

РОТАЦИОННЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ ВЯЗКОСТИ, НЕЗАВИСИМЫЙ ОТ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

В.А. Кузнецов

Самарский государственный технический университет
443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244

Рассмотрена теория измерения вязкости ротационным методом, принцип действия и структурная схема разработанного вискозиметра. Предложен новый способ обработки измерительного сигнала с промежуточным преобразованием во временной интервал. Приведены методы повышения точности измерения вязкости.

Ключевые слова: вязкость, ротационный метод, микроконтроллер, повышение точности измерения.

Современные технологии производства некоторых видов продукции связаны с необходимостью измерения динамической вязкости. Вязкость является или промежуточным, или конечным параметром этой продукции, определяющим ее качество. Такие виды продукции встречаются в пищевой, нефтяной, строительной, парфюмерной и других отраслях промышленности.

Вопросами измерения вязкости занимался еще Ньютон, который вывел закон, позволяющий определить динамическую вязкость по силе, приложенной к пластине, движущейся в жидкости с определенной скоростью [1]:

$$F = \eta \frac{VS}{h}. \quad (1)$$

Здесь F – сила, необходимая для перемещения пластины; η – динамическая вязкость; V – скорость движения пластины; S – площадь пластины; h – толщина слоя жидкости.

В настоящее время наиболее широко применяются ротационные вискозиметры, в которых линейное перемещение пластины заменено вращательным движением измерительного ротора, а динамическая вязкость определяется по крутящему моменту, приложенному к этому ротору. При этом формула (1) приобретает вид

$$M = \eta \frac{2\pi n S r^2}{h}, \quad (2)$$

где n – частота вращения ротора; S – площадь рабочей поверхности ротора; r – радиус ротора; h – толщина слоя жидкости между боковой поверхностью ротора и поверхностью неподвижного измерительного цилиндра.

Таким образом, динамическая вязкость определяется по алгоритму

$$\eta = \frac{h}{2\pi n S r^2} M. \quad (3)$$

Для определения динамической вязкости необходимо измерить крутящий момент M и умножить его на постоянный конструктивный коэффициент.

Алгоритм (3) справедлив для так называемых ньютоновских жидкостей, для которых обеспечивается ламинарный характер потока, а градиент скорости линейно изменяется по толщине слоя жидкости. Большинство жидкостей относятся к ньютоновским жидкостям.

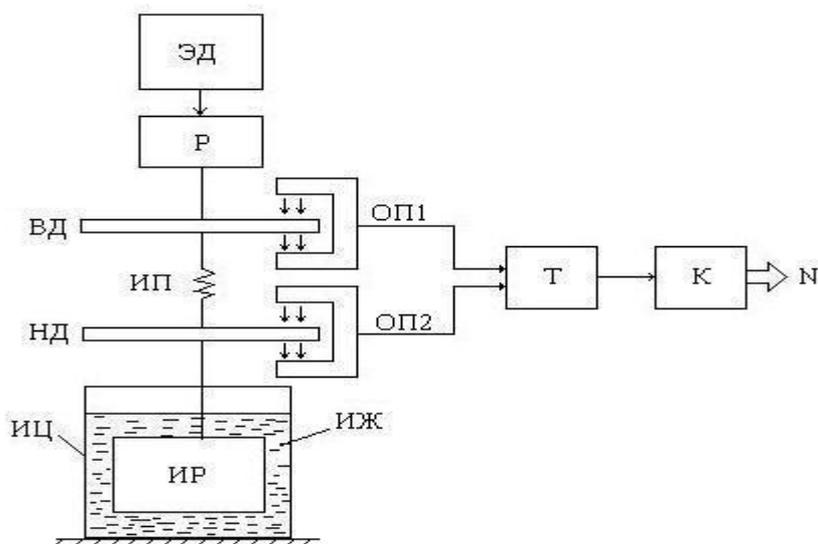
Обеспечение ламинарного характера потока для каждой жидкости достигается подбором определенной частоты вращения ротора и геометрических размеров ротора и цилиндра.

Из выражения (3) видно, что точность измерения вязкости по крутящему моменту во многом зависит от стабильности частоты вращения измерительного ротора n .

В современных вискозиметрах используется электропривод со сложными системами стабилизации частоты вращения электрических двигателей, что усложняет и удорожает конструкцию прибора в целом.

На кафедре «Информационно-измерительная техника» СамГТУ разработан ротационный метод измерения вязкости, независимый от частоты вращения измерительного ротора.

Структурная схема прибора, реализующего этот метод, представлена на рисунке.



Структурная схема вискозиметра

Вискозиметр содержит измерительный ротор ИР, измерительный цилиндр ИЦ, в который помещается измеряемая жидкость ИЖ, измерительную пружину ИП, электродвигатель ЭД, редуктор Р. На концах измерительной пружины закреплены верхний диск ВД и нижний диск НД, которые охвачены двумя оптопарами ОП1 и ОП2. В дисках выполнены радиальные прорезы, через которые проходит свет оптопар.

Оптопары при прохождении прорезей дисков генерируют импульсы напряжения, поступающие на триггер Т, который формирует временной интервал τ , пропорциональный крутящему моменту. Далее импульс длительностью τ поступает на контроллер К, который вычисляет значение вязкости по алгоритму (3).

Исключение влияния нестабильности частоты вращения измерительного ротора на точность измерения вязкости достигается следующим образом.

Угол закручивания измерительной пружины определяется выражением

$$\alpha = \frac{1}{Kn} M, \quad (4)$$

где Kn – коэффициент жесткости пружины; M – крутящий момент.

Оптопары ОП1 и ОП2 формируют два электрических импульса, сдвинутых относительно друг друга на время τ :

$$\tau = \frac{T}{2\pi} \alpha = \frac{\alpha}{2\pi n} . \quad (5)$$

Здесь T – период вращения измерительного ротора.

Подставляя (4) в (5), получим

$$\tau = \frac{M}{2\pi n \cdot Kn} . \quad (6)$$

Из (6) видно, что интервал времени τ прямо пропорционален крутящему моменту M , а следовательно и вязкости жидкости, и обратно пропорционален частоте вращения измерительного ротора n .

После подстановки (6) в (3) получим

$$\eta = \frac{h \cdot 2\pi n \cdot Kn \cdot r}{2\pi n S r^2} = \frac{hKn}{S r^2} \tau . \quad (7)$$

Таким образом, при измерении вязкости по интервалу времени τ полностью исключается значение частоты вращения измерительного ротора из алгоритма измерения.

Для обеспечения высокой точности измерения вязкости необходимо также выполнить условие

$$\frac{h \cdot Kn}{S r^2} = Const . \quad (8)$$

Повышенные требования предъявляются к точности изготовления и поддержания размеров измерительного ротора и измерительного цилиндра. Особенно это относится к радиусу измерительного ротора, значение которого входит в формулу в квадрате. На точность измерения вязкости влияет также нестабильность коэффициента жесткости измерительной пружины Kn .

Угол закручивания измерительной пружины выбирается таким, чтобы обеспечить линейность функции преобразования (4) и постоянство коэффициента Kn . На практике этот угол не превышает $30-40^\circ$ при максимальной вязкости жидкости. Поэтому прорезы на дисках для прохождения светового потока оптопар располагаются под углом 45° , при этом число прорезей равно четырем.

Длительность τ широтно-импульсного сигнала с выхода триггера T измеряется с помощью микроконтроллера K , в качестве которого используется макросхема AT-Mega8 фирмы ATMEL.

Микроконтроллер производит анализ и измерение ШИМ-сигнала и преобразует его в цифровой код.

Для уменьшения случайной составляющей погрешности измерения значение ШИМ-сигнала усредняется за время двух оборотов измерительного ротора. При четырех прорезях на дисках микроконтроллер вычисляет средние арифметические значения результатов восьми измерений. Результат измерения вязкости через дешифратор выводится на четырехразрядный светодиодный индикатор.

Градуировка прибора проводится по двум точкам с помощью эталонной жидкости, имеющей заданную вязкость.

Принятые меры повышения точности измерения позволили в качестве электропривода использовать малогабаритные двухфазные синхронные электродвигатели

переменного тока без стабилизации частоты вращения и снизить погрешность измерения вязкости до 1 %, что соответствует лучшим мировым образцам.

Другие методы повышения точности измерения вязкости изложены в [2].

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Кухлинг Х. Справочник по физике: Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 520 с.
2. Кузнецов В.А. Методы повышения помехоустойчивости и точности средств измерений: Учеб. пособие / Сост. В.А. Кузнецов. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2011. – 68 с.

Статья поступила в редакцию 9 апреля 2012 г.

A ROTATION TECHNIQUE OF VISCOSITY MEASUREMENT NOT DEPENDENT ON ROTATION FREQUENCY

V.A. Kuznetsov

Samara State Technical University
244, Molodogvardeyskaya st., Samara, 443100

A theory of viscosity measurement by using a rotation technique, the operation principle and the design of the developed viscosimeter are described. A new way of measuring signal processing by intermediate transformation into a time interval is proposed. The methods of increasing viscosity measurement accuracy are given.

Keywords: *viscosity, rotating technology of viscosity measurement, microcontroller, measurement accuracy increase.*