерживаться на поверхности стекла, что означает тенденцию к образованию пленки, изолирующей гидрофильную поверхность твердого тела (стекла) от углеводородной среды.

Таким образом, данные эксперимента с использованием возможностей ПО «Компас-3D» позволили оценить смачивающую способность ПАВ, изменение поверхностной энергии и работы адгезии.

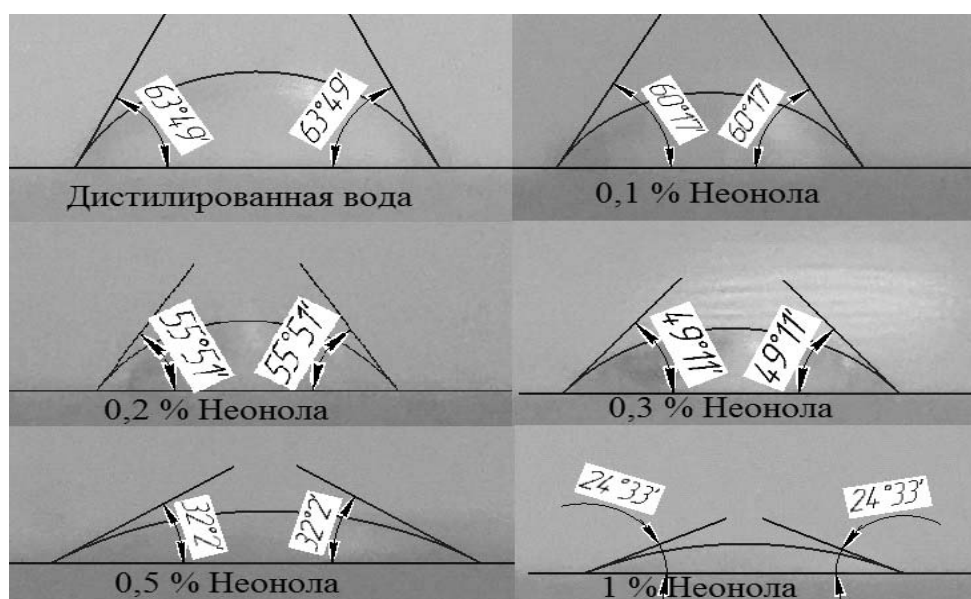


Рис. 7. Результаты по определению краевого угла смачивания для «Неонол УФ 9-10»

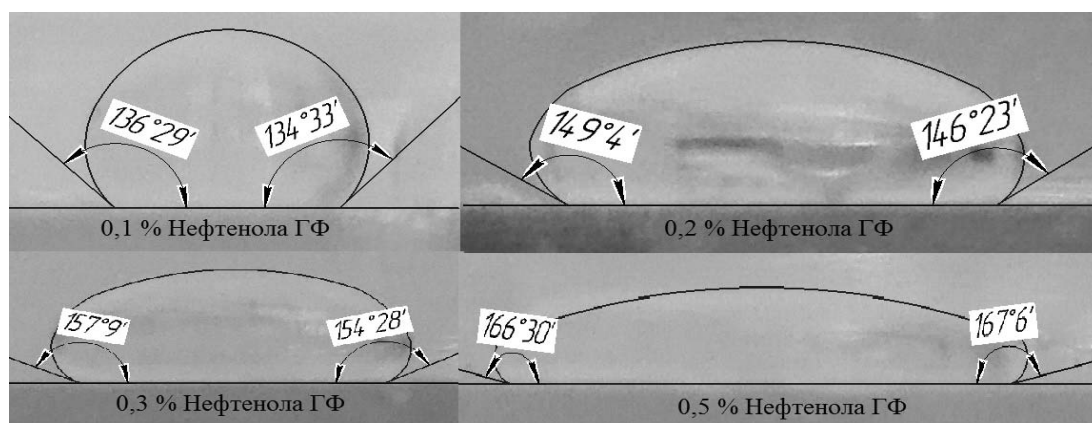


Рис. 8. Результаты по определению краевого угла смачивания для «Нефтенол ГФ»

Таблица 1

**Зависимость величины краевого угла смачивания ( $\theta$ ) от концентрации ПАВ**

Концентрация ПАВ, %	0	0.1	0.2	0.3	0.5	1
$\theta$ , ° для «Неонол УФ 9-10»	65	62	53	49	32	27
$\theta$ , ° для «Нефтенол ГФ»	65	135	148	156	166	-

## Литература

1. Бабалян Г. А. Физико-химические процессы в добыче нефти.— М.: Недра, 1974.— 200 с.
2. Киселев М. Г., Савич В. В., Павич Т. П. Определение краевого угла смачивания на плоских поверхностях // Наука и техника.— 2006.— №1. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-kraevogo-ugla-smachivaniya-na-ploskih-poverhnostyah>.
3. Тептерева Г. А., Шавшукова С. Ю., Конесев В. Г., Исмаков Р. А. Функциональный анализ применяемых в буровой технологии лигносульфонатов.— Уфа: Изд-во «Нефтегазовое дело», 2017.— 92 с.
4. Кистер Э. Г. Химическая обработка буровых растворов.— М.: Недра, 1972.— 392 с.
5. Абдалла В., Бакли Д., Карнеги Э. и др. Основы смачиваемости // Нефтегазовое обозрение.— 2007.— Лето.— С.54-75.

## References

1. Babalyan G. A. *Fiziko-khimicheskie protsessy v dobyche nefiti* [Physico-chemical processes in oil production]. Moscow, Nedra Publ., 1974, 200 p.
2. Kiselev M. G., Savich V. V., Pavich T. P. *Opredelenie kraevogo ugla smachivaniya na ploskikh poverhnostyakh* [Defining the wetting angle on flat surfaces]. *Nauka i tekhnika* [Science and technology], 2006, no.1, URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-kraevogo-ugla-smachivaniya-na-ploskih-poverhnostyah>.
3. Teptereva G. A., Shavshukova S. Y., Konesev V. G., Ismakov R. A. *Funktsional'nyi analiz primenyaemykh v burovoy tekhnologii lignosul'fonatov* [Functional analysis of lignosulfonates, applied in drilling technology]. Ufa, Neftgazovoe delo Publ., 2017, 92 p.
4. Kister E. G. *Khimicheskaya obrabotka burovyykh rastvorov* [Chemical treatment of drilling fluids]. Moscow, Nedra Publ., 1972, 392 p.
5. Abdullah V., Buckley D., Carnegie D. *Osnovy smachivaemosti* [The Fundamentals of wetting]. *Neftgazovoe obozrenie* [Oil and gas review], 2007, Summer, pp.54-75.