

УДК 635.25:66.085.1

ББК 42.345

Д-30

Демидов Сергей Федорович, кандидат технических наук, доцент кафедры технологических машин и оборудования, факультета пищевых биотехнологий и инженерии Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики; 191002, г. Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9; e-mail: demidovserg@mail.ru;

Вороненко Борис Авсеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологических машин и оборудования факультета пищевых биотехнологий и инженерии Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики; 191002, г. Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9;

Схаляхов Анзаур Адамович, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технологии, машин и оборудования пищевых производств, декан технологического факультета ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет»; 385000, г. Майкоп, ул. Первомайская, 191, тел.: 8(8772)52-57-81.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ШИНКОВАННОГО РЕПЧАТОГО ЛУКА ИНФРАКРАСНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ*

(рецензирована)

*Статья опубликована в рамках выполнения базовой части государственного задания №2015/300 (научно-исследовательская работа №1154 «Теоретические основы интенсификации тепло-массообменных квазистационарных и мембранных процессов с целью разработки инновационных технологий переработки сельскохозяйственного сырья и производства пищевых продуктов»).

Существующие способы получения порошков состоят из двух этапов: сушки и измельчения. Анализ механико-технологических параметров серийно выпускаемых аппаратов показал, что производимая техника является громоздкой, энергоёмкой и процесс производства сухих пищевых порошков является весьма продолжительным по времени. Решение задач по обоснованию и разработке технологии, конструкции и рекомендаций для проектирования и эксплуатации техники, предназначенной для производства сухих порошков, является одной из актуальных задач науки и народного хозяйства. При этом повышение производительности, сохранность питательных качеств продукта при минимальных затратах энергии являются первоочередными целевыми задачами в решении данной проблемы.

Ключевые слова: исследование, инфракрасное излучение, шинкование, влагосодержание, лук, сушка, температура, плотность теплового потока.

Demidov Sergey Fedorovich, Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Technological Machines and Equipment of the Faculty of Food Biotechnologies and Engineering of the St. Petersburg national research university of information technologies, mechanics and optics, 191002, St. Petersburg, 9 Lomonosov St.; e-mail: demidovserg@mail.ru;

Voronenko Boris Avseevich, Doctor of Technical Sciences, professor, professor of the Department of Technological Machines and Equipment of the Faculty of Food Biotechnologies and Engineering of the St. Petersburg national research university of information technologies, mechanics and optics, 191002, St. Petersburg, 9 Lomonosov St.;

Skhalyakhov Anzaur Adamovich, Doctor of Technical Sciences, associate professor,

professor of the Department of Technology, Machines and Equipment for Food Production, dean of the Technological faculty of FSBEI HE "Maikop state technological university", 385000, Maikop, 191 Pervomayskaya St., tel.: 8(8772)52-57-81.

RESEARCH OF THE PROCESS OF THE SHREDDING OF ONION WITH INFRARED RADIATION

(reviewed)

The existing ways of receiving powders consist of two stages: drying and crushing. The analysis of mechanical and technological parameters of serially manufactured devices has shown that the produced equipment is bulky and power-consuming and the process of production of dry food powders is very enduring. The solution of tasks on justification and development of the technology, design and recommendations for design and operation of the equipment intended for the production of dry powders is one of the actual problems of science and national economy. Thus, increase in productivity, safety of nutritious qualities of a product at the minimum expenses of energy are of the first priority tasks in the solution of this problem.

Keywords: *research, infrared radiation, shredding, moisture content, onion, drying, temperature, thermal stream density.*

В Университете ИТМО проводятся исследования процесса сушки пищевых продуктов инфракрасным излучением выделенной длиной волны [1-4].

Данное исследование посвящено процессу сушки слоя шинкованного лука кружочками 2,5-3,0 мм инфракрасным излучением выделенной длины волны 1,5-3,0 мкм при постоянном тепловом воздействии и в осциллирующем режиме в зависимости от технологических и конструктивных параметров проведения процесса.

Лук в процессе подготовки не бланшировали, так как известно, что при использовании тепловой обработки инактивируются ферменты, обуславливающие протекание реакций, при которых происходит сохранение натурального лукового вкуса.

Исследования процесса сушки шинкованного репчатого лука инфракрасным излучением выделенной длиной волны были проведены на экспериментальном стенде [5-8].



Рисунок 1. *Фото экспериментального стенда*

В сушильной камере установлены инфракрасные излучатели с отражателями. В качестве генераторов ИК-излучения применены линейные кварцевые излучатели диаметром 0.012 м с функциональной керамической оболочкой [4]. ИК-излучатели

установлены сверху и снизу относительно сетчатого поддона с подложкой из нержавеющей сетки с шагом 2 мм, который может перемещаться с помощью направляющих в вертикальном направлении. На подложку из нержавеющей сетки помещается продукт. Перемещение поддона позволяет регулировать расстояние между инфракрасными излучателями и поддоном.

Для снятия температурных полей в объектах сушки использовались хромель-алюмелевые ТХА 9419-23 термопары градуировки ХА₉₄ с диаметром проволоки $6 \cdot 10^{-4}$ м.

Измерение температуры поверхности облучаемого материала производилось при помощи дистанционного неконтактного инфракрасного термометра Raytek MiniTemp МТ6.

Измеритель температуры ИТ-2 в комплекте с преобразователями плотности теплового потока и ТХА (ХА94) термопарами использовался в качестве устройства автоматизированного сбора и обработки информации.

Для измерения массы слоя шинкованного лука в течение процесса сушки применялись весы GF-600. Погрешность измерения не превышала $\pm 0,003$ г.

Для изменения влагосодержания шинкованного лука применялся анализатор влажности ЭЛВИЗ-2.

Для охлаждения слоя шинкованного лука использовался вентилятор марки ВН-2МРОО.

В результате статистической обработки результатов экспериментов получены уравнения регрессии, наиболее точно описывающие временной процесс сушки шинкованного лука на сетчатых поддонах из нержавеющей стали с ячейкой 2x2 мм при действии выбранных факторов:

$$Y = 692,1 - 182,5Z_1 + 0,46Z_2 + 0,5Z_1Z_2, \quad (1)$$

где Y – время тепловой обработки, мин., Z_1 – плотность теплового потока ИК-излучения от 2,88 до 3,08 кВт/м², Z_2 – высота слоя шинкованного лука от 15 до 25 мм.

Необходимое число повтора эксперимента определено с помощью распределения Стьюдента при уровне надежности 0,95 и допустимой ошибке 5%. Адекватность полученных уравнений проверена по критерию Фишера.

Проведено также исследование процесса сушки слоя шинкованного лука инфракрасным излучением выделенной длины волны 1,5-3,0 мкм в осциллирующем режиме при постоянном энергоподводе в зависимости от технологических и конструктивных параметров проведения процесса.

Нагрев продукта ИК-излучателями при плотности теплового потока 3,55- 3,75 кВт/м² происходит постоянно в течение всего процесса сушки. Как только происходит достижение температуры в верхнем слое шинкованного лука 54-55°C включается вентилятор на 20 секунд для обдува слоя продукта, скорость воздуха 0,35 м/с, продукт за это время охлаждается до температуры 41-42°C. В процессе сушки до 28 минуты от первичного влагосодержания 625 кг/кг до промежуточного показателя влагосодержания 550-590 кг/кг при глубине слоя продукта от 15 мм до 35 мм, время за которое нагревается до температуры верхнего слоя продукта 54-55°C составляет 5,5-6 минут, после включается вентилятор и таким образом проходит 5 циклов, уменьшение влагосодержания составляет 1,1-2,5 (кг/кг)/мин.

В период сушки от 28 до 68 минуты до влагосодержания 170-340 кг/кг время нагрева до температуры верхнего слоя продукта 54-55°C составляет 4 минуты, после включается вентилятор на 20 секунд, продукт за это время охлаждается до температуры 41-42°C, проходит 9 циклов, уменьшение влагосодержания составляет 1,75-3,25 (кг/кг)/мин.

В период сушки от 69 до 84 минуты до влагосодержания 63,3 кг/кг время нагрева до температуры верхнего слоя продукта 54-55°C составляет 3-3,5 мин., после включается вентилятор на 20 секунд, продукт за это время охлаждается до температуры 41-42°C, проходит 5 циклов, уменьшение влагосодержания составляет 1,79-1,85 (кг/кг)/мин.

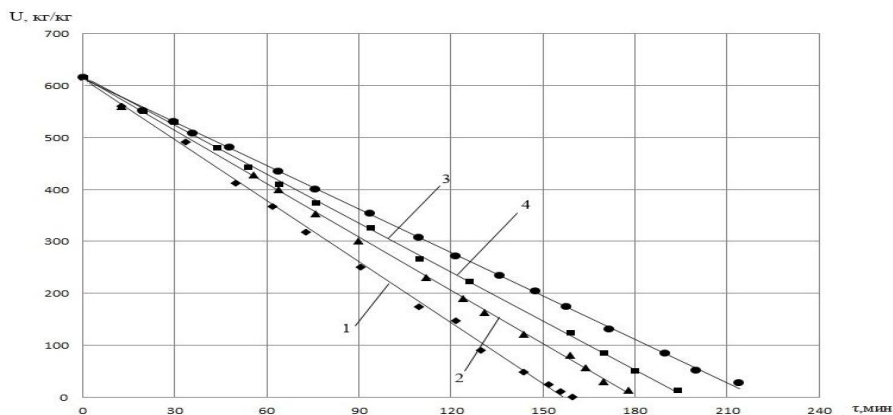


Рисунок 2. Зависимость изменения среднего по объему влагосодержания в процессе сушки инфракрасным излучением шинкованного лука высотой слоя продукта 15 мм (кривая 1), высотой слоя 25 мм (кривая 2) при плотности теплового потока 3,08 кВт/м², высотой слоя 15 мм (кривая 3) высотой слоя 25 мм (кривая 4) при плотности теплового потока 2,88 кВт/м²

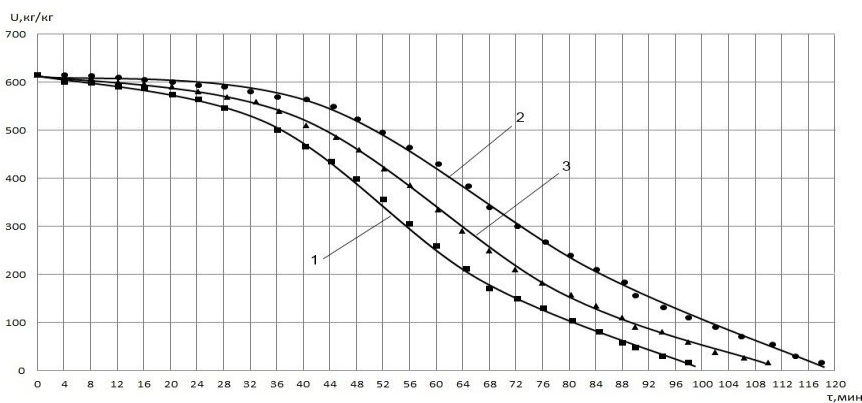


Рисунок 3. Зависимость изменения среднего по объему влагосодержания в осциллирующем режиме процесса сушки инфракрасным излучением шинкованного лука высотой слоя 15 мм (кривая 1), высотой слоя 35 мм (кривая 2), высотой слоя 25 мм (кривая 3) при плотности теплового потока 3,75 кВт/м² и скорости воздуха обдува 0,35 м/с

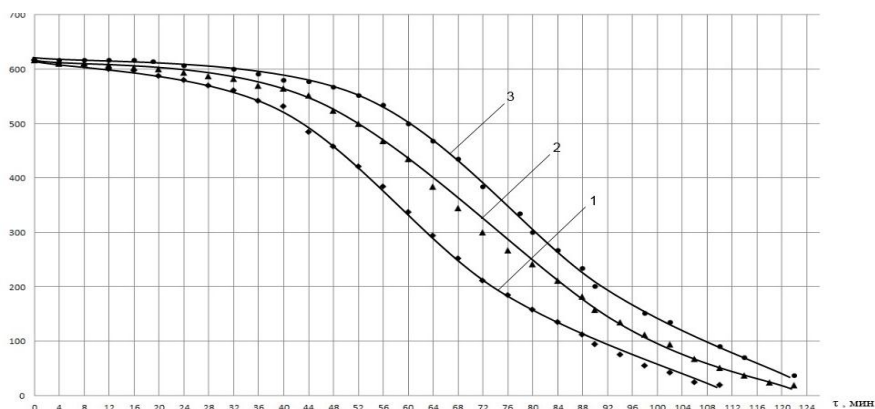


Рисунок 4. Зависимость изменения среднего по объему влагосодержания в осциллирующем режиме процесса сушки инфракрасным излучением шинкованного лука высотой слоя 15 мм (кривая 1), высотой слоя 35 мм (кривая 2), высотой слоя 25 мм (кривая 3) при плотности теплового потока 3,55 кВт/м² и скорости воздуха обдува 0,35 м/с

В период сушки от 84 до 96 минуты до влагосодержания 15 кг/кг время нагрева до температуры верхнего слоя продукта 54-55°C составляет 100-110 сек., после чего

включается вентилятор на 20 секунд, продукт за это время охлаждается до температуры 41-42°C, проходит 5 циклов, уменьшение влагосодержания составляет 6,90-6,95 (кг/кг)/мин.

В результате статистической обработки результатов экспериментов получены уравнения регрессии, адекватно описывающие временной процесс сушки шинкованного лука в осциллирующем режиме на сетчатых поддонах из нержавеющей стали с ячейкой 2x2 мм с расстоянием от ИК-излучателя до слоя продукта 50 мм при действии выбранных факторов:

$$Y = 42,05 - 90Z_1 - 65Z_2 + 2Z_1Z_2, \quad (2),$$

где Y – время тепловой обработки, мин, Z_1 – плотность теплового потока ИК-излучения от 3,55 до 3,75 кВт/м², Z_2 – высота слоя шинкованного лука от 15 до 35 мм.

Правильность полученных уравнений проверена по критерию Фишера

Данное уравнение необходимо для составления инструкции по сушке шинкованного лука инфракрасным излучением выделенной длины волны 1,5-3,0 мкм в аппаратах с осциллирующим режимом, где нагрев продукта осуществляется непрерывно, а продувку воздухом в течение 0,3 минуты проводят периодически с переменным шагом в циклах повтора последовательно: через 5,5 минут пятикратно, через 4 минуты девятикратно, через три минуты пятикратно и через 100 секунд пятикратно или последний.

В результате проведения эксперимента были получены наилучшие параметры проведения осциллирующего режима для процесса сушки слоя шинкованного лука инфракрасным излучением определенной длины волны при постоянном энергоподводе в зависимости от технологических и конструктивных параметров проведения процесса.

Разработаны исходные требования и техническое задание на промышленную установку для сушки шинкованного лука в осциллирующем режиме.

Литература:

1. Многоярусная камера инфракрасной сушки: патент 2463538 Рос. Федерация, МПК F26B 3/30 / Д.А. Ободов [и др.]; заявитель и патентообладатель Ободов Д.А. №2010151818/06; заявл. 17.10.2010; опубл. 10.10.2012, Бюл. №28.

2. Устройство для инфракрасной сушки семян: патент 2010131602 Рос. Федерация, МПК F26B 3/00 / Демидов С.Ф. [и др.]; заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий. №2010131602/06; заявл. 28.07.2010; опубл. 10.02.2012, Бюл. №4.

3. Способ инфракрасной сушки семян: патент 2433364 Рос. Федерация, МПК F26B 3/30 / Демидов С.Ф. [и др.]; заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий. №2010131605/06; заявл. 28.07.2010; опубл. 10.11.2011, Бюл. №31.

4. Источники инфракрасного излучения с электроподводом для термообработки пищевых продуктов / С.Ф. Демидов [и др.] // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Процессы и аппараты пищевых производств. 2011. №1.

5. Демидов С.Ф., Демидов А.С., Пятницков В.А. Исследование процесса термообработки сосисок инфракрасным излучением // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Процессы и аппараты пищевых производств. 2013. №1.

6. Вороненко Б.А., Беляева С.С., Марченко В.И. Исследование температурного поля инфракрасной нагревательной системы для сушки зародышей зерна пшеницы и ржаных отрубей / С.Ф. Демидов [и др.] // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Процессы и аппараты пищевых производств. 2013. №1.

7. Некоторые закономерности процесса инфракрасной сушки семян подсолнечника для семенного фонда / С.Ф. Демидов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия Процессы и аппараты пищевых производств. 2013. №2.

8. Демидов А.С., Вороненко Б.А., Демидов С.Ф. Сушка семян подсолнечника инфракрасным излучением // Новые технологии. 2011. Вып. 3. С. 25-30.

Literature:

1. *Many-tier camera of the infrared drying: 2463538 patent Russ. Federation, MPK of F26B 3/30. D.A. Obodov [oth.]; applicant and patent holder Obodov D. A. No. 2010151818/06; appl. 17.10.2010; publ. 10.10.2012, Bulletin No. 28.*

2. *The device for infrared drying of seeds: 2010131602 patent Russ. Federation, MPK F26B 3/00 / Demidov S.F [and oth.]; applicant and patent holder St. Petersburg State University of low-temperature and food technologies. No. 2010131602/06; appl. 28.07.2010; publ. 10.02.2012, Bulletin No. 4.*

3. *Way of infrared drying of seeds: 2433364 patent Russ. Federation, MPK F26B 3/30 / Demidov S.F. [and oth.]; applicant and patent holder St. Petersburg State University of low-temperature and food technologies. No. 2010131605/06; appl. 28.07.2010; publ. 10.11.2011, Bulletin No. 31.*

4. *Sources of infrared radiation with electric supply for heat treatment of foodstuff / S. F. Demidov [and oth.]/SRU ITMO Scientific magazine. Series: Processes and devices for food production. 2011. No. 1.*

5. *Demidov S.F., Demidov A.S., Pyatnitskov V.A. Research of the process of heat treatment of sausages with infrared radiation//SRU ITMO Scientific magazine. Series: Processes and devices for food productions. 2013. No. 1.*

6. *Voronenko B. A., Belyaeva S.S., Marchenko V. I. Research of the temperature field of the infrared heating system for drying wheat grain germs and rye bran / S.F. Demidov [and oth.]/SRU ITMO Scientific magazine. Series: Processes and devices for food production. 2013. No. 1.*

7. *Some regularities of the process of infrared drying of seeds of sunflower for the seed fund / S. F. Demidov//SRU ITMO Scientific magazine. Series: Processes and devices for food production. 2013. No. 2.*

8. *Demidov A.S., Voronenko B. A., Demidov S.F. Drying of seeds of sunflower with infrared radiation//New technologies. 2011. Iss. 3. P. 25-30.*