

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ЖИРОВ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Н. Ф. Майникова, С. О. Васильев, А. О. Антонов, О. Н. Попов

*Кафедра «Энергообеспечение предприятий и теплотехника»,
ФГБОУ ВПО «ТГТУ»; teplotehnika@nnn.tstu.ru*

Ключевые слова и фразы: жиры; измерительная система; неразрушающий контроль качества; температура застывания; температура плавления.

Аннотация: Представлено описание мобильной измерительной системы, позволяющей неразрушающим способом определять значения температур плавления и застывания жиров растительного и животного происхождения в целях их идентификации. Способ основан на регистрации скорости нагрева (остывания) от времени и значения температуры образца. При нагревании (остывании) жиров значения скорости нагрева изменяются аномально в области фазовых переходов. Проведена экспериментальная проверка работоспособности измерительной системы на нескольких образцах.

Применение мобильного варианта измерительной системы позволяет проводить испытания мясной продукции, сыров, кондитерских изделий и других пищевых продуктов в полевых условиях, что существенно удешевляет и упрощает анализ.

Температура плавления имеет большое практическое значение в технологических процессах для контроля процесса гидрогенизации жиров, качества сырья и потребительских свойств готовой продукции. Температура плавления является константой, очень чувствительной к примесям, поэтому по ее значению можно провести идентификацию жира и определить степень его чистоты [1].

При охлаждении жидкий жир переходит в твердое состояние. Плавление и застывание представляют собой обратимые процессы. Для химически чистых индивидуальных веществ значения температуры плавления и застывания совпадают. Для жиров (смеси жирных кислот и триглицеридов) значение температуры застывания ниже значения температуры плавления, что обусловлено различными показателями температуры застывания триглицеридов с разным жирнокислотным составом, эффектом переохлаждения и наличием полиморфизма [1].

На предприятиях пищевой промышленности значения температур плавления и застывания жира определяются в ручном режиме. Для определения температуры застывания жира записывают показания термометра, находящегося в сосуде Жукова, с дальнейшим построением кривой и определением температуры застывания в соответствии с методикой [1, 2].

Основными преимуществами автоматизированных приборов являются: возможность определения качества жира по кривой расплавления; автоматизация измерения; отсутствие субъективной погрешности анализа; возможность документирования полученных результатов.

Спроектирован четырехканальный автоматический измеритель температуры застывания жира, который содержит четыре сосуда Жукова со встроенными дат-

чиками температуры. Датчики через устройства связи подключены к персональному компьютеру [3]. Разработан лабораторный прибор автоматического контроля – измеритель температуры плавления и застывания жира. Прибор снабжен цилиндрической стеклянной кюветой, которая заполняется анализируемым жиром, охлаждается и устанавливается в нагреватель. Плавный нагрев кюветы с жиром проводится по программам от персонального компьютера через блок управления. Температура плавления и график перехода жира из твердого состояния в жидкое при нагреве, а также температура застывания жира и график перехода жира из жидкого состояния в твердое при остывании выводятся на экран компьютера. Пределы измерения температуры плавления (застывания) жира от 12 до 50 °С [4].

Разработанный в Тамбовском государственном техническом университете мобильный вариант портативной измерительной системы (ИС) состоит из персонального компьютера (ПК), измерительно-управляющей платы, измерительного зонда (ИЗ), блока управления и питания (БУП). Измерительный зонд обеспечивает создание теплового воздействия на исследуемый объект с помощью плоского круглого нагревателя (Н) [5, 6].

Схема измерительной системы представлена на рис. 1.

Мощность и длительность теплового воздействия встроенного в подложку ИЗ нагревателя задаются программно. Регулирующий сигнал поступает с цифро-аналогового преобразователя (ЦАП) измерительно-управляющей платы на вход БУП, где усиливается и подается на полевой транзистор, который в зависимости

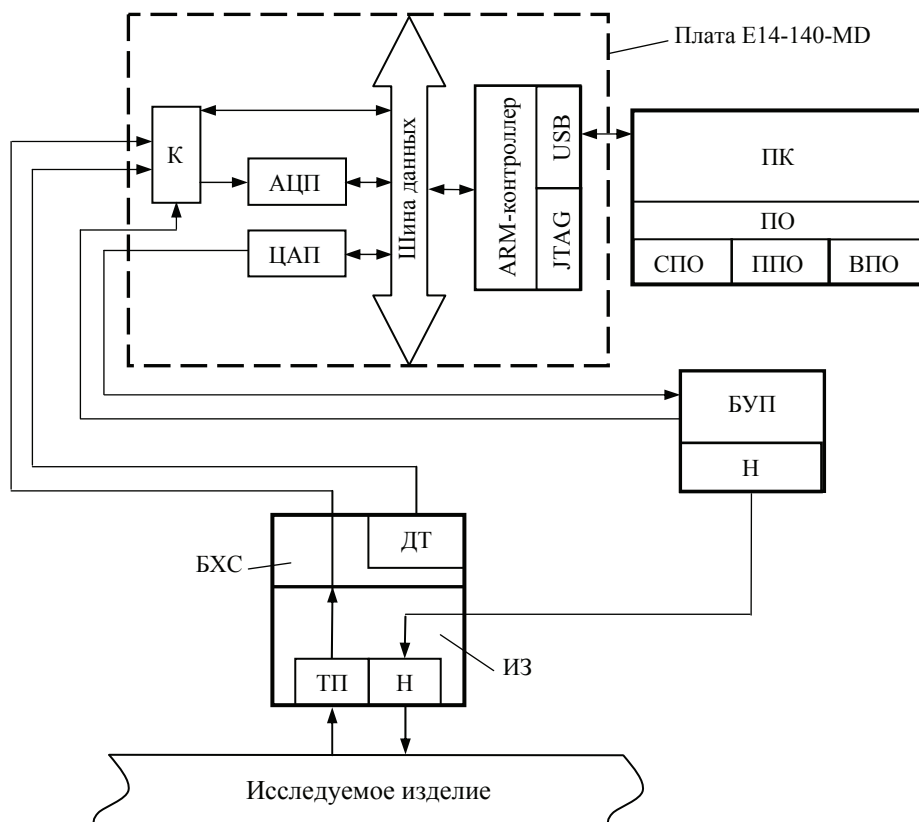


Рис. 1. Схема измерительной системы:

ПО – программное обеспечение; СПО, ППО, ВПО – системное, прикладное и вспомогательное программное обеспечение соответственно; БХС – блок холодных слоев; ДТ – датчик температуры; ТП – термоэлектрический преобразователь

от регулирующего сигнала изменяет напряжение на выходе БУП так, чтобы нагреватель выделил требуемую мощность.

Измерительный зонд устанавливают контактной стороной на поверхность исследуемого объекта, температура на поверхности которого контролируется ТП. Сигнал с ТП поступает через коммутатор (К) на аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) измерительно-управляющей платы.

Плата E14-140-MD содержит следующие основные блоки:

- ARM-контроллер осуществляет управление платой, поддерживает интерфейсы USB и отладочный JTAG;
- коммутатор предназначен для коммутации сигналов с аналоговых входов;
- 14-битный АЦП последовательного приближения. Буфер АЦП может хранить один 14-битный отсчет АЦП в формате (8 + 8) бит с расширенным знаком дополнительного кода;
- двухканальный ЦАП (16 бит)

работает не только в асинхронном, но и синхронном режиме (до 200 кГц), имеет большой рабочий выходной ток и нормированные характеристики при воспроизведении переменного напряжения.

Измерительная система реализует алгоритмы управления режимами эксперимента, определения значений температуры плавления и застывания. ИС позволяет неразрушающим способом определять температурные точки плавления жиров, что может служить признаком, например, для решения вопроса о типе мяса, так как по точке плавления жира можно легко отличить конину от говядины или свинину от мяса собаки.

Для демонстрации работоспособности ИС на рис. 2 представлены полученные экспериментально результаты неразрушающего испытания объекта – говядины. На рисунке 3 объектом неразрушающего контроля с применением ИС являлся образец свинины.

Режимные параметры (на нагревателе) в ходе эксперимента: ток $I = 0,5$ А; напряжение $U = 6$ В. На представленных зависимостях скорости изменения температуры V^* в центре круглого плоского нагревателя (в виде диска диаметром $d = 4$ мм) отнесены ко времени τ (см. рис. 2, б) и значению температуры T_s в центре нагревателя (см. рис. 2, в) при исследовании жира говядины. Процесс плавления жира зафиксирован при 45°C , что позволяет его идентифицировать.

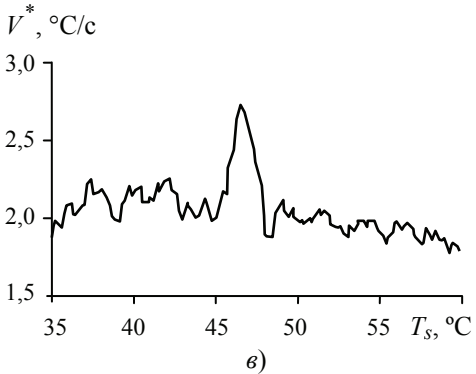
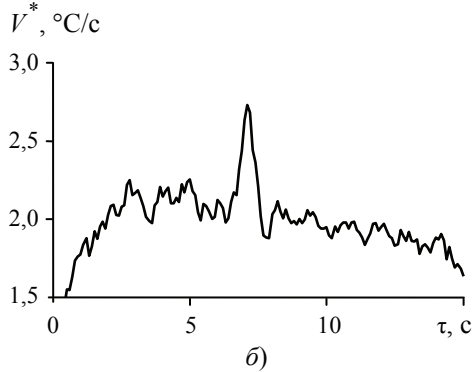
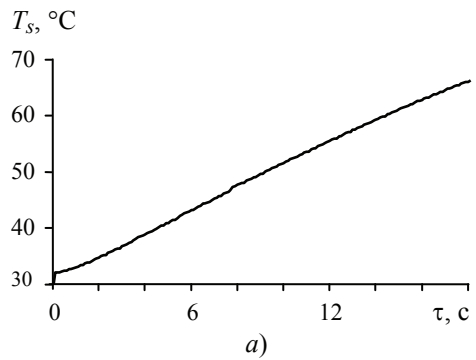


Рис. 2. Зависимости $T_s = f(\tau)$, $V^* = f(\tau)$, $V^* = f(T_s)$ (объект – говядина)

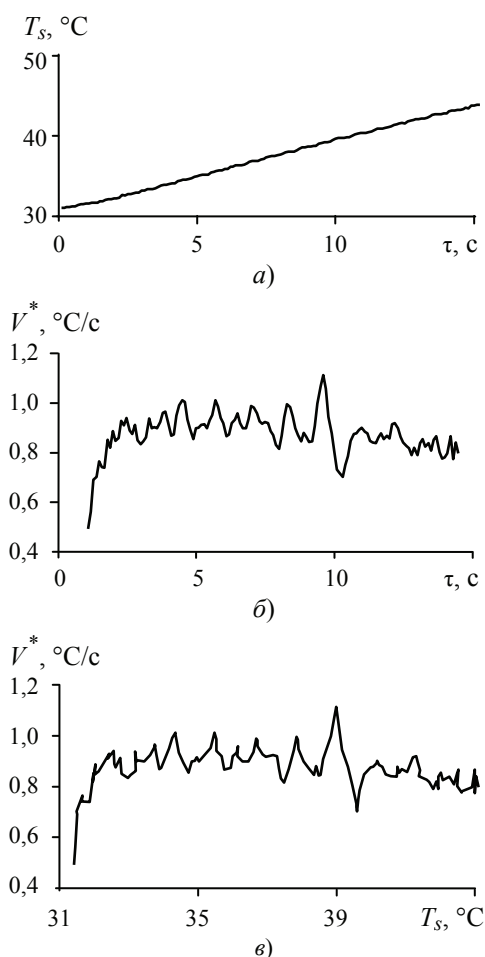


Рис. 3. Зависимости $T_s = f(\tau)$, $V^* = f(\tau)$, $V^* = f(T_s)$ (объект – жир свинины)

На представленных зависимостях скорости изменения температуры V^* в точке, расположенной в плоскости контакта подложки ИЗ и объекта исследования, отнесенных ко времени τ (см. рис. 3, б) и значению температуры T_s в центре нагревателя (рис. 3, в) при исследовании жира свинины, плавление жира, произошедшее при 39°C , позволяет идентифицировать данный вид жира. Режимные и конструктивные характеристики эксперимента, результат которого представлен на рис. 3, соответствовали опытным данным, представленным на рис. 2.

Для расчета значений скорости изменения температуры V^* термограмму разбивали на интервалы: $1, \dots, k$; $2, \dots, k + 1$; \dots ; $u - k + 1, \dots, u$, где k – число точек в интервале, целое положительное нечетное число ($k \geq 3$); u – число точек в термограмме. Определение линии регрессии для каждого интервала при нагреве и остывании проводили по методу наименьших квадратов. Строили прямые по k точкам термограммы, определяли скорости изменения температуры, которые относили к температуре середины каждого интервала T_s . Таким образом, удалось повысить чувствительность измерений и получить запись в «спектральной форме», то есть в виде пиков в тех температур-

но-временных областях, где обнаруживаются различия в значениях «структурочувствительных» свойств (в областях, в которых возможны фазовые переходы, сопровождающиеся тепловыми эффектами).

Регистрируя первую производную от температуры по времени, выражающую скорость изменения температуры, возможно осуществлять неразрушающий контроль температуры плавления (застывания) жиров без калибровки ИС.

Измерительная система позволяет определять также значения теплофизических свойств исследуемых объектов [7, 8], фиксировать плавление и застывание жира по аномалиям теплофизических свойств [9].

Известные методы [1 – 4] не позволяют экспрессно неразрушающим способом определять значения температуры плавления и застывания жиров. Данная модификация измерительной системы выполнена в виде портативного мобильного варианта, что разрешает проводить испытания мясной продукции, сыров, кондитерских изделий и других пищевых продуктов в полевых условиях (цех предприятия, склад торговой сети, таможня). Применение мобильного варианта ИС, реализующего неразрушающий способ, существенно удешевляет и упрощает анализ продуктов, при нагреве и остывании которых возможны тепловые эффекты.

Список литературы

1. Технологический контроль жиров и жирозаменителей: учеб. пособие / под ред. О. Б. Рудакова. – СПб. : Лань, 2011. – 576 с.
2. ГОСТ Р 52179–2003. Маргарины, жиры для кулинарии, кондитерской, хлебопекарной и молочной промышленности. – Введ. 2003–12–29. – М. : Изд-во стандартов, 2004. – 36 с.
3. Четырехканальный измеритель температуры застывания жира [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://td-izmerenie.ru/analit_control/control/ (дата обращения: 13.05.2014).
4. Измеритель температуры плавления и застывания жира [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://td-izmerenie.ru/analit_control/control/ (дата обращения: 13.05.2014).
5. Zhukov, N. P. Modeling of the Process of Heat Transfer from a Plane Heat Source of Constant Strength in Thermophysical Measurements / N. P. Zhukov, N. F. Mainikova // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2005. – Vol. 78, No. 6. – P. 1104 – 1112.
6. Жуков, Н. П. Методы и средства неразрушающего теплового контроля структурных превращений в полимерных материалах : монография / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова, И. В. Рогов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 320 с.
7. Жуков, Н. П. Моделирование процесса теплопереноса от плоского источника тепла при теплофизических измерениях / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова, И. В. Рогов // Вестн. Тамб. гос. техн. ун-та. – 1999. – Т. 5, № 2. – С. 285 – 289.
8. Пат. 2167412 Российская Федерация, МПК G 01 N 25/18. Способ комплексного определения теплофизических свойств материалов / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова, И. В. Рогов ; заявитель и патентообладатель Тамб. гос. техн. ун-та. – № 99103718/28 ; заявл. 22.02.1999 ; опубл. 20.05.2001, Бюл. № 4.
9. Пат. 2493558 Российская Федерация, МПК G 01 N 25/18. Способ неразрушающего определения температурных характеристик структурных переходов в полимерных материалах / Н. П. Жуков, Н. Ф. Майникова, И. В. Рогов ; заявитель и патентообладатель – авторы. – № 2012114150/28 ; заявл. 10.04.2012 ; опубл. 20.09.2013, Бюл. № 26. – 13 с.

The Measuring System of Quality Control of Fats in the Food Industry

N. F. Maynikova, S. O. Vasilyev, A. O. Antonov, O. N. Popov

*Department “Enterprise Energy Supply and Heat Engineering”, TSTU;
teplotehnika@nnn.tstu.ru*

Key words and phrases: chilling temperature; fats; measuring system; melting temperature; non-destructive control of quality.

Abstract: The paper describes a mobile measuring system permitting a nondestructive method to determine the value of the melting and solidification temperature of fats of vegetable and animal origin for the purpose of their identification. The method is based on recording the rate of heating (cooling) on time and temperature of the sample. Under heating (cooling) of fats the values of heating rate vary abnormally in the phase transition. An experimental verification of the working capacity of the measuring system on several samples has been done.

The application of a mobile embodiment of the measuring system allows testing meat products, cheese, confectionery and other food products under field conditions, which greatly simplifies and reduces the cost of analysis.

References

1. Rudakov O.B. (Ed.) *Tekhnologicheskii kontrol' zhirov i zhirozamenitelei* (Process control fat and fat substitutes), St. Petersburg: Lan', 2011, 576 p.
2. Committee of the Russian Federation for Standardization, Metrology and Certification, *GOST R 52179-2003. Margariny, zhiry dlya kulinarii, konditerskoi, khlebopekarnoi i molochnoi promyshlennosti* (National Standard of the Russian Federation. GOST R 52179-2003. Margarines, cooking fats, confectionery, bakery and dairy industries), Moscow: Izdatel'stvo standartov, 2004, 36 p.
3. http://td-izmerenie.ru/analit_control/control/control_59491.html (accessed 13 May 2014).
4. http://td-izmerenie.ru/analit_control/control/control_59490.html (accessed 13 May 2014).
5. Zhukov N.P., Mainikova N.F. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*, 2005, vol. 78, no. 6, p. 1104-1112.
6. Zhukov N.P., Mainikova N.F., Rogov I.V. *Metody i sredstva nerazrushayushchego teplovogo kontrolya strukturnykh prevrashchenii v polimernykh materialakh* (Methods and tools for non-destructive thermal control of structural transformations in polymeric materials), Tambov: Izdatel'stvo FGBOU VPO "TGTU", 2012, 320 p.
7. Zhukov N.P., Mainikova N.F., Rogov I.V. *Transactions of the Tambov State Technical University*, 1999, vol. 5, no. 2, pp. 285-289.
8. Zhukov N.P., Mainikova N.F., Rogov I.V., Tambov State Technical University, *Sposob kompleksnogo opredeleniya teplofizicheskikh svoystv materialov* (Integrated method of determining thermophysical properties of materials), RU, 2001, pat. 2167412.
9. Zhukov N.P., Mainikova N.F., Rogov I.V. *Sposob nerazrushayushchego opredeleniya temperaturnykh kharakteristik strukturnykh perekhodov v polimernykh materialakh* (The method of non-destructive determination of the thermal characteristics of the structural transitions in polymeric materials), RU, 2013, pat. 2493558.

Messkontrollsystem der Qualität der Fette in der Nahrungsmittelindustrie

Zusammenfassung: Es ist die Beschreibung des mobilen Messsystems, das die Bedeutungen der Temperatur des Schmelzens und der Temperatur des Erstarrens der Fette der Pflanzen- und tierischen Herkunft zwecks ihrer Identifizierung mittels der nichtzerstörenden Weise zu bestimmen erlaubt, dargelegt. Die Weise ist auf der Registrierung der Geschwindigkeit der Erwärmung (des Abkühlens) von der Zeit und der Bedeutung der Temperatur des Musters gegründet. Bei dem Erwärmen (dem Abkühlen) der Fette werden die Bedeutungen der Geschwindigkeit der Erwärmung auf dem Gebiet der Phaseübergänge anomal geändert. Es ist die experimentale Prüfung der Arbeitsfähigkeit des Messsystems auf einigen Mustern durchgeführt.

Die Anwendung der mobilen Variante des Messsystems lässt zu, die Prüfungen der Fleischproduktionen, der Käsen, der Konditorerzeugnisse und anderer Lebensmittel in den Feldbedingungen durchführen, was die Analyse wesentlich verbilligt und vereinfacht.

Systeme de mesure du controle de la qualite de la matiere grasse dans l'industrie alimentaire

Résumé: Est présentée la description du système mobile de mesure permettant de définir par un moyen non destructif des grandeurs de la température de la fusion et celle de la coagulation de la matière grasse de la nature végétale et animale dans le but de leur identification. Le moyen est fondé sur l'enregistrement du chauffage (refroidissement) à partir du temps et de la vitesse du chauffage. Est effectué le contrôle de la capacité de travail sur quelques échantillons.

L'emploi de la variante mobile du système de mesure permet de réaliser les essais des produits de viande, des fromages, des articles de confiserie et autres dans les conditions sur le terrain ce qui va simplifier l'analyse.

Авторы: *Майникова Нина Филипповна* – доктор технических наук, профессор кафедры «Энергообеспечение предприятий и теплотехника»; *Васильев Сергей Олегович* – аспирант кафедры «Энергообеспечение предприятий и теплотехника»; *Антонов Антон Олегович* – ассистент кафедры «Энергообеспечение предприятий и теплотехника»; *Попов Олег Николаевич* – ассистент кафедры «Энергообеспечение предприятий и теплотехника», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».

Рецензент: *Глинкин Евгений Иванович* – доктор технических наук, профессор кафедры «Биомеханическая техника», ФГБОУ ВПО «ТГТУ».
