

УДК 633.854.78

Сушка листьев и шинкованного стебля сельдерея инфракрасным излучением*

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

д-р техн. наук, проф. **Вороненко Б.А.**,

д-р техн. наук, проф. **Пеленко В.В.**, канд. техн. наук **Демидов А.С.**,

Дергунов М.В.

Университет ИТМО

191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Лекарственным сырьем является все растение. Листья сельдерея используют как лекарственное пищевое растение тонизирующего действия, как противовоспалительное при заболеваниях предстательной железы, мочегонное при заболевании почек и склонности к полноте. В листьях находятся 0,1% эфирного масла, витамин "С", каротин, минеральные вещества: калий, кальций, натрий, магний, фосфор. В корнях сельдерея содержатся соли, жиры, углеводы, клетчатка, витамины В1, В2, В3, В6, эфирное масло, в состав которого входят альдегиды, кетоны, кислоты, эфиры. Для сушки растительного сырья в нашей стране наибольшее распространение получили сушилки паровые СПК-90, КСА-80. Внутри сушилок расположены сетчатые ленты, сырье перемещается с одной ленты на другую. К недостатку ленточных конвейерных сушилок относится неравномерность прогрева материала вследствие затруднения в подводе тепла к внутренней части слоя из-за отсутствия перемешивания материала. Проведено экспериментальное исследование процесса сушки листьев и шинкованного стебля сельдерея инфракрасным излучением выделенной длиной волны в зависимости от высоты слоя листьев и шинкованного стебля сельдерея, температуры сушки, плотности теплового потока на сетчатом поддоне из нержавеющей стали с размером ячейки 2мм.

Ключевые слова: исследование, инфракрасное излучение, листья сельдерея, сушка, влагосодержание, температура, плотность теплового потока.

Drying leaves and shredded celery by infrared radiation

Ph.D. **Demidov S.F.** demidovserg@mail.ru

D.Sc. prof. **Voronenko B.A.**, D.Sc. prof. **Pelenko V.V.**,

Ph.D. **Demidov A.S.**, **Dergunov M.V.**

ITMO University

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

Medicinal raw materials is the whole plant. Celery leaves are used as a medicinal food plant tonic, as an anti-inflammatory diseases of the prostate gland, a diuretic in kidney disease and a tendency to be overweight. The leaves are 0.1% essential oil, vitamin "C", carotene, minerals: potassium, calcium, sodium, magnesium and phosphorus. In the roots of celery contains salts, fats, carbohydrates, fiber, vitamins B1, B2, B3, B6, essential oil, which is composed of aldehydes, ketones, acids, esters. For the drying of vegetable raw materials in our country most widely dryer steam SPK-90, CSA-80. Inside dryers located mesh belt feed is moved from one belt to another. The disadvantage of the conveyor belt dryers include uneven heating of the

material due to the difficulty in applying heat to the inner parts of the layer due to lack of mixing of the material. An experimental study of the process of drying leaves and shredded celery isolated infrared wavelengths, depending on the height of the layer of leaves and shredded celery stalks, drying temperature, the heat flux density on the mesh tray made of stainless steel with a mesh size of 2 mm.

Keywords: study, infrared radiation, celery leaves, drying, moisture content, temperature, heat flow density.

*НИР финансируется из централизованных средств Университета ИТМО в 2014 г.

Наименование темы НИР: «Разработка ресурсосберегающих технологий и машинно-аппаратурного обеспечения производства высококачественных сухих мелкодисперсных продуктов из сырья растительного происхождения»

Применение инфракрасного излучения для сушки пищевых продуктов в настоящее время актуально и наиболее перспективно [1-4]. В Университете ИТМО проводятся работы по сушке пищевых продуктов инфракрасным излучением [5-9]. Технологический процесс инфракрасной сушки построен на том, что влагой (водой), находящейся в продукте, поглощается инфракрасное излучение выделенной длины волны 1,5-3,0 мкм, а ткань высушиваемого продукта это излучение не поглощается. Удаление влаги происходит при температуре 40-60°C. Такой температурный режим позволяет практически сохранять биологически активные вещества, в частности, в сухих листьях и стеблях сельдерея витамин 'С', каротин, антоцианы, фенолкарбоновые кислоты, а также минеральные вещества-калий, кальций, натрий, магний, фосфор.

Основной задачей при сушке является максимальное сохранение этих веществ и натурального цвета. Сушеную зелень вырабатывают из молодых стеблей и свежих листьев укропа, петрушки, пастернака и сельдерея, отделенные от грубых корешков, неувядшие, не пожелтевшие. Технологическая схема производства сушеной зелени включает следующие стадии: инспектирование для удаления пожелтевших листьев и посторонних примесей; мойка в душевой машине при слое зелени не более 5 см; стекание воды на сетчатых столах; сушка; сортировка; упаковка. Сушка зелени проводится на ленточных конвейерных сушилках до влажности 13-14 % и 6- 8%. Режимы сушки зелени на сушилках КСА-80 приведены в таблице 1.

Таблица 1

Режимы сушки зелени

Параметры сушки	Сушка зелени до влажности, %:	
	13-14	не более 8
Скорость загружаемой зелени, кг/мин	2,7	2,2
Нагрузка на поверхность первой ленты, кг/м ²	3,6	3,6
Скорость движения ленты, м/мин:		
первой	0,38	0,30
второй	0,28	0,20
третьей	0,22	0,12
четвертой	0,15	0,10

Температура воздуха над лентами, °С: первой второй третьей четвертой	60 50 45 40	60 50 45 40
Расход воздуха, м ³ /ч	28000	28000
Продолжительность сушки, ч	3,0	4,5
Относительная влажность отработанного воздуха, %	35-40	35-40

Данная статья посвящена исследованию процесса сушки рыхлого слоя листьев сельдерея и шинкованного стебля сельдерея инфракрасным излучением выделенной длины волны 1,5-3,0 мкм в зависимости от технологических и конструктивных параметров проведения процесса.

Данные исследования проводились на экспериментальном стенде ИК - нагревом с использованием современной измерительной техники [3,4,5]. В качестве генераторов ИК - излучения применены линейные кварцевые излучатели диаметром 0.012 м с функциональной керамической оболочкой. ИК - излучатели установлены на расстоянии 50 мм сверху и снизу относительно сетчатого поддона из нержавеющей стали с диаметром 2 мм. На подложку из нержавеющей сетки помещаются рыхлый слой листьев сельдерея и слой шинкованного стебля сельдерея с длиной 8-10 мм и диаметром 4-6 мм.

В результате проведенных экспериментальных исследований было выявлено, что процесс сушки листьев сельдерея до среднего по объему влагосодержания $\bar{U}=12,0$ кг/кг при плотности теплового потока 3,08 кВт/м² завершается при достижении температуры на поверхности слоя продукта 56 - 57° С (рис.1) и при плотности теплового потока 2,78 кВт/м² завершается при достижении температуры на поверхности слоя продукта 52 - 53° С (рис.2).

На рисунках 1, 2 представлены графики зависимости влагосодержания листьев сельдерея от времени t и основных влияющих факторов.

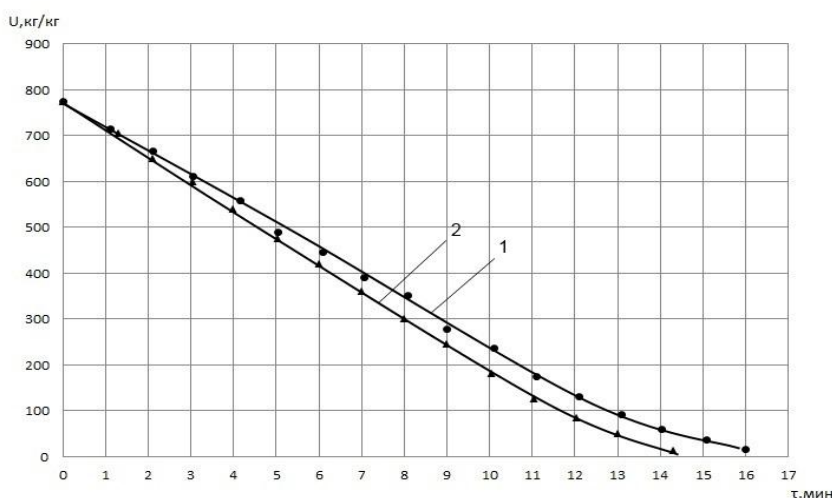


Рис. 1. Изменение среднего по объему влагосодержания в процессе сушки слоя листьев сельдерея инфракрасным излучением высотой слоя 20 мм (кривая 1), высотой слоя 10 мм (кривая 2) при плотности теплового потока 3,08 кВт/м²

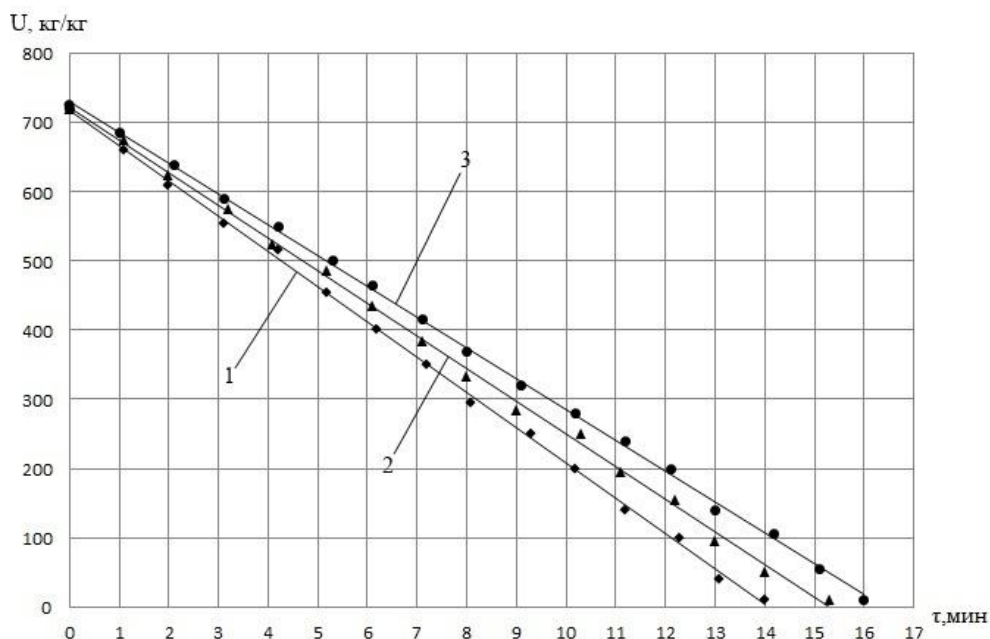


Рис. 2. Изменение среднего по объему влагосодержания в процессе сушки слоя листьев сельдерея инфракрасным излучением высотой слоя 10 мм (кривая 1), высотой слоя 20 мм (кривая 2), высотой слоя 30 мм (кривая 3) при плотности теплового потока 2,78 кВт/м²

В результате проведенных экспериментальных исследований было выявлено, что процесс сушки шинкованного стебля сельдерея до среднего влагосодержания $\bar{U}=12,0$ кг/кг при плотности теплового потока 3,08 кВт/м² завершается при достижении температуры на поверхности слоя продукта 56 - 57°С (рис.3), а при плотности теплового потока 2,78 кВт/м² при достижении температуры на поверхности слоя продукта 52 - 53°С (рис.4).

На рисунках 3, 4 представлены графики зависимости среднего влагосодержания шинкованного стебля сельдерея от времени t и основных влияющих факторов.

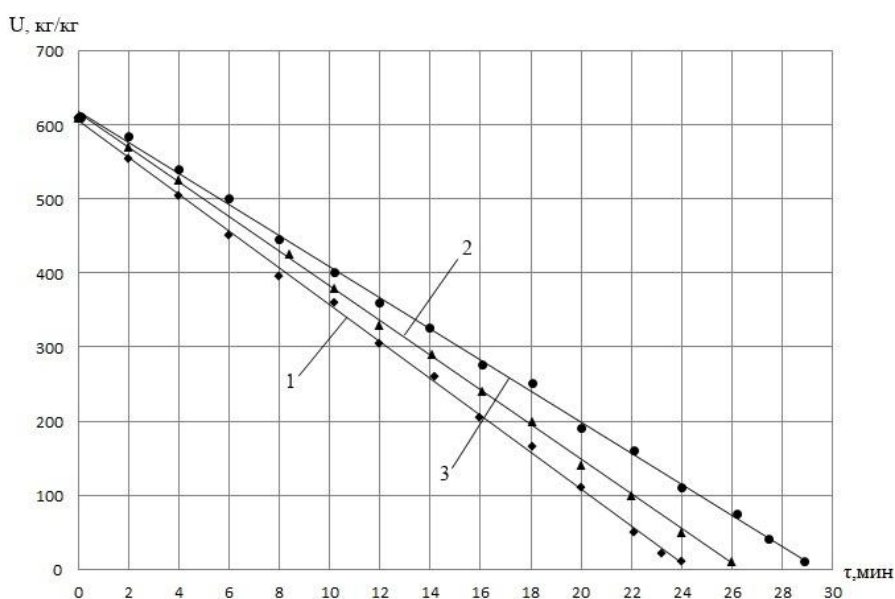


Рис. 3. Изменение среднего по объему влагосодержания в процессе сушки слоя шинкованного стебля сельдерея инфракрасным излучением высотой слоя 10 мм (кривая 1), высотой слоя 20 мм (кривая 2), высотой слоя 30 мм (кривая 3) при плотности теплового потока 3,08 кВт/м²

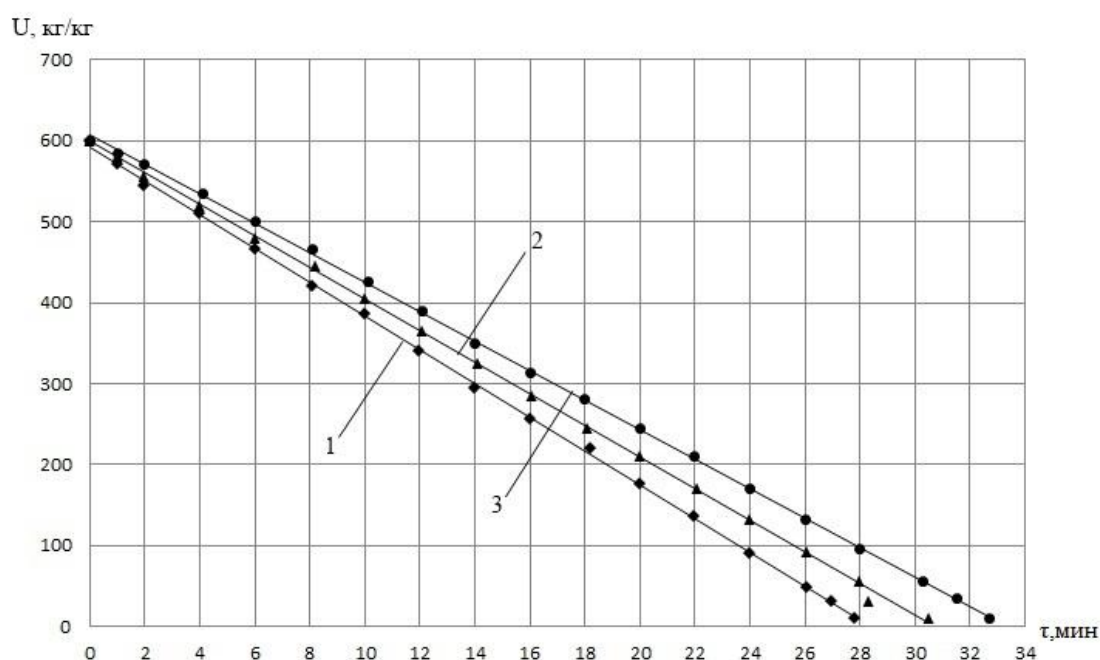


Рис. 4. Изменение среднего по объему влагосодержания в процессе сушки слоя шинкованного стебля сельдерея инфракрасным излучением высотой слоя 10 мм (кривая 1), высотой слоя 20 мм (кривая 2), высотой слоя 30 мм (кривая 3) при плотности теплового потока $2,78 \text{ кВт/м}^2$

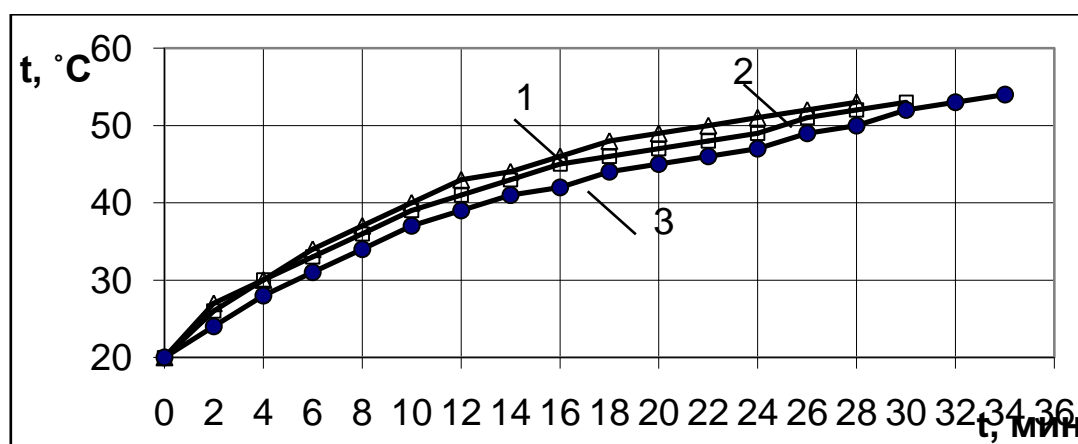


Рис. 5. Графики зависимости температуры верхнего и нижнего слоев шинкованных корней сельдерея (кривая 2), середины слоя (кривая 3) и температуры сетчатого поддона из нержавеющей стали (кривая 1) при плотности теплового потока $2,78 \text{ кВт/м}^2$

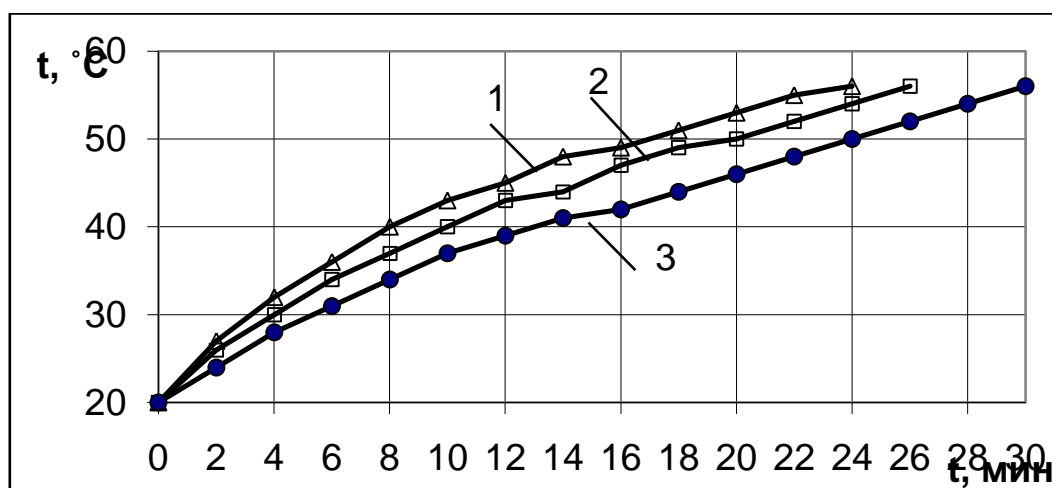


Рис. 6. Графики зависимости температуры верхнего и нижнего слоев шинкованных корней сельдерея (кривая 2), середины слоя (кривая 3) и температуры сетчатого поддона из нержавеющей стали (кривая 1) при плотности теплового потока 3,08 кВт/м²

Процесс сушки инфракрасным излучением выделенной длиной волны листьев сельдерея и шинкованного стебля сельдерея протекает в периоде постоянной скорости. Длительность процесса в значительной мере определяется высотой слоя продукта при заданных температурах готового продукта и плотностью теплового потока.

Результаты исследования процесса сушки листьев сельдерея и шинкованного стебля сельдерея инфракрасным излучением были использованы для разработки исходных требований и технического задания на экспериментальную ИК-установку для производства порошковой формы сухого продукта.

Список литературы

1. *Вороненко Б.А., Демидов А.С., Демидов С.Ф.* Аналитическое решение дифференциальных уравнений тепло- и влагопереноса при инфракрасном нагреве масличных семян // *Процессы и аппараты пищевых производств.* 2012. № 1.
2. *Демидов С.Ф., Вороненко Б.А., Ободов Д.А.* Кинетика сушки бурых водорослей инфракрасным излучением. // *Инновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья: Сб. материалов международной научно-практической конференции.*- Краснодар: РАСН ГНУ КНИИХЛ, 2012,- С. 240-243.
3. *Беляева С.С., Демидов С. Ф., Вороненко Б.А.* Оптимизация процесса инфракрасной сушки с электроподводом зародышей пшеничных. // *Инновационные пищевые технологии в области хранения и переработки сельскохозяйственного сырья: Сб. материалов международной научно-практической конференции.*- Краснодар: РАСН ГНУ КНИИХЛ, 2012,- С. 219-222.
4. *Демидов А.С., Вороненко Б.А., Демидов С.Ф.* Сушка семян подсолнечника инфракрасным излучением // *Новые технологии.* – 2011. – Вып. №3. – С.25-30.
5. *Демидов С.Ф., Вороненко Б.А., Ободов Д.А.* Сушка морских водорослей инфракрасным излучением // *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Процессы и аппараты пищевых производств».* 2014. № 2.
6. Патент 2463538 Российская Федерация, МПК F26В 3/30. Многоярусная камера инфракрасной сушки [Текст]/Ободов Д.А., Демидов С.Ф., Вороненко Б.А., Пеленко В.В.; заявитель и патентообладатель Ободов Д.А.- №2010151818/06; заявл.17.10.2010; опубл.10.10.2012, Бюл.№28.

7. Вороненко Б.А., Демидов А.С., Демидов С.Ф. Аналитическое решение дифференциальных уравнений тепло- и влагопереноса при инфракрасном нагреве масличных семян // *Процессы и аппараты пищевых производств* 2012. № 1.

8. Пат. 2010131602 Российская Федерация, МПК F26B 3/00. Устройство для инфракрасной сушки семян [Текст] / Демидов С.Ф., Вороненко Б.А., Пеленко В.В., Демидов А.С., Агеев М.В., Усманов И.И.; заявитель и патентообладатель Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий. - №2010131602/06; заявл. 28.07.2010; опубл. 10.02.2012, Бюл.№4.

9. Патент2433364 Российская Федерация, МПК F26B 3/30. Способ инфракрасной сушки семян [Текст] / Демидов С.Ф., Вороненко Б.А., Пеленко В.В., Демидов А.С., Агеев М.В. заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования “Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий” Министерства образования РФ -№2010131605/13; заявл.28.07.2010; опубл. 10.11.2011, Бюл.№31.

References

1. Voronenko B.A., Demidov A.S., Demidov S.F. The analytical solution of the differential equations warm and moisture transfer at infrared heating of oilseeds// *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv*. 2012. № 1.

2. Demidov S.F., Voronenko B.A., Obodov D.A. Kinetik's Rims of drying of brown seaweed infrared radiation. // *Innovatsionnye pishchevye tekhnologii v oblasti khraneniya i pererabotki sel'skokhozyaistvennogo syr'ya: Sb. materialov mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii.*- Krasnodar: RASN GNU KNIKHL, 2012,- p. 240-243.

3. Belyaeva S.S., Demidov S. F., Voronenko B.A. Optimization of process of infrared drying with an electrosupply of germs wheat // *Innovatsionnye pishchevye tekhnologii v oblasti khraneniya i pererabotki sel'skokhozyaistvennogo syr'ya: Sb. materialov mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii.*- Krasnodar: RASN GNU KNIKHL, 2012,- p. 219-222.

4. Demidov A.S., Voronenko B.A., Demidov S.F. Drying of seeds of sunflower infrared radiation // *Novye tekhnologii.* – 2011. – Vyp. № 3. – p. 25-30.

5. Demidov S.F., Voronenko B.A., Obodov D.A. Drying of seaweed infrared radiation // *Nauchnyi zhurnal NIU ITMO. Seriya «Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv»*. 2014. № 2.

6. Patent 2463538 Rossiiskaya Federatsiya, MPK F26V 3/30. Mnogoyarusnaya kamera infrakrasnoi sushki [Tekst]/Obodov D.A., Demidov S.F., Voronenko B.A., Pelenko V.V.; yayavitel' i patentoobladatel' Obodov D.A.- №2010151818/06; yayavl.17.10.2010; opubl.10.10.2012, Byul.№28.

7. Voronenko B.A., Demidov A.S., Demidov S.F. The analytical solution of the differential equations warm and moisture transfer at infrared heating of oilseeds// *Protsessy i apparaty pishchevykh proizvodstv*. 2012. № 1.

8. Pat. 2010131602 Rossiiskaya Federatsiya, MPK F26V 3/00. Ustroistvo dlya infrakrasnoi sushki semyan [Tekst] / Demidov S.F., Voronenko B.A., Pelenko V.V., Demidov A.S., Ageev M.V., Usmanov I.I.; yayavitel' i patentoobladatel' Sankt- Peterburgskii gosudarstvennyi universitet nizkotemperaturnykh i pishchevykh tekhnologii. - №2010131602/06; yayavl. 28.07.2010; opubl. 10.02.2012, Byul.№4.

9. Patent2433364 Rossiiskaya Federatsiya,MPK F26V 3/30.Sposob infrakrasnoi sushki semyan [Tekst] / Demidov S.F., Voronenko B.A., Pelenko V.V., Demidov A.S., Ageev M.V. yayavitel' i patentoobladatel' Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya “Sankt-Peterburgskii gosudarstvennyi universitet nizkotemperaturnykh i pishchevykh tekhnologii” Ministerstva obrazovaniya RF -№2010131605/13; yayavl.28.07.2010; opubl. 10.11.2011, Byul.№31.