

Researches of the process of infra-red heating in thermal device with top and bottom power supply

Igor Kirik, Svetlana Vasilevskaya, Alesya Kirik

Могилевский государственный университет продовольствия,
Республика Беларусь

ABSTRACT

Keywords:

IR
Heat
Device
Mince
Meat
Sphere

Article history:

Received 29.09.2013
Received in revised
form
13.12.2013
Accepted 25.12.2013

Corresponding author:

Igor Kirik
E-mail:
kirik_mapp@tut.by

Introduction. Pressing question is studying of process of infra-red heating of foodstuff and receiving of the analytical description of change of temperature in the centre of the product processed by infra-red beams.

Materials and methods. Researches are spent on experimental installation of thermal device of infra-red heating with top and bottom power supply. The installation represents capacity from stainless steel and consists of the top and bottom cover with galogen quartz radiators, a heatproof screen reflecting heat and a filter from heat-resistant glass. Products of minced meat in the form of a sphere were the object of researches.

Results. The experimental installation of thermal device of infra-red heating with top and bottom power supply is designed and constructed. Dependences of time of thermal processing of half-finished products from minced meat in the form of a sphere from pressure in the working chamber of the test apparatus of infra-red heating are received. Results of researches have shown efficiency of application of a new design of the device of infra-red heating. The conducted researches have allowed to receive the equations describing process of heating of products from minced meat which can be used in engineering calculations.

УДК 621.384:664

Исследование процесса инфракрасного нагрева в тепловом аппарате с верхним и нижним энергоподводом

Игорь Кирик, Светлана Василевская, Алеся Кирик

Могилевский государственный университет продовольствия,
Республика Беларусь

Введение

Инфракрасное излучение нашло достаточно широкое применение в различных отраслях пищевой промышленности: мясной, молочной, хлебопекарной и т.д. (обжарка, варка, запекание, дезинфекция и пр.)

Этот метод нагревания продуктов по сравнению с традиционными способами тепловой обработки значительно сокращает продолжительность процесса термообработки изделий, способствует повышению качества готовых изделий (лучше сохраняются витамины, минеральные и питательные вещества), снижает расход энергии (т.е. способствует повышению КПД) и увеличивает производительность. Это связано с тем, что инфракрасные лучи способны проникать в обрабатываемые изделия на некоторую глубину, воздействовать на молекулярную структуру изделий, благодаря чему быстро возрастает температура не только на поверхности, но и на некоторой их глубине.

В настоящей работе предложено изучить процесс тепловой обработки пищевых продуктов инфракрасным излучением, а также сделана попытка получить аналитическое описание изменения температуры в центре изделия, подвергаемого обжарке инфракрасными лучами, на основе обработки экспериментальных измерений с использованием теории подобия.

Материалы и методы

В настоящей работе объектом исследований являлись изделия из мясного фарша, имеющие форму шара (как, например, тефтели, фрикадельки), поскольку данные изделия занимают существенное место в меню общественного питания.

Исследования проводили на разработанном нами экспериментальном аппарате, схема которого представлена на рисунке 1.

Исследуемый инфракрасный аппарат представляет собой емкость из нержавеющей стали и состоит из верхней и нижней крышки, в которые встроены галогеновые кварцевые излучатели, отражающий теплоизолирующий экран и защитный экран из термостойкого стекла. Для размещения продукта в аппарате имеется специальная емкость из термостойкого стекла и решетка. С помощью кварцевых излучателей можно создавать высокие плотности энергии до 60 кВт/м². По длине излучателя удельная мощность составляет 3,0-4,0 кВт/м.

Наличие верхних и нижних излучателей в данном аппарате позволяет осуществлять обработку изделий со всех сторон и получить кулинарные изделия с высокими органолептическими показателями.

За 5 минут до начала эксперимента аппарат инфракрасного нагрева включается в электрическую сеть с помощью магнитного пускателя 15 с целью прогревания. С помощью лабораторного автотрансформатора устанавливается требуемое электрическое напряжение на инфракрасных излучателях.

Заготовка требуемой формы и массы (начальная масса контролируется с помощью весов электронных лабораторных 7, а размер замеряется штангенциркулем) укладывается в аппарат для тепловой обработки. В центр тела заготовки 6 вводится преобразователь термоэлектрический ТХА 11, подключенный к измерителю-регулятору «Сосна-004» 12. После этого одновременно включается инфракрасный аппарат и счетчик-секундомер 9 для контроля времени обработки и интервалов измерения температур в теле заготовки.

Измерение температур в различных точках обрабатываемого пищевого продукта 6, контроль за температурным режимом в рабочей камере аппарата осуществляется с помощью термоэлектрических преобразователей 11 с диаметром термоэлектродов 0,5 мм в кремнеземной оплетке, подключенных к измерителю-регулятору «Сосна-004» 12.

Температура наружной поверхности обрабатываемой заготовки 6 в установленных временных интервалах определяется с помощью пирометра 10, при этом верхняя крышка корпуса 1 инфракрасного аппарата открывается на короткий промежуток времени (2-3 с), а луч лазерного указателя прибора направляется на заготовку.

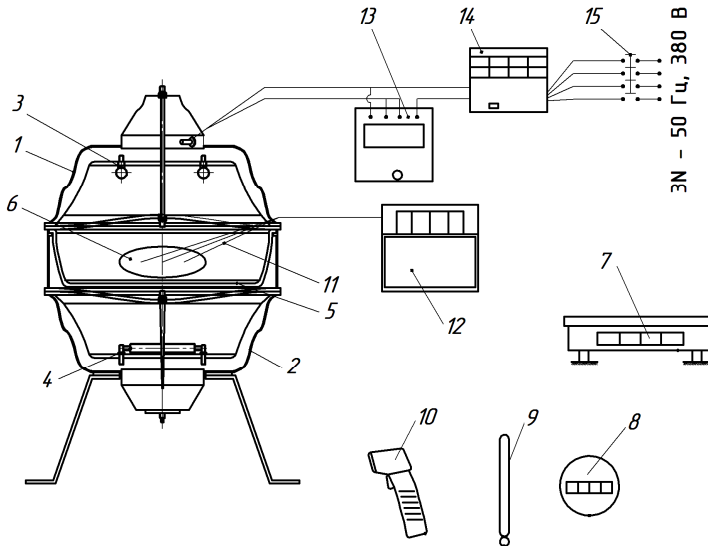


Рис. 1. Схема инфракрасного аппарата:

1 – верхний корпус инфракрасного аппарата; 2 – нижний корпус инфракрасного аппарата; 3, 4 – инфракрасные излучатели; 5 – емкость для продукта; 6 – обрабатываемый продукт; 7 – весы электронные ВТНт-15; 8 – счетчик-секундомер; 9 – термометр ртутный ТТ; 10 – пирометр Centr-350; 11 – преобразователь термоэлектрический ТХА-11992; 12 – измеритель-регулятор «Сосна-004»; 13 – ваттметр Д5004; 14 – счетчик трехфазный ЦЭ6803Ш; 15 – пускатель магнитный ПМЕ

Результаты и обсуждение

Для изучения процесса нагрева изделий из мясного фарша инфракрасными лучами были проведены экспериментальные исследования в инфракрасном аппарате с верхним и нижним энергоподводом при напряжении аппарата 140 В, 160 В и 190 В.

Подобные исследования проводились ранее в бытовом ИК-аппарате с верхними излучателями [1]. Как показали исследования, тепловая обработка изделий из мясного фарша в изучаемом инфракрасном аппарате имеет аналогичный характер с предыдущими исследованиями и представляет собой нестационарный тепловой процесс, включающий теплопроводность, перенос влаги с изменением ее агрегатного состояния и различные физические, биохимические, микробиологические, коллоидные и другие процессы. Так как изменение температурного поля изменяет

все остальные процессы, то за базовый процесс, происходящий при нагреве мясной заготовки инфракрасными лучами, примем нестационарную теплопроводность.

Характер изменения температурных кривых поверхности и центра изделия показан на рисунке 2.

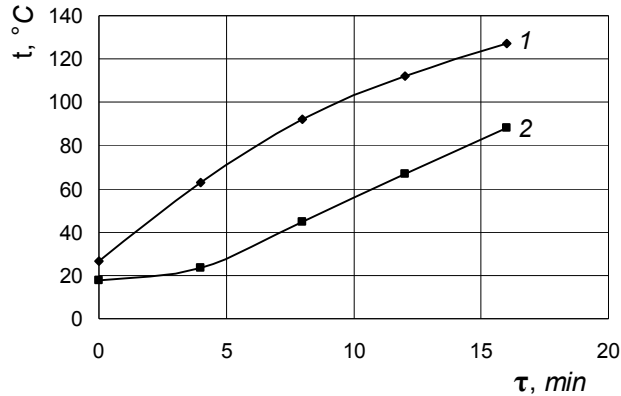


Рис. 2. График зависимости температуры изделия из мясного фарша от продолжительности тепловой обработки:

1 – температура поверхности

2 – температура в центре

На начальной стадии нагрева температура поверхности мясной заготовки (или температура корки) резко возрастает, со временем скорость возрастания ее температуры уменьшается, и температура приближается к температуре греющей среды. В центре изделия на первоначальной стадии температура остается неизменной, пока идет процесс прогрева заготовки. Через некоторое время температура в центре заготовки начинает расти сначала быстро, а затем все медленнее, также приближаясь к некоторой предельной температуре (рис. 2).

Таким образом, изменение температуры во времени в каждой точке тела при его нагревании можно определить бесконечным рядом [3]:

$$\Theta = \sum_{n=1}^{\infty} D_n \cdot e^{-\mu_n^2 \cdot Fo}, \quad (1)$$

где Θ - безразмерная температура, определяемая как

$$\Theta = \frac{t_{np} - t}{t_{np} - t_0}, \quad (2)$$

t_0 - начальная температура заготовки, °C;

Fo - число Фурье, определяемое как

$$Fo = \frac{a \cdot \tau}{l^2}, \quad (3)$$

a - коэффициент температуропроводности, m^2/c ;

τ - время, с;

l - характерный геометрический размер заготовки, м;

D_n - некоторая функция, зависящая от граничных условий, координат, формы тела и т.п.;

μ_n - корни характеристического уравнения, получаемого при решении задачи.

На первом этапе тепловой обработки, называемом неупорядоченным режимом в теории нестационарной теплопроводности, наблюдается сложный характер изменения температуры в теле заготовки, различный в разных точках, и для определения температуры требуется много членов ряда (1). Со временем с ростом числа Фурье ряд (1) сходится все быстрее, и для определения значений температуры требуется все меньшее число членов ряда. После определенных значений числа Фурье ряд сходится настолько быстро, что для математического описания процесса достаточно первого члена ряда:

$$\theta = D_1 \cdot e^{-\mu_1^2 \cdot F_0} \quad (4)$$

Этот режим называют регулярным режимом нагревания тел в классической теории нестационарной теплопроводности. Изменение температуры при этом во всех точках тела имеет аналогичный характер.

При традиционных поверхностных способах тепловой обработки (жарки, выпечки) для бесконечного цилиндра и шара такой режим наступает при $F_0 \geq 0,25$ (при определяющем размере, равном радиусу цилиндра или шара, т.е. при $l=r$, где r – радиус, м).

Как известно, процесс прогрева мясной заготовки ввиду множества сопутствующих и усложняющих процессов и факторов нельзя считать чистой теплопроводностью (диффузия влаги в изделии, теплофизические свойства продукта и др.). Поэтому, данный процесс можно рассматривать как эквивалентную теплопроводность, а уравнение (4) – как приближенное решение, пригодное для инженерных расчетов. Данное уравнение является уравнением подобия или критериальным уравнением.

Аппроксимация экспериментальных исследований уравнением (4) дает возможность обобщить опытные данные, прогнозировать изменения температуры во времени в процессе тепловой обработки заготовок и получить расчетные уравнения. В этом случае, коэффициенты D_1 и μ_1 получаются эмпирически.

Изделие из мясного фарша в качестве одного из основных компонентов содержит воду в жидком состоянии, и количество влаги, испарившейся за время тепловой обработки, значительно меньше ее количества, остающейся в изделии. Следовательно, на протяжении всего процесса тепловой обработки изделие прогревается до температуры, близкой к 100°C , оставаясь влажным телом. При атмосферном давлении температура 100°C – это температура насыщения водяного пара и вода в жидком состоянии не может иметь температуру выше этого значения.

Таким образом, на внешней границе влажной заготовки с сухой коркой соблюдается условие $t = 100^\circ\text{C} = \text{const} = t_{\text{н}}$. Поэтому для температурного поля внутри заготовки в качестве температуры окружающей среды (или предельной температуры) целесообразно принимать $t_{\text{нп}} = t_{\text{н}} = 100^\circ\text{C}$ при атмосферном давлении. Тогда безразмерная температура будет определяться выражением

$$\Theta = \frac{100 - t}{100 - t_0} \quad (5)$$

На рисунке 3 представлены результаты экспериментальных исследований процесса нагрева изделий из мясного фарша в форме шара в опытном инфракрасном аппарате при номинальном напряжении питания аппарата 140 В, 160 В и 190 В.

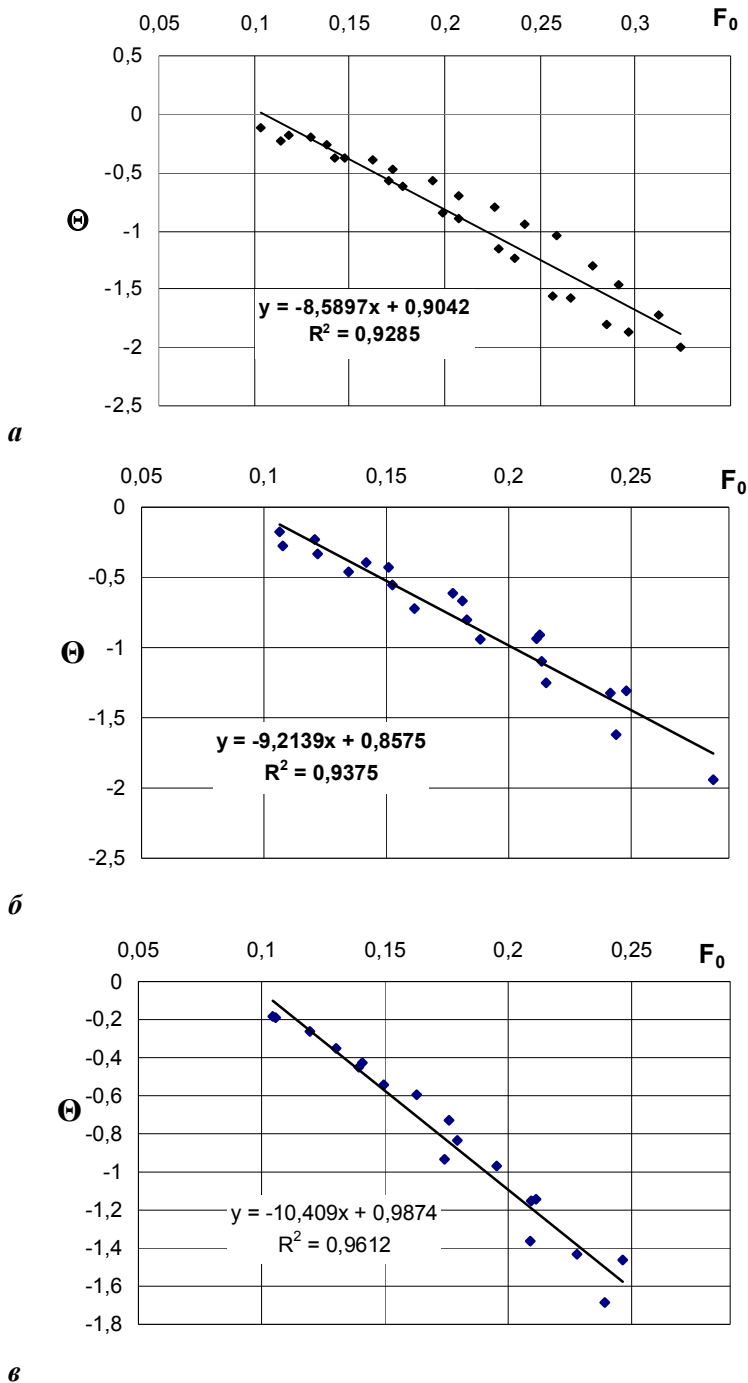


Рис. 3. Зависимость безразмерной температуры от числа Фурье при тепловой обработке изделий из мясного фарша при напряжении питания исследуемого ИК-аппарата: а) 140 В; б) 160 В; в) 190 В

В результате аппроксимации экспериментальных исследований были получены уравнения, описывающие процесс нагрева изделий из мясного фарша массой 50..95 г. на его второй стадии (регулярный режим) в ИК-аппарате с верхним и нижним энергоподводом. Данные представлены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты обработки экспериментальных данных

Напряжение аппарата, В	Расчетная формула
140	$\theta = 2,46 \cdot e^{-8,6 \cdot Fo}$
160	$\theta = 2,36 \cdot e^{-9,2 \cdot Fo}$
190	$\theta = 2,68 \cdot e^{-10,4 \cdot Fo}$

Полученные уравнения справедливы при $F_0 \geq 0.1$ и рекомендуются для инженерных расчетов при определении температуры в центре изделий из мясного фарша по истечении определенного времени или расчета необходимого времени до достижения заданной температуры в центре обрабатываемой мясной заготовки в форме шара.

Выводы

Аппарат инфракрасного нагрева с двусторонним облучением изделий обеспечивает равномерный обогрев изделий со всех сторон. Это позволяет получить кулинарные изделия высокого качества, сократить время тепловой обработки изделий и снизить энергоемкость теплового процесса.

Изделия, обрабатываемые инфракрасными лучами с двух сторон, равномерно обжарены и имеют хрустящую румяную корочку, как и изделия, обрабатываемые традиционными способами тепловой обработки (например, при жарке).

Применение новой конструкции аппарата является более эффективным по сравнению с бытовым аппаратом, в котором продукт подвергается обжарке ИК-лучами с одной стороны (как правило, сверху). Кроме того, были получены уравнения, описывающие процесс нагрева изделий из мясного фарша в форме шара, которые могут быть рекомендованы для инженерных расчетов при определении температуры в центре изделий по истечении определенного времени или при определении необходимого времени до достижения заданной температуры в центре обрабатываемой мясной заготовки.

Литература

1. И. М. Кирик, С. И. Василевская. Результаты исследований процесса инфракрасного нагрева изделий из мясного фарша / Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті: матеріали 79 Междунар. научн. конф. молодых ученых, аспирантов и студентов.– Киев, 2013. – Ч. 2. – С. 23-25.
2. Плаксин, Ю. М. Основы теории инфракрасного нагрева / Ю. М. Плаксин, В. В. Филатов и др. Монография: под общ. ред. Филатова В.В. – М.: МГУПП. – 2007. – 168 с.
3. Теплоэнергетика и теплотехника: в 4 т. / А.В. Клименко; под общ. ред. А.В. Клименко и М.В. Зорина. – 4-е изд. – М: Издательский дом МЭИ, 2007. – Т.2:

- Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: справочник. – 564 с.
4. Filatov, V. V., Azizov, R. R., Elkin, N. V. The technological infra-red equipment for the food-processing industry/ V. V. Filatov, R. R. Azizov, N. V. Elkin // Proceedings of chemical and process engineering (CHISA 2008), Czech Republic, Prague. – 2008. – P. 1625.
 5. Pradeep Bansal, Edward Vineyard, Omar Abdelaziz. Advances in household appliances / Applied Thermal Engineering. – 2011. – Vol. 31. – Is. 17-18. – Pp. 3748-3760.
 6. Igor Kirik, Svetlana Vasilevskaya. Results of experimental researches of the process of infra-red heating in thermal household devices / Ukrainian Food Journal. – 2013. – V.1. – I.1. – pp. 86-93.

References

1. I. M. Kirik, S. I. Vasilevskaya (2013), Rezul'taty issledovaniy protsessa infrakrasnogo nagreva izdeliy iz myasnogo farsha, *materialy 79 Mezhdunar. nauchn. konf. molodykh uchenykh, aspirantov i studentov*, Kyiv, 2, pp. 23-25.
2. Yu. M. Plaksin, V. V. Filatov i dr (2007), *Osnovy teorii infrakrasnogo nagreva, Monografiya*, MGUPP, Moskva.
3. A.V. Klimenko, M.V. Zorin (2007), *Teploenergetika i teplotekhnika*, Izdatel'skiy dom MEI, Moskva.
4. Filatov V. V., Azizov R. R., Elkin N. V. (2008), The technological infra-red equipment for the food-processing industry, *Proceedings of chemical and process engineering (CHISA 2008)*, Czech Republic, Prague.
5. Pradeep Bansal, Edward Vineyard, Omar Abdelaziz (2011), Advances in household appliances, *Applied Thermal Engineering*, 31(17-18), pp. 3748-3760.
6. Igor Kirik, Svetlana Vasilevskaya (2013), Results of experimental researches of the process of infra-red heating in thermal household devices, *Ukrainian Food Journal*, 1(1), pp. 86-93.