

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ УГЛЕВОДОРОДОВ ПРИ ДАВЛЕНИЯХ СВЫШЕ 150 МПА

© 2012 С.Н. Редников

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

Поступила в редакцию 05.03.2012

Рассмотрено создание оборудования для наблюдения и идентификации реологических параметров неньютоновских жидкостей.

Ключевые слова: *давление, температура, вязкость, углеводороды*

Модернизация технологических процессов сопровождается широким внедрением систем функционирующих при высоких и сверхвысоких давлениях. На предприятиях увеличивается количество комплексов гидроабразивной резки, систем упрочнения металлов давлением, осваиваются технологии получения полимеров при давлениях свыше 400 МПа, применяются системы впрыска топлива с уровнем давлений 200 МПа. Одной из проблем, возникающих при внедрении этого оборудования, является подбор и прогнозирование свойств рабочих жидкостей, применяемых в подобных системах. К настоящему времени существует большое количество работ экспериментального и теоретического характера, посвящённых исследованию структуры жидкости и псевдопластичного состояния вещества при давлениях менее 1000 бар, в то же время обзор литературы показал, что работ, посвящённых исследованию теплогидравлических характеристик углеводородов в области фазовых переходов при давлениях свыше 1000 бар, немного. Значительный вклад в исследования теплогидравлических характеристик углеводородов при высоких давлениях внесли коллективы исследователей под руководством Циклиса Д.С. [1], Кучерова В.Г. [2], Григорьева Б.А., Мустафьева Р.А.

Необходимо отметить, что экспериментаторы, начиная с исследований Бенджамена [3], при изучении структурно-чувствительных физических свойств жидкости – вязкости, плотности, электропроводности и т.п. – на их зависимостях от температуры и давлений обнаруживали различные аномалии (скачки и перегибы). Это указывало на принципиальную возможность существования жидкости, по крайней мере, в нескольких структурных модификациях. При таких переходах наблюдаются резкие изменения свойств жидкости – плотности, теплоемкости, электропроводности, вязкости. На фазовых диаграммах при этом присутствуют фазовые переходы

двух типов: плавление и резкое изменение локальной структуры в системе. Фазовые переходы I рода не всегда связаны с изменением агрегатного состояния вещества. Аналогичным образом – со скачками объема и энтропии и со скрытой теплотой перехода – происходят многие полиморфные превращения в твердых и аморфных телах. При таких превращениях меняется структура и вместе с ней практически все другие свойства тела. В этой связи различные кристаллические модификации вещества тоже именуют его фазами. При фазовом переходе I рода происходит поглощение или выделение теплоты, измеряемое скачком энтальпии и именуемой скрытой теплотой фазового перехода. От фазовых переходов I рода отличаются фазовые переходы II рода, при которых нет скачкообразного изменения внутренней энергии, соответственно нет поглощения или выделения тепла. В отличие от газообразного и твердого агрегатных состояний, теория которых основывается на методах статистической механики и термодинамики, и хорошо согласуется с экспериментальными данными, жидкое агрегатное состояние исследовано недостаточно. Отсутствие общей теории жидкого состояния не дает возможности разработать точные методы прогнозирования и изменения параметров жидкостей. По этой причине методы определения вязкости и других характеристик веществ при высоких давлениях, в области фазовых переходов весьма актуальны.

Для исследования вязкости углеводородов в условиях высокого и сверхвысокого давления была создана серия вискозиметров. Были разработаны конструкции капиллярного и ротационного вискозиметров. Капиллярный вискозиметр представляет собой прибор, принцип работы которого основан на измерении расхода определенного объема исследуемой жидкости при фиксированном перепаде давления являющемся функцией ее вязкости. Применённый для исследования вязкостных характеристик углеводородов капиллярный вискозиметр (рис. 1) оснащён капилляром диаметром $d=0,5$ мм длиной 95 мм, выполненным из твёрдого сплава, что обеспечивает

Редников Сергей Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Гидравлика и гидропневмостемы». E-mail srednikov@mail.ru

ламинарный режим движения жидкости во всём диапазоне реализуемых расходов. Перепад давлений при ламинарном движении жидкости в капилляре известной геометрии определяет вязкость вещества. Движение жидкости осуществляется путём перемещения системы плунжеров, входящих в состав мультипликаторов давлений, необходимых для получения давлений более 200 МПа. Отдельный контур используется для заполнения исследуемой жидкостью и создания предварительного давления в полости вискозиметра. Регистрация расхода жидкости, а также

степени изменения объёма с ростом давления осуществляется путём отслеживания положения плунжера. Регулирование скорости движения плунжеров осуществлялось дросселем. Прохождение исследуемой жидкости через рабочую полость однократное. При работе на давлениях свыше 10^8 Па применялись лишь самоуплотняющиеся уплотнения, аналогичные применённым Циклисом. [1]. Классический подход предусматривает подъём давления до заданной величины и только после стабилизации температуры организацию движения в капилляре.

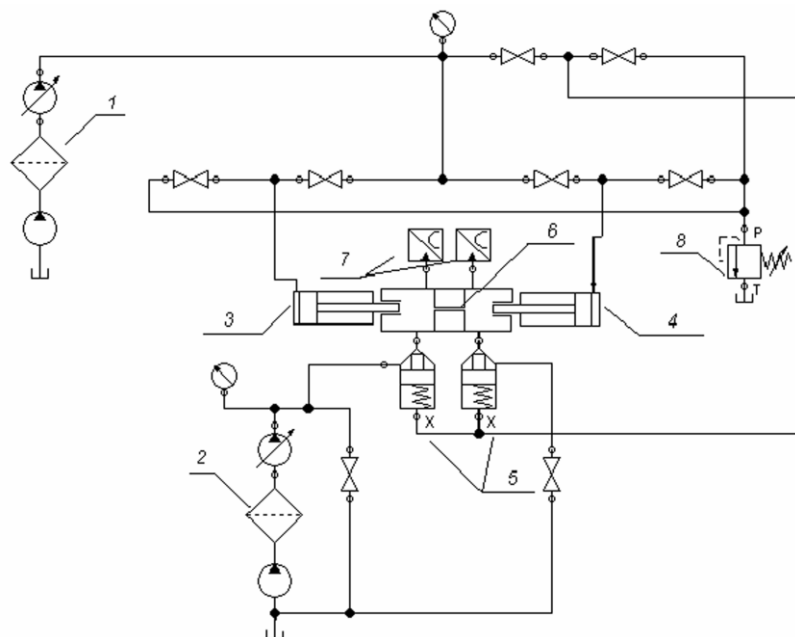


Рис. 1. Схема капиллярного вискозиметра

По данным Г. Шрамма [4] капиллярные вискозиметры превосходят ротационные в точности замеров при исследовании ньютоновских жидкостей, но сильно им уступают при определении характеристик вязкоупругих систем. Это связано с тем, что при течении неньютоновских сред наблюдается отличие от параболической зависимости скорости сдвига при изменении расстояния от стенки до оси канала, следовательно, точно определить скорости сдвига по всему сечению капилляра весьма затруднительно. Между тем капиллярный вискозиметр весьма эффективен для определения вязкости углеводородов в области давлений ниже давлений фазовых переходов при заданной температуре.

Ротационный вискозиметр – прибор, основанный на измерении крутящего момента, передаваемого испытуемой жидкостью чувствительному элементу и являющегося функцией ее вязкости. Ротационный метод заключается в помещении жидкости в малый зазор между двумя телами для сдвига исследуемой среды. Условно конструкцию ротационного вискозиметра можно разделить на несколько модулей: источник давления до 1500 атм.; мультипликатор давления,

позволяющий увеличить давление до 6000 атм.; модуль измерения высокого давления; модуль стабилизации температурного режима; модуль измерения вязкости. В качестве измерительного блока применён вискозиметр с контролируемым напряжением сдвига. В вискозиметрах с контролируемым напряжением и измерительной системой Серле задаётся мощностная характеристика приводного движителя и контролируется угол поворота подвижного тела (цилиндра). Крутящий момент передается непосредственно на вал ротора, жёстко соединённого с подвижным телом. Измерение скорости вращения внутреннего тела (угла его поворота) позволяет определять скорость сдвига, а крутящий момент – напряжение сдвига. Такая система обеспечивает возможность снятия вязкостной характеристики во всём диапазоне скоростей сдвига.

Для замера давления в разработанных вискозиметрах применены манганиновые манометры имеющие рабочий диапазон от 200 МПа до 1000 МПа, но используемый в датчиках материал меняет своё электрическое сопротивление как при изменении давления, так и при изменении температуры [1, 8]. Пробные прогоны показали

наличие изменения температуры. Было принято решение проводить расчет температуры исследуемой жидкости в камере высокого давления, опираясь на результаты замеров температурных полей наружной поверхности аппарата. Процесс теплообмена рассматривался как процесс передачи теплоты через многослойную стенку из материала с известной теплопроводностью при граничных условиях, характеризующихся постоянным коэффициентом теплоотдачи в окружающую среду и изменяющейся температурой исследуемой среды внутри аппарата. Зная коэффициент теплопроводности материала корпуса, его зависимость от давления, начальное распределение температур в установке, геометрию аппарата, можем определить значение температуры самой жидкости в любой момент времени. Такой подход позволяет достаточно легко определить время стабилизации температуры, получить значения изменения температуры жидкости на границе внутренней поверхности корпуса как после повышения давления на этапе стабилизации, так и при движении жидкости в капилляре.

Кроме того, одновременно решалась задача определения количества теплоты, выделяющейся в исследуемой жидкости, и изменения теплопроводности при повышении давления. Задача определения температуры на границе корпус-исследуемая среда была решена методом прямого численного моделирования в программном пакете SolidWorks. Недостатком такого подхода является высокая тепловая инерционность процесса распространения тепла в корпусе аппарата, подход требует высокой точности определения температур, не ниже десятых долей градуса, чтобы оценить температуру исследуемой среды с точностью до градуса. Определение температуры поверхности корпуса осуществлялось при помощи тепловизора с разрешающей способностью 0,08 градуса.

Выводы: было создано экспериментальное оборудование, позволяющее осуществлять исследование механизмов фазовых переходов в кристаллических и жидких и псевдопластичных

веществах протекающих при давлениях свыше 1000 бар.

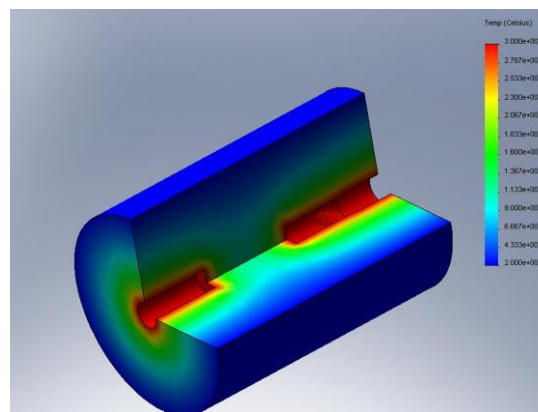


Рис. 2. Результат моделирования распределения температуры, выполненный с использованием программного пакета SolidWorks

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Циклис, Д.С. Техника физико-химических исследований при высоких давлениях / Д.С. Циклис. 3 изд. – М.: Наука, 1965. 416 с.
2. Кучеров, В.Г. Теплофизические свойства водонефтяных эмульсий и методика их расчета для условий сбора и подготовки нефти: Дисс. канд. техн. наук: 25.00.17, М., 1987. 141 с.
3. Бриджмен, П.В. Исследования больших пластических деформаций и разрыва / П.В. Бриджмен; пер. с англ. – М.: Мир, 1955., 444 с.
4. Шрамм, Г. Основы практической реологии и реометрии / пер. с англ. – М.: КолосС, 2003. 312 с.
5. Черноуцан, А.И. Физические свойства процесса стеклования // Соросовский образовательный журнал. 2001. Т.7, № 3. С. 103-111.
6. http://www.f5-tech.de/micropvt_hp_viscometer.html?&L=1
7. Скородумов, В.Ф. Термодинамические аспекты стеклования под давлением // Журнал физической химии. 1994. Т. 68, №12. С. 2254-2256.
8. Бриджмен, П.В. Физика высоких давлений / П.В. Бриджмен; пер. с англ. – М.: Мир, 1935. 402 с.

RESEARCH METHODS OF HYDROCARBONS PROPERTIES AT PRESSURES FROM ABOVE 150 MPA

© 2012 S.N. Rednikov

South Ural State University, Chelyabinsk

Making of the equipment for observation and identification the reologic parameters of non-Newtonian fluids is viewed.

Key words: *pressure, temperature, viscosity, hydrocarbons*

Sergey Rednikov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the Department "Hydraulics and Hydropneumatic Systems". E-mail srednikov@mail.ru