

УСТРОЙСТВО БЕСКОНТАКТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Вотинов М.В., Маслов А.А.

Мурманский государственный технический университет, г. Мурманск, Российская Федерация
e-mail: votinovmv@yandex.ru

Описано разработанное устройство для бесконтактного измерения температуры в термокамерах пищевых производств с использованием инфракрасных датчиков температуры.

Ключевые слова: бесконтактное измерение температуры, контроль температуры, инфракрасный датчик.

Введение

Температура является важнейшим технологическим параметром в пищевой промышленности. От нее зависят основные потребительские параметры, такие как вкус, цвет, вид, а также производственные параметры (время изготовления, сохранность и др.) и в итоге объемы готовой продукции.

Многие технологические процессы пищевой промышленности, такие как сушка, копчение мясной и рыбной продукции и др., требовательно относятся к контролю как общей температуры в термокамере, так и температуры поверхности обрабатываемого сырья.

При высокотемпературной обработке сырья требования к качественному контролю температуры поверхности обусловлены недопущением сильного перегрева поверхности продукта во избежание спекания его поверхностных слоев и получения эффекта «корочки», который сильно влияет на скорость технологического процесса, а также на ухудшение органолептических свойств готового продукта.

Проблема точного определения контролируемой температуры поверхности сырья является актуальной в пищевой промышленности.

В настоящее время для контроля температуры в пищевой промышленности в основном используются обычные стационарные контактные датчики температуры: термодпары или термосопротивления. Однако их использование приводит к ряду проблем:

- должны соблюдаться жёсткие гигиенические требования при эксплуатации датчиков;

- точное измерение температуры контактными датчиками возможно только при хорошем тепловом контакте с измеряемым объектом;

- существует ограниченный выбор зон контроля, не всегда лучший с точки зрения оптимального регулирования технологического процесса;

- налипание на датчик измеряемого продукта в зоне измерения приводит к ошибкам в измерении, снижению скорости управления технологическим процессом.

Решить проблемы, присущие контактным датчикам температуры, способны инфракрасные датчики температуры, которые позволяют бесконтактно измерять температуру продукта непосредственно в процессе производства.

Существует зарубежный опыт в использовании бесконтактных датчиков температуры [1–3]. Однако в качестве бесконтактных датчиков температуры в указанных работах выбраны датчики фирм *Optris* и *Raytek*. Изделия данных производителей отличаются хорошими оптическими характеристиками, имеют широкие диапазоны как измеряемых, так и рабочих температур. Но их стоимость (600–1800 \$) может быть основным препятствующим фактором для использования на ряде предприятий.

Российская промышленность производит бесконтактные инфракрасные датчики температуры (ЗАО «Евромикс», ООО «КЕЛЬВИН» и др.), которые в разы дешевле (200–500 \$), чем продукция фирмы *Optris*.

Обычный диапазон температур пищевого производства находится в пределах от –30 до +400 °С, однако отечественные датчики темпе-

ратуры имеют меньшие рабочие диапазоны температур и не могут непосредственно размещаться в термокамерах технологических установок. Поэтому существует актуальная задача разработки устройства бесконтактного измерения температуры, основанного на применении недорогих отечественных датчиков температуры и способного измерять высокую температуру в термокамерах при диапазонах рабочих температур от 60 °С и меньше.

Научная новизна исследования заключается в том, что впервые разработано и представлено устройство, позволяющее решить поставленную задачу.

Достоинства и недостатки инфракрасных датчиков температуры

Инфракрасные датчики лишены проблем, присущих контактному датчикам температуры. Они практически безынерционны, работают в реальном масштабе времени, позволяют измерять температуры от – 40 до + 2200°С.

Принцип действия инфракрасных датчиков температуры основан на измерении теплового излучения тел.

К основным параметрам, которые необходимо учитывать при выборе модели инфракрасного датчика температуры относятся:

- спектральный диапазон и диапазон температур измеряемого объекта;
- показатель визирования;
- излучательная способность измеряемого объекта (коэффициент черноты).

При выборе инфракрасных датчиков температуры необходимо учитывать вхождение спектрального диапазона излучения продукта в спектральный диапазон чувствительности самого датчика.

Для пищевой промышленности подходят инфракрасные датчики температуры со спектральным диапазоном 8–14 или 6–14 мкм, которые измеряют температуру объектов, не попадающих под определение «отражающие или металлические». К таковым относятся текстиль, пищевые продукты, резина, толстый непрозрачный пластик, картон, дерево, краска, земля, камень и др.

Современные инфракрасные датчики температуры имеют показатель визирования достигающий 1:300.

Показатель визирования определяется как отношение диаметра пятна визирования – D

(то, что «видит» датчик) к расстоянию между датчиком и объектом – L , рисунок 1 (D/L) (рисунок 1).

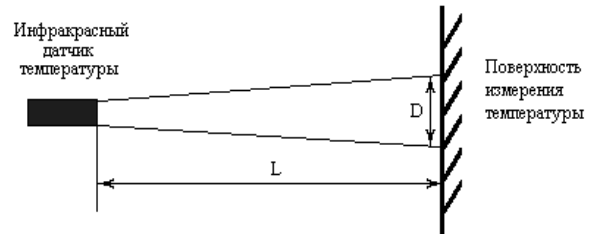


Рисунок 1 – Определение показателя визирования

Точность измерения не зависит от расстояния до тех пор, пока размер объекта больше измеряемого диаметра. Измеренная температура будет не верна, если размер объекта меньше диаметра пятна контроля. Так как объект, температура которого должна быть измерена, не заполняет весь диаметр пятна контроля, инфракрасный датчик температуры в данном случае будет принимать излучения от других объектов окружающей среды, которые оказывают влияние на точность измерения.

Излучательные свойства объекта определяются свойствами материала и чистотой обработки поверхности объекта, а не цветом его поверхности. Излучательная способность (или коэффициент черноты) показывает отношение энергии теплового излучения «серого тела» согласно закону Стефана–Больцмана, к излучению «абсолютно черного тела» при той же температуре. У большинства органических материалов, таких как дерево, пластик, бумага, излучательная способность находится в диапазоне 0,8–0,95 от абсолютно черного тела.

Для определения эффективности инфракрасных датчиков температуры по сравнению с другими видами датчиков температуры был поставлен эксперимент на малогабаритной сушильной установке, устройство которой приведено в работе [4]. В эксперименте сравнивались показания температуры от инфракрасного датчика температуры «Кельвин икс 4-20» фирмы ЗАО «Евромикс» с показателем визирования 1:1, термопары J -типа, а также ртутного стеклянного лабораторного термометра.

В качестве объекта исследования температуры использовалось филе трески. Инфракрасный датчик температуры позиционировался в термокамере малогабаритной сушильной уста-

новки таким образом, чтобы поверхность полуфабриката полностью входила в диаметр контроля датчика.

По таблице излучательной способности объекта для филе трески был выбран коэффициент излучательной способности 0,95 и занесен в инфракрасный датчик температуры «Кельвин ИКС» с помощью пульта Кельвин АРТО.

Термопара J-типа, а также ртутный стеклянный лабораторный термометр имели тесный тепловой контакт с полуфабрикатом.

Начальные показания всех приборов были идентичными. Начальная температура составила 12 °С. Нагрев филе трески планировалось проводить до температуры 55 °С во избежание повреждения инфракрасного датчика температуры, ввиду того, что максимальная рабочая температура составляет 85 °С. Результаты эксперимента представлены на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2, показания всех приборов установились на отметке 55 °С. Ввиду своей безинерционности инфракрасный датчик показывал температуру полуфабриката на промежуток времени 2–22 мин более точно, чем инерционная термопара J-типа, а также ртутный стеклянный лабораторный термометр. Безусловно, в установившемся режиме все три прибора показывали одинаковую температуру – 55 °С. Однако

в переходных процессах система автоматического управления, получая некорректную информацию с инерционных датчиков, может выдать некорректное управляющее воздействие на исполнительные механизмы, что может привести к сильному перегреву поверхности продукта и даже к спеканию его поверхностных слоев, что недопустимо.

Следует отметить, что идентичность начальных и конечных показаний приборов свидетельствует о правильном выборе коэффициента излучательной способности для филе трески.

Эксперимент наглядно показывает эффективность инфракрасных датчиков температуры и целесообразность использования их в пищевой промышленности.

Однако инфракрасные датчики температуры обладают рядом недостатков, в связи с чем, возникает ряд проблем при их использовании в промышленности:

1. Трудность позиционирования над сырьем, требующим температурного контроля. В установках, представляющих термокамеры, где температуры достигают 200–400 °С, позиционирование инфракрасных датчиков невозможно, ввиду их небольшого диапазона рабочих температур, в среднем 85 °С. Инфракрасные датчики температуры попросту выйдут из строя.

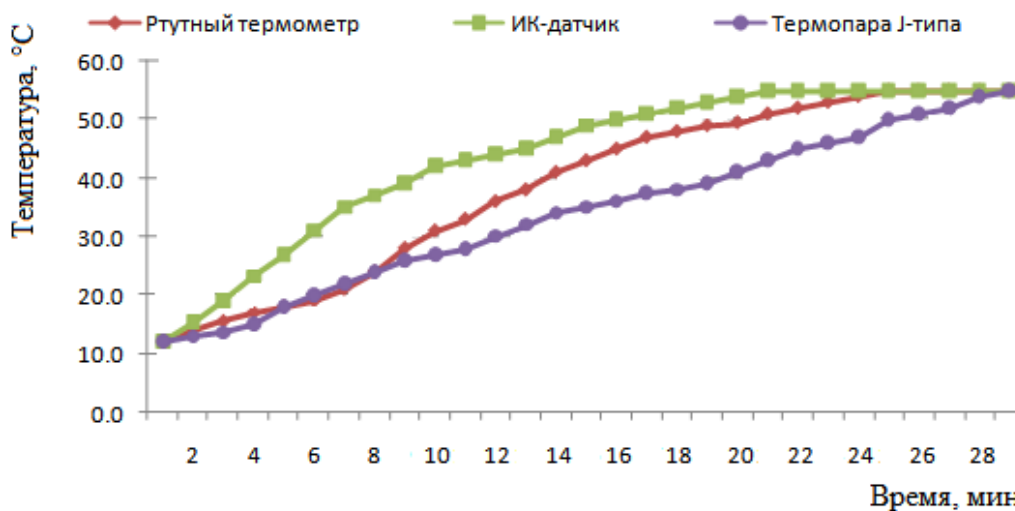


Рисунок 2 – Результаты эксперимента по измерению температуры филе трески тремя различными устройствами

2. Каждая конкретная модель инфракрасных датчиков температуры, помимо диапазона измеряемых температур, обладает собственным показателем визирования. При значении показателя визирования 1:1 и при зна-

чительном удалении датчика от продукта (сырья), показания температуры будут не точными, ввиду попадания в область визирования датчика сторонних инфракрасных излучений.

Инфракрасные датчики температуры с показателями визирования порядка 1:100 отличаются хорошей точностью, однако они в разы дороже вышеописанных датчиков. Применение их в установках пищевой промышленности невыгодно с экономической точки зрения.

Принцип действия и структурная схема устройства для непрерывного бесконтактного измерения температуры

Для устранения вышеуказанных недостатков было разработано устройство для непрерывного бесконтактного измерения температуры с использованием стационарных инфракрасных датчиков. Устройство зарегистрировано в федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам и имеет патент Российской Федерации на полезную модель № 109559 [5].

Устройство для непрерывного бесконтактного измерения температуры успешно прошло апробацию на инфракрасном дымогенераторе конструкции «Ершова–Шокиной», а также введено в конструкцию малогабаритной сушильной установки.

Данное устройство обладает следующими достоинствами:

- возможностью использования стационарных инфракрасных датчиков температуры в любых герметичных термокамерах пищевых производств ввиду уникальной разработанной конструкции устройства;
- возможностью использования стационарных инфракрасных датчиков с показателями визирования порядка 1:1 без потери точности измерения температуры ввиду принудительного ограничения области визирования инфракрасного датчика;
- возможностью использования сменных стационарных инфракрасных датчиков температуры разных производителей и разной конфигурации;
- компактностью устройства, вследствие малых габаритов конструкции;
- дешевизной устройства ввиду возможности использования сравнительно недорогих стационарных инфракрасных датчиков температуры;
- механической и температурной защитой стационарного инфракрасного датчика температуры;
- простотой конструкции.

Структурная схема устройства показана на рисунке 3.

В данном техническом решении стационарный инфракрасный датчик температуры, представленный на рисунке 3 моделью «Кельвин икс 4-20» фирмы ЗАО «Евромикс» (1), устанавливается в съемную насадку-фиксатор (8), расположенную в охлаждающем стакане (7), препятствующем выходу газов, теплого воздуха из термокамеры.

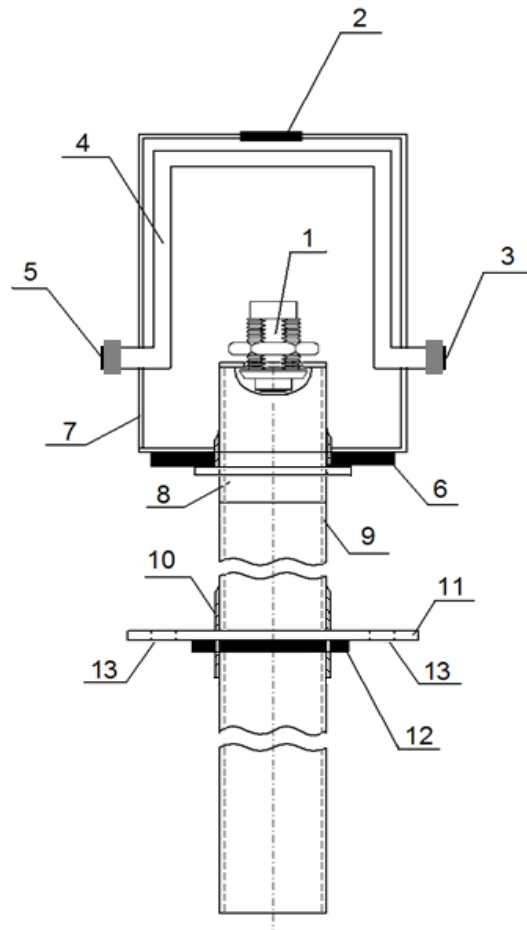


Рисунок 3 – Фиксирующее наводящее устройство для непрерывного бесконтактного измерения температуры с использованием стационарного инфракрасного датчика температуры: 1 – стационарный инфракрасный датчик температуры; 2 – резиновое кольцо-уплотнитель для вывода контактной группы проводов стационарного инфракрасного датчика (питание, информационные линии); 3 – вход водяного охлаждения; 4 – шланг для водяного охлаждения; 5 – выход водяного охлаждения; 6 – резиновое кольцо-уплотнитель охлаждающего стакана; 7 – охлаждающий стакан (в разрезе); 8 – съемная насадка-фиксатор стационарного инфракрасного датчика температуры; 9 – удлиняющая труба; 10 – резьба; 11 – крепежное соединение к корпусу термокамеры; 12 – резиновое кольцо-уплотнитель; 13 – крепежные отверстия

Контактная группа проводов датчика (питание, информационные линии) пропускается через резиновое кольцо-уплотнитель (2), которое в свою очередь предназначено для герметизации устройства в местах резьбовых соединений.

Перемещаясь по резьбе (10), устройство позиционируется и фиксируется к термокамере с помощью крепежного соединения (11). Для дополнительного охлаждения стационарного инфракрасного датчика используется система водяного охлаждения.

Использование удлиняющей трубки (9) позволяет:

- ограничить область визирования стационарного инфракрасного датчика;
- препятствовать попаданию в область визирования датчика сторонних инфракрасных излучений;
- обеспечивать удаленность чувствительного элемента стационарного инфракрасного датчика температуры от термокамеры, что уменьшает тепловое воздействие на него.

Во избежание влияния излучения удлиняющей трубки на результат измерения она должна быть выполнена из материала, излучение которого не влияет на чувствительный элемент инфракрасного датчика температуры, на пример из алюминия, имеющего отражающую поверхность.

Однако следует учитывать, что весь спектральный диапазон излучения тела, температура которого подвержена контролю, очень широкий, и всегда будет иметь место наложение спектров излучения тела и удлиняющей трубки. Поэтому допустимым будет считаться неналожение эффективных длин спектра, а также длин в диапазоне $\pm 30\%$ от эффективной длины, материала удлиняющей трубки на спектральный диапазон чувствительности инфракрасного датчика температуры.

Перед запуском термокамеры в работу устройство для непрерывного бесконтактного измерения температуры с использованием стационарных инфракрасных датчиков температуры в результате проделанных операций должно быть жестко зафиксировано в корпусе термокамеры. Удлиняющая труба направлена на сырье, температуру которого необходимо измерять. Информационные линии от стационарного инфракрасного датчика температуры должны быть выведены либо на индикатор, либо в систему автоматического управления работой термокамеры.

По мере изменения температуры в термокамере сырье испускает тепловое электромагнитное излучение, величина интенсивности которого напрямую связана с температурой. Тепловое электромагнитное излучение передается на стационарный инфракрасный датчик температуры, где происходит его преобразование в электрический сигнал, который по информационным линиям поступит либо на индикатор, либо в систему автоматического управления работой термокамеры. Благодаря запатентованной конструкции устройства для непрерывного бесконтактного измерения температуры, стационарный инфракрасный датчик температуры измеряет температуру только той части сырья, на которую направлена удлиняющая трубка, одновременно отсекая сторонние инфракрасные излучения.

Использование разработанного устройства в ходе опытной и промышленной эксплуатации доказало его эффективность. При горячей сушке и копчении рыбной продукции (130–150 °С) температура инфракрасного датчика «Кельвин икс 4-20» фирмы ЗАО «Евромикс» с показателем визирования 1:1, находящегося в составе разработанного устройства, не превышала температуры окружающей среды. Показания инфракрасного датчика были адекватны температурному режиму достоверно отображали температуру полуфабриката, подверженного температурной обработке.

Заключение

Разработано устройство для непрерывного бесконтактного измерения температуры в термокамерах пищевых производств, позволяющее использовать недорогие отечественные инфракрасные датчики температуры с показателями визирования порядка 1:1 и небольшими (60 °С и меньше) диапазонами рабочих температур. Устройство обеспечивает удаленность чувствительного элемента стационарного инфракрасного датчика температуры от термокамеры, тем самым уменьшая тепловое воздействие на него. Ограничение области визирования препятствует регистрации сторонних инфракрасных излучений. Простота и функциональность устройства позволяют использовать его в различном оборудовании пищевой промышленности (сушильные установки, печи, дымогенераторы, копильные установки).

Правильно подобранные основные параметры инфракрасного датчика (спектральный

диапазон, показатель визирования, значение излучательной способности измеряемого объекта) позволяют добиться высокой точности измерения, подкрепленной высоким быстродействием, а также широким диапазоном измеряемых температур, что дает возможность использовать их в системах автоматического управления технологическими процессами пищевых производств.

Список использованных источников

1. Fito, P. Control of citrus surface drying by image analysis of infrared thermography / P. Fito, M. Ortolá // *Journal of Food Engineering*. – 2004. – № 61. – P. 287–290.
2. Traffano-Schiffo, M. Study of ham drying kinetics by Infrared Thermography / M. Traffano-Schiffo, M. Castro-Giráldez. – InsideFood Symposium, 9–12, 2013.
3. Ruiz-Altisenta, M. Sensors for product characterization and quality of specialty crops / M. Ruiz-Altisenta [et al.] // *Computers and Electronics in Agriculture*. – 2010. – P. 176–194.
4. Пат. 117266 Российская Федерация, Малогабаритная сушильная установка/ М.В. Вотинов, М.А. Ершов; заявитель и патентообладатель ФГОУВПО Мурман. гос. техн. ун-т. Заявка № 2012109371/15; заявл. 12.03.2012; опубл. 27.06.2012, Бюл. № 18. – 8 с. : ил.
5. Пат. 109559 Российская Федерация, Устройство для непрерывного бесконтактного измерения температуры / М.В. Вотинов, А.А. Маслов; заявитель и патентообладатель ФГОУВПО Мурман. гос. техн. ун-т. Заявка № 2011114739/28; заявл. 14.04.2011; опубл. 20.10.2011, Бюл. № 29. – 10 с. : ил.

DEVICE FOR NONCONTACT TEMPERATURE MEASUREMENT IN THE FOOD INDUSTRY

Votinov M.V., Maslov A.A.

Murmansk state technical university, Murmansk, Russia
e-mail: votinovmv@yandex.ru

Abstract. This article describes a device that allows contactless temperature measurement in heat-chamber of food production with the use of infrared temperature sensors.

Keywords: noncontact temperature measurement, temperature control, infrared sensor.

References

1. Fito P., Ortolá M. Control of citrus surface drying by image analysis of infrared thermography. *Journal of Food Engineering*, 2004, vol. 61, pp. 287–290.
2. Traffano-Schiffo M., Castro-Giráldez M. Study of ham drying kinetics by Infrared Thermography. *InsideFood Symposium*, 2013, pp. 9–12.
3. Ruiz-Altisenta M., Ruiz-Garcia L., Moreada G., Hernandez-Sancheza N., Correea E., Diezmaa B., Nicolaic B., Garcia-Ramosd J. Sensors for product characterization and quality of specialty crops. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2010, pp. 176–194.
4. Votinov M.V., Ershov M.A. *Malogabaritnaja sushilnaja ustanovka* [Compact drying unit]. Patent RF, no. 117266, 2012.
5. Votinov M.V., Maslov A.A. *Ustroystvo dlya nepreryvnogo beskontaktnogo izmereniya temperatury* [The device for continuous non-contact temperature measurement]. Patent RF, no. 109559, 2011.

Поступила в редакцию 29.05.2013.