

Ф. Н. Шамсетдинов, И. Р. Габитов, З. И. Зарипов,
А. В. Радаев, А. Н. Сабирзянов

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЯЗКОСТИ ГАЗОНАСЫЩЕННЫХ ЖИДКИХ УГЛЕВОДОРОДОВ ПРИ ДАВЛЕНИЯХ ДО 50 МПа

Ключевые слова: сверхкритический флюид, газонасыщенные жидкие углеводороды, вязкость.

Разработана экспериментальная установка для измерения коэффициента динамической вязкости многокомпонентных систем методом падающего груза в интервале температур 298-473К и давлений до 50 МПа. Проведены контрольные измерения вязкости n-гексана и воды, максимальная погрешность измерения составляет $\pm 2\%$.

Keywords: supercritical fluid, gas-saturated liquid hydrocarbon, viscosity.

The experimental dynamic viscosity measuring plant was designed for the multicomponent systems. The plant is based on the falling weight method. The temperature range is 298-473K and pressures are up to 50 MPa. The control measurements of n-hexane and water viscosities have been carried out with a maximum measuring error of $\pm 2\%$.

Введение

Важнейшей проблемой в обеспечении устойчивой добычи, переработки и транспортировки углеводородного сырья является разработка и внедрение инновационных технологических процессов, направленных на снижение энергозатрат и потерь в трубопроводных системах. Последнее достигается путем снижения вязкости сырья до состояния подвижности и удалением асфальтосмолопарафиновых отложений (АСПО) на внутренних поверхностях коммуникаций [1].

Существующие в настоящее время способы решения негативных факторов с помощью органических растворителей и химических реагентов, а также под воздействием физических полей (магнитных, ультразвуковых, вибрационных) очень дорогостоящи, малоэффективны и экологически небезопасны [2, 3]. Внедрение современных сверхкритических флюидных (СКФ) технологий позволяет решить многие вопросы движения потока с точки зрения энергоресурсосбережения и экологии.

СКФ среды обладают следующими преимуществами относительно жидких растворителей [4]:

- коэффициент диффузии в СКФ при условии бесконечного разбавления по величине на 1-2 порядка превосходит аналогичный показатель для жидкостей;

- отсутствие капиллярного эффекта;
- нулевое поверхностное натяжение;

- растворенные газы при суб- и сверхкритических параметрах снижают вязкость на 1-2 порядка [5];

- СКФ растворители могут использоваться многократно, удаление СКФ реагента из раствора происходит путем простого сброса давления.

При гидродинамическом проектировании и расчетах трубопроводных коммуникаций в присутствии сверхкритического реагента необходимо располагать надежными справочными данными по транспортным свойствам (вязкость, теплопроводность) в широком диапазоне изменения температур и давлений [6,7]. С целью исследования вязкости газонасыщенных жидкостей разработана экспери-

ментальная установка в интервале температур 298-473К и давлений до 50 МПа, реализующая метод падающего груза.

Экспериментальная часть

Для исследований влияния газовых компонентов на величину вязкости при повышенных давлениях создана экспериментальная установка, которая состоит из следующих основных узлов: вискозиметрического сосуда, системы создания и измерения давления, системы измерения и регулирования температуры и схемы автоматического измерения времени падения груза (рис. 1).

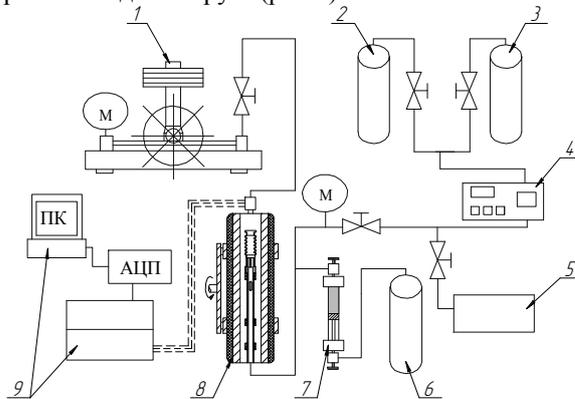


Рис. 1 - Принципиальная схема экспериментальной установки: 1 – грузопоршневой манометр МП-600, 2 – сосуд с исследуемым веществом, 3 – баллон с инертным газом, 4 – насос высокого давления, 5 – вакуумный насос, 6 – газовый компонент, 7 – термокомпрессор, 8 – вискозиметрический сосуд, 9 – система сбора первичной информации

Вискозиметрический сосуд (рис. 2) включает в себя автоклав высокого давления (2), внутри которого располагается разгруженная измерительная ячейка (1). Для создания равномерного температурного поля по высоте автоклава напрессован цилиндрический медный блок (3). На поверхности медного блока установлены нагреватели с минеральной изоляцией в металлических оболочках марки КНМСН.

Вся конструкция покрыта минеральной базальтовой изоляцией (4) и помещена в фольгированный каркас с двумя полуосями.

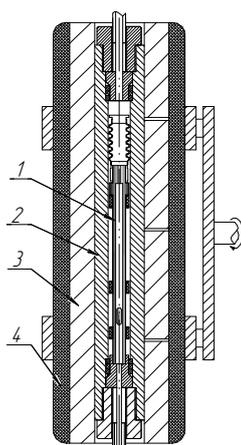


Рис. 2 - Вискозиметрический сосуд: 1 - измерительная ячейка, 2 – автоклав, 3 – медный блок, 4 – термоизоляция

Основной деталью измерительного узла является ячейка (рис. 3), представляющая собою разгруженную трубку (1). Внутри трубки помещен цилиндрический груз (3) со сферическими торцами. Особое внимание при разработке было уделено вопросу центрирования груза в трубке измерительной ячейки. Для обеспечения постоянства зазора между внутренней стенкой и цилиндрической поверхности падающего груза установлены восемь центрирующих выступов.

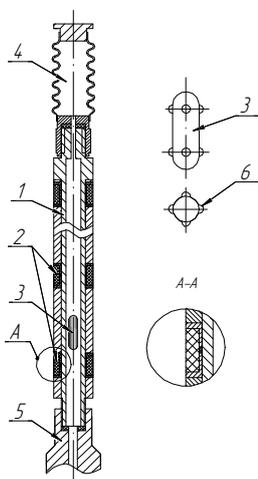


Рис. 3 – Измерительная ячейка: 1 – трубка, 2 – катушки индуктивности, 3 – падающий груз, 4 – сильфон, 5 – подводной патрубков, 6 – центрирующие выступы

К верхней части припаян металлический сильфон, заполнение исследуемым веществом, поддержание и измерение давления осуществляется с нижнего накидного патрубка.

Система создания и измерения давления (рис. 1) состоит из:

- грузопоршневого манометра МП-600 класса 0.05 (1) для поддержания рабочего параметра исследуемой смеси в измерительной ячейке через упругий металлический сильфон;

- шприцевого насоса высокого давления (4), используемого для заполнения ячейки исследуемой жидкостью;

- термокомпрессора (7), соединенного с сосудом используемого флюида.

Вся соединительная арматура системы высокого давления выполнена из нержавеющей трубки диаметром 3×1.0 мм.

Создание однородного температурного поля в измерительной ячейке обеспечивается системой терморегулирования. Основными элементами схемы являются датчик температуры (медь-константановые термопары), усилитель сигналов и контактное реле РП-7. Сигнал, обусловленный разностью температур в оболочке, после усиления поступает на вход РС, далее преобразовывается в АЦП PCL-811S и после обработки программой поступает в ЦАП, который выдает сигнал на замыкание контактов реле и включения нагревателей. После достижения необходимой температуры происходит процесс подогрева, в ходе которого контакты реле периодически размыкаются и вся подводимая мощность распределяется между нагревателем и балластным сопротивлением. Точность регулирования температуры достигается соответствующим подбором тока и значения балластного сопротивления. В процессе проведения эксперимента колебания температуры не превышали ±0.01K за счет малой величины внешних теплопритоков, большой массы автоклава и терморегулируемого блока.

Для автоматической регистрации времени падения груза используется следующая схема измерения. На определенной высоте измерительной ячейки располагаются катушки (2) (рис. 3), состоящие из двух типов: первичных – генерирующих, включенных последовательно; и вторичных – приемных, включенных встречно. На первичные обмотки катушек подается переменное напряжение (≈10 мВ) частотой 400 Гц. Первичные катушки создают магнитное поле в двух сечениях по высоте. При прохождении груза через эти сечения в мостовой схеме возникает сигнал разбаланса, который поступает в блок запуска частотомеров, состоящий из усилителя низкой частоты, порогового устройства и формирователя импульсов по переднему и заднему фронтам для запуска частотомеров АЦП ZET 220. Для компенсации напряжения при отсутствии сигнала разбаланса в мостовую схему введены компенсирующие катушки. В процессе измерения и обработки информация отображается на экране монитора в удобной для оператора форме.

Расчетная формула метода определения вязкости

Расчетная формула метода измерения динамической вязкости η в интервале температур 298-473K и давлений до 50 МПа имеет вид:

$$\eta = (R - r)^2 g \frac{G_{\text{изм}} - G_{\text{изт}}}{\pi r h},$$

где R, r – радиусы цилиндрической трубки и грузика соответственно; h – расстояние, которое проходит

груз; t —время падения груза; $\rho_{гр}$, $\rho_{ж}$ - плотность груза и исследуемого вещества.

Контрольные измерения

Для подтверждения достоверности исследований коэффициентов динамической вязкости были выполнены контрольные измерения н-гексана, марки ХЧ ($n_D^{20}=1.3749$, $\rho^{25}=659,1$ кг/м³) и воды ($n_D^{20}=1.3329$, $\rho^{25}=997,1$ кг/м³) в широком диапазоне изменения давлений и температур, для которых в литературе имеются надежные экспериментальные данные. Расхождения в среднем не превышают $\pm 2\%$, что лежат в пределах суммарной ошибки измерений.

Заключение

Разработанная автоматизированная экспериментальная установка позволяет проводить измерения коэффициента динамической вязкости многокомпонентных систем с погрешностью не более $\pm 2\%$ в широком интервале изменения параметров состояния.

Литература

1. И.А.Буртная, О.О. Гочечиладзе, А.В.Митин, С.А.Прохоров, Л.И.Ружинская, Н.В.Шафаренко, Химия и технология топлив и масел, **6**, 2007, С. 46 – 47.
2. Г.А. Бабалян, Борьба с отложениями парафин, ООО Недра-Бизнесцентр, Москва, 1965, 340 с.
3. С.Ф.Люшин, В.А. Рассказов, Д.М. Шейх-Али, Р.Р. Иксанова, Е.П. Линьков, Борьба с отложениями парафина при добыче нефти, Гостоптехиздат, Москва, 1961, С. 57-61.
4. Ф.М. Гумеров, А.Н. Сабирзянов, Г.И. Гумерова, Суб- и сверхкритические флюиды в процессах переработки полимеров, Фэн, Казань, 2007, С.11-13.
5. Р.А. Шагиахметов, Дисс. канд. техн. наук, Казанский ордена трудового знамени химико-технологический институт, Казань, 1981, С.38-50;
6. Ф.М.Гумеров, Ф.Д.Юзмухаметов, Р.Ф. Габитов, Н.З. Шакиров. Вестник Казанского технологического университета, **15**, 5, 2012, С. 64-71.
7. Р.Р. Габитов, Р.Р. Накипов, Ф.Н. Шамсетдинов, Р.А. Усманов, И.Х. Хайруллин, З.И. Зарипов. Вестник Казанского технологического университета, **15** 21, 2012, С. 25-27.

© **Ф. Н. Шамсетдинов** – к.т.н., доцент каф. теоретических основ теплотехники КНИТУ, fanis_tot@mail.ru; **И. Р. Габитов** – асп. той же кафедры, gabitov.ilgiz@gmail.com; **З. И. Зарипов** – д-р техн. наук, проф. той же кафедры, zufar_zaripov@mail.ru; **А. В. Радаев** - к.т.н., доцент каф. теоретических основ теплотехники КНИТУ; **А. Н. Сабирзянов** - д-р техн. наук, нач. центра внедрения разработок в промышленность КНИТУ, sabirz@kstu.ru.