

СОЗДАНИЕ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ СУШКИ МАТЕРИАЛОВ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ И ВЫПЕЧКИ ХЛЕБОБУЛОЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ И ЕЕ МАШИНО-АППАРАТУРНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

Авроров Г.В., Авроров В.А., Лузгин Г.Д. (ПензГТУ, г. Пенза, Россия)
Тел.(842 2) 49-56-99, E-mail: v_avrorov@bk.ru

Abstract: *In article discusses the application of directional infrared radiation. created mirror lamps, for drying vegetable material they bakery in the newly created universal Tunnel conveyor stove-dryer.*

Key words: *Universal tunnel stove-dryer, aimed IR radiation, mirror lamps.*

Выбор рациональной технологии тепловой обработки и создание энергосберегающих тепловых установок во многом зависит от исходного влагосодержания в продукте. На перемещение влаги существенное влияние оказывает перепад температуры, которая при конвективной и контактной сушке выше на поверхности продукта, чем в его центральных слоях.

Известные способы подвода энергии, использующие конвекцию, кондукцию или диффузное ИК излучение и реализуемые в различных конструктивных исполнениях сушильных установок, позволяют в определенных пределах интенсифицировать процесс, но являются достаточно энергоемкими.

Одним из энергосберегающих способов энергоподвода к обрабатываемому продукту может явиться направленное инфракрасное излучение, поскольку теплообмен излучением зависит от разности абсолютных температур источника излучения и продукта, каждая из которых возводится в 4-ю, а при направленном излучении даже 5-ю степень, тогда как при конвективном теплообмене разность температур берется в первой степени. При этом следует иметь в виду, что нагрев продукта излучением происходит более интенсивно по сравнению с конвекцией и теплопроводностью, и влага из продукта удаляется очень быстро, что может привести при отсутствии регулирования температуры к растрескиванию и пересушке изделий.

В ПензГТУ ряд лет проводились исследования по созданию универсальной энергосберегающей технологии сушки материалов растительного происхождения и выпечки хлебобулочных изделий за счет направленного ИК излучения [1-4].

Задачами экспериментальных исследований являлись:

- определение теплофизических параметров источников излучения и выбор оптимального типа источника;
- исследование конструкционных материалов и выбор рациональной марки материала с позиций его взаимодействия с ИК излучением;
- определение величины зазора между источниками излучения и нагреваемой поверхностью;
- разработка конструкции, изготовление и испытание экспериментальной туннельной конвейерной установки .

В качестве источника ИК излучения были выбраны зеркальные лампы типа ИКЗ (рис.1) мощностью 175, 250 и 500Вт, обеспечивающие по сравнению с обычной лампой накаливания направленный тепловой поток (рис.2).



Рис. 1. Вид излучателей направленного ИК излучения - электролампы: 250 / IR/ R / E27; ИКЗК-250; ИКЗ-250М; ИКЗ-250 (слева направо)

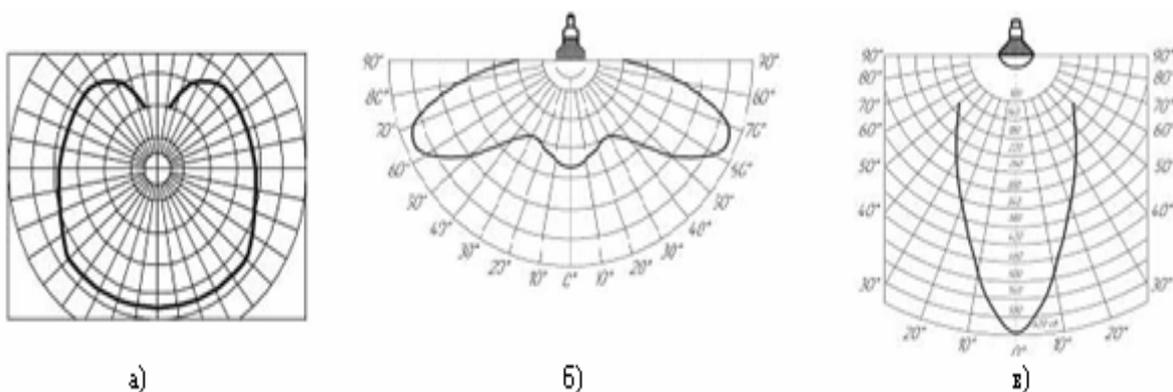


Рис. 2. Диаграммы светового распределения ламп: обычная лампа накаливания (а), лампы ИКЗ-175 и ИКЗ-250 (б), лампа ИКЗ-500 (в)

Сравнительный анализ плотности излучения ламп и ТЭНов показал существенное преимущество использования ламп в качестве источника энергии:

Лампы ИКЗ: Плотность потока излучения абсолютно черного тела определяется законом Стефана-Больцмана

$$E = C \left(\left[\frac{T}{100} \right] \right)^4, \text{ Вт/см}^2,$$

где $C = 5,68 \text{ Вт/(см}^2\text{K}^4)$ – постоянная Стефана-Больцмана, T – абсолютная температура, $^{\circ}\text{K}$.

Положение максимума по шкале спектра определяется законом Вина. Спирали ламп изготовлены из вольфрама. Металлы при температурах, на которых их максимальная плотность потока находится на длине волны менее 4 мкм, близки по свойствам к серым телам. Общий поток излучения у них пропорционален 5-й степени температуры.

$$E = \varepsilon C_k \left(\left[\frac{T}{100} \right] \right)^5, \text{ Вт/см}^2,$$

где $C_k = 9,33 \text{ Вт/(см}^2\text{ K}^5)$; $\varepsilon = 0,8$ – степень черноты для вольфрама.. Для этого случая закон смещения Вина дает более короткую длину волны.

При номинальном напряжении 220В температура спирали лампы составляет 2500 $^{\circ}\text{K}$.

Плотность потока излучения спирали

$$E = 0,8 \cdot 9,33 \cdot (2500/100)^5 = 72 \, 890 \, 625 \text{ Вт/см}^2.$$

ТЭН: При номинальном напряжении 220В температура наружной поверхности металлического корпуса ТЭНа составляет 1000 °К.

$$\text{Плотность излучения} \quad E = 0,8 \cdot 9,33 \cdot (1000/100)^5 = 746400 \text{ Вт/см}^2.$$

Или в 97,6 раз меньше, чем у лампы ИКЗ.

Эксперимент проводился в следующей последовательности:

- предварительный выбор излучателей. Критерием выбора служила минимальная температура стекла колбы;
- выбор оптимального типа излучателя осуществлялся при нагреве образца из стали 10кп всеми поочередно излучателями при рабочем зазоре между колбой и образцом $\Delta = 15$ мм в течение 15 минут. Критерием выбора служила интенсивность нагрева образца;
- выбор конструкционного материала для изготовления элементов рабочей зоны установки. Критерием служила интенсивность нагрева образцов;
- определение зависимости затрат электроэнергии на нагрев при выбранном материале и излучателе. Критерием служила потребляемая мощность источника излучения.

На рис.3 приведена зависимость температуры нагрева образца из стали 10кп толщиной 1 мм при использовании разных типов излучателей.

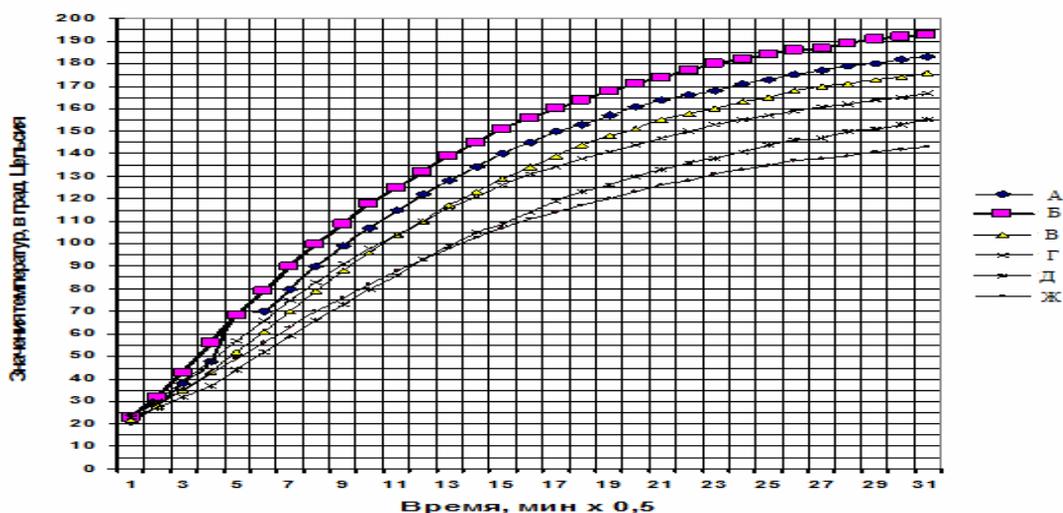


Рис. 3. Зависимость изменения температуры нагрева образца от типа излучателя
А – лампа 250R/IR/R7 (красное стекло), “General Electric; Б – лампа ИКЗ-250 (прозрачное стекло), г. Калашников; В – лампа ИКЗ-250 (прозрачное стекло), “ЛИСМА”; Г – лампа ИКЗК-250 (красное стекло), г. Калашников; Д – лампа ИКЗК-250 (красное стекло), “ЛИСМА”; Ж – лампа ИКЗ-250 (матированное стекло) г. Калашников

Выбор конструкционного материала проводился по интенсивности нагрева образцов из 7 наименований материала (рис.4).

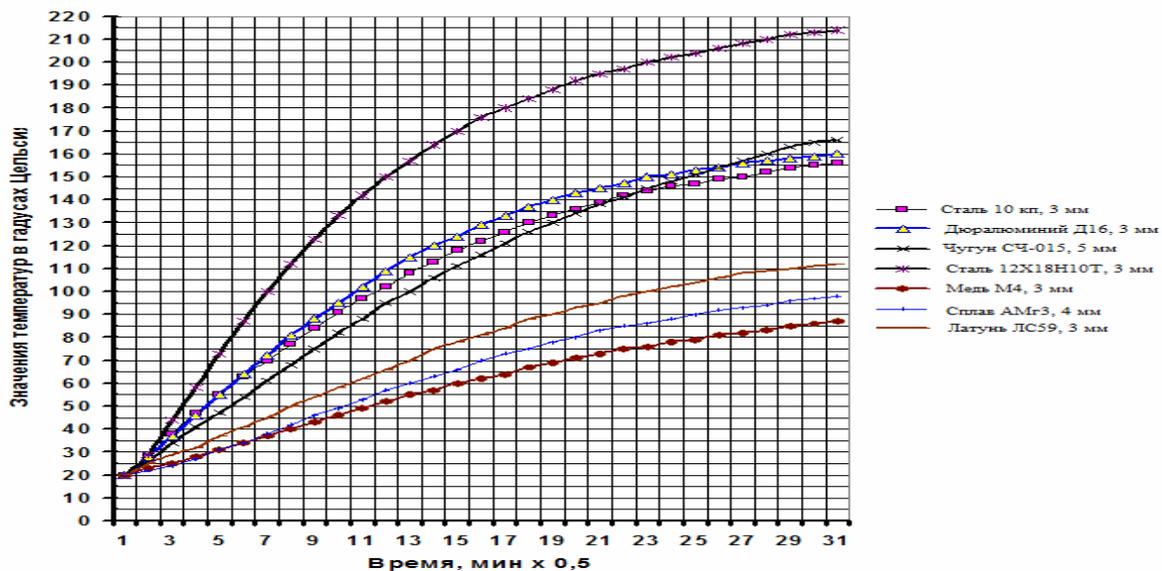


Рис. 4. График изменения температуры нагрева образцов из разных материалов лампой ИКЗ

Из рисунка можно видеть, что сталь 12Х18Н10Т по сравнению с другими материалами имеет более крутую характеристику нагрева. Эта сталь (листовой прокат) выбрана для изготовления рабочей камеры туннельной установки и других элементов, непосредственно воспринимающих ИК излучение.

На рис. 5 приведены зависимости изменения температуры нагрева образца из стали 12Х18Н10Т при рабочем зазоре между лампой и образцом 5; 10 и 15 мм.

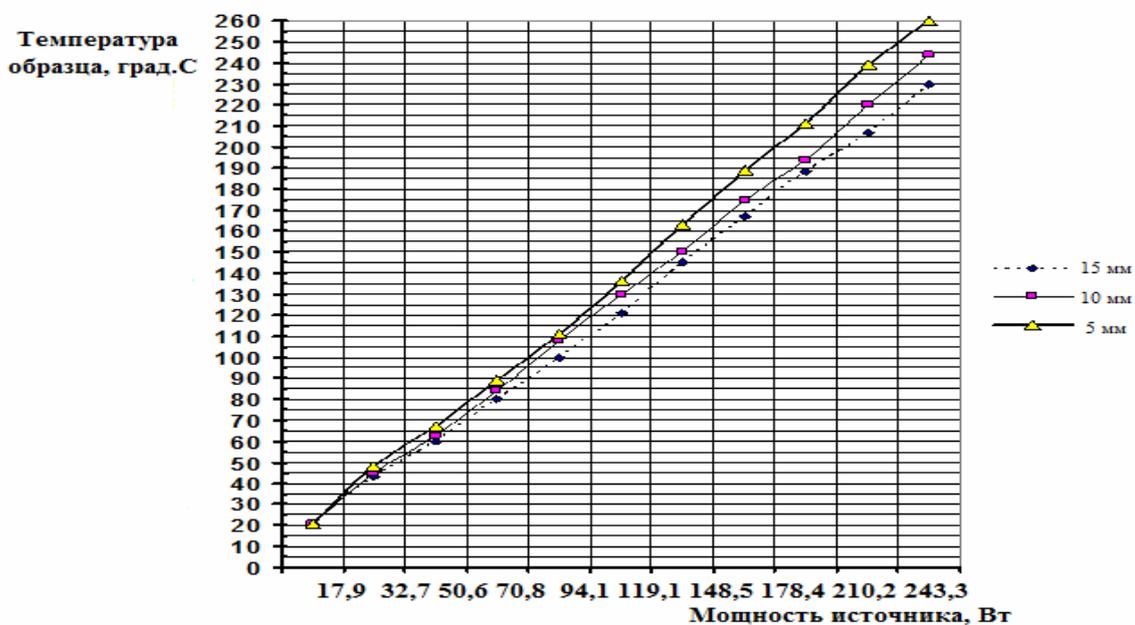
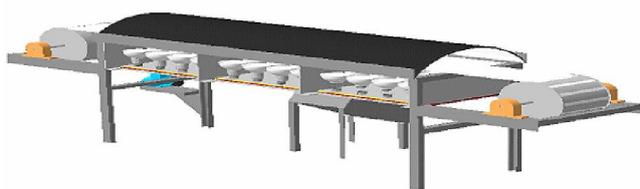
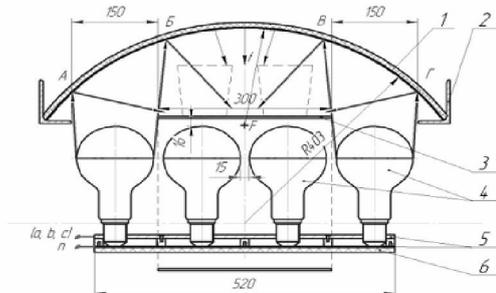


Рис. 5. Зависимости изменения температуры нагрева образца от потребляемой мощности лампы ИКЗ-250

3D модель секции разработанной туннельной сушилки и поперечное сечение представлены на рис. 6.



а)



б)

Рис. 6. 3D модель (а) и поперечное сечение туннельной конвейерной сушилки (б)



Рис. 7. Образцы выпеченного формового пшеничного хлеба

универсальной туннельной конвейерной сушилке-печи с ламповыми ИК нагревателями;

- проведенные испытания показали значительное энергосбережение созданной конструкции перед известными аналогами

Список литературы: 1. Авроров В.А. Выбор оптимального источника инфракрасного излучения в ближней инфракрасной области / Г.Д.Лузгин, Г.В.Авроров, А.В.Зайцев // Пищевая промышленность и агропромышленный комплекс: достижения, проблемы, перспективы: материалы VII МНПК. – Пенза: ПДЗ.- 2013. –С.9-12. 2. Пат. № 2430630, Российская Федерация. Способ нагрева пищевых штучных полуфабрикатов, движущихся прямолинейно на конвейере / Г.В.Авроров и др. Заяв. 06.07.2010, Оpubл. 10.10.2011. 3. Пат.№ 2457680, Российская Федерация. Способ нагрева пищевых штучных полуфабрикатов на конвейере внутри туннельной печи / В.А.Авроров и др. Заяв. 15.09.2010, Оpubл. 10.08.2012. 4. Авроров Г.В. Сравнительные исследования конвективного и лучистого нагрева при сушке твердых материалов / Г.В.Авроров, Е.А.Жистин // Пищевая промышленность и агропромышленный комплекс: достижения, проблемы, перспективы: материалы VI МНПК. – Пенза: ПДЗ.- 2012. –С.37-41.

Испытания

экспериментального образца показали, что максимально возможная температура внутри туннеля составляет 403°C и ее стабильное значение достигается за 11,5 мин. Расход электрической энергии на поддержание данной температуры не более 7кВтч , что в 6,5 раз меньше, чем при нагреве ТЭНами. Температура внутри туннеля может задаваться в пределах от 50 до 350°C с помощью автоматического регулятора «Напряжение-температура» с точностью поддержания $\pm 1,5^{\circ}\text{C}$. На рис. 7. показаны образцы формового пшеничного хлеба, выпеченные на созданной универсальной сушилке-печи.

Выводы:

- выбраны энергосберегающие источники направленного ИК излучения, определена марка рационального конструкционного материала для изготовления рабочей зоны туннельной конвейерной сушилке-печи, определено наиболее эффективное расположение источников нагрева относительно обрабатываемого материала;

- спроектирован, изготовлен и испытан экспериментальный образец