

УДК 66.047.3.085.1

Кинетика инфракрасной сушки шинкованной свеклы*Канд. техн. наук С.Ф. Демидов, demidovserg@mail.ru**д-р техн. наук Б.А. Вороненко, И.А. Бажанова**Университет ИТМО**191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9*

Основная задача производства фруктовых и овощных продуктов заключается в полной и безотходной переработке растительного сырья с максимально возможным сохранением в неизменном виде входящих в него витаминов, макро и микроэлементов, пектинов, красящих и других биологически активных веществ. Актуальными являются исследования, направленные на совершенствование процесса сушки для получения сухих фруктовых и овощных порошков. Проведено исследование процесса сушки шинкованной свеклы инфракрасным излучением с использованием современной измерительной техники до среднего влагосодержания $\bar{U}=11,5$ кг/кг при плотности теплового потока 1,55; 1,75 кВт/м², высоте слоя 15 мм, 25 мм и при достижении температуры на поверхности слоя продукта не более 55–58°C. В качестве генераторов инфракрасного излучения применены линейные кварцевые излучатели диаметром 0.012 м с функциональной керамической оболочкой, установленные на расстоянии 55 мм сверху и снизу относительно сетчатого поддона с подложкой из нержавеющей сетки с диаметром 2 мм. Результаты исследования процесса сушки шинкованной свеклы инфракрасным излучением будут использованы при проектировании и изготовлении экспериментальной инфракрасной установки производственного типа.

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

Kinetics of infrared drying shredded carrots*Ph.D. S.F. Demidov, demidovserg@mail.ru**D.Sc. B.A. Voronenko, I.A. Bazhanova**ITMO University**191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9*

The main objective of the production of fruit and vegetable products is complete and non-waste processing plant materials with the best possible preservation intact its constituent vitamins, macro and microelements, pectin, coloring and other biologically active substances. Relevant studies are aimed at improving the drying process for producing dry fruit and vegetable powders. A study of the drying process of beet slaw infrared radiation using modern measuring techniques to the average moisture content $\bar{U} = 11,5$ kg / kg for the heat flux density 3.29 kW/m², bed height 25 mm, 35 mm, and when the temperature on the surface layer of the product not more than 55 - 58 ° C. As the infrared radiation generator applied linear quartz radiators with a diameter of 0.012 m functional ceramic shell, mounted on a distance of 80 mm at the top and bottom tray with respect to the mesh stainless mesh substrate having a diameter of 2 mm. Results of the study of the drying process shredded beets infrared radiation will be used in the design and manufacture of experimental infrared installation and production type.

Keywords: study infrared grinding, moisture, beet, drying temperature, heat flux.

Основными задачами создания продуктов питания функционального назначения на основе пищевых порошков конкурентоспособными на мировом рынке по себестоимости, качеству, высокой пищевой и биологической ценности являются совершенствование существующей и разработка принципиально новой высокоэффективной техники и технологии.

Применение пищевых порошков на основе растительного сырья в производстве продуктов питания позволяет уменьшить углеводно-жировой комплекс и калорийность, обогатить функциональными ингредиентами (пищевыми волокнами, витаминами, микроэлементами, олигосахаридами, органическими кислотами), получать массы и изделия с заданными химическими свойствами и составом, т.е. продукты функционального питания.

В настоящее время получают пищевые порошки из сахара, патоки, плодов и овощей и др., которые находят широкое применение в производстве различных пищевых продуктов. Перспективными сырьевыми источниками для получения пищевых порошкообразных кондитерских полуфабрикатов с низкой себестоимостью является свекла, морковь, капуста и др.

Данное исследование позволит полностью сохранить все витамины, макро- и микроэлементы, органические кислоты и другие питательные вещества, содержащиеся в исходном сырье. Конкуренция на рынке растительной продукции ставит перед сельхозтоваропроизводителями задачу находить новые способы и средства переработки сырья, с целью сокращения энергозатрат на производство, улучшения качества готового продукта и уменьшения потерь свежесобранной продукции.

В этой связи важное значение приобретает создание экологичных сушильных установок, принцип действия которых основан на применении электротехнологий, дающих возможность сократить долю затрат себестоимости продукции.

Сокращение энергозатрат необходимо обеспечивать за счет максимальной концентрации выделенной энергии в сравнительно малых объемах сырья и автоматизированного поддержания требуемого технологического режима, а также создания новых и совершенствование существующих технологий с перевооружением производства.

Современные теоретические и практические исследования процесса сушки термолабильного сырья свидетельствуют о том, что массообменные и тепловые процессы зачастую сопровождаются течением реакций окисления, изменением структурно-физических свойств, образованием полиморфных форм и кристаллогидратов, что приводит к частичной потере или полной утрате пищевой ценности. Одной из причин является упущение производителями и технологами одного из важнейших свойств сырья – термолабильность

Область исследования процесса сушки свежесобранного урожая происходит в разработке новых методов сушки с использованием нетрадиционных источников энергии и новых видов генераторов тепла с чередованием нагрева и охлаждения.

Наиболее перспективным и актуальным направлением в обезвоживании пищевых продуктов является технология инфракрасного излучения. Уникальность и высокая эффективность процесса удаления избыточной влажности связана со структурой используемых лучей. Однако вопрос применимости ИК излучения для сушки термолабильных культур (шинкованной свеклы) изучен не достаточно полно, нет специализированного оборудования для сушки такого рода сырья.

Таким образом, разработка и научное обоснование основных принципов технологии сушки термолабильного сырья на примере шинкованной свеклы будет способствовать получению продуктов высокого качества, обладающих высокой биологической ценностью и функциональными свойствами за счет внедрения экологически чистых технологий, которые способны усовершенствовать техпроцесс за счет снижения энергозатрат и потерь сырья.

Во многих отраслях промышленности и сельского хозяйства приходится сталкиваться

с необходимостью снижения влажности различных продуктов, материалов и сырья.

Применительно к сельскому хозяйству это связано с общей задачей повышения сохранности плодоовощной и прочей сельскохозяйственной продукции, для чего в последние десятилетия были разработаны многочисленные технологии сушки различных продуктов. При любых масштабах использования сушильных технологий принципиальной представляется реализация, ряда технико-экономических параметров, таких как минимально возможная энергоемкость процесса, максимальная однородность сушки, минимальное время выхода на заданную температуру нагревателя, минимальное время выхода на заданную влажность сырья и некоторых других характеристик процесса обезвоживания. Процесс сушки растительного сырья это процесс, в котором удаление влаги осложняется регламентом на сохранность питательных, биологически активных веществ (БАВ), витаминов, а также ароматических и вкусовых качеств продукта.

Грамотный подход к выбору наиболее подходящих базовых физических процессов, приводящих к обезвоживанию растительного сырья, поможет в создании нового оборудования.

В Институте холода и биотехнологий НИУ ИТМО проводятся работы по сушке пищевых продуктов инфракрасным излучением [1–4].

Исследование кинетики сушки измельченной свеклы инфракрасным излучением выделенной длиной волны проводились на лабораторной установке, в которой в качестве источника излучения длиной волны 1,5–3,0 мкм использовались линейные кварцевые излучатели диаметром 0,012 м с керамической функциональной оболочкой [5–8]. Продукт располагали на сетчатом поддоне из нержавеющей стали. Инфракрасные излучатели располагали сверху и снизу относительно слоя шинкованной свеклы. Для измерения влагосодержания массы шинкованной свеклы в течение процесса сушки применялись весы GF-600.

Для измерения влагосодержания измельченной свеклы применялся анализатор влажности ЭЛВИЗ. Многоканальный измеритель теплопроводности ИТ-2 в комплекте с преобразователями плотности теплового потока ДТП 0924-Р-О-П-50-50-Ж-О и хромель-алюмелевые ТХА 9419-23 термопарами градуировки ХА₉₄ с диаметром проволоки $2.5 \cdot 10^{-4}$ м использовался в качестве устройства автоматизированного сбора и обработки информации. Измерение температуры поверхности слоя шинкованной свеклы производилось при помощи инфракрасного термометра RaytekMiniTemp МТ6.

Предварительно подготовленную измельченную свеклу формы пластины толщиной 2 мм с влагосодержанием 490 кг/кг равномерно распределяли на сетчатом поддоне из нержавеющей стали в сушильной камере, и при заданных параметрах, слой свеклы подвергался ИК обработке с двух сторон. Расстояние между ИК излучателями составляло 110 мм.

Продолжительность инфракрасной сушки выделенной длиной волны при заданной плотности теплового потока определяется временем достижения заданного влагосодержания продукта 11–12 кг/кг, температуры в центре слоя и на поверхности слоя свеклы 55–58°C.

В результате проведенных экспериментальных исследований было выявлено, что процесс сушки шинкованной свеклы толщиной 15 мм, 25 мм до среднего влагосодержания $\bar{U} = 11,5$ кг/кг завершается при достижении температуры на поверхности слоя продукта 57–58°C.

На рисунке 1 представлены графики зависимости среднего влагосодержания шинкованной свеклы высотой слоя 15мм, 25 мм от времени сушки.

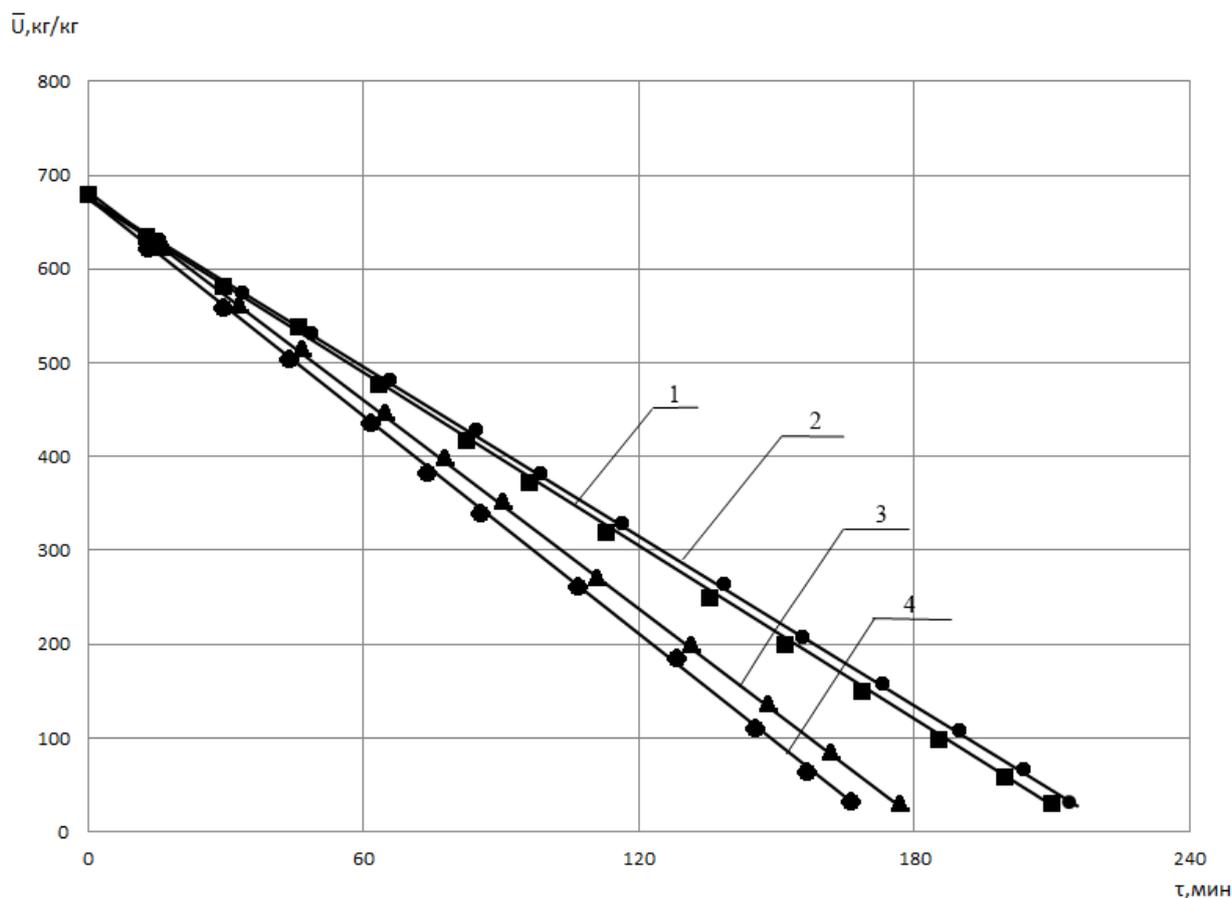


Рисунок 1 – Зависимость процесса сушки инфракрасным излучением шинкованной свеклы высотой слоя 15 мм (кривая 1, 4), высотой слоя 25 мм (кривая 2,3) при плотности теплового потока $1,75 \text{ кВт/м}^2$ (кривая 1,4), плотности $1,55 \text{ кВт/м}^2$ (кривая 2, 3)

При двустороннем ИК облучении слоя шинкованной свёклы во время нагрева продукта, подводиться теплота, необходимая для испарения влаги, возникают перепады температур, в то время как перепады влагосодержания малы. В результате этого влага под воздействием перепада температур перемещается по направлению потока тепла внутрь слоя шинкованной свёклы, расположенной на сетчатом поддоне из нержавеющей стали, что определенно вызывает увеличение влагосодержания в середине слоя. Одновременно происходит два процесса, испарение влаги с нижнего и верхнего слоев поверхностей шинкованной свёклы, что увеличивает градиент влагосодержания, имеющий направление вглубь материала. Перенос влаги и испарение на верхнем и нижнем слое, создают все возрастающий перепад влагосодержания по толщине слоя. В результате этого величина градиента влагосодержания становится уже больше градиента температур. Тогда направление потока влаг имеет свойство изменяться на обратное и влага перемещается из внутреннего слоя к открытым поверхностям, что вызывает постепенное увеличение влагосодержания на поверхности и испарение влаги с поверхности.

Процесс сушки шинкованной свеклы толщиной слоя 15 мм, 25 мм протекает в периоде постоянной скорости. Длительность процесса в значительной мере определяется высотой слоя продукта. Анализ кривых (1, 2) показал, что время инфракрасной сушки продуктов от начального до конечного влагосодержания при плотности теплового потока $3,5 \text{ кВт/м}^2$ высоты слоя от 15 мм до 25 мм увеличивается на 10–12 мин при плотности теплового потока $3,1 \text{ кВт/м}^2$ высоты слоя от 15 мм до 25 мм увеличивается на 8–9 мин.

Данные исследования были использованы для аппаратурного оформления процесса сушки шинкованной свеклы инфракрасным излучением выделенной длины волны для производства порошкового полуфабриката. Высота аппарата 950 мм. Ширина аппарата 500 мм. Количество

излучателей 16 штук, длина излучателя 500 мм. Количество поддонов для продукта 3 штуки, 1 поддон с металлической подложкой предназначен для создания теплового потока внутри камеры. Размеры поддонов из нержавеющей сетки ширина 360 мм, длина 500 мм. Высота слоя продукта 25 мм. Плотность теплового потока 3,5 кВт/м²

Потребляемая мощность 1,75 кВт.

Расстояние от ИК излучателя до слоя продукта 55мм.

Количество продукта размещенного на поддонах.

Сушилка разработана для бытового использования.

Литература

1. Ободов Д.А., Демидов С.Ф., Вороненко Б.А., Пеленко В.В. Многоярусная камера инфракрасной сушки: пат. 2463538, Российская Федерация. 2012. Бюл. № 28.
2. Демидов С.Ф., Вороненко Б.А., Пеленко В.В., Демидов А.С., Агеев М.В., Усманов И.И. Устройство для инфракрасной сушки семян: пат. 2010131602, Российская Федерация. 2012. Бюл. № 4.
3. Демидов С.Ф., Вороненко Б.А., Пеленко В.В., Демидов А.С., Агеев М.В. Способ инфракрасной сушки семян: пат. 2433364, Российская Федерация. 2011. Бюл. № 31.
4. 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.
5. Stein W.A. Chargenweise Trocknung mit unterschiedlichen vacuum – kontaktrocknem. *Verfahrenstechnik*. 1976. V. 10, no. 12, pp. 769–774, 746.
6. Spotts M.R., Waltrich P.F. Vacuum dryers. *Chem. Eng.* 1977, V. 84, no. 2, pp. 120–123.
7. Qianli L., Trudayaraj J. Finite element analysis of moving boundary value problem. *Drying technol.* 1995, V. 13, № 1–2, pp. 99–123.
8. Демидов С.Ф., Вороненко Б.А., Беляева С.С., Марченко В.И. Исследование температурного поля инфракрасной нагревательной системы для сушки зародышей зерна пшеницы и ржаных отрубей // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2013. № 2.
9. Демидов С.Ф., Вороненко Б.А., Демидов А.С., Бакк О.А. Некоторые закономерности процесса инфракрасной сушки семян подсолнечника для семенного фонда // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2013. № 3.
10. Демидов А.С., Вороненко Б.А., Демидов С.Ф. Сушка семян подсолнечника инфракрасным излучением // Новые технологии. 2011. Вып. № 3. С. 25–30.

References

1. Obodov D.A., Demidov S.F., Voronenko B.A., Pelenko V.V. *Mnogoyarusnaya kamera infrakrasnoi sushki*. Patent RF no. 2463538. 2012.
2. Demidov S.F., Voronenko B.A., Pelenko V.V., Demidov A.S., Ageev M.V., Usmanov I.I. *Ustroistvo dlya infrakrasnoi sushki semyan*: Patent RF no. 2010131602. 2012.
3. Demidov S.F., Voronenko B.A., Pelenko V.V., Demidov A.S., Ageev M.V. *Sposob infrakrasnoi sushki semyan*. Patent RF no. 2433364. 2011.
4. Demidov S.F., Demidov A.S., Pyatnitskov V.A. Issledovanie protsesssa termoobrabotki sosisok infrakrasnym izlucheniem. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv*. 2013, no. 1.
5. Stein W.A. Chargenweise Trocknung mit unterschiedlichen vacuum – kontaktrocknem. *Verfahrenstechnik*. 1976. V. 10, no. 12, pp. 769–774, 746.
6. Spotts M.R., Waltrich P.F. Vacuum dryers. *Chem. Eng.* 1977, V. 84, no. 2, pp. 120–123.

7. Qianli L., Trudayaraj J. Finite element analysis of moving boundary value problem. *Drying technol.* 1995, V. 13, no. 1–2, pp. 99–123.
8. Demidov S.F., Voronenko B.A., Belyaeva S.S., Marchenko V.I. Issledovanie temperaturnogo polya infrakrasnoi nagrevatel'noi sistemy dlya sushki zarodyshei zerna pshenitsy i rzhanykh otrubei. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv.* 2013, no. 2.
9. Demidov S.F., Voronenko B.A., Demidov A.S., Bakk O.A. Nekotorye zakonomernosti protsessa infrakrasnoi sushki semyan podsolnechnika dlya semennogo fonda. *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya: Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv.* 2013, no. 3.
10. Demidov A.S., Voronenko B.A., Demidov S.F. Sushka semyan podsolnechnika infrakrasnym izlucheniem. *Novye tekhnologii.* 2011, no. 3, pp. 25–30.

Статья поступила в редакцию 02.08.2015 г.