

А. Г. ДЬЯКОВ, канд. техн. наук, доц. ХГУПТ,
А. Ф. ДАНИЛЕНКО, канд. техн. наук, доц. НТУ “ХПИ”, (г. Харьков)

ИЗМЕРЕНИЕ ВЯЗКОСТИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

Розглянуто підходи до побудови системи вимірювання в'язкості харчових продуктів. Найбільша увага приділена побудові і дослідженню пристроїв вимірювання крутячого моменту в досить малих діапазонах зміни коефіцієнта в'язкості, як одного з основних показчиків, що використовується при дослідженнях харчових продуктів. На основі аналізу вимог до точності вимірювання параметрів обґрунтована і запропонована структура системи управління приладом вимірювання в'язкості.

The Considered approaches to building of the system of the measurement to viscosity of the foodstuffs. The Most attention is spared building and study device measurements turning moment of the material in small range of the change the factor to viscosity, as one of the main pointers, used at study of the foodstuffs. The Analyzed interaction perceiving element touching with under investigation liquid and transformation to viscosity of the product at moment of the resistance to rotation. On base of the analysis of the requirements to accuracy of the measurement parameter is motivated and offered structure managerial system by instrument of the measurement to viscosity.

В общественном питании применяются продукты и вещества с самыми разнообразными свойствами. Заранее отнести их к какому-либо определенному типу жидкости не представляется возможным.

Постановка проблемы. При исследовании различных свойств технологических продуктов широко используется информация об их вязкости. Контролируя изменение вязкости можно оценить влияние технологических добавок на потребительские свойства продукта и наметить пути по обеспечению необходимых показателей. С точки зрения физических процессов вязкость можно рассматривать как проявление трения между отдельными слоями жидкости.

Анализ литературы. Традиционно для измерения вязкости широко применяется ротационный метод измерения параметров вязкости исследуемого продукта [1 – 5].

Взаимосвязь коэффициента вязкости η с моментом сопротивления на бесконечно длинном цилиндре, вращающемся в трубе с жидкостью, определяется соотношением

$$\eta = \frac{M_c - K}{\omega}, \quad (1)$$

где M_c – момент сопротивления на внутреннем цилиндре; K – коэффициент, зависящий от геометрических размеров поверхностей, соприкасающихся с жидкостью; ω – угловая скорость вращения цилиндра. Исходя из (1) общая структура вискозиметра может состоять из следующих блоков:

воспринимающий элемент, чувствительный элемент, устройство отображения информации. Воспринимающий элемент соприкасается с исследуемой жидкостью и преобразует вязкость в момент сопротивления вращению. Чувствительный элемент обеспечивает уравнивание момента сопротивления, возникающего в чувствительном элементе, и преобразование его в электрический сигнал, пропорциональный величине вязкости. Устройство отображения информации осуществляет отображение численного значения измеренной вязкости.

Наиболее простым воспринимающим элементом является конструкция типа цилиндр-цилиндр [6], представленная на рис. 1.

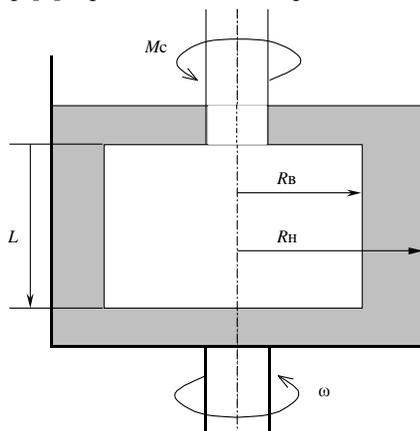


Рис.1. Воспринимающий вискозиметра элемент типа цилиндр-цилиндр

Вязкость продукта в этом случае определяется выражением

$$\eta = \frac{M_c (R_n^2 - R_b^2)}{4\pi L R_n^2 R_b^2 \omega} g, \quad (2)$$

где R_n , R_b – радиусы наружного и внутреннего цилиндра соответственно; L – высота воспринимающего цилиндра в измерительном зазоре; ω – скорость вращения наружного цилиндра. Из выражения (2) следует, что вязкость пищевого продукта определяется как геометрией цилиндров вискозиметра, так и скоростью вращения наружного цилиндра ω .

Цель статьи. Создание вискозиметра, позволяющего определять достаточно широкий диапазон вязкостей продуктов питания, имеющего электропривод, обеспечивающий стабильное вращение цилиндра воспринимающего элемента с малыми скоростями в большом диапазоне их изменения. Чувствительный элемент должен обеспечивать точное и стабильное измерение момента сопротивления M_c в широком диапазоне

момента вращения M_b . Наибольшие технические трудности представляет создание привода, обеспечивающего плавный разгон и стабильное вращение при малой скорости (до 10 об/мин), а также обеспечение высокой точности измерения положения чувствительного элемента [7].

Обеспечение стабильного вращения наружного цилиндра наиболее просто обеспечить применением частотного управления исполнительным двигателем. Применение шаговых двигателей для вращения на малой скорости является проблематичным в виду неравномерности хода, обусловленного переключением полюсов [8]. Наиболее приемлемым решением данной проблемы является применение синхронных двигателей с частотным управлением [5]. Учитывая то обстоятельство, что момент, создаваемый двигателем значительно превышает момент сопротивления, контроль скорости вращения наружного цилиндра вискозиметра можно не производить. Кроме того, традиционные решения обеспечения точности вращения на малых оборотах не являются эффективными и усложняют общую схемную реализацию вискозиметра. В этом случае структурная схема управления вращением наружного цилиндра имеет вид, представленный на рис. 2.

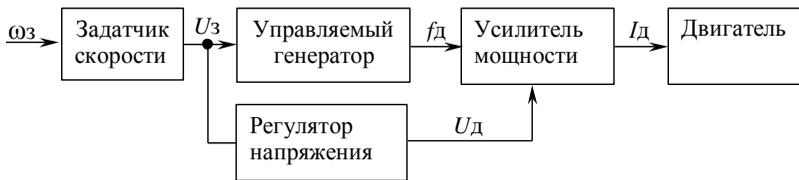


Рис. 2. Структурная схема привода вращения вискозиметра

Задатчик скорости преобразует значение требуемой скорости вращения ω_z в электрический сигнал пропорциональный этому вращению. Выходной сигнал – U_z , воздействует на управляемый генератор и регулятор напряжения. Управляемый генератор вырабатывает синусоидальный сигнал, частота f_d которого определяется сигналом задатчика, а регулятор напряжения изменяет величину напряжения U_d , поступающего на усилитель мощности для изменения амплитуды напряжения, подаваемого на электропривод цилиндра.

Заданием соотношения между f_d и U_d обеспечивается постоянство момента вращения электродвигателя привода при изменении требуемой скорости вращения цилиндра вискозиметра. Измерение момента сопротивления M_c , как показали исследования, целесообразно производить используя магнитоэлектрический преобразователь с соответствующей следящей системой по положению ротора [6].

При протекании тока через преобразователь вращающий момент от действия тока i находится из выражения

$$M_a = B S w i, \quad (3)$$

где B – магнитная индукция в зазоре магнитопровода преобразователя; w – число витков в рамке; S – площадь рамки. Из соотношения (3) следует, что вращающий момент пропорционален току i и может быть представлен в виде $M_b = ki$. Учитывая, что $M_c = f(\eta)$, то измеряя ток в катушке преобразователя можно определить вязкость контролируемого продукта $\eta = k_1 i$, где k_1 – коэффициент, зависящий от геометрических размеров воспринимающего элемента. Например, для предложенного цилиндрического преобразователя вязкость продукта можно определить из выражения

$$\eta = Ai, \tag{4}$$

где $A = \frac{K(R_i^2 - R_a^2)}{4\pi L R_i^2 R_a^2 \omega} g$.

Основная задача, решаемая при разработке чувствительного элемента – обеспечение равенства M_b и M_c с высокой точностью. Достичь этого можно, применяя следящую систему по положению чувствительного элемента, структурная схема которой изображена на рис. 3.



Рис. 3. Структурная схема управления положением чувствительного элемента

При воздействии M_c на чувствительный элемент он проворачивается на угол α , что фиксируется датчиком положения и на выходе его появляется сигнал $U = k_p \alpha$. Данный сигнал в системе анализируется на знак рассогласования с нулевым уровнем порога, соответствующим начальному положению чувствительного элемента и вырабатывает сигнал рассогласования $dU = k_p \alpha$, пропорционально величине и знаку отклонения чувствительного элемента. Сигнал управления с выхода усилителя мощности воздействует на электромагнитный преобразователь для возвращения чувствительного элемента в исходное уравновешенное положение.

Сигнал управления также через соответствующий АЦП может быть подан на компьютер для оперативного измерения и отображения значения вязкости η и накопления результатов измерений для последующей статистической обработки данных о процессе изменения вязкости продукта. Кроме того, контроллер системы управления через выходной порт формирует уставку задания скорости вращения наружного цилиндра.

С учетом рассмотренных особенностей отдельных элементов устройств структурная схема вискозиметра имеет вид, представленный на рис. 4.



Рис. 4. Структурная схема вискозиметра

Работа устройства по предложенной структурной схеме происходит следующим образом: после начала вращения наружного цилиндра воспринимающий элемент начинает поворачиваться на некоторый угол α , и на выходе чувствительного элемента возникает сигнал рассогласования U , поступающий в блок стабилизации позиционирования ротора чувствительного элемента. Управляющий сигнал γ , обеспечивающий уравнивание момента сопротивления, обусловлен величиной вязкости измеряемого продукта. На выходе преобразователя управления появляется сигнал η , пропорциональный значению вязкости продукта с учетом коэффициента, который учитывает соотношения элементов системы измерения.

Выводы: Предложена и рассмотрена структура ротационного вискозиметра и основных его элементов, влияющих на точность определения значения вязкости. На основе проведенного анализа предложена структурная схема вискозиметра для задания и стабилизации скорости вращения наружного цилиндра и измерения момента сопротивления a , следовательно, и вязкости контролируемого пищевого продукта.

Список литературы: 1. Болтон У. Карманный справочник инженера – метролога. – М.: Изд. дом "Додэка - XXI", 2002. – 383 с. 2. Измерительные пробники / Сост. А. А. Хохлян. – М.: ИП РадиоСофт, ЗАО журнал "Радио", 2003. – 220 с. 3. Головки Д. Б. *та ін.* Основы метрології вимірювань. – К.: Либідь, 2001. – 407 с. 4. Гладкой В.Н. Вискозиметрия металлургических расплавов. – М.: Металлургия, 1989. – 94 с. 5. Сухомлинов Г.Л. Контролирующая система объемного расхода жидкости на основе микропроцессора // Измерительная техника, – 2004. – № 4. – С. 27–30. 6. Крутоголов В.Д., Кулаков В. М. Ротационные вискозиметры. – М.: Машиностроение, 1984. – 112 с. 7. Вострокнутов Н.Н. Цифровые измерительные устройства: Теоретические погрешности, испытания, проверка. – М.: Энергоатомиздат 1990. – 207 с. 8. Опейко О.Ф. Синтез системы управления мощностью электропривода // Электротехника, 2004. – № 3. – С. 50 – 55. 9. Соловьев А. Н., Каплун А.Б. Вибрационный метод измерения вязкости жидкостей / Отв. ред. член-кор АН СССР – С.С. Кутатуладзе. – Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1970. – 157 с.

Поступила в редакцию 22.09.2004