

Российский государственный университет нефти и газа
(национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина

Методы оценки плотности и вязкости нефтей и нефтепродуктов

Группа ХТМ 17-01
Зоря Д.В.
Силес Рауль

методы оценки плотности нефтей и нефтепродуктов

- **Плотность** (density) - Отношение массы вещества к занимаемому им объему. Для выражения плотности в системе СИ принята единица кг/м³. Менее предпочтительно использование единиц: кг/л или г/мл.
- **Относительная плотность** (relative density) - Отношение массы данного объема вещества при определённой температуре к массе равного объема чистой воды при той же или отличающейся от нее температуре. Оба значения температуры указывают при записи результатов.
- Пример – (20/20)^{°C}, (60/60)^{°F}, (20/4)^{°C}.

Условия измерений

- При выполнении измерений плотности нефти и нефтепродуктов в лаборатории должны выполняться следующие условия:
- - температура окружающего воздуха в помещении лаборатории $(20 \pm 5) \text{ } ^\circ\text{C}$;
- атмосферное давление $(101,3 \pm 4,0) \text{ кПа}$;
- относительная влажность окружающего воздуха в помещении лаборатории не более 80 %.

Определение плотности ареометрическим методом

- Метод определения основан на действии гидростатического закона Архимеда - глубина погружения тела в жидкость зависит от плотности жидкости.
- Термометр погружают в цилиндр, заполненный подготовленной пробой испытуемого продукта, и перемешивают палочкой для выравнивания температуры и плотности по всему объему цилиндра. Записывают показания термометра. Затем помещают в цилиндр ареометр и после прекращения колебаний снимают показания со шкалы ареометра. Показания по шкале ареометра приводят к стандартной температуре.

Выполнение измерений

Температура испытаний

Образец пробы доводят до температуры испытаний, которая должна быть такой, чтобы проба была достаточно жидкой (на 9 °C выше температуры застывания), но не горячей (не более 40 °C), чтобы не вызвать потерю легких фракций.

Измерение плотности

Ареометр берут за верхний конец стержня, свободный от шкалы, и погружают его в испытуемый образец, до тех пор пока до предполагаемой отметки ареометрической шкалы не останется 2 - 3 деления, затем отпускают стержень легким вращательным движением. При этом ареометр не должен касаться стенок цилиндра и часть стержня, расположенная выше уровня погружения ареометра, оставалась сухой и чистой.

После прекращения колебаний ареометра снимают показания шкалы ареометра с точностью до 0,1 кг/м³.

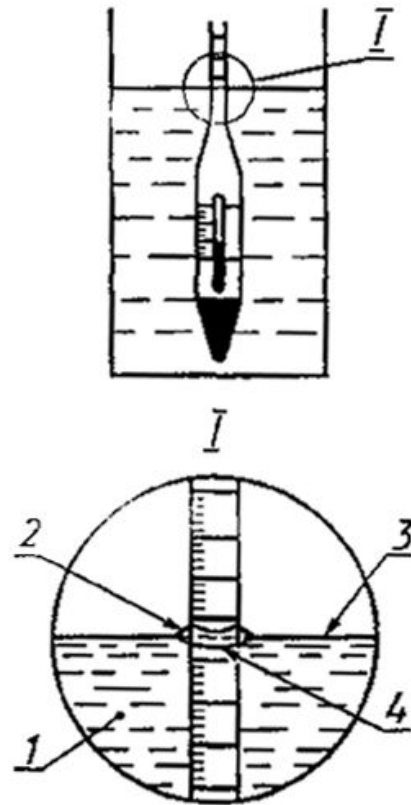
Измерение плотности

Для непрозрачных жидкостей (рисунок 1) показание шкалы ареометра считывают по верхнему краю мениска (при этом положение глаз наблюдателя должно быть на уровне мениска). При использовании ареометров, градуированных по нижнему краю мениска, в показания ареометров вводят поправку на мениск в соответствии с таблицей 1.

Таблица 1 - Поправки на мениск

Диапазон измерений плотности, кг/м ³	Цена деления шкалы	Поправка на мениск
600 – 1100	0,5	± 0,7
600 - 1100	1,0	± 1,4

Измерение плотности



1 - жидкость, 2 - точка записи показаний, 3 - горизонтальная поверхность, 4 - мениск
Рисунок 1 - Показание шкалы ареометра для непрозрачных жидкостей

Обработка результатов измерений

- Показания ареометра пересчитывают к стандартным условиям (при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ или $15\text{ }^{\circ}\text{C}$) в соответствии с руководством и рекомендациями.
- За результат измерения плотности испытуемой жидкости принимают значение, вычисленное по Таблице 1. Записывают среднее из двух значений температуры с точностью до $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, записывают значение плотности, полученное по ареометру с точностью до $0,1\text{ кг/м}^3$ или $0,0001\text{ г/см}^3$.

Определение плотности пикнометрическим методом

- Пикнометрический метод определения плотности жидкости основан на взвешивании жидкости, занимающей в пикнометре известный объем, найденный массовым способом.
- Метод применим для сырой нефти, жидких и твердых нефтепродуктов, а также гудронов, асфальтов, битумов, креозотов и смеси этих продуктов с нефтепродуктами, кроме сжиженных и сухих газов, получаемых при переработке нефти, и легколетучих жидкостей, имеющих при температуре испытания давление насыщенных паров по Рейду (ДНП) более 50 кПа и кинематическую вязкость не более 40000 мм²/с.

Определение плотности пикнометрическим методом

- Жидкий образец помещают в пикнометр, выдерживают до достижения температурного равновесия при заданной температуре и взвешивают.
- Плотность рассчитывают, определяя разность полученной массы пикнометра с жидкостью и предварительно определенного калибровочного фактора (масса пустого пикнометра) с учетом поправки на равновесие в воздухе.

Выполнение измерений

- При определении плотности вязкой жидкости пикнометр, пипетку и образец жидкости подогревают в сушильном шкафу до рабочей температуры, соответствующей жидкому состоянию образца и малой летучести.
- Набирают требуемое количество образца в пипетку и немедленно заполняют тёплый пикнометр, стараясь не допустить образования воздушных пузырьков в пикнометре и в его капилляре.
- Пикнометр закрывают пробкой и погружают до горловины в термостат.

Выполнение измерений

- Так как уровень жидкости в пикнометре продолжает уменьшаться, добавляют жидкость до тех пор, пока уровень жидкости в капилляре перестанет изменяться или мениск жидкости установится чуть выше метки на горловине пикнометра при заданной температуре измерения. Выдерживают пикнометр в термостате до достижения температурного равновесия (как правило, не менее 30 мин). Избыток жидкости, если необходимо, отбирают пипеткой или фильтровальной бумагой.
- Извлекают пикнометр из термостата, промывают наружную поверхность ацетоном, тщательно вытирают снаружи льняной тканью и ждут, пока пикнометр не примет комнатную температуру, после чего взвешивают с указанной выше погрешностью.

Обработка результатов измерений

- Плотность жидких продуктов ρ_t вычисляют по формуле (1), если температура измерения соответствует температуре калибровки пикнометра ($t_c = t_t$). При температуре измерения, отличной от температуры калибровки, плотность вычисляют по формуле (2)

$$\rho_t = \frac{(m_t - m_0)\rho_c}{(m_c - m_0)} + C; \quad (1)$$

$$\rho_E = \left[\frac{(m_t - m_0)\rho_c}{(m_c - m_0)} + C \right] \left[\frac{1}{1 - \alpha(t_c - t_t)} \right]; \quad (2)$$

- где ρ_t - плотность образца при температуре измерения, кг/м³;
 ρ_c - плотность воды при температуре калибровки пикнометра (определение водного числа), кг/м³;
 t_0 - температура калибровки пикнометра, °C;
 t_t - температура, при которой проводится измерение, °C;
 m_0 - масса пустого пикнометра на воздухе, г;
 m_c - масса пикнометра с водой на воздухе при температуре калибровки, г;
 m_t - масса пикнометра с пробой на воздухе при температуре измерения, г;
 C - поправка на взвешивание воздуха.
 α - коэффициент объемного расширения стекла, из которого изготовлен пикнометр, °C⁻¹

Обработка результатов измерений

- Относительную плотность получают в результате деления найденного значения плотности образца на значение плотности воды при той же температуре определения.
- **Поправка на термическое расширение стекла пикнометра.** В результаты измерений плотности, полученные при температуре, отличающейся от температуры калибровки пикнометра, необходимо вводить поправку на термическое расширение стекла, из которого изготовлен пикнометр.
- Если коэффициент объемного расширения стекла неизвестен, то используют значение $\alpha = 10 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Определение плотности вибрационным методом

- Определение плотности вибрационным методом заключается в измерениях плотности нефти и нефтепродуктов с помощью лабораторных плотномеров.
- Небольшое количество пробы, объемом около 0,7 мл, помещают в осциллирующую U-образную трубку и изменение частоты осцилляции, вызываемое изменением массы трубки, используют с учетом калибровочных коэффициентов прибора для расчета плотности пробы.

Выполнение измерений

- Вводят около 0,7 мл испытуемой пробы нефти и нефтепродуктов в чистую и сухую трубку цифрового анализатора плотности с помощью шприца с наконечником. Для проб жидкости, склонных к потере легких фракций, пробу наливают в шприц, а не всасывают.
- Устанавливают заданную температуру.
- После того как на дисплее цифрового анализатора плотности установились стабильные (до 4-х значащих цифр) значения плотности пробы нефти и нефтепродуктов, записывают результаты измерений в протокол.

Обработка результатов измерений

- Результаты измерений плотности пробы считывают с дисплея цифрового анализатора плотности.
- Вычисляют среднеарифметическое значение результатов измерений плотности для двух частей пробы.
- За результат измерения плотности принимают значение, вычисленное согласно вышеупомянутого метода. Запись и округление чисел проводят до четырех значащих цифр.

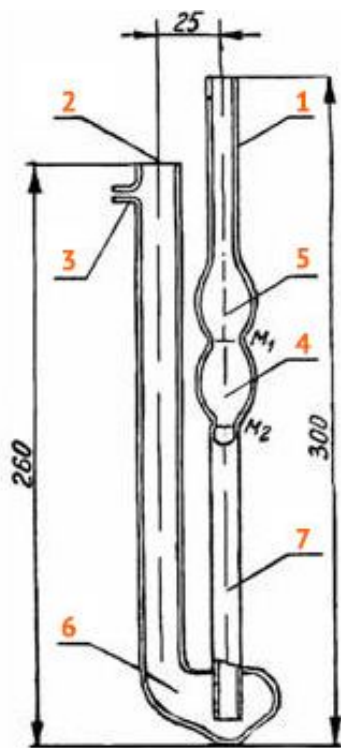
Вязкость нефти и нефтепродуктов

- Вязкость, как и плотность, – важный параметр, используемый при проектировании разработки нефтяных месторождений, выборе способа транспортировки и схемы переработки нефти. Величина вязкости является также характеристикой показателей качества нефтепродуктов – топлив, масел, битумов.
- Вязкостью называется свойство жидкостей (газов) оказывать сопротивление перемещению одной части жидкости относительно другой под усилием сдвига. Сопротивление сдвигу пропорционально градиенту скорости в направлении нормали к потоку жидкости.

Методы оценки вязкости нефтей и нефтепродуктов

Определение вязкости проводится с помощью капиллярного вискозиметра в соответствии с ГОСТ 33-2000 и заключается в измерении времени истечения определенного объема испытуемого нефтепродукта из капилляра от метки М1 до метки М2 под влиянием силы тяжести (рис. 2).

Средства измерения



- 1 - колено;
- 2 - колено;
- 3 - отводная трубка;
- 4 - расширение
- 5 - расширение
- 6 - резервуар
- 7 - капилляр;

Рисунок 2. Вискозиметр ВПЖ-2

Средства измерения

- Кинематическую вязкость нефтепродуктов определяют в стеклянных капиллярных вискозиметрах.
- Вискозиметры выпускают нескольких типов, различающихся конструкцией и имеющих различный рабочий диапазон. Порядок измерения вязкости с помощью вискозиметра любого типа отличается несущественно.
- В данной случае рассмотрен вискозиметр ВПЖ-2 (см. рис. 2).
- Вискозиметр представляет собой U-образную трубку, в колено 1 которой впаян капилляр 7. В верхней части капилляр имеет двойное расширение 4 и 5 с метками (М1 и М2). При измерении вязкости жидкость из расширения течет по капилляру в резервуар 6.

Ход определения

Вискозиметр заполняют испытуемым нефтепродуктом следующим образом. На отводную трубку 3 надевают резиновый шланг; далее, зажав пальцем колено 2 и перевернув вискозиметр, опускают колено 1 в сосуд с нефтепродуктом и засасывают ее (с помощью груши) до отметки M_2 , следя за тем, чтобы в жидкости не образовались пузырьки воздуха. В тот момент, когда уровень жидкости достигнет отметки M_2 , вискозиметр вынимают из сосуда и быстро переворачивают в нормальное положение. Снимают с внешней стороны колена 1 избыток жидкости и надевают на него резиновую трубку.

Ход определения

- Вискозиметр устанавливают вертикально в жидкостном термостате (бане) так, чтобы расширение ζ было ниже уровня жидкости. После выдержки в термостате не менее 15 мин. при заданной температуре засасывают жидкость в колено 1 примерно до $1/3$ высоты расширения ζ .
- Сообщают колено 1 с атмосферой и определяют время опускания мениска жидкости от отметки M_1 до отметки M_2 . Определение производят не менее трех раз. Результаты трех последовательных измерений не должны отличаться более чем на 0,2 %. В противном случае определения необходимо повторить.

Расчет кинематической вязкости

- Расчет кинематической вязкости (ν , мм²/с) ведется по формуле

$$\nu = c \cdot t,$$

где c – постоянная вискозиметра, мм²/с²;

t – среднее арифметическое время истечения из результатов последовательных измерений, с.

- По измеренному значению кинематической вязкости вычисляют динамическую вязкость (η , мПа · с) испытуемого нефтепродукта по формуле

$$\eta = \nu \cdot \rho,$$

где ν – кинематическая вязкость, мм²/с;

ρ – плотность при температуре, при которой определялась вязкость, г/см³

- Результаты определения кинематической и динамической вязкости округляют до 0,1.