

УДК 633.854.78

ББК 42.14

Д-30

*Демидов Андрей Сергеевич, аспирант кафедры техники мясных и молочных производств факультета пищевой инженерии и автоматизации Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий, [ademidov88@gmail.com](mailto:ademidov88@gmail.com), т.:(812)7648161;*

*Вороненко Борис Авсеевич, доктор технических наук, профессор кафедры техники мясных и молочных производств факультета пищевой инженерии и автоматизации Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий, [boris\\_voronenko@mail.ru](mailto:boris_voronenko@mail.ru), т.:(812)7648161;*

*Демидов Сергей Федорович, кандидат технических наук, доцент кафедры техники мясных и молочных производств факультета пищевой инженерии и автоматизации Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий, [demidovserg@mail.ru](mailto:demidovserg@mail.ru), т.:(812)7648161.*

## СУШКА СЕМЯН ПОДСОЛНЕЧНИКА ИНФРАКРАСНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

(рецензирована)

*Проведено экспериментальное исследование процесса сушки семян подсолнечника инфракрасным излучением с выделенной длиной волны. Получено уравнение времени процесса сушки семян подсолнечника на тефлоновой ленте от начального влагосодержания до конечного влагосодержания 7% в зависимости от технологических и конструктивных параметров.*

*Ключевые слова: сушка, экспериментальное исследование, инфракрасное излучение, семена подсолнечника.*

*Demidov Andrey Sergeevich, the post-graduate student of the Department of Technology of Meat and Dairy Production of the Faculty of Food Engineering and Automation of the St.-Petersburg State University of Low – Temperature and Food Technologies, [ademidov88@gmail.com](mailto:ademidov88@gmail.com), tel.: (812 7648161);*

*Voronenko Boris Avseevich, Doctor of Technical Sciences, professor of the Department of Technology of Meat and Dairy Production of the Faculty of Food Engineering and Automation of the St.-Petersburg State University of Low – Temperature and Food Technologies, [boris\\_voronenko@mail.ru](mailto:boris_voronenko@mail.ru), tel.: (812 7648161);*

*Demidov Sergey Fedorovich, Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Technology of Meat and Dairy Production of the Faculty of Food Engineering and Automation of the St.-Petersburg State University of Low – Temperature and Food Technologies, [demidovserg@mail.ru](mailto:demidovserg@mail.ru), m.: (812 7648161).*

## DRYING OF SUNFLOWER SEEDS BY INFRA-RED RADIATION

(reviewed)

*The experimental research of the process of sunflower seeds drying by infra-red radiation with the allocated wavelength has been spent. The equation of time of process of drying of sunflower seeds on a teflon tape from an initial moisture content to a final moisture content of 7 % depending on technological and design data has been received.*

*Key words: drying, an experimental research, infra-red radiation, sunflower seeds.*

Специфические свойства семян подсолнечника как объекта сушки – неоднородность структуры семечки (наличие ядра, плодовой и семенной оболочек), естественная неоднородность семян по размерам, массе и влажности, низкая прочность плодовой оболочки, влагоинерционность, низкая теплопроводность, термолабильность белковой и липидной частей семени – предъявляют особые требования к способу сушки и к конструкции сушильных устройств [1-4].

Стойкость семян подсолнечника в процессе хранения зависит от целостности его структуры. Нарушение целостности оболочки, являющейся механической защитой от действия микроорганизмов, снижает устойчивость семенной массы, при хранении органическая сорная примесь обладает большой гигроскопичностью. При хранении в одних и тех же условиях влажность

органической примеси почти в 2 раза выше семян подсолнечника. Сорная примесь способствует размножению и росту микроорганизмов, что приведет к ускорению самосогревания семян.

Неоднородность семечки – наличие высокобелкового ядра, прочно удерживающего влагу, и плодовой оболочки (лузги), легко теряющей влагу, – требует создания таких условий сушки, при которых будет происходить интенсивное удаление слабо связанной поверхностной влаги из капиллярно-пористой оболочки и перемещение прочно связанной влаги в коллоидном ядре к поверхности семечки при условии, чтобы семянная оболочка была влажная, капилляры пор были открытыми при перемещении влаги из ядра к поверхности семянной оболочки [5, 6].

Цель данного этапа работы – исследовать зависимость времени процесса сушки семян подсолнечника на тефлоновой ленте ИК-излучением до конечного влагосодержания 7% от толщины слоя семян подсолнечника, плотности теплового потока, расстояния от ИК-излучателя до слоя семян подсолнечника и их начального влагосодержания.

Для исследования процесса сушки семян подсолнечника был разработан экспериментальный стенд (рис. 1).

В качестве генераторов ИК-излучения применены линейные кварцевые излучатели диаметром 0.012 м с функциональной керамической оболочкой. ИК-излучатели с отражателями установлены сверху относительно поддона с подложкой из тефлоновой ленты. Перемещение ИК-излучателей позволяет регулировать расстояние между инфракрасными излучателями и поддоном. Для регулировки плотности теплового потока, падающего на семена подсолнечника, меняются значения сопротивления нихромовой спирали ИК-излучателя.

Для измерения напряжения на клеммах ИК-излучателей в диапазоне 210-220В использовался вольтметр.

Для снятия температурных полей в слое, ядре семян подсолнечника использовались хромель-алюмелевые ТХА 9419-23 термопары градуировки ХА<sub>94</sub> [7]. Погрешность измерения температуры не превышала  $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$  в диапазоне 0-100 $^{\circ}\text{C}$ , ГОСТ Р 8.585-2001.

Измерение плотности теплового потока осуществлялось при помощи термоэлектрических датчиков плотности теплового потока ДТП 0924-Р-О-П-50-50-Ж-О [8].

Для автоматического измерения и регистрации температуры ( $^{\circ}\text{C}$ ), плотности теплового потока ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) использовался измеритель теплопроводности многоканальный ИТ-2 [9] по 16 каналам при помощи подключаемых к прибору датчиков плотности теплового потока, хромель-алюмелевых ТХА (ХА94) термопар с последующей передачей данных на персональный компьютер. Результаты измерения через 30 с (в мВ,  $\text{Вт}/\text{м}^2$  или  $^{\circ}\text{C}$ ) записывались в файл и выводились на монитор ПК в виде таблицы.

Измерение температуры поверхности слоя семян подсолнечника производилось при помощи дистанционного неконтактного инфракрасного термометра Raytek MiniTemp МТ6.

Для измерения изменения массы семян подсолнечника в течение процесса сушки применялись весы GF-600. Погрешность измерения не превышала  $\pm 0.003$  г.

Для измерения влагосодержания семян подсолнечника применялся анализатор влажности ЭЛВИЗ-2 [10]. Погрешность измерения не превышала  $\pm 0.1\%$ .



Рис. 1. Экспериментальный стенд для исследования процессов тепловой обработки пищевых продуктов при ИК-энергоподводе: 1 – сушильная камера, 2 – термопары, 3 - датчики плотности теплового потока, 4 – измеритель теплопроводности многоканальный ИТ-2, 5 – персональный компьютер

Эксперименты проводились по плану полного факторного эксперимента (ПФЭ) на трех уровнях типа  $3^4$  (табл. 1) на лабораторной установке.

Таблица 1 - Значения уровней изучаемых факторов ПФЭ

Обозначение	Наименование факторов	Уровень		
		нижний -1	основной -0	верхний +1
X1	Высота слоя семян подсолнечника, мм	15	20	25
X2	Расстояние от ИК-излучателя до слоя семян подсолнечника, мм	25	32.5	40
X3	Плотность теплового потока ИК-излучения, кВт/м <sup>2</sup>	3,64	4,32	5
X4	Начальное влагосодержание семян подсолнечника, %	14,1	16,5	18,9

Семена подсолнечника с влагосодержанием 14.1-18.9% подвергались ИК-обработке при переменных значениях факторов.

Математическая обработка экспериментальных данных позволила получить эмпирическую зависимость времени сушки семян подсолнечника на тефлоновой ленте до конечного влагосодержания 7% (Y), обработанных ИК-излучением при действии выбранных факторов:

$$Y = -7247,55 + 12,79X_1 - 20,35X_2 + 1656,67X_3 + 787X_4 - 11,85X_1X_3 - 7,76X_1X_4 + 1,81X_2X_4 - 178X_3X_4 + 2,9X_1X_3X_4 \quad 1$$

Погрешность аппроксимации  $R^2$  зависимости  $Y = f(X_1, X_2, X_3, X_4)$  составила не менее 0.995.

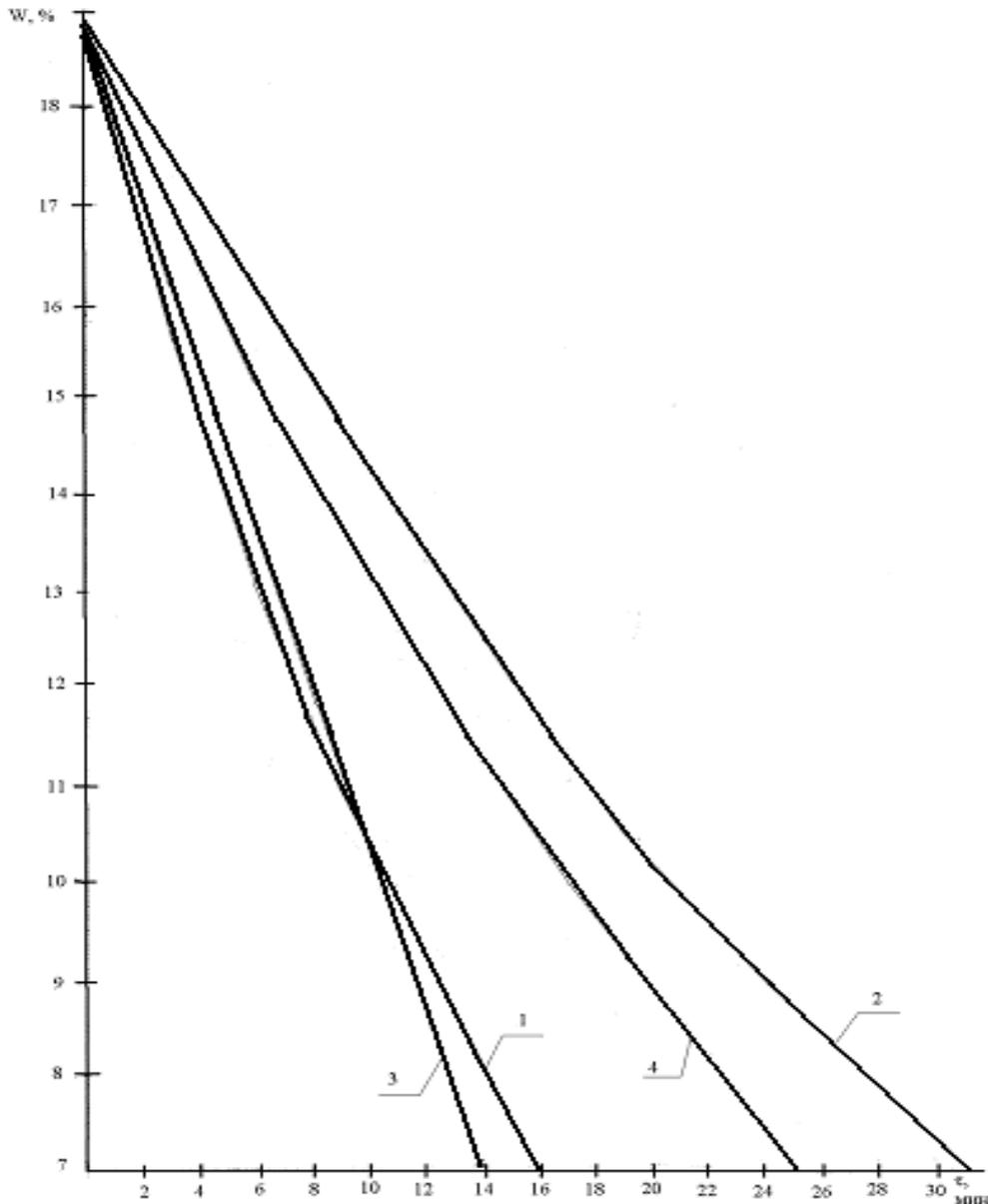


Рис. 2. Зависимость времени сушки семян подсолнечника от начального влагосодержания 18.9% до конечного влагосодержания 7% при плотности теплового потока ИК-излучателя 5 кВт/м<sup>2</sup>

На рис. 2 представлен график зависимости времени сушки семян подсолнечника от начального влагосодержания семян подсолнечника 18.9% при высоте слоя семян подсолнечника  $X_1 = 15$  мм (кривая 1 и 3),  $X_1 = 25$  мм (кривая 2 и 4), расстоянии от ИК-излучателя до слоя семян подсолнечника  $X_2 = 40$  мм (кривая 1 и 2),  $X_2 = 25$  мм (кривая 3 и 4) и при плотности теплового потока ИК-излучателя  $X_3 = 5$  кВт/м<sup>2</sup>.

На рис. 3 представлен график зависимости времени сушки семян подсолнечника от начального влагосодержания семян подсолнечника при высоте слоя семян подсолнечника  $X_1 = 15$  мм (кривая 1 и 3),  $X_1 = 25$  мм (кривая 2 и 4), расстоянии от ИК-излучателя до слоя семян подсолнечника  $X_2 = 25$  мм и при плотности теплового потока ИК-излучателя  $X_3 = 3,64$  кВт/м<sup>2</sup> (кривая 1 и 2) и  $X_3 = 5$  кВт/м<sup>2</sup> (кривая 3 и 4)

На рис. 4 представлен график зависимости времени сушки семян подсолнечника от начального влагосодержания семян подсолнечника при высоте слоя семян подсолнечника  $X_1 = 15$  мм, расстоянии от ИК-излучателя до слоя семян подсолнечника  $X_2 = 25$  мм и при плотности теплового потока ИК-излучателя  $X_3 = 4,32$  кВт/м<sup>2</sup>.

Проведенные экспериментально-аналитические исследования процесса сушки инфракрасными излучателями с выделенной длиной волны свежесобраных семян подсолнечника позволили рекомендовать рациональные режимы ведения процесса.

Дальнейшее изучение статики и кинетики процесса позволяет разработать адекватные физико-математическую и кинетическую модели, тепломассопереноса при инфракрасной сушке семян подсолнечника, рациональную конструкцию сушильной установки.

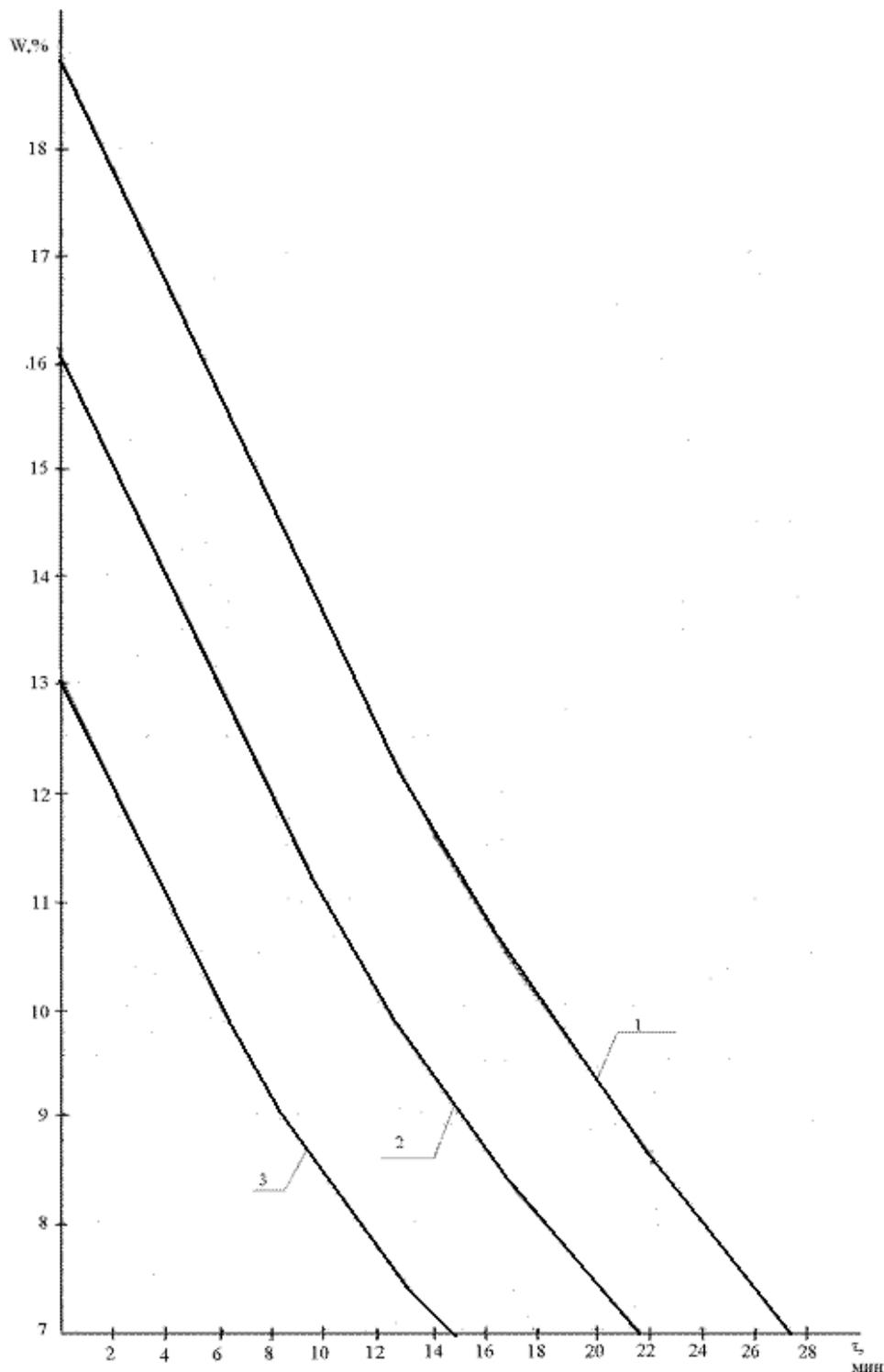


Рис. 3. Зависимость времени сушки семян подсолнечника от начального влагосодержания 18.9% до конечного влагосодержания 7% при плотности теплового потока ИК-излучателя 3.64 кВт/м<sup>2</sup>

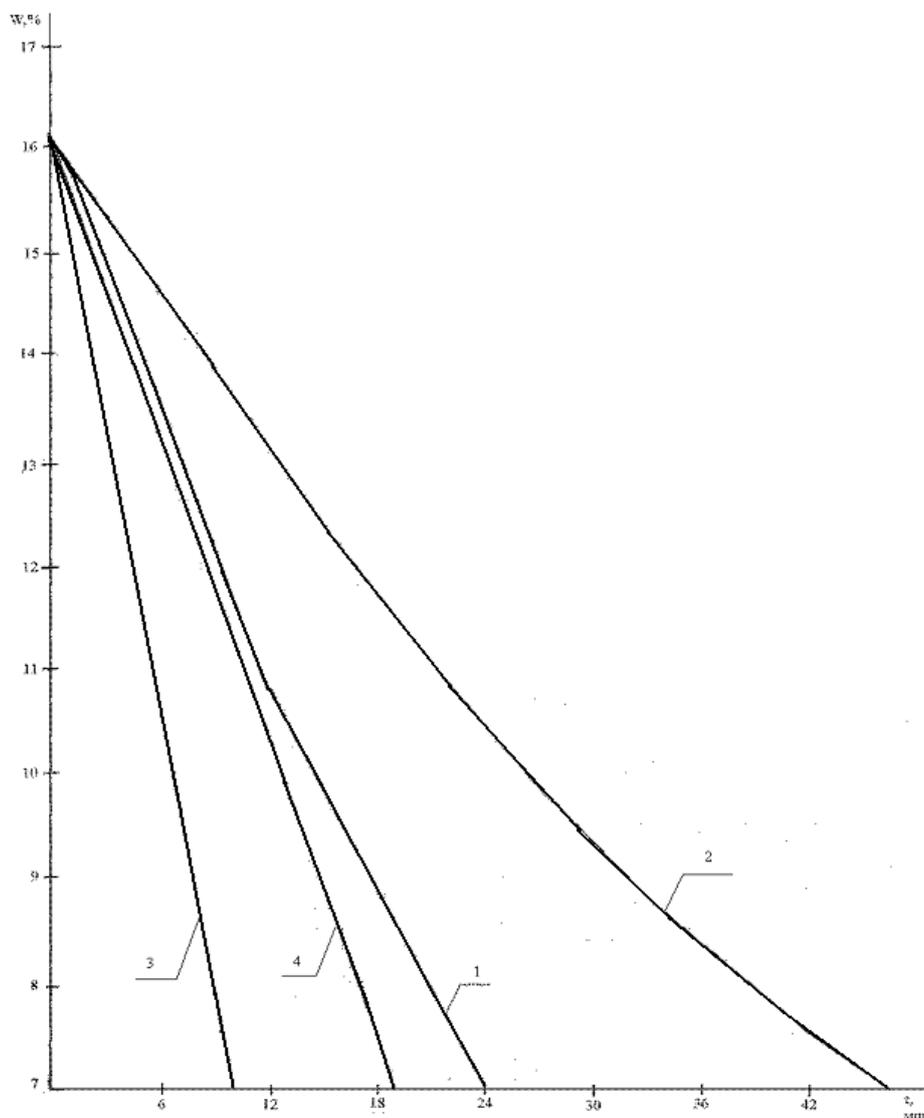


Рис. 4. Зависимость времени сушки семян подсолнечника от начального влагосодержания до конечного влагосодержания 7% при плотности теплового потока ИК-излучателя  $4.32 \text{ кВт/м}^2$

#### Литература:

1. Голдовский А.М. Теоретические основы производства растительных масел. М.; Л., 1958. 446 с.
2. Щербаков В.Г. Химия и биохимия переработки масличных семян. М.: Пищевая промышленность, 1977. 162 с.
3. Лобанов В.Г., Шаззо А.Ю., Щербаков В.Г. Теоретические основы хранения и переработки семян подсолнечника. М.: Колос, 2002. 590 с.
4. Белобородов В.В., Вороненко Б.А. Массоперенос в твердых пористых телах. СПб., 1999. 146 с.
5. Устройство для инфракрасной сушки семян: пат. / Вороненко Б.А., Демидов С.Ф., Пеленко В.В., Демидов А.С., Усманов. №2010131602; заявл. 28.07.2010.
6. Способ инфракрасной сушки семян: пат. / Вороненко Б.А., Демидов С.Ф., Пеленко В.В., Демидов А.С. №2010131605; заявл. 28.07.2010.
7. Преобразователи термоэлектрические ТХА-9419: паспорт ДДШ 0.282.006 ПС: изготовитель ОАО НПП "Эталон" г. Омск.
8. Датчик плотности теплового потока ДТП 0924: паспорт: изготовитель ОАО НПП "Эталон" г. Омск.
9. Измеритель теплопроводности многоканальный ИТ-2: руководство по эксплуатации ДДШ 2.393.005 РЭ г. Омск.
10. Анализатор влажности "ЭЛВИЗ-2". ЭЛ001.00.000-01ПС: паспорт.

#### References:

1. Goldovsky A. M. The theoretical basis of the production of vegetable oils. M., L., 1958. 446 p.
2. Shcherbakov V. G. Chemistry and biochemistry of oil-bearing seeds. M.: Food Industry, 1977. 162 p.

3. Lobanov V. G., Shazzo A.Y., Shcherbakov V. G. *Theoretical foundations of storage and processing of sunflower seeds*. M.: Kolos, 2002. 590p.
4. Beloborodov V. V., Voronenko B. A. *A Mass transport in solid porous bodies*. SPb., 1999. 146p.
5. *Infrared device for drying seeds: a stalemate.* / Voronenko B. A., Demidov S. F., Pelenco V. V., Demidov A. S., Usmanov. № 2010131602; appl. 07/28/2010.
6. *The method of infrared drying of seeds: a stalemate.* / Voronenko B. A., Demidov S. F., Pelenco V. V., Demidov A. S. № 2010131605; appl. 07/28/2010.
7. *Thermoelectric converters TXA-9419: Passport DDSH 0,282,006 PS: producer OAO NPP "Etalon", Omsk.*
8. *The heat flux sensor crash 0924: Passport: producer OAO NPP "Etalon", Omsk.*
9. *Conductivity meter multi-channel IT-2: manual DDSH 2,393,005 RE Omsk.*
10. *Moisture Analyzer "ELVIZ-2". EL001.00.000-01PS passport. 66.081.4*