

УДК 532.64

С. М. Барайшук¹, А. Г. Бровка², И. В. Дедюля²

ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ СМАЧИВАНИЯ НА ГРАНИЦЕ ЛЕД – ВОДА – НЕФТЬ

Предложен метод измерения углов смачивания на границе двух несмешивающихся жидкостей и твердой подложки. Приведены результаты измерений угла смачивания поверхности льда под водой нефтью из месторождений Речицы (Беларусь) и Сургут (Россия).

Транспортировка нефти и нефтепродуктов осуществляется в значительной степени по трубопроводам, которые проходят зачастую по дну рек и озер. Эксплуатация нефтепроводов связана с возможными разрывами труб в различные поры годы. Если это происходит в зимний период, благодаря значительно меньшей плотности по отношению к воде, нефть подо льдом непосредственно у его поверхности движется по течению реки. Существуют различные методы ее задержки и утилизации. Однако прогноз движения нефтяного пятна требует знания некоторых физических характеристик нефти, в том числе и краевых углов смачивания на границе лед – нефть – вода. Известны традиционные способы измерения краевых углов смачивания [3, 4], в которых капля жидкости наносится на исследуемую поверхность, проецируется на экран, фиксируется как изображение, затем проводится касательная к очертанию капли в точке соприкосновения с поверхностью, и производятся необходимые измерения. Основная погрешность, возникающая во время измерения такими способами, объясняется субъективным подходом оператора при проведении касательной. В работе применен метод автоматического измерения краевого угла смачивания, в разработке которого принимал участие один из авторов [1, 2]. Специально разработанная программа Angle обрабатывает изображение системы капля – подложка – среда таким образом, что каждый из пунктов изображения сопоставляется одной из трех групп (вода, лед, нефть). При работе с этой программой оператор визуально определяет только точку, в которую проецируется линия трехфазного контакта на плоскости. После этого программа Angle автоматически строит прямую, которая определяет положение поверхности исследуемого образца (в данном случае погруженную в воду поверхность льда), касательную к поверхности капли и измеряет между ними угол.

Необходимый для проведения исследований лед готовится в морозильной камере 7 (рис. 1). Для этого в стальной сосуд 4 диаметром 15±20 см с прочным и ровным дном наливается слой воды высотой 2÷3 см. Процесс заморозки воды сопровождается переохлаждением до $-4\div-6$ °С и затем очень быстрым объемным расширением. В результате лед получается бугристым, неровным, и в нем имеются трещины. Измерение равновесных углов смачивания жидкостью такого льда не представляется возможным. Получить

чистый и без трещин лед для испытаний можно в том случае, если фронт промерзания 2, или граница лед 3 – вода 1 равномерно движется снизу вверх. Для этого боковые стенки сосуда заключаются в теплоизоляционную оболочку 5. Сосуд при этом помещается на массивную с высокой теплоемкостью и теплопроводностью металлическую плиту 6, помещенную в морозильную камеру 7 заблаговременно. В таком случае в воде, контактирующей с дном сосуда, благодаря сильному переохлаждению достаточно быстро возникают первые кристаллы льда. Поскольку в остальном объеме значение температуры воды остается выше температуры заморозки, сразу формируется граница лед – вода (фронт промерзания), которая со временем равномерно движется снизу вверх до полного заморозки воды. После завершения процесса лед извлекают из емкости. Для этого ее на короткий срок помещают в теплую воду и затем переворачивают на 180°. Ледяной диск выпадает на какую-нибудь мягкую поверхность, его упаковывают в полиэтилен и помещают в морозильную камеру для хранения. Таким образом изготавливают лед в количестве, необходимом для проведения экспериментов. Поверхность льда, которая контактировала с поверхностью дна емкости, получается ровной, гладкой и пригодной для измерения углов смачивания.

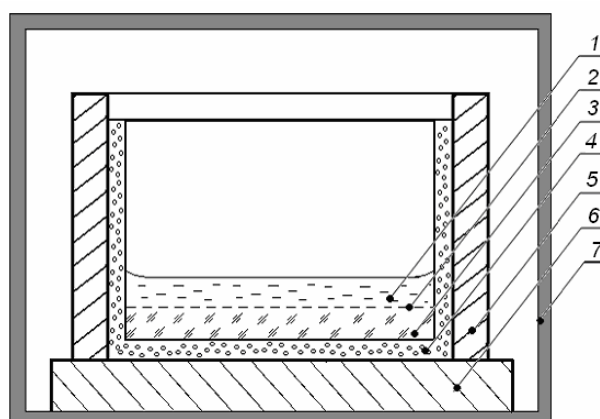


Рис. 1. Установка по подготовке образцов льда для измерения краевого угла смачивания его нефтью:
 1 – вода; 2 – фронт промерзания; 3 – лед;
 4 – стальной сосуд; 5 – теплоизоляция;
 6 – металлическая плита; 7 – морозильная камера

Схема опыта представлена на рис. 2. Лед 3 помещается в заполненный водой 6 стеклянный резервуар 5, имеющий форму параллелепипеда. Воду в резервуаре предварительно охлаждают до температуры близкой к 0 °С. Для этого в воду опускают куски чистого льда произвольной формы, которые постепенно тают и не препятствуют измерениям. Поскольку плотность льда меньше плотности воды, то исследуемая пластина плавает в полупогруженном состоянии. Чтобы дрейф не мешал измерениям, ее укладывают на специальные опоры и придавливают грузом 2. Резервуар устанавливают на поверхности лабораторного стола. С помощью специальным образом выгнутой медицинской иглы и шприца 1 кап-

лю нефти 4 вводят под лед. Под действием силы Архимеда она прижимается к его поверхности. Таким образом, можно посадить несколько капель и затем проводить измерения. Для измерений выбирают одну из капель и фотографируют ее с помощью цифрового фотоаппарата или видеокамеры 7, которые закрепляют на лабораторном штативе 8 с помощью механизма «ласточкин хвост». Этот механизм позволяет плавно перемещать видеокамеру по вертикали и точно совместить оптическую ось объектива с границей раздела лед – вода. Изображение капли в числовом формате вводят в компьютер для проведения измерений непосредственно углов смачивания.

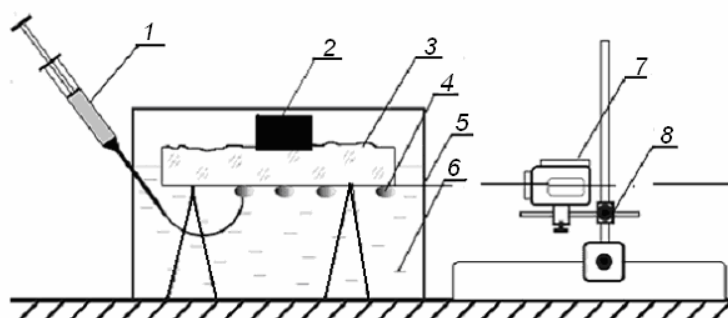


Рис. 2. Схема проведения опыта по измерению краевого угла смачивания нефтью льда:
1 – шприц; 2 – груз; 3 – лед; 4 – капля нефти; 5 – стеклянный сосуд; 6 – вода;
7 – цифровой фотоаппарат (видеокамера); 8 – штатив

Равновесный краевой угол смачивания программа Angle измеряет автоматически. Поскольку при работе с программой роль оператора сводится к визуальному определению точки, в которую проецируется линия трехфазного контакта на плоскости, погрешность измерений не превышает 1 % [1]. На рис. 3 представлен внеш-

ний вид отчета программы о результатах измерения краевого угла для капли нефти подо льдом. Искомый угол отсчитывают от поверхности льда через исследуемую жидкость (нефть) до касательной. На рис. 3 угол 1 соответствует левому мениску, а угол 2 – правому.

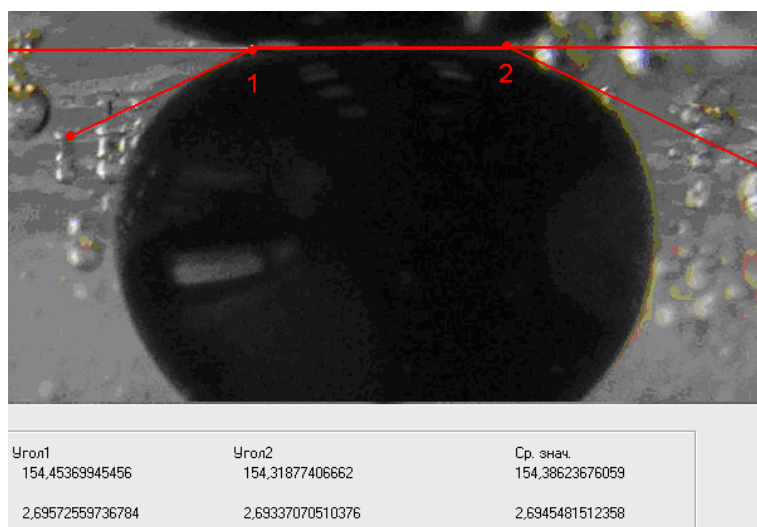


Рис. 3. Пример отчета программы Angle о результатах измерения краевого угла для капли нефти подо льдом: 1 – левый мениск; 2 – правый мениск

Измерены углы смачивания нефти из месторождений Речица (Беларусь) и Сургут (Россия). Для первой получены значения $156,55^\circ$ для левого мениска и $149,91^\circ$ для правого, а для второй – $158,06^\circ$ и $156,64^\circ$ соответственно. Это означает, что сургутская нефть смачивает лед хуже, чем белорусская. Однако оба результата

свидетельствуют прежде всего о том, что обе нефти смачивают лед под водой очень плохо. При течении нефти подо льдом при таких значениях углов смачивания она должна скользить между водой и льдом не задерживаясь, что значительно упрощает прогнозирование ее движения.

Литература

1. **Автоматизированный** комплекс для измерения равновесного краевого угла смачивания на плоских поверхностях : пат. 7074 Респ. Беларусь, МПК G 01N 13/00 и 20100661 / И. С. Ташлыков, С. М. Барайшук, М. А. Андреев, Е. П. Макаревич ; заявитель Белорус. гос. педагог. ун-т. № и 20100661 ; заявл. 21.07.2010 ; опубл. 28.02.2011 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр. інтэлектуал. уласнасці. 2011. № 2. С. 216.
2. **Барайшук, С. М.** Элементный состав, топография и смачиваемость поверхности графита, модифицированного ионно-ассистированным осаждением хромовых покрытий / С. М. Барайшук, И. С. Ташлыков // Изв. вузов. Сер. Порошковая металлургия и функциональные покрытия. М., 2008. № 1. С. 30–35.
3. **Измерительный** комплекс для контроля краевого угла смачивания на плоских поверхностях: пат. 2167 на U BY, G 01N 13/02 / В. В. Савич, Н. А. Шипица, Д. И. Игнатъевич ; заявл. 29.12.2004 ; зарег. в Гос. реестре изобретений 01.06.2005.
4. **Способ** определения краевого угла смачивания : пат. 9197 на С1 BY, G 01 N 13/02 / В. В. Савич, Н. А. Шипица, Л. П. Пилиневич ; заявл. 10.06.2004 ; зарег. в Гос. реестре изобретений 25.01.2007.

¹Белорусский государственный педагогический университет им. Максима Танка,
²Институт природопользования НАН Беларуси

С. М. Барайшук, А. Г. Бровка, И. В. Дедюля

ИЗМЕРЕНИЕ УГЛОВ СМАЧИВАНИЯ НА ГРАНИЦЕ ЛЕД – ВОДА – НЕФТЬ

При измерении равновесных краевых углов смачивания плоских поверхностей двумя несмешивающимися жидкостями использована программа Angle для обработки изображения системы капля – подложка – среда. За счет того, что исследователь при работе с данной программой определяет только точку, в которую проецируется линия трехфазного контакта на плоскости, а все остальное выполняется автоматически, погрешность измерения не превышает 1 %.

Приведена методика подготовки образцов льда с поверхностью пригодной для измерения. Представлены результаты измерения для образцов нефти из месторождений Речица (Беларусь) и Сургут (Россия), которые показывают, что из-за плохой смачиваемости нефть в случае разрыва нефтепровода под водой будет скользить между льдом и поверхностью льда.

S. M. Baraishuk, A. G. Brovka, I. V. Dedulya

MEASUREMENT OF WETTING CORNERS ON THE BORDER ICE – WATER – OIL

The measurement of balanced edge corners of wetting of flat surfaces by two not mixing up liquids requires the program Angle application to process the image of system: a drop – a substrate – environment. Due to the fact that the researcher who deals with the given program defines only a point into which the line of three-phase contact on a plane is projected, and all the rest is carried out automatically, the error of measurement does not exceed 1 %.

The technique of preparation of ice samples with suitable for measurement surface is given. Results of measurement for samples of oil from deposits Rechitsa (Belarus) and Surgut (Russia) are presented, which show, that because of bad wettability in case of oil pipeline rupture, oil under water will slide between ice and ice surface.