

РОТАЦИОННЫЙ ВИСКОЗИМЕТР: ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ

Яфаева Лилия Закировна

магистрант, Уфимский государственный авиационный технический университет – УГАТУ, РФ,
г. Уфа

Ардаширова Гузалия Ильгизовна

научный руководитель, канд. биол. наук, ассистент кафедры «Стандартизация и метрология»,
Уфимский государственный авиационный технический университет – УГАТУ, РФ, г. Уфа

Важную роль в стабильном развитии и безопасной деятельности всех отраслей промышленности играет качество функционирования таких технологических объектов, как машины, станки, механизмы, транспортные средства, работа которых связана с применением жидких сред. К данным жидкостям можно отнести топливо, масла, растворители, горюче-смазочные материалы, эмульсии, различные моющие средства и тормозные жидкости [1, с. 255]. Их качество характеризуется различными реологическими параметрами. Поскольку состояние данных жидких сред влияет на безопасную жизнедеятельность людей, а также работу машин и аппаратов, они подлежат контролю.

Одним из исследуемых параметров является вязкость жидкости [2, с. 15]. На сегодняшний день вискозиметры используются в нефтяной промышленности, в военной и гражданской авиации, в пищевой, фармакологической отраслях, строительстве, медицине и в автомобильном транспорте.

Среди разнообразных видов вискозиметров большую популярность имеют ротационные. Принцип работы данного средства измерения заключается в оценке величины момента торможения, который создается исследуемой жидкостью, помещенной между двумя соосными телами, один из которых вращается [3, с. 12].

Принцип ротационной вискозиметрии заключается в следующем: контролируемой жидкостью заполняется пространство между двумя соосными телами. Одно из тел находится в неподвижном состоянии, другое, называемое ротором, вращается с постоянной скоростью. Вязкость жидкости определяется по крутящему моменту при круговом сдвиговом течении материала с постоянной скоростью в тонком кольцевом слое [4, с. 17]. Современный рынок вискозиметров представлен большой номенклатурой приборов различного строения, функционала и принципа действия.

По форме измерительной поверхности существуют ротационные приборы со следующими системами: коаксиальные цилиндры, сферы или полусферы; два конуса, две плоскопараллельные пластины, два плоских кольца или два конических кольца; цилиндр – диск; цилиндр – полусфера; конус – диск; цилиндр – конус; цилиндр – конус – диск (рисунок). Форма ротора зависит от вида исследуемого материала (ньютоновской или неньютоновской) и диапазона измеряемых значений вязкости [5, с. 41].

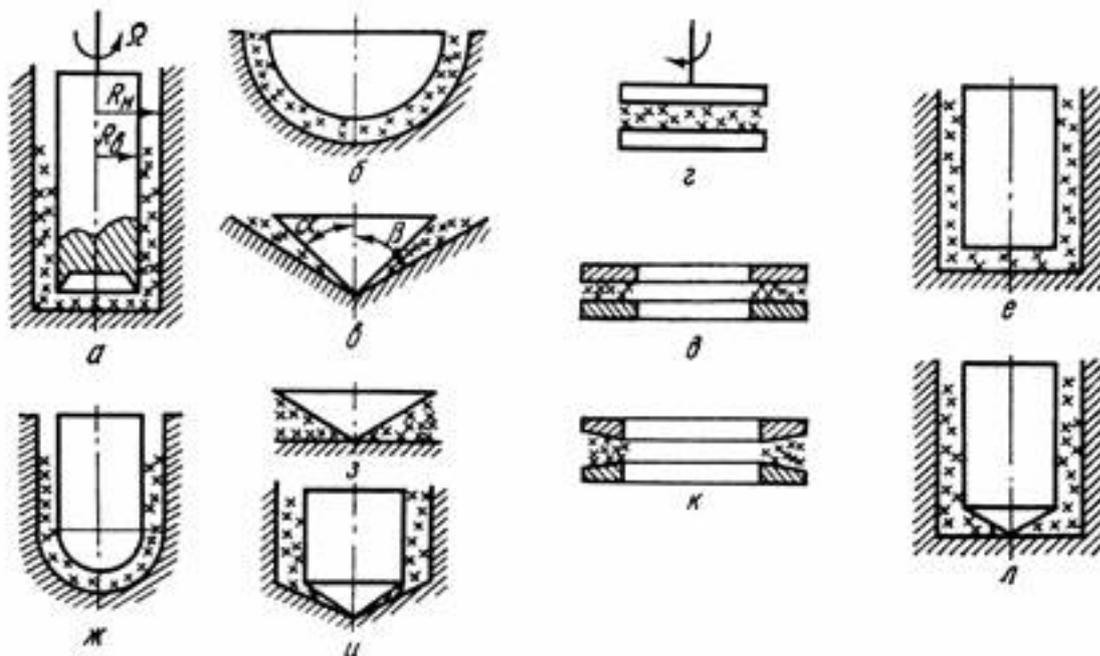


Рисунок. Схема измерительных поверхностей ротационных вискозиметров:

а) коаксиальные цилиндры; б) две полусферы; в) два конуса; г) две плоскопараллельные пластины; д) два плоских кольца; е) цилиндр – диск; ж) цилиндр – полусфера; з) конус – диск; и) цилиндр – конус; к) два конических кольца; л) цилиндр – конус – диск

По сравнению с другими типами вискозиметров ротационные обладают рядом преимуществ, особенно при испытании материалов с большой вязкостью. Данные приборы удобны в применении, надежны в эксплуатации, позволяют производить количественную оценку показателей режима деформации, регулировать изменения условий, при которых проводятся испытания. Также они могут использоваться как для экспресс-измерений, так и для непрерывного измерения вязкости с целью регулирования технологического процесса [6].

Ротационные вискозиметры обеспечивают однородное поле напряжений сдвига в жидкости и позволяют измерять вязкость с высокой точностью. Существуют приборы с высокой точностью измерений во взрывобезопасном исполнении, пригодные для контроля вязкости различных агрессивных жидкостей.

Они применяются не только для измерения в большом диапазоне вязкости жидкостей, но и для исследования реологических свойств веществ. Ещё одним важным преимуществом является использование ротационных вискозиметров для непрерывных измерений.

При испытании пластоэластических (упруго - вязких) свойств каучуков и резиновых смесей ротационные вискозиметры позволяют проводить количественную оценку показателей нестационарного режима деформации, например, мгновенно-упругого модуля сдвига, периода релаксации и др. При исследовании сохраняется сходство условий деформирования в рабочем зазоре ротационного вискозиметра с условиями механической обработки материала в рабочей зоне резиносмесителя закрытого типа, также имеется возможность варьирования условий испытания, автоматического управления и регистрации результатов [7, с. 446].

Несмотря на простоту приборов ротационного типа существует ряд различных эффектов, снижающих точность измерений [8, с. 40].

Одним из условий точности измерений в ротационных вискозиметрах является ламинарность деформируемого потока, характеризующаяся числом Рейнольдса (Re). Оно представляет

собой безразмерный критерий, превышение которого вызывает турбулизацию потока, то есть образуются нелинейные фрактальные волны.

Поскольку в ротационном вискозиметре исследуемый материал находится в зазоре прибора, во время проверки выделяется тепло и изменяется температура измеряемой среды, что в свою очередь вызывает изменение вязкости.

К. Вейссенбергом было обнаружено, что при течении упругих жидкостей в условиях простого сдвига возникают как касательные, так и нормальные напряжения, ортогональные направлению сдвига. Упругая жидкость, у которой деформационное состояние характеризуется осевой симметрией, стягивается нормальными напряжениями, противодействующими силам тяжести и центробежным силам и выдавливается из зазора вискозиметра [9, с. 214].

При течении упругих жидкостей в капиллярах с высокими скоростями струя жидкости начинает деформироваться и на ней появляются различные возмущения. При очень высоких скоростях деформации струя материала иногда даже распадается на отдельные зерна. Также могут возникать спонтанные колебания измеряемого параметра.

В ротационных вискозиметрах крутящий момент передается на измерительный элемент не только через боковые (рабочие) поверхности, но и от днищ цилиндров. Поскольку математическое описание полей напряжений и скоростей сдвига, возникающих в зазорах, образованных днищами цилиндров, очень сложно, то расчетные формулы для ротационных приборов выводятся без учета влияния концевых эффектов, что вносит определенные погрешности в измерения.

Ротационная вискозиметрия является одним из надежных способов исследования различных технологических жидкостей, играющих большую роль во многих отраслях промышленности. Существующая номенклатура приборов позволяет сделать выбор с учетом особенностей места эксплуатации, температурных режимов и периодичности исследования. В работе представлены наиболее существенные достоинства и недостатки вискозиметров ротационного типа.

Список литературы:

1. Токунов В.И., Саушин А.З. Технологические жидкости и составы для повышения продуктивности нефтяных и газовых скважин. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2004. – 711 с.
2. Шрамм Г. Основы практической реологии и реометрии. / пер. с англ. – М.: «КолосС», 2003. – 312 с.
3. Катюхин В.Е., Карбаинова С.Н. Определение вязкости жидкостей. Томск: Издательство ТПУ, 2007. – С. 24.
4. Рогачев М.К., Кондрашева Н.К. Реология нефти и нефтепродуктов: учеб. пособие. – Уфа; Изд-во УГНТУ, 2000. – 89 с.
5. Белкин И.М., Виноградов Г.В., Леонов А.И. Ротационные приборы. Измерение вязкости и физико-механических характеристик материалов. – М., изд-во «Машиностроение», 1967. – 272 с.
6. Ротационный вискозиметр [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://promplace.ru/rotacionnij-viskozimetr-933.htm> (дата обращения: 19.01.2021).
7. Аверко-Антонович И.Ю., Бикмуллин Р.Т. Методы исследования структуры и свойств полимеров: Учеб. пособие. – Казань: Изд-во КГТУ, 2002. – 604 с. ISBN 5-7882-0221-3.
8. Доня Д.В., Леонов А.А. Инженерная реология: Учеб. пособие. – Кемерово: Изд-во:

Кемеровский технологический институт пищевой промышленности, 2008. - 123 с.

9. Хасанов М.М., Булгакова Г.Т. Нелинейные и неравновесные эффекты в реологически сложных средах. - Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. - 288 с.