

**Демидов Сергей Федорович**

канд. техн. наук, преподаватель

**Пелевина Лидия Федоровна**

директор

**Акуличева Олеся Юрьевна**

преподаватель

Колледж бизнеса и технологий

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный

экономический университет»

г. Санкт-Петербург

## **СУШКА МАКАРОННЫХ ИЗДЕЛИЙ ИНФРАКРАСНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ ВЫДЕЛЕННОЙ ДЛИННОЙ ВОЛНЫ В ОСЦИЛЛИРУЮЩЕМ РЕЖИМЕ**

*Аннотация:* в статье проведены экспериментальные исследования процесса сушки макаронных изделий в виде спирали сечением 15–17 мм<sup>2</sup> и длиной 25–27 мм инфракрасным излучением выделенной длинной волны 1,5–3,0 мкм в осциллирующем режиме в зависимости от высоты слоя продукта, плотности теплового потока при достижении конечного влагосодержания продукта 15,0–15,5 кг/кг и температуры высушенного продукта 52–54 °С. Авторы приходят к выводу, что зная начальное влагосодержание макаронных изделий в виде спирали, можно определить время сушки материала до конечного влагосодержания 15,0–15,5 кг/кг в зависимости от высоты слоя продукта, плотности теплового потока, расстояния от ИК-излучателя до продукта 55 мм при скорости воздуха для охлаждения 0,35 м/с.

*Ключевые слова:* процесс, сушка, исследование, инфракрасное излучение, температура, влагосодержание, охлаждение, макаронное изделие в виде спирали.

В Колледже бизнеса и технологии ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный экономический университет» проводятся работы по сушке пищевых продуктов инфракрасным излучением в осциллирующем режиме.

В статьях [1–4] нами приведены результаты экспериментальных исследований процессов сушки инфракрасным излучением выделенной длинной волны 1,5–3,0 мкм в осциллирующем режиме соответственно цветной капусты, шинкованной моркови, пшеничных зародышей, свежееубранного пивного ячменя.

В статье [5] приведены результаты экспериментального исследования процесса сушки короткой вермишели диаметром 1,5–1,7 мм, макаронного изделия в виде спирали сечением 15–17 мм<sup>2</sup> и длиной 25–27мм инфракрасным излучением выделенной длинной волны от времени обработки при расстоянии от инфракрасного излучателя до продукта 55мм, при плотности теплового потока инфракрасного излучения 3,2 кВт/м<sup>2</sup>, 3,6 кВт/м<sup>2</sup> и высот слоя продукта 1,5 см, 2,5 см, 3,5 см. В результате проведенных экспериментальных исследований макаронного изделия в виде спирали сечением 15–17 мм<sup>2</sup> и длиной 25–27мм было выявлено, что процесс сушки макаронных изделий до среднего влагосодержания значений влагосодержания 15,0–15,5% и температуры на поверхности слоя продукта 55–57°С при высоте слоя от 1,5 см до 3,5 см при плотности теплового потока 3,2 кВт/м<sup>2</sup> завершается в течении от 34 мин до 48 мин, при плотности теплового потока 3,6 кВт/м<sup>2</sup> в течении от 21 до 37 мин. Время сушки макаронного изделий в виде спирали при изменении плотности теплового потока инфракрасного излучения от 3,2 кВт/м<sup>2</sup> до 3,6 кВт/м<sup>2</sup> уменьшается на 11- 13мин при прочих равных условиях.

Данная статья посвящена исследованию процесса сушки макаронных изделий в виде спирали сечением 15–17 мм<sup>2</sup> и длиной 25–27мм инфракрасным излучением выделенной длинной волны 1,5–3,0 мкм при конечных значений влагосодержания 15,0–15,5% и температуры 55–57°С в осциллирующем режиме в зависимости от параметров проведения процесса.

Исследование процесса сушки макаронных изделий проводились на лабораторном стенде. В качестве источника инфракрасного излучения, использовались линейные кварцевые излучатели диаметром 0,012 м и длиной 0,5 м с керамической функциональной оболочкой, которая образует при нагревании никромовой спирали длину волны 1,5–3,0 мкм, равную длине колебаний молекул

воды, максимуму поглотительной способности воды и минимуму отражательной способности сухого продукта [6; 7]. Макароны изделия в виде спирали равномерно распределяли на сетчатом поддоне из тефлоновой сетки в сушильной камере, подвергались инфракрасной обработке с двух сторон при плотности теплового потока  $3,6 \text{ кВт/м}^2$ ,  $4,1 \text{ кВт/м}^2$ , расстоянии от инфракрасного излучателя до продукта 55 мм, начальном влагосодержании  $41,0\text{--}43,0 \text{ кг/кг}$ , достижении температуры высушенного продукта  $54\text{--}55^\circ\text{C}$  и конечного влагосодержания  $15,0\text{--}15,5 \text{ кг/кг}$ . Для измерения массы продукта в течение процесса сушки применялись весы GF-600. Для изменения влагосодержания продукта применялся анализатор влажности ЭЛВИЗ-2. Измерение температуры поверхности продукта производилось при помощи дистанционного неконтактного инфракрасного термометра Raytek MiniTemp. В начале процесса в течение 4 минут на поверхности макаронных изделий достигалась температура  $55\text{--}57^\circ\text{C}$ , автоматически включался вентилятор и в течении 20с происходил обдув, скорость воздуха составляла  $0,35 \text{ м/с}$ , за это время исследуемый материал охлаждался до температуры  $41\text{--}42^\circ\text{C}$ . Далее процесс сушки продолжался в цикле 2 минуты нагрева, 20 с охлаждения до достижения заданных значений влагосодержания. На основе экспериментальных данных были построены графики зависимости влагосодержания и температуры слоя макаронного изделия в виде спирали от времени сушки и параметров проведения процесса в осциллирующем режиме (рис. 1–3).

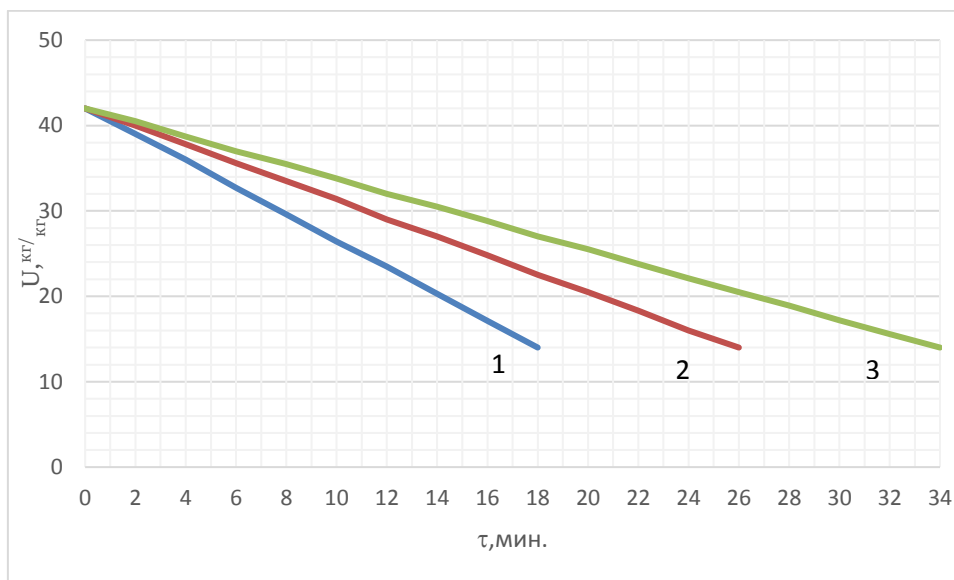


Рис. 1. График зависимости влагосодержания макаронного изделия в виде спирали сечением 15–17 мм<sup>2</sup> и длиной 25–27мм от времени при расстоянии от инфракрасного излучателя до продукта 55мм при плотности теплового потока инфракрасного излучения 4,1 кВт/м<sup>2</sup> и высот слоя продукта 1,5 см (прямая 1), 2,5 см (прямая 2), 3,5 см (прямая 3) в осциллирующем режиме

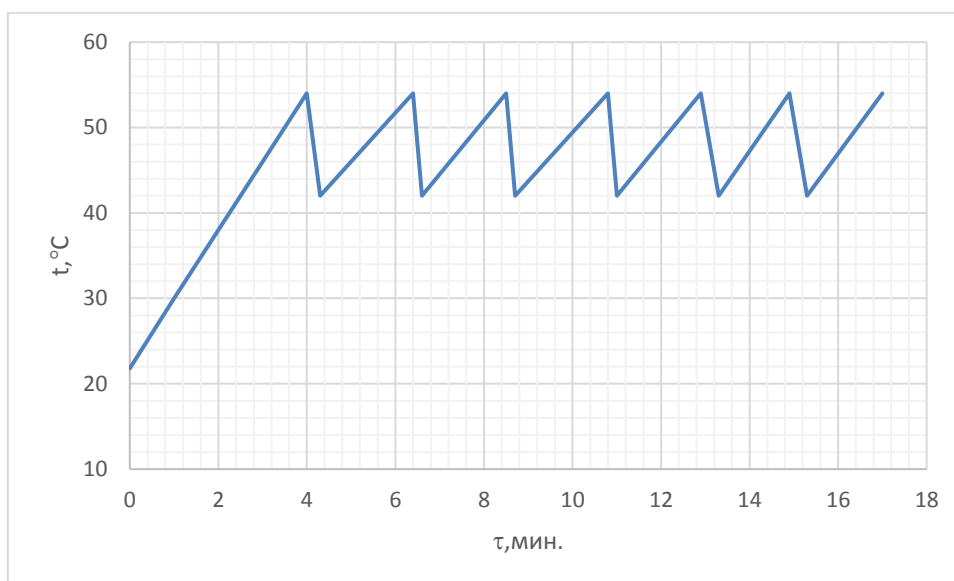


Рис. 2. График зависимости изменения температуры слоя макаронного изделия в виде спирали сечением 15–17 мм<sup>2</sup> и длиной 25–27мм от времени при расстоянии от инфракрасного излучателя до продукта 55мм и при плотности теплового потока инфракрасного излучения 4,1 кВт/м<sup>2</sup> и высоты слоя продукта 1,5 см в осциллирующем режиме

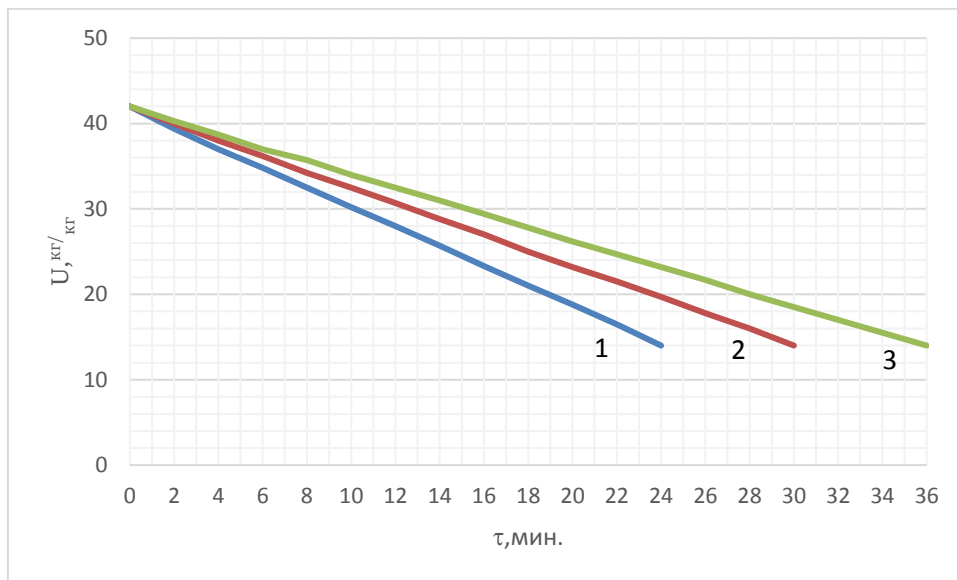


Рис. 3. График зависимости влагосодержания макаронного изделия в виде спирали сечением  $15\text{--}17\text{ мм}^2$  и длиной  $25\text{--}27\text{ мм}$  от времени при расстоянии от инфракрасного излучателя до продукта  $55\text{ мм}$  при плотности теплового потока инфракрасного излучения  $3,6\text{ кВт/м}^2$  и высот слоя продукта  $1,5\text{ см}$  (прямая 1),  $2,5\text{ см}$  (прямая 2),  $3,5\text{ см}$  (прямая 3) в осциллирующем режиме

В процессе нагрева макаронных изделий инфракрасными лучами выделенной длиной волны происходит испарение влаги с нижнего и верхнего поверхностей слоев продукта. Увеличивается градиент влагосодержания, направленный вглубь материала, создавая все возрастающий перепад влагосодержания по толщине слоя. Величина градиента влагосодержания становится уже больше градиента температур и направление потока влаги изменяется на обратное и влага перемещается из внутреннего слоя к открытым поверхностям, и в это время происходит обдув воздухом макаронных изделий, что вызывает постепенное увеличение влагосодержания на поверхности и испарение влаги с поверхностей макаронных изделий. В процессе обдува в макаронных изделиях возникает перепад температур между внутренними и поверхностными слоями макаронных изделий, в результате чего образуется градиент температур температуры, вектор которого направлен из глубинных слоев к поверхностным слоям. Происходит совпадение данных векторов. Чем больше разность температур между глубинными слоями макаронных изделий и его поверхностными слоями,

тем выше температурный градиент, тем сильнее напор влаги из глубины макаронного изделия на его поверхность. Происходит интенсификация процесса сушки. Из анализа рисунков 1 и 3 видно, время сушки в осциллирующем режиме макаронных изделий в виде спирали при изменении плотности теплового потока инфракрасного излучения от 3,6 кВт/м<sup>2</sup> до 4,1 кВт/м<sup>2</sup> уменьшается на 5–7 мин при прочих равных условиях. В результате проведенных экспериментальных исследований было выявлено, что время процесса сушки макаронных изделий до среднего влагосодержания значений влагосодержания 15,0–15,5% и температуры на поверхности слоя продукта 55–57°С при осциллирующем режиме уменьшается по сравнению с инфракрасной обработкой выделенной длинной волны на 8–13 мин. Данные исследования будут использованы для разработки конструкции инфракрасного аппарата.

### *Список литературы*

1. Демидов С.Ф. Некоторые кинетические закономерности процесса сушки измельченной цветной капусты инфракрасным излучением / С.Ф. Демидов, Л.Ф. Пелевина, А.П. Ивкина // Новое слово в науке: перспективы развития: материалы VIII Междунар. науч.-практ. конф. (Чебоксары, 10 апр. 2016 г.) / редкол.: О.Н. Широков [и др.] – 2016. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2016. – №2 (8). – С. 111–113. – ISSN 2411–8133.
2. Демидов С.Ф. Осциллирующий режим сушки шинкованной моркови инфракрасным излучением / С.Ф. Демидов, Б.А. Вороненко, С.Ф. Демидов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. – 2014. – №4. – С. 49–54.
3. Демидов С.Ф. Исследование кинетики сушки пшеничных зародышей инфракрасным излучением выделенной длинной волны в осциллирующем режиме / С.Ф. Демидов, Л.Ф. Пелевина, Н.Н. Гашникова // Актуальная наука. – 2016. – №2. – С. 93–96.
4. Демидов С.Ф. Исследование процесса сушки свежееубранного ячменя инфракрасным излучением выделенной длинной волны / С.Ф. Демидов, Л.Ф.

Пелевина, Е.А. Нестеренко [и др.] // Наука, образование, общество: общество и перспективы развития. – 07.05.2019.

5. Демидов С.Ф. Исследование процесса сушки макаронных изделий инфракрасным излучением выделенной длинной волны / С.Ф. Демидов, Л.Ф. Пелевина, О.Ю. Акуличева [и др.] // Новое слово в науке: стратегия развития. – 27.02.2019.

6. Демидов С.Ф. Закономерности распределения температуры полей в репчатом луке при термической обработке инфракрасным излучением / С.Ф. Демидов, С.А. Петров, В.И. Филиппов // Новые технологии – 2016. – №1. – С. 11–17.

7. Демидов С.Ф. Инфракрасная сушка кроющих чешуек репчатого лука перед закладкой на хранение / С.Ф. Демидов, В.И. Филиппов С.А. Петров, // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств – 2016. – №4 (30). – С. 26–31.