

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°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°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°C , на определенных этапах процесса сушки температура воздуха достигает $70-90^{\circ}\text{C}$ и превышает 90°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°C .

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

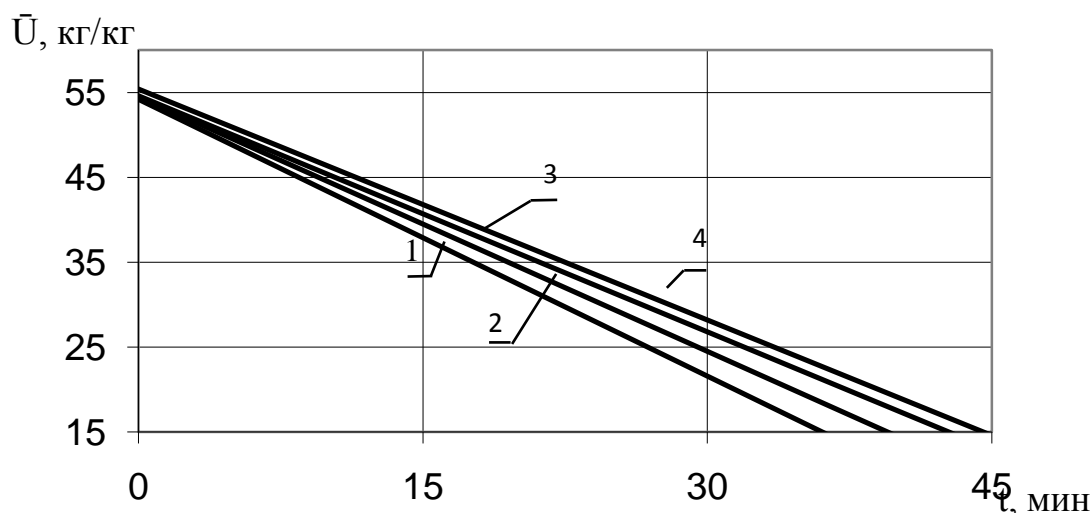


Рис. 1. Кривые процесса сушки инфракрасным излучением вермишели диаметром 2 мм высотой слоя 2.5 см (кривая 1), высотой слоя 3.5 см (кривая 2), трубчатых макарон диаметром 0.5 мм высотой слоя 2.5 см (кривая 3) и слоя 3.5 см (кривая 4) при мощности одного излучателя 0.11 кВт.

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 ν - 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., 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.

18. Смирнова Г.П., Смирнов А.А., Буркацкая О.А. Сравнительный анализ развития малого предпринимательства в СЗФО РФ.: Lambert academic publishing. - 2011.
19. Smirnov A. Artificial intelligence: Concepts and Applicable Uses. Lambert Academic Publishing. - 2013.
20. Smirnov A., Abraham A., Vorobiev S. The potential effectiveness of the detection of pulsed signals in the non-uniform sampling.: IEEE. - 2013.
21. Smirnov A. Modeling improved POS tagger using HMM. - 2013.
22. Smirnov A. Creating utility – based agent using POMDP and MDP //Ledentsov Readings. – 2013. – С.697.