

УДК 66.047.3.085.1

## **Разработка малогабаритной сушилки на основе выявленных закономерностей процесса сушки макаронных изделий инфракрасным излучением**

*Канд. техн. наук* **Демидов С.Ф.**, demidovserg@mail.ru  
*д-р техн наук, проф.* **Вороненко Б.А.**, voronenkoboris@mail.ru  
*канд. техн. наук* **Демидов А.С.**,  
*канд. техн. наук, проф.* **Филиппов В.И.** demidovserg@mail.ru  
*Университет ИТМО*  
*Институт холода и биотехнологий*  
*921002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9*

*Для предотвращения протекания микробиологических и биохимических процессов в макаронном тесте его высушивают до среднего влагосодержания  $\bar{U}=15,6$  кг/кг. От процесса сушки зависят такие показатели продукта, как прочность, кислотность. Проведено экспериментальное исследование процесса сушки инфракрасным излучением выделенной длины волны короткорезанных трубчатых макаронных изделий до среднего влагосодержания  $\bar{U}=15,6$  кг/кг при достижении температуры на поверхности слоя продукта не более  $55^{\circ}\text{C}$  в зависимости от высоты слоя продукта 25 мм, 35 мм, при мощности одного излучателя 0.11 кВт. Разработан малогабаритный аппарат для сушки макаронных изделий.*

*Ключевые слова:* инфракрасное излучение, сушка, макаронные изделия, аппарат, время, размеры.

---

## **Development of compact dryers based on the identified regularities of the process drying pasta by infrared radiation**

**Demidov S.F., Voronenko B.A.** voronenkoboris@mail.ru,  
**Demidov A.S., Filippov V.I.** demidovserg@mail.ru  
*University ITMO*  
*Institute of Refrigeration and Biotechnologies*  
*191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9*

*For prevention of course of microbiological and biochemical processes in the macaroni father-in-law it dry up to average moisture content  $\bar{U}=15,6$  kg/kg. Such indicators of a product depend on process of drying, as durability, acidity. The pilot research of process of drying by the infrared radiation of the allocated length of a wave of tubular pasta to average moisture content  $\bar{U}=15,6$  in kg/kg is conducted at achievement of temperature on a surface of a layer of a product no more than  $55^{\circ}\text{C}$  depending on height soy of a product of 25 mm, 35 mm, at the power of one radiator of 0.11 kW. The small-sized device is developed for drying of pasta.*

*Keywords:* infrared radiation, drying, pasta, device, time, sizes.

---

Для предотвращения протекания микробиологических и биохимических процессов в макаронном тесте его высушивают до влажности 13,5-14%, после охлаждения содержание влаги в готовых изделиях должно быть не более 13%.

В зависимости от температуры рабочего агента используются три режима конвективной сушки макаронных изделий: температура сушильного агента не выше  $60^{\circ}\text{C}$ , на определенных этапах процесса сушки температура воздуха достигает  $70-90^{\circ}\text{C}$  и превышает  $90^{\circ}\text{C}$ .

От процесса сушки зависят такие показатели продукта, как прочность, кислотность. Интенсивное удаление влаги приводит к растрескиванию изделий, ухудшению варочных свойств, изменению цвета макаронных изделий. При длительной конвективной сушке происходит слипание продукта.

Целью данной работы является исследование процесса сушки макаронных изделий инфракрасным излучением выделенной длины волны и разработка малогабаритного аппарата.

В Институте холода и биотехнологий СПбГУ ИТМО проводятся работы по сушке пищевых продуктов инфракрасным излучением [1-5]. Данные исследования проводились на экспериментальном стенде ИК-нагревом с использованием современной измерительной техники [6, 7]. На поддон из нержавеющей сетки помещали короткорезанные макаронные изделия. ИК-облучение продукта проводили одновременно сверху и снизу. Температура поддона и макаронных изделий в процессе экспериментальных исследований составляла  $54-55^{\circ}\text{C}$ . Длина ИК-излучателей составляла 500 мм, расстояние между ИК-излучателями - 75 мм. Производство макаронных изделий производили на прессе МП-1 производительностью 6 кг/ч, изготовленном в ОАО НПО «ПРИБОР» (г. Москва).

В результате инженерного расчета должны быть определены конструктивные параметры нагревательных систем, их мощность и габариты, размеры и форма заданной температурной зоны, энергетические характеристики, количество и расположение инфракрасных излучателей, допустимый диапазон температуры нагрева объекта и кинетические закономерности его сушки [8-13].

Основой расчета нагревательных систем с источниками инфракрасного излучения является расчет лучистого теплообмена и поле плотности теплового потока, падающего на поверхность продукта [14,15]. Прогресс современной науки и техники неразрывно связан с развитием и использованием математики, с процессами математического моделирования. Метод исследования, заключающийся в разработке математического описания процесса (модели), является универсальным методом математического моделирования. Формально математическое описание представляет собой совокупность зависимостей, связывающих различные переменные процесса в единую систему уравнений. Среди этих соотношений могут быть уравнения, отражающие общие физические законы (например, законы сохранения массы и энергии), уравнения, описывающие «элементарные» процессы (например, химические превращения), ограничения на переменные процесса и т.д. Кроме того, в состав математического

описания входят также различные эмпирические зависимости между различными параметрами процесса, теоретическая форма которых неизвестна или слишком сложна.

В зависимости от этого существуют следующие основные подходы к математическому описанию.

В условиях, когда теория процесса недостаточно изучена, и процесс невозможно описать в виде кинетических уравнений (уравнений, описывающих движущие силы и скорость процессов), что объясняется сложностью процесса и зависимостью его от большого числа параметров и неконтролируемых возмущений, можно найти формальное математическое описание процесса, пользуясь методами современной математической статистики. Наиболее перспективными методами экспериментально-статистических исследований являются пассивный и активный эксперименты, в результате которых получают эмпирическую математическую модель изучаемого процесса (уравнение регрессии). В дальнейшем ею пользуются для управления процессом – нахождения оптимальных условий его проведения и создания этих условий [16, 17].

В результате проведенных экспериментальных исследований было выявлено, что процесс сушки короткорезанных трубчатых макаронных изделий диаметром 0,5 мм до среднего влагосодержания  $\bar{U}=15,6$  кг/кг завершается при достижении температуры на поверхности слоя продукта не более  $55^{\circ}\text{C}$ .

На рисунке 1 представлены графики зависимости среднего влагосодержания макаронных изделий от времени  $t$  и основных влияющих факторов.

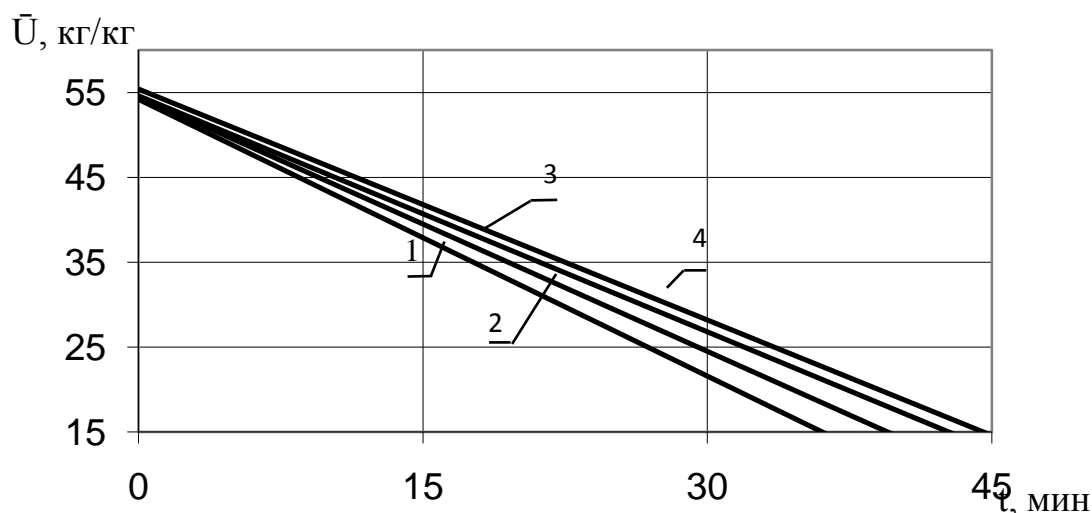


Рис. 1. Кривые процесса сушки инфракрасным излучением вермишели диаметром 2 мм высотой слоя 2.5 см (кривая 1), высотой слоя 3.5 см (кривая 2), трубчатых макарон диаметром 0.5 мм высотой слоя 2.5 см (кривая 3) и слоя 3.5 см (кривая 4) при мощности одного излучателя 0.11 кВт.

Специфическое воздействие ИК- излучения на пищевые продукты связано с интенсификацией процессов биохимических превращений вследствие резонансного

воздействия поглощаемой энергией на связи атомов в молекулах, частоты колебаний которых совпадают или кратны частоте падающего ИК излучения. Так, при длине волны  $\lambda \geq 1,0$  мкм энергия фотона  $E = h\nu \leq 2 \cdot 10^{-19}$  Дж, где  $\nu$  - частота, а энергия химической связи группы C-C составляет порядка  $2 \cdot 10^{-19}$  Дж, для группы O-H – в пределах  $0,32 - 0,46 \cdot 10^{-19}$  Дж. Поэтому ИК излучение вызывает интенсификацию колебаний определенных групп атомов в молекуле и этим способствует ускорению биохимических превращений, в нашем случае при длине волны инфракрасного излучения 1,5-3,0 мкм.

Процесс сушки макаронных изделий протекает в периоде постоянной скорости. Длительность процесса в значительной мере определяется высотой слоя продукта. Анализ кривых (1-4) показал, что время инфракрасной сушки продуктов от начального до конечного влагосодержания с увеличением высоты слоя от 2.5 см до 3.5 см увеличивается на 60-65 с.

На основе выявленных закономерностей разработана документация на малогабаритную сушилку мощностью 1.75кВт. Сушилка изготовлена и проведена ее промышленная апробация. Количество ИК-излучателей длиной 500мм составляет 16 шт. Мощность одного ИК-излучателя 0.11 кВт. Размеры противня составляют: ширина - 340 мм, длина – 460 мм. Расстояние между ИК-излучателями по вертикали и горизонтали – 75 мм. Количество поддонов из нержавеющей сетки с продуктом составляет три штуки. ИК-излучатели располагаются на 4 ярусах, снизу поддон с металлической подложкой служит для создания теплового потока по высоте аппарата. Расстояние от поддона до стенки аппарата составляет 50 мм. Процесс сушки происходит без принудительной вентиляции.

### Список литературы

1. Демидов С.Ф., Вороненко Б.А., Демидов А.С. Сухое жарение ядер семян подсолнечника инфракрасным излучением: Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств (электронный журнал) /ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий.» . — №1. — март 2011. Режим доступа к журн.: <http://www.open-mechanics.com/journals> свободный.
2. Вороненко Б.А., Демидов С.Ф., Демидов А.С. Кинетика сушки семян подсолнечника инфракрасным излучением // Инновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья: Сб. материалов международной научно-практической конференции.- Краснодар: РАСН ГНУ КНИИХЛ, 2012,- С.223-229.
3. Демидов С.Ф., Б.А.Вороненко Б.А., Ободов Д.А. Кинетика сушки бурых водорослей инфракрасным излучением. // Инновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья: Сб. материалов

- международной научно-практической конференции.- Краснодар: РАСН ГНУ КНИИХЛ, 2012,- С. 240-243.
4. Беляева С.С., Демидов С. Ф., Вороненко Б. А. Оптимизация процесса инфракрасной сушки с электроподводом зародышей пшеничных. // Инновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья: Сб. материалов международной научно-практической конференции.- Краснодар: РАСН ГНУ КНИИХЛ, 2012,- С. 219-222.
  5. Демидов С.Ф., Демидов А.С., Беляева С.С. и др. Источники инфракрасного излучения с энергоприводом для термообработки пищевых продуктов: Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств (электронный журнал) /ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий.» . — №1. — март 2011. Режим доступа к журн.: <http://www.open-mechanics.com/journals> свободный.
  6. Демидов А.С., Вороненко Б.А., Демидов С.Ф. Сушка семян подсолнечника инфракрасным излучением // Новые технологии. – 2011. – Вып.№3. – С.25-30.
  7. Демидов А.С., Демидов С.Ф., Пятницков В.А. Исследование процесса термообработки сосисок инфракрасным излучением: Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств (электронный журнал) /ГОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий.» . — №1. — март 2013. Режим доступа к журн.: <http://www.open-mechanics.com/journals> свободный.
  8. Гинзбург, А. С. Технология сушки пищевых продуктов. Пищевая промышленность. 1976. 248 с.
  9. Гинзбург, А.С. Инфракрасная техника в пищевой промышленности / А.С. Гинзбург // Пищевая промышленность. - М.: 1966. - 407 с. (12)
  10. Зигель, Р. Теплообмен излучением / ЗигельР., Хауэли Дж. // М.: Мир. 1975.-212 с.
  11. Ильясов С. Г., Красников В.В. Физические основы инфракрасного облучения пищевых продуктов. - М.: Пищевая промышленность, 1978.-389с.
  12. Ильясов С. Г. Теоритические основы инфракрасного облучения пищевых продуктов: Автореф. дис. докт. техн. наук. 05.12.14. -МТИПП, 1977. -46 с.
  13. Лебедев, П.Д. Сушка инфракрасными лучами . Л.: Госэнергоиздат, 1955. - 232 с.
  14. Лыков, А. В. Теория сушки. М.: Энергия, 1968.-472 с.
  15. Лыков М. В. Сушка в химической промышленности. - М.: Химия, 1970. - 432 с.
  16. Ахназарова С.Л., Кафаров В.В. Методы оптимизации эксперимента в химической технике: учеб. пособие для хим.-технол. вузов. – 2-е изд., перераб. и допол. – М.: Высшая школа, 1985.-327.
  17. Налимов В.В. Теория эксперимента. – М.: Наука, 1971.-208с.