

## **Исследование процесса инфракрасной сушки продуктов для диетического питания**

**С. С. БЕЛЯЕВА**

*Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет ИТМО  
Институт холода и биотехнологий  
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9*

***Получены кинетические закономерности процесса инфракрасной сушки на тефлоновой ленте и разработана установка для сушки насыпного растительного сырья.***

***Ключевые слова:*** кинетика сушки, инфракрасное излучение, отруби ржаные, пшеничные зародыши.

---

## **Experimental study of diet meal drying by infra-red radiation**

**S. S. BELYAEVA**

*National Research University of Information Technologies, Mechanics and Optics  
Institute of Refrigeration and Biotechnologies  
191002, St. Petersburg, Lomonosov str., 9*

***Kinetics of drying by infra-red radiation on the Teflon tape is obtained and plant for dry vegetable raw material is devised.***

***Keywords:*** kinetics of drying, infra-red radiation, rye-bran, wheat germ.

---

На мукомольных заводах РФ ежегодно перерабатываются десятки миллионов тонн зерна. В результате образуется значительное количество побочных продуктов: зародышевые хлопья пшеницы, отруби, мучка, рациональное использование которых для зерноперерабатывающей отрасли имеет важное значение. Зародыши зерна пшеницы, на долю которых приходится до 3,2%, богаты полноценными белками, липидами, витаминами, минеральными веществами. Минеральный состав представлен 20 макроэлементами и микроэлементами. Пшеничные зародыши богаты и витаминами. Особую ценность представляет токоферол (витамин E), содержание которого достигает 16,9 мг. Однако хранение зародышей затруднено в связи с тем, что вследствие гидролиза и окисления жиров, и прежде всего ненасыщенных жирных кислот (прогоркание) они приобретают неприятный вкус и запах. Хранение их с влажностью выше 13% в течение недели приводит к интенсификации микробиологических процессов. После сушки длительность хранения зародышей пшеничных значительно возрастает.

Отруби представляют собой твердую оболочку зерна. Рекомендуется в качестве дополнительного источника пищевых волокон и кальция. Употребление в сутки 65 г продукта обеспечивает 100% суточной потребности в пищевых волокнах. Недостаток в рационе питания клетчатки (пищевых волокон) приводит к дисбактериозу и является одной из причин заболевания кишечника. Отруби ржаные нашли широкое применение в пекарной, кондитерской и микробиологической промышленности в качестве витаминной добавки. Широкое использование отрубей ржаных для производства продуктов диетического питания сдерживается их нестойкостью при хранении, через 2 мес. хранения численность микрофлоры увеличивается в 10—300 раз в зависимости от условий хранения. Для уменьшения микробиологической обсемененности и снижения влажности пшеничные зародышевые хлопья сушат. При этом биологически активные вещества должны сохраняться. После термообработки продолжительность хранения значительно возрастает. Существует множество способов сушки зерна и зернопродуктов, кратко рассмотрим каждый из них.

По способу теплопередачи они делятся на:

- конвективная сушка нагретым воздухом
- сушка током высокой частоты
- сушка инфракрасным излучением
- сушка в кипящем слое
- вакуумная сушка
- контактная сушка

Исследования последних лет направлены на совершенствование методов сушки, обеспечивающих высокую интенсивность процесса при максимальном сохранении пищевой ценности и вкусовых достоинств продукта.

Автором [1] был разработан новый способ конвективной сушки зародышевых хлопьев пшеницы в осциллирующих режимах. В результате исследования были определены оптимальные режимы сушки, при которых продукт нагревают до 71 °С. Преимуществами конвективного способа обработки зародышевых хлопьев являются: улучшение качества продукта, уменьшение расхода сырья и энергии на единицу продукции. Недостатками данного способа является: долговременный процесс обработки пшеничных зародышей и слишком высокая температура нагрева, при которой происходит денатурация белков продукта.

Авторы [2] подвергали зародышевые хлопья пшеницы конвективной сушке в пульсирующем фонтанирующем слое при температуре 130...150 °С. По сравнению с другими типами сушилок и особенно барабанными сушилками с

фонтанирующим слоем обладают рядом преимуществ: отсутствие движущихся частей, простота конструкции, возможность полной автоматизации процесса. Интенсивное перемешивание частиц в слое приводит к быстрому выравниванию температур по всему объему сушилки. Это устраняет возможность перегрева высушиваемого материала.

Автор [3] проводил исследования сушки пшеничных зародышей в барабанной сушилке при температуре 130 °С. Преимущество барабанных сушилок — возможность сушки продуктов при высоких температурах нагретых газов (700—800 °С) и значительной крупности исходного материала до 250 мм. К недостаткам барабанной сушилки относят: значительную массу сушилки, большие габариты, налипание влажного материала на внутреннюю поверхность и насадки барабана, а также то, что в процессе сушки 15—25 % ее полезного объема занято сушимым материалом.

Анализ существующей сушильной техники показал, что при сушке зерна и продуктов его переработки, преимущественно используются сушильные установки, в которых продукт находится в псевдооживленном и кипящем состоянии [4].

Применение этого метода для сушки пищевых продуктов позволяет значительно ускорить процесс. В аппарате с кипящим слоем происходит интенсивное перемешивание продукта, то есть продукт находится во взвешенном состоянии. Происходит равномерное распределение тепла по всему слою продукта.

К недостаткам сушилок кипящего слоя следует отнести трудность управления процессом — чрезмерное увеличение расхода влажного материала или понижение температуры сушильного агента приводит к слипанию материала, образованию застойных зон в аппарате, препятствующих прохождению газа и повышению гидравлического сопротивления сушильного агрегата.

В электрическом поле высокой и сверхвысокой частоты нагрев частиц растительного материала происходит за доли секунды. Под действием переменного электрического поля высокой частоты происходит регулируемый нагрев продукта. Возникают градиенты температуры и влагосодержания, за счет которых влага изнутри перемещается к поверхности. При этом, в отличие от конвективной сушки, направление обоих градиентов совпадает, что интенсифицирует процесс сушки. Преимущества способа: возможность регулирования и поддержания температуры внутри материала. Недостатки способа: высокие затраты электроэнергии, сложное оборудование и обслуживание. Сушка дороже конвективной в 3-4 раза.

Существует вакуум-сублимационная сушка с применением СВЧ-нагрева, и в 2005 году автором [5] была разработана вакуум-сублимационная сушка зародышей зерна пшеницы с применением инертного газа для интенсификации процесса сушки.

Метод сублимационной сушки позволяет сохранять высокие вкусовые качества и питательную ценность пищевых продуктов продолжительное время (до 5 лет) при нерегулярных температурах (от -50 до +40С). В производстве продуктов питания сублимация представляет собой технологию удаления влаги из свежих предварительно замороженных продуктов вакуумным способом, что позволяет практически полностью (до 95%) сохранить в них питательные вещества, витамины, микроэлементы, первоначальную форму, естественный запах, вкус и цвет. Это является одним из важнейших достоинств сублимации, при этом позволяет избегать разрушения структуры продукта, быстро восстанавливать сублимированные продукты, так как они имеют пористую структуру. Данный факт примечателен тем, что сублимированные продукты в полной мере пригодны для детского и диетического питания.

Энергозатраты на организацию сублимационного процесса в вакууме в 15—20 раз превышают аналогичные затраты на тепловую сушку. К тому же вакуумные сублимационные сушилки характеризуются высокой стоимостью, большими эксплуатационными расходами и сложностью обслуживания.

Инфракрасная сушка продуктов делает их устойчивыми к развитию микрофлоры. Использование инфракрасного излучения является перспективным направлением в сушке пищевых продуктов. Стоит отметить, что на глубине 6-7 мм рост температуры высушиваемого продукта значительно выше, чем при конвективной сушке. Это происходит за счёт воздействия на продукт коротковолновых лучей инфракрасного диапазона, которые оказывают более глубокое воздействие на молекулярную структуру.

Цель данного этапа работы — разработать оборудование для сушки насыпных растительных продуктов для диетического питания.

В лаборатории сушки на кафедре ТмиМП в СПб ИТМО ИХиБТ на экспериментальной установке были сняты кривые кинетики сушки и температурные кривые вышеперечисленных продуктов. Исходное влагосодержание отрубей ржаных составляло 13-14 %, зародышей пшеничных — 12 %, конечное 6 %. В ходе эксперимента менялись: плотность теплового потока, высота слоя продукта и расстояние от ИК-излучателя до продукта[6–11].

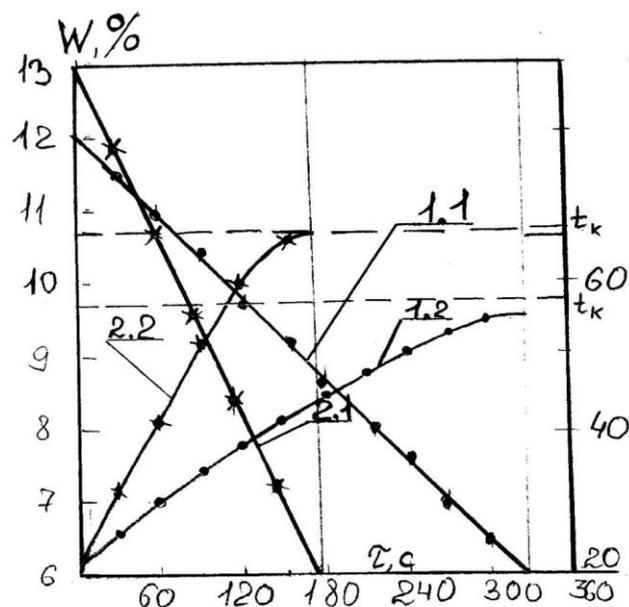


Рис. 1. Кривые процесса сушки инфракрасным излучением неподвижного слоя пшеничных зародышей и ржаных отрубей толщиной 10 мм при плотности теплового потока ИК-излучателя  $5,26 \text{ кВт/м}^2$ : 1.1 –  $W = f(\tau)$ , 1.2.  $t = f(\tau)$  – зародыши пшеничные; 2.1 –  $W = f(\tau)$ , 2.2 –  $t = f(\tau)$  – ржаные отруби

Применение инфракрасных нагревателей, излучающих на длине волны 1,5-3 мкм, определено резонансной сопоставимостью с частотой собственных колебаний молекул воды, что способствует интенсивному испарению структурно связанной влаги пшеничных зародышей и ржаных отрубей от исходной влажности 12-14 % до конечной влажности 6-9 % равномерно без денатурации белка и разрушения нативных витаминов [4].

Совместно с кафедрой ТмиМП и ФГУП «ФНПЦ «Прибор» разработаны исходные требования и техническое задание установки для инфракрасной сушки зародышей пшеничных производительностью 150 кг/час от 23 марта 2012 года.

Технические характеристики установки:

- Конвейерная лента должна быть выполнена из тефлона шириной 500 мм; длиной 3000 мм
- Производительность установки 150 кг/час
  - Общая мощность установки, 11.5 кВт.

Предложенное техническое решение целесообразно использовать для переработки зернового сырья на предприятиях малых форм собственности.

### Список литературы

1. Шамшин А.С. Разработка и научное обоснование способа конвективной сушки зародышевых хлопьев пшеницы в осциллирующих режимах [Текст] А. С. Шамшин Автореф. дис. канд. техн. наук. Воронеж, 2004 г. 20.

2. *Колкунова, Г. К.* Пути повышения качества зерна и зернопродуктов, улучшение ассортимента крупы, муки и хлеба [Текст] Г. К. Колкунова Тез. докл. Всес. науч. конф., г. Москва, 17-19 окт. 1989 г. М., 1989. 132-133.
3. *Бабаев Д.* Стабилизация зародышей при хранении [Текст] Д.Бабаев, Бухара, 1994.11 с.Дсп.в ГФ НТИ ГКНТ РУЗ 12.04.1994, № 2060
4. *Гинзбург А.С., Резчиков В.А.* Сушка пищевых продуктов в кипящем слое. М.:Пищевая промышленность, 1966 г.- 196 с.
5. *Моисеева И.С.* Совершенствование процесса вакуум-сублимационной сушки зародышей зерна пшеницы [Текст] И.С. Моисеева Автореф. дис. канд. техн. наук. Воронеж, 2005 г. 20.
6. *Демидов С.Ф., Беляева С.С., Вороненко Б.А., Демидов А.С.* Кинетика сушки отрубей ржаных инфракрасным излучением // Новые технологии. 2012.№1.
7. *Демидов С.Ф., Беляева С.С., Вороненко Б.А., Демидов А.С.* Оптимизация процесса инфракрасной сушки с электроподводом зародышей пшеничных// Естественные и технические науки. 2012. № 1.
8. *Демидов С.Ф., Беляева С.С., Вороненко Б.А.* Температурные кривые при инфракрасной сушке отрубей ржаных. Электронный научный журнал СПбГУНиПТ серия «Процессы и аппараты пищевых производств». Март 2012. №1
9. *Беляева С.С, Демидов С.Ф., Вороненко Б.А.* Оптимизация процесса инфракрасной сушки с электроподводом зародышей пшеничных Материалы Международной научно-практической конференции 24-25 мая 2012г Иновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья: Фундаментальные и прикладные аспекты.Государственное научное учреждение Краснодарский НИИ хранения и переработки сельскохозяйственной продукции. Стр-219-222
10. *Беляева С.С, Демидов С.Ф., Вороненко Б.А.* Экспериментальные исследования процесса инфракрасной сушки зародышей зерна пшеницы. Материалы VII Международной научно-практической конференции 20.06.2012. Современное состояние естественных и технических наук.- М.:Издательство «Спутник +», 2012. -38-42 с.
11. Патентная заявка на изобретение № 2012109982. Установка для сушки растительного сырья от 15.03.2012.