

УДК 66.047.3.085.1

## Инфракрасная сушка кроющих чешуек репчатого лука перед закладкой на хранение

Канд. техн. наук **С.Ф. Демидов**, demidovserg@mail.ru

Канд. техн. наук **В.И. Филиппов**, valery98rus@mail.ru

**С.А. Петров**, kotovske@yandex.ru

Университет ИТМО

191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

*Исследовали процесс сушки кроющих чешуек репчатого лука инфракрасным излучением выделенной длины волны перед закладкой на хранение в зависимости от мощности теплового потока инфракрасного излучения; расстояния от источника инфракрасного излучения до поверхности репчатого лука; диаметра репчатого лука. Опыты проводили на экспериментальном стенде, представляющем камеру, оснащенную инфракрасным излучателем диаметром 0,012 м с функциональной керамической оболочкой, и отражателями. Объектом исследования выбран репчатый лук острых сортов с наружным диаметром луковицы 48 и 58 мм. Изучен процесс сушки чешуек репчатого лука толщиной 5–7 мм на глубине 10 мм от поверхности при температуре 25–29°C при плотности тепловых потоков 3,96; 3,65; 3,17 кВт/м<sup>2</sup> и расстоянии от продукта до инфракрасного излучателя 30 и 45 мм. Доказано, что время сушки напрямую зависит от диаметра лука, расстояния от продукта до инфракрасного излучателя и плотности теплового потока. Результаты будут использованы для разработки инфракрасной промышленной установки сушки кроющих чешуек репчатого лука перед закладкой на хранение в овощных камерах.*

**Ключевые слова:** репчатый лук; кроющие чешуйки; закладка на хранение; инфракрасное излучение; диаметр луковиц; плотность теплового потока.

DOI: 10.17586/2310-1164-2016-9-4-26-31

## Infrared drying of onion cover scales before placement in storage

Ph.D. **Sergey F. Demidov**, demidovserg@mail.ru

Ph.D. **Valery I. Filippov**, valery98rus@mail.ru

**Sergey A. Petrov**, kotovske@yandex.ru

ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosova str., 9

*The article deals with the process of onion cover scales drying by infrared radiation of a specific wavelength before placement in storage. The factors being investigated are: infrared heat flux density, a distance between an infrared source and onion surface, and bulb diameter. The experiment was carried out in a chamber with infrared emitter of 0.012 mm diameter, robust ceramic mantle, and reflectors. The onion of sharp varieties with bulb diameter of 48 and 58 mm was chosen as the object of research. Drying of 5–7 mm onion cover scales at the depth of 10 mm from the surface is analyzed. The temperature was 25–29°C, the heat flux density – 3.96; 3.65; 3.17 kW/m<sup>2</sup>, the distance between an infrared source and onion surface – 30 and 45 mm. The time of drying is proved to depend on bulb diameter, the distance between an infrared source and onion surface, and infrared heat flux density directly. The results are going to be used while developing a commercial infrared unit for onion cover scales drying before placement in storage.*

**Keywords:** onion; cover scales; placement in storage; infrared; the diameter of the bulbs; heat flux density.

## Введение

Решение проблемы импортозамещения производства продуктов питания непосредственно связано с увеличением объемов выращивания отечественной сельскохозяйственной продукции растительного происхождения, в частности, луковых овощей. Это требует совершенствования организации и условий холодильного хранения.

Условия хранения репчатого лука существенно отличаются от технологических режимов хранения большинства видов овощной продукции. Устойчивость репчатого лука к порче при хранении зависит

от состояния луковиц, закладываемых на хранение, влажности кроющих листьев, которая не должна превышать 14–16%, степени вызревания и поддержания технологического режима в течение всего срока хранения [1, 2].

Лук всех категорий – сладких, полуострых и острых сортов – без листьев непосредственно после уборки подвергается просушке вентиляционным воздухом при температуре 30–35°C до тех пор, пока влажность наружных покровных чешуй не достигнет величины, соответствующей технологическим требованиям. Длительность просушки составляет 72 часа [3].

В себестоимости процесса предварительной обработки репчатого лука перед хранением доля энергетических затрат на термическую обработку и подсушку кроющих чешуек является основной. Кроме того, в современных промышленных установках термической обработки загрузка лука в бункер высоким слоем и применяемые условия теплообмена создают существенную неравномерность температурного поля по объему загруженной массы продукта, и как следствие, неодинаковую конечную влажность чешуек луковиц в различных ее частях. Практика использования электромагнитного поля в процессе сушки пищевых продуктов (инфракрасное излучение) за счет максимальной концентрации выделяемой энергии в относительно малых объемах, напротив, позволяет обеспечить почти равные условия осушки чешуек луковиц [4–6]. Инфракрасное излучение (ИК) выделенной длины волны активно испаряет воду, содержащуюся в продукте, влагоудаление при оптимальных параметрах проведения процесса проходит при температуре 42–55°C.

В настоящее время влажность кроющих чешуек лука, поступающих на хранение, составляет около 50%. Знание кинетики поглощения тепловых потоков инфракрасного излучения кроющими чешуйками репчатого лука позволяет получить наиболее эффективный с технологической точки зрения режим сушки внешней оболочки репчатого лука перед закладкой на хранение.

Ранее проведенные экспериментальные исследования процессов сушки ИК излучением выделенной длины волны семян подсолнечника [7] и семенного фонда семян подсолнечника [8] перед закладкой на хранение была доказана эффективность этого метода сушки.

В работе [9] проведены исследования процесса предварительной обработки репчатого лука инфракрасным излучением на предмет ускорения процесса созревания данного продукта. Выявлена зависимость распределения температурного поля от поверхности до центра лука при различных параметрах плотности теплового потока, диаметра лука, расстояния от излучателя до продукта при достижении на поверхности лука температуры 45–56°C и в центре лука 45–50°C в течение 11–21 мин, что соответствует техническим условиям на хранение лука [10].

Цель данного этапа работы – исследование процесса сушки инфракрасным излучением выделенной длины волны кроющих чешуек репчатого лука перед закладкой на хранение в зависимости от технологических и динамических параметров.

Задача исследования заключалась в изучении процесса сушки кроющих чешуй репчатого лука в зависимости от мощности теплового потока инфракрасного излучения; расстояния от источника инфракрасного излучения до поверхности репчатого лука; диаметра репчатого лука.

### **Объекты и методы исследования**

Исследования проводили на экспериментальном стенде, представляющем камеру, оснащенную инфракрасным излучателем и отражателями [4–8]. В качестве генераторов ИК излучения применены линейные кварцевые излучатели диаметром 0,012 м с функциональной керамической оболочкой. ИК излучатели направляют тепловой поток сверху и снизу на исследуемый продукт, установленный на изготовленном из нержавеющей стали сетчатом поддоне с шагом ячейки равным 2 мм. Конструкция стенда позволяет регулировать плотность теплового потока ИК излучателей и расстояние от них до поверхности нагреваемого продукта [4–8].

Для измерения влагосодержания массы внешней оболочки репчатого лука в течение процесса сушки применялись весы GF-600. Для измерения влагосодержания внешней оболочки репчатого лука 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-алюмелевыми

ТХА 9419-23 термopами градуировки ХА<sub>94</sub> с диаметром проволоки  $2,5 \cdot 10^{-4}$  м использовался в качестве устройства автоматизированного сбора и обработки информации. Измерение температуры поверхности слоя внешней оболочки репчатого лука производилось при помощи инфракрасного термометра RaytekMiniTemp МТ6. Диаметр луковиц и толщина кроющих частей луковиц измеряли штангенциркулем с точностью 0,1 мм.

В качестве объекта исследования выбран репчатый лук острых сортов с наружным диаметром луковичи 48 и 58 мм.

По экспериментальным данным построены графики изменения влагосодержания кроющих чешуй репчатого лука толщиной 5–7 мм от времени его термической обработки для различных величин плотности теплового потока инфракрасного излучения, расстояния от инфракрасного излучателя до поверхности репчатого лука, диаметра репчатого лука до достижения на глубине 10 мм от поверхности продукта температуры 25–29°C (рисунок 1–4).

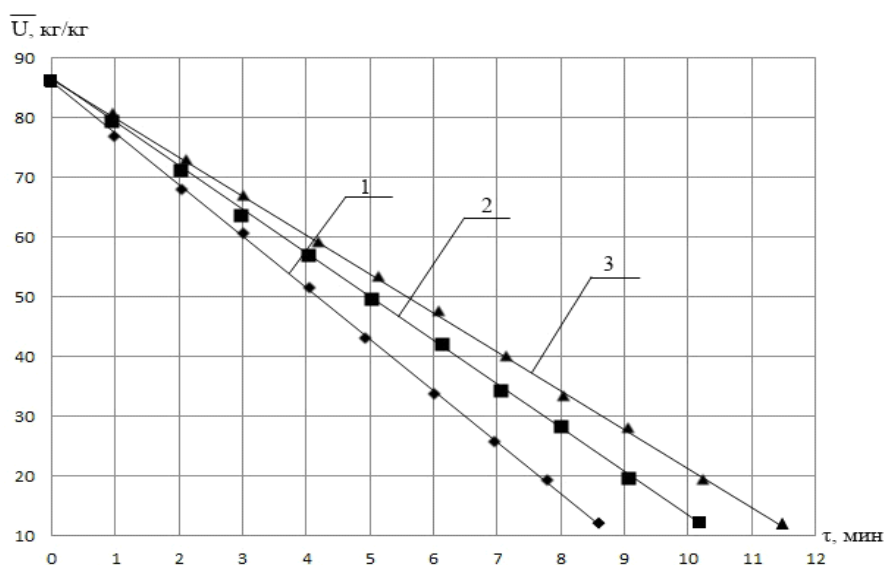


Рисунок 1 – Изменение влагосодержания кроющих чешуй репчатого лука диаметром 48 мм во время сушки: расстояние от ИК излучателя до поверхности лука – 45 мм, плотность теплового потока ИК излучения –  $3,96 \text{ кВт/м}^2$  (1);  $3,65 \text{ кВт/м}^2$  (2);  $3,17 \text{ кВт/м}^2$  (3).

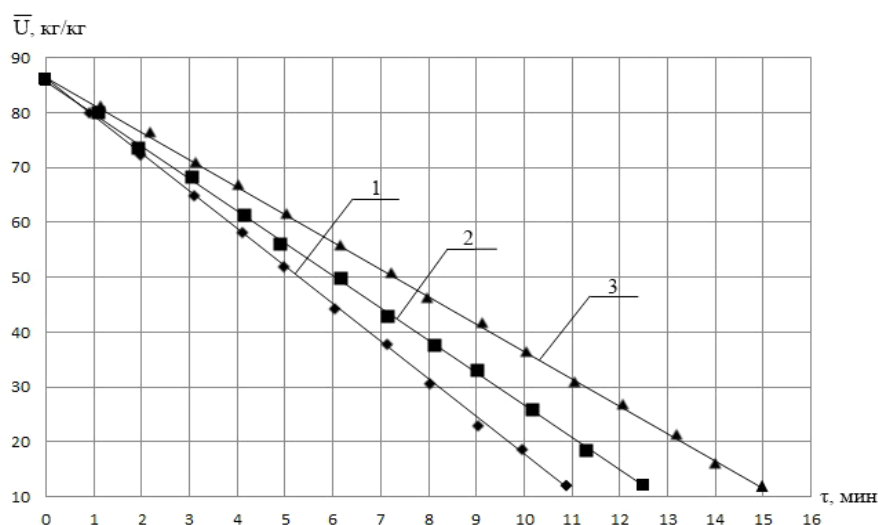


Рисунок 2 – Изменение влагосодержания кроющих чешуй репчатого лука диаметром 48 мм во время сушки: расстояние от ИК излучателя до поверхности лука – 30 мм, плотность теплового потока ИК излучения –  $3,96 \text{ кВт/м}^2$  (1);  $3,65 \text{ кВт/м}^2$  (2);  $3,17 \text{ кВт/м}^2$  (3).

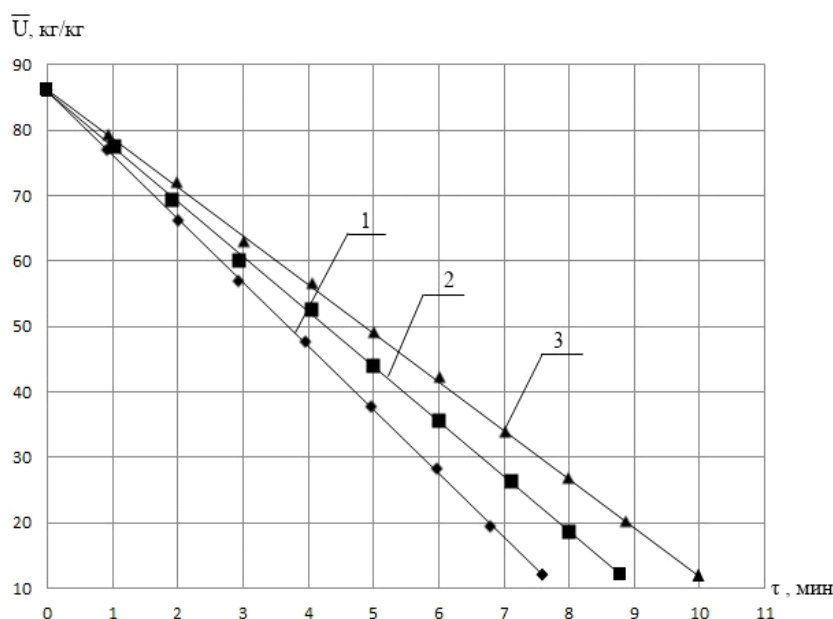


Рисунок 3 – Изменение влагосодержания кроющих чешуй репчатого лука диаметром 58 мм во время сушки: расстояние от ИК излучателя до поверхности лука – 45 мм, плотность теплового потока ИК излучения – 3,96 кВт/м<sup>2</sup> (1); 3,65 кВт/м<sup>2</sup> (2); 3,17 кВт/м<sup>2</sup> (3).

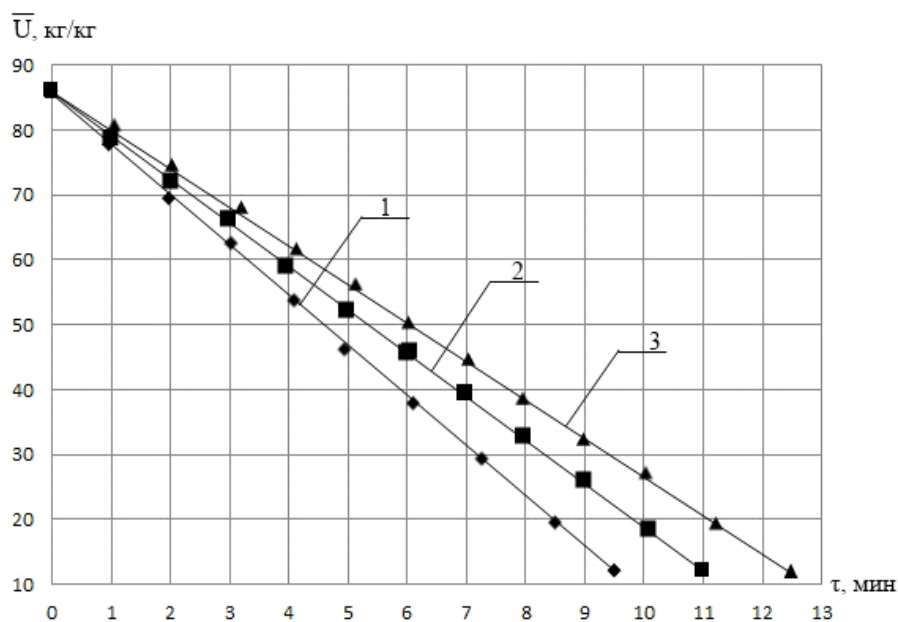


Рисунок 4 – Изменение влагосодержания кроющих чешуй репчатого лука диаметром 58 мм во время сушки: расстояние от ИК излучателя до поверхности лука – 30 мм, плотность теплового потока ИК излучения – 3,96 кВт/м<sup>2</sup> (1); 3,65 кВт/м<sup>2</sup> (2); 3,17 кВт/м<sup>2</sup> (3).

### Результаты и выводы

При двустороннем инфракрасном облучении кроющих чешуек репчатого лука в период непрерывного нагрева с заданной плотностью теплового потока подводится количество теплоты, необходимое для испарения влаги в кроющих чешуйках, возникают перепады температур и содержания влаги в толщине слоя 5–7 мм в то время как перепады температур и влагосодержания в толщине репчатого лука малы. В результате этого влага под воздействием градиента температур перемещается по направлению потока тепла внутрь слоя кроющих чешуек, что вызывает увеличение влагосодержания в середине слоя кроющих чешуек. Одновременно происходит испарение влаги с верхнего слоя поверхностей чешуек, что увеличивает градиент влагосодержания, направленный к центру слоя чешуек, а поток влаги под действием градиента

влажносодержания направлен к поверхностным слоям продукта. Этот перенос влаги и испарение на поверхностях создают все возрастающий перепад влажносодержания по толщине слоя кроющих чешуек. В результате этого величина градиента влажносодержания становится уже больше градиента температур. Тогда направление потока влаги изменяется на обратное и влага перемещается из внутреннего слоя к поверхности кроющих чешуек, что вызывает постепенное увеличение влажносодержания на поверхности и удаление влаги.

При проведении экспериментов сушки кроющих чешуек репчатого лука толщиной 5–7 мм ИК излучением была выявлена зависимость между расстоянием от ИК излучателя до высушиваемого продукта и плотностью теплового потока. При диаметре продукта в 48 мм и расстоянием от ИК излучателя до поверхности репчатого лука в 45 мм (плотностями теплового потока равными 3,96 кВт/м<sup>2</sup>), время сушки составляло 8,3–8,6 минут, при уменьшении расстояния до 30 мм, время сушки сократилось до 7,3–7,6 минут. Время подсушки чешуек сократилось приблизительно на 1 минуту. Проведен анализ сушки луковиц диаметром 58 мм и расстоянием в 45 мм от ИК излучателя до поверхности репчатого лука время сушки равно 10,3–10,6 минут, уменьшив расстояние до 30 мм время сушки сократилось до 9,3–9,6 минут. Из данной зависимости можно констатировать, что время сушки напрямую зависит от диаметра лука, расстояния от продукта до ИК излучателя и плотности теплового потока.

Данные результаты экспериментального исследования будут использованы для разработки инфракрасной промышленной установки сушки кроющих чешуек репчатого лука перед закладкой на хранение в овощных камерах.

### Литература

1. Филиппов В.Е., Кременевская М.И., Куцакова В.Е. Технологические основы холодильной технологии пищевых продуктов. СПб.: ГИОРД, 2014. 576 с.
2. Манжесов В.И., Попов И.А., Шедрин Д.С. Технология хранения растениеводческой продукции. М.: КолосС, 2005. 392 с.
3. Шираков Е.П., Полегаев В.И. Хранение и переработка продукции растениеводства с основами стандартизации и сертификации. М.: Космос, 2000. 302 с.
4. Гинзбург А.С. Расчет и проектирование сушильных установок пищевой промышленности. М.: Агропромиздат, 1985. 336 с.
5. Ильясов С.Г., Красников В.В. Физические основы инфракрасного облучения пищевых продуктов. М.: Пищевая промышленность, 1978. 360с.
6. Ободов Д.А., Демидов С.Ф., Вороненко Б.А. Источники инфракрасного излучения с электроподводом для термообработки пищевых продуктов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств. 2011. № 1.
7. Демидов А.С., Вороненко Б.А., Демидов С.Ф. Сушка семян подсолнечника инфракрасным излучением // Новые технологии. 2011. № 3. С. 25–30.
8. 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. № 2.
9. Демидов С.Ф., Петров С.А., Филиппов В.И., Схляхов А.А. Закономерности распределения температурных полей в репчатом луке при термической обработке инфракрасным излучением // Новые технологии. 2016. Вып. 1. № 1. С. 11–17.
10. ГОСТ 32065-2013. Овощи сушеные. Общие технические условия. Введ. 01.07.2014. М.: Стандартинформ, 2014.

### References

1. Filippov V.E., Kremenevskaya M.I., Kutsakova V.E. *Tekhnologicheskie osnovy kholodil'noi tekhnologii pishchevykh produktov* [Technological basis of food cold food technology]. St. Petersburg, GIORD Publ., 2014. 576 p.
2. Manzhosov V.I., Popov I.A., Shedrin D.S. *Tekhnologiya khraneniya rastenievodcheskoi produktsii* [The technology of storage of crop production]. Moscow, Kolos Publ., 2005. 392 p.
3. Shirakov E.P., Polegaev V.I. *Khranenie i pererabotka produktsii rastenievodstva s osnovami standartizatsii i sertifikatsii* [Storage and processing of crop production with basics of standardization and certification]. Moscow, Kosmos Publ., 2000. 302 p.
4. Ginzburg A.S. *Raschet i proektirovanie sushil'nykh ustanovok pishchevoi promyshlennosti* [Calculation and design of drying installations of the food industry]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985. 336 p.

5. И'yasov S.G., Krasnikov V.V. *Fizicheskie osnovy infrakrasnogo oblucheniya pishchevykh produktov* [Physical principles of infrared irradiation of foodstuffs]. Moscow, Food industry Publ., 1978. 360 p.
6. Obodov D.A., Demidov S.F., Voronenko B.A. Istochniki infrakrasnogo izlucheniya s elektropodvodom dlya termoobrabotki pishchevykh produktov [Sources of infrared radiation with elektropodvodom for heat treatment of foods]. *Scientific journal NRU ITMO. Series: Processes and Food Production Equipment*. 2011, no. 1.
7. Demidov A.S., Voronenko B.A., Demidov S.F. Sushka semyan podsolnechnika infrakrasnym izlucheniem [Drying of sunflower seeds by infrared radiation]. *New technology*. 2011, V. 3, pp. 25–30.
8. Demidov S.F., Voronenko B.A., Demidov A.S., Bakk O.A. Nekotorye zakonomernosti protsessa infrakrasnoi sushki semyan podsolnechnika dlya semennogo fonda [Some regularities of the process of infrared drying of sunflower seeds for seed stock]. *Scientific journal NRU ITMO. Series: Processes and Food Production Equipment*. 2013, no. 2.
9. Demidov S.F., Petrov S.A., Filippov V.I., Skhalyakhov A.A. Zakonomernosti raspredeleniya temperaturnykh polei v repchatom luke pri termicheskoi obrabotke infrakrasnym izlucheniem [Regularities of the distribution of temperature fields in bulb onions during heat treatment by infrared radiation]. *New technology*. 2016, V. 1, no. 1, pp. 11–17.
10. GOST 32065-2013. *Ovoshchi sushenye. Obshchie tekhnicheskie usloviya* [State Standard 32065-2013. Dried vegetables. General specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2014.

Статья поступила в редакцию 10.11.2016