

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН
MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

АЛМАТИНСКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
ALMATY TECHNOLOGICAL UNIVERSITY

МЕЖДУНАРОДНАЯ АКАДЕМИЯ ХОЛОДА
INTERNATIONAL ACADEMY OF REFRIGERATION



climalife®

Danfoss



МАУЕКАША
MYCOM

TRAMAX
LIMITED

VIII МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«КАЗАХСТАН-ХОЛОД 2018»

VIII INTERNATIONAL
SCIENTIFIC AND TECHNICAL CONFERENCE
«KAZAKHSTAN-REFRIGERATION 2018»

Сборник докладов конференции
15-16 марта 2018 г.
Proceedings of the Conference
March 15-16, 2018

Алматы, 2018

УДК 621.56/59(063)

ББК 31.392

К14

Сборник докладов подготовлен под редакцией
доктора технических наук, академика **Кулажанова Т.К.**

Редакционная коллегия:

Цой А.П., Бараненко А.В., Шалбаев К.К.,
Шлейкин А.Г., Андреева В.И. (ответ.секретарь)

К14 Казахстан-Холод 2018: Сб. докл.межд.науч.-техн.конф. (15-16
марта 2018 г.) = Kazakhstan-Refrigeration 2018: Proceedings of the Conference
(March 15-16, 2018). – Алматы: АТУ, 2018. – 255 с., русский, английский.

ISBN 978-601-263-425-9

В докладах представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований, практических внедрений, проведенных в Казахстане, Дании, Бельгии, Германии, России, Японии, Узбекистане и Украине по следующим направлениям: холодильные машины и установки, системы кондиционирования воздуха и жизнеобеспечения, экология в холодильной промышленности, холодильная и пищевая технология. Сборник рассчитан на специалистов и ученых, работающих в областях холодильной, пищевой, химической, нефтеперерабатывающей промышленности, а также на специалистов по системам кондиционирования воздуха и жизнеобеспечения жилых, коммерческих зданий и спортивных комплексов.

The proceedings present the results of theoretical and experimental studies, practical implementations in Kazakhstan, Denmark, Belgium, Germany, Russia, Japan, Uzbekistan and Ukraine in the following areas: refrigeration machines and installations, air conditioning and life support systems, refrigeration ecology, refrigeration and food technology. These proceedings are devoted to professionals and scientists working in the fields of refrigeration, food, chemical, oil refining industries, as well as to specialists of air conditioning systems and life-support of residential, commercial buildings and sports complexes.

УДК 621.56/59(063)
ББК 31.392

ISBN 978-601-263-425-9

© АТУ, 2018

13. Tester, R.F., Karkalas, J., Qi, X. Starch – composition, fine structure and architecture // J. Cereal Sci. – 2004. – V.39. – P.151–165.

14. Доценко, С.М., Скрипко, О.В., Богданов, Н.Л. и др. Технология эмульсионных продуктов питания специализированного назначения // Пищевая промышленность. – 2014. – №7. – С.37-41.

УДК 664.723.047

STUDY OF THE FEATURES OF DRYING GRAIN IN MICROWAVE FIELD

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ СУШКИ ЗЕРНА В МИКРОВОЛНОВОМ ПОЛЕ

Volgusheva N.V. , PhD, Ass. Prof. Boshkova I.L. , Doct. of Tech. Sc, Ass. Prof.	Волгушева Н.В. , к.т.н., доцент Бошкова И.Л. , д.т.н., доцент
Odessa National Academy of Food Technologies, 1/3 Dvoryanska St., Odessa, Ukraine, 65082	Одесская национальная академия пищевых технологий, Украина, 65082, Одесса, Дворянская, 1/3

Abstract

The features of grain drying in a microwave field are investigated. We identified a cascade pressure growth in a container with humid grain when the layer's temperature exceeds 70 °C. The moisturizing effect of the lower layer of grain was established during its drying in MW field under conditions of a leakproof bottom. It is shown that at an initial moisture content in grain of 20 %, after 14 minutes of drying, the moisture content of the upper layer reached 15.5 %, of the middle layer – 14.5%, of the lower layer – 21.6 %.

Аннотация

Исследованы особенности сушки зерна в микроволновом поле. Обнаружен лавинообразный рост давления в емкости с влажным зерном при превышении температуры слоя 70°C. Установлен эффект увлажнения нижнего слоя зерна при его сушке в МВ поле в условиях влагонепроницаемого дна. Показано, что при начальном влагосодержании зерна 20% через 14 мин сушки влагосодержание верхнего слоя составило 15,5%, среднего – 14,5%, и нижнего – 21,6%.

Термообработка материалов растительного происхождения является определяющей для большинства технологических процессов, в частности, сушки, стерилизации и биостимуляции. Энергетический кризис и увеличение спроса на продукцию улучшенного качества вызвали необходимость совершенствования традиционных технологий и развития новых. В этом направлении методы с использованием энергии микроволнового электромагнитного поля (МВ ЭМП) давно зарекомендовали себя как высокоэффективные [1]. Применение микроволнового нагрева признано целесообразным для модернизации ряда технологических схем производств [2–5]. Однако неполнота знаний об эффектах воздействия микроволнового поля на не позволяет переходить на эффективные микроволновые технологии.

Исследование сушки при микроволновом нагреве показывает возможность существенного сокращения затрат энергии [6]. Микроволновой нагрев в режимах сушки демонстрирует существенную интенсификацию процесса [7]. При увеличении выходной мощности магнетрона в 4 раза длительность сушки снижается примерно в 5 раз. Однако в работе не приво-

дится анализ влияния вида материала и объема загрузки на необходимые характеристики, такие как длительность обработки и выходная мощность магнетрона. Продолжаются исследования микроволновой сушки фруктов и овощей [7, 18], однако сушка сырья с высоким влагосодержанием не представляется целесообразной. Это приводит к потере качества и большим затратам энергии, поскольку основным веществом, поглощающим электромагнитную энергию, является вода. Микроволновая сушка зерновых, уровень влагосодержания которых составляет 20–22 %, является перспективной. На примере исследования кинетики сушки крупы гречихи в микроволновом электромагнитном поле показано, что кривые сушки содержат периоды, наблюдаемые при других способах подвода теплоты [9].

Особое внимание уделяется изучению температурного поля в материале для установления рациональных режимов [10, 11]. Большое значение имеет анализ неоднородности нагрева, что вызвано формой материала и его составом, а также неоднородным распределением электромагнитного поля в микроволновой камере [11]. Существенными сдерживающими факторами применения методов микроволнового нагрева в различных технологиях является недостаточная полнота теоретических и экспериментальных исследований. Недостаток данных не позволяет прогнозировать эффекты, возникающие в материале под действием микроволнового поля.

Целью работы является исследование особенностей процесса сушки слоя зерна при различных условиях отвода испарившейся влаги.

При исследовании сушки в микроволновом поле использовалось зерно гречихи и пшеницы. Начальное влагосодержание зерна изменялось от 20% до 22%, начальная температура – от 17 до 26°C, масса – от 0,05 до 1,2 кг, толщина слоя – от 0,008 до 0,07 м, площадь поверхности образца, открытой для удаления влаги – от $8 \cdot 10^{-3}$ до $94 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$. Мощность магнетрона варьировалась от 80 до 800 Вт.

Схема экспериментальной установки для исследования эффектов воздействия микроволнового поля на растительную ткань, приведена на рис. 1.

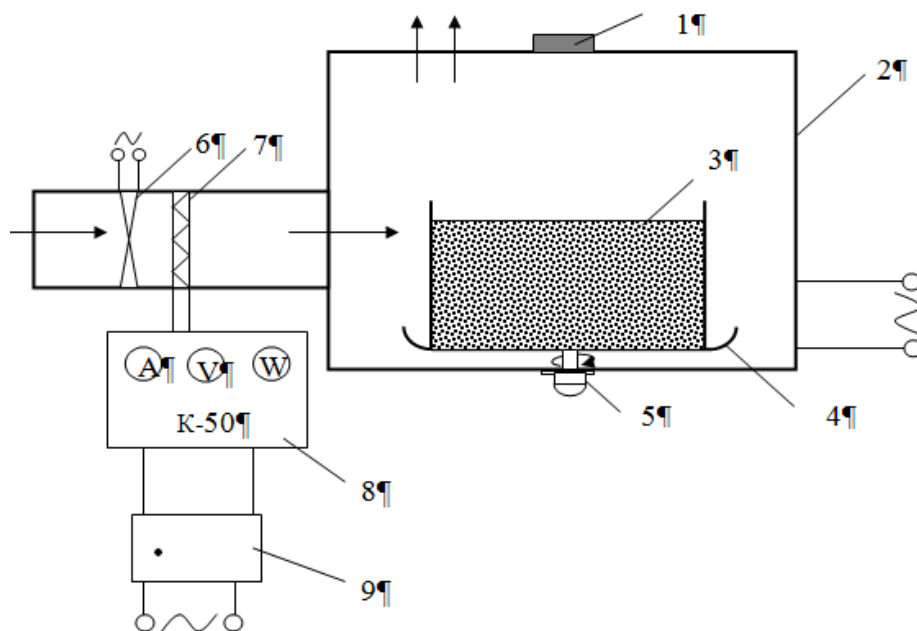


Рисунок 1 – Схема микроволновой экспериментальной установки: 1 – волновод; 2 – рабочая камера; 3 – экспериментальная ячейка; 4 – подставка; 5 – механизм привода; 6 – вентилятор; 7 – нагреватель; 8 – измерительный комплект; 9 – регулятор напряжения

Микроволновая энергия поступала в рабочую камеру прямоугольного сечения через волновод от магнетрона с частотой генерации 2,45 ГГц. Конструкция микроволновой камеры

позволяла одновременно с подводом МВ энергии осуществлять продувку воздуха над слоем. При одновременном микроволновом и конвективном подводе теплоты воздух по воздухово-ду нагнетался в камеру 2 вентилятором 6. Для контролируемого нагрева воздуха установлен нагреватель 7 с измерительным комплектом 8 и регулятором напряжения 9.

Методика исследования сушки зерновых заключалась в следующем. В экспериментальную ячейку помещался исследуемый материал, включался магнетрон. Через определенные интервалы времени весовым методом определялось количество испарившейся влаги и рассчитывалось влагосодержание (при исследовании процесса сушки).

На рис. 2 представлены характерные экспериментальные зависимости влагосодержания и температуры от длительности сушки в микроволновом поле при различной массе загрузки.

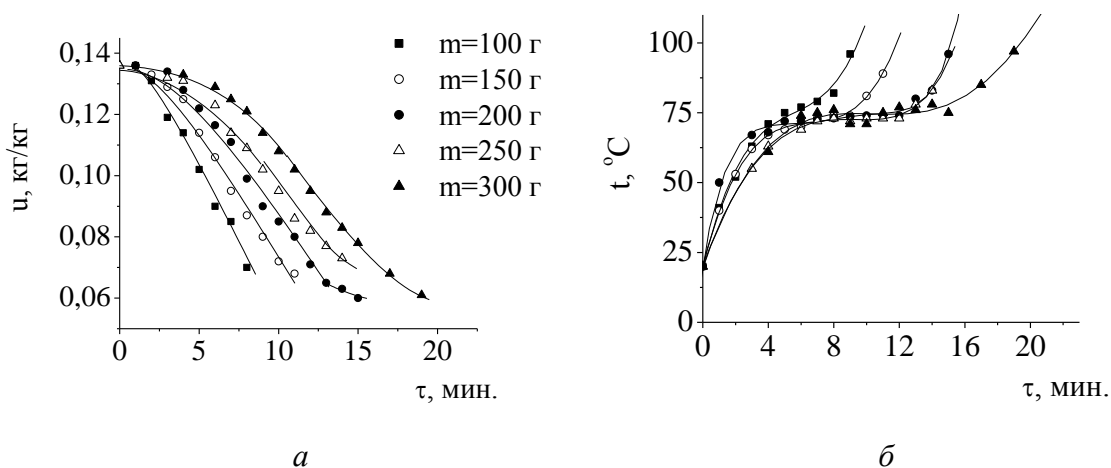


Рисунок 2 – Кинетика сушки зерна пшеницы в микроволновом поле при различной массе загрузки: *а* – изменение влагосодержания; *б* – изменение температуры

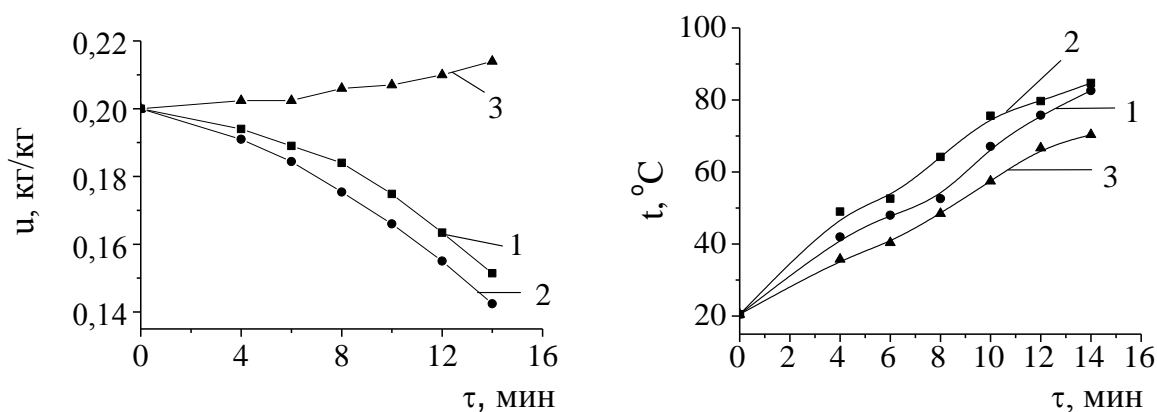
Процесс сушки можно разделить на периоды, характерные для коллоидных капиллярно-пористых тел при других способах подвода теплоты: прогрева (нулевой), постоянной (первый) и падающей (второй) скорости сушки. Характер изменения температуры в первом периоде различался в зависимости от массы загрузки (рис. 2) и подводимой мощности. При значениях удельной мощности до $q=450$ Вт/кг, температура практически не менялась. При увеличении удельной мощности температура возрастала, и при значениях $q>600$ Вт/кг ее изменение было существенным. Период падающей скорости сушки определялся по изменению хода кривой влагосодержания: кривая становилась пологой. Температура в этом периоде всегда возрастает. Описанная картина была типична для всех материалов.

Как показали результаты исследований, скорость МВ сушки без перегрева зерна составляет $(0,8-6,2) \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$, что существенно превышает значения, полученные при других способах подвода теплоты. Так, для зерна скорость кондуктивной сушки составляла $0,3 \cdot 10^{-5} \text{ с}^{-1}$, кондуктивно-конвективной – до $0,2 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$. Возможность значительно интенсифицировать процесс свидетельствует о перспективности применения микроволнового поля для сушки зерновых. Эксперименты показали, что в оптимальном режиме скорость микроволновой сушки с одновременной продувкой слоя зерна воздухом составляла $12,7 \cdot 10^{-4} \text{ с}^{-1}$, при этом удельные затраты энергии на килограмм испаренной влаги составили 5,65 МДж/кг.

В процессе МВ нагрева влажного зерна избыточное давление внутри слоя начинает повышаться. На поверхности слоя избыточное давление равно нулю, и максимально – в центре. В слое возникает градиент общего давления, который является движущей силой фильтрационного переноса. С целью обнаружения эффекта повышения давления в слое зерна была составлена следующая методика. В микроволновую камеру помещалась емкость со слоем гречихи высотой 11 см, в центре которого измерялось избыточное давление с помощью U-образного керосинового манометра. Выбор керосина обусловлен тем, что он не поглощает

микроволновую энергию. Лавинообразное повышение давления возникало, когда температура превышала 70 °С. При этом толщина слоя составляла 0,1 м. Максимально возможное избыточное давление внутри слоя равнялось 640 Па. При достижении этой величины наблюдался самопроизвольный мгновенный сброс давления.

Специфика микроволнового нагрева заключается в объемном характере поглощения материалом микроволновой энергии. Плотность потока микроволновой энергии максимальна в поверхностных слоях, при продвижении вглубь материала поток ослабляется по экспоненциальному закону. Поэтому для оценки неравномерности температуры и влагосодержания особый интерес представляла кинетика послойной сушки. С этой целью была изготовлена экспериментальная ячейка, которая состояла из трех слоев, разделенных радиопрозрачными сетками. Масса каждого слоя составляла 0,1 кг, толщина – 0,009 м, диаметр – 0,135 м, площадь поверхности, открытой для удаления пара – $14,3 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$. В ходе эксперимента определялось изменение влагосодержания и температуры гречихи по высоте слоя в процессе сушки. Открытой для поглощения МВ энергии и отвода пара была только верхняя поверхность образца, боковая и нижняя поверхности были тепло- и влагоизолированы. Кривые кинетики послойной сушки представлены на рис. 3, из которых видно, что интенсивнее всего сушка протекала в среднем слое. В этом эксперименте масса слоя $m=0,1 \text{ кг}$, толщина $l=0,009 \text{ м}$, $P_{\text{вых}}=160 \text{ Вт}$. Влагосъем в верхнем слое был несколько слабее (рис. 3, а). Это связано с тем, что температура верхнего слоя несколько ниже второго (рис. 3, б). Была обнаружена еще одна особенность: влагосодержание третьего слоя с течением времени повышалось, достигая 0,215 кг/кг (начальное влагосодержание – 0,2 кг/кг). Следовательно, влага из верхних слоев материала проникала вниз, по всей видимости, за счет механизма термодиффузии и сил гравитации.



а б

Рисунок 3 – Кинетика послойной сушки гречихи в микроволновом поле: а – изменение влагосодержания; б – изменение температуры; 1 – верхний слой; 2 – средний слой; 3 – нижний слой

Обращает на себя внимание следующая особенность – несмотря на растущее влагосодержание в нижнем слое, т. е. увеличение доли полярного диэлектрика («приемника» микроволнового излучения) в этом объеме материала, температура его остается ниже температуры второго и третьего слоев. Эксперименты, проведенные на ячейке, состоящей из четырех слоев, показали, что нижний (четвертый) слой также имеет наименьшую температуру и наибольшее влагосодержание, которое, как и в предыдущем опыте с тремя слоями, увеличивалось во времени. Таким образом, влагосодержание нижнего слоя увеличивается независимо от толщины образца. Причиной снижения температуры образца на границе слоя с основанием камеры является передача теплоты теплопроводностью от экспериментальной ячейки. Подобная неравномерность не наблюдалась при использовании сетчатой ячейки, ко-

торая свободно пропускала пар во всех направлениях. В этом случае температура слоев материала различались не более чем на 4 °С, а влагосодержание – на 0,007 г/кг. Сопоставление данных по кинетике сушки, полученных на ячейке со сплошным и радиопрозрачным сетчатым днищем, подтвердило важность рациональной организации отвода пара. Так, если в первом случае среднее влагосодержание образца уменьшилось с 0,2 кг/кг до 0,17 кг/кг за 14 мин, то во втором – за 7,5 мин. Неравномерность распределения температуры и влагосодержания возникает в условиях, когда выход пара через нижнюю и боковую поверхности затруднен.

Проведенное исследование сушки зерна в микроволновом поле обнаружило возникновение эффектов лавинообразного повышения давления в слое. В этих условиях температура превышает 70 °С при толщине слоя 0,1 м и выход пара с боковой поверхности и дна затруднен. В таких же условиях сушка приобретает крайне неравномерный характер, причем влагосодержание нижнего слоя может вырасти выше начального. Интенсивнее всего проходит сушка среднего слоя.

Список литературы

1. Brodie, G. Microwave and Radio-Frequency Technologies in Agriculture. An Introduction for Agriculturalists and Engineers. [Text] / G. Brodie, M. V. Jacob, P. Farrell; edited by M. Golachowska. Warsaw/Berlin: Published by De Gruyter, 2015. – 396 p.
2. Jayasanka, S. M. D. H. The significance of microwaves in the environment and its effect on plants [Text] / S. M. D. H. Jayasanka, T. Asaeda // Environmental Reviews. – 2014. – V. 22, №3. – P. 220–228.
3. Li1, Y. Intermittent microwave drying of wheat [Text] / Y. Li1, T. Zhang1, C. W. Chunging // Zhang Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences. – 2014. – V. 2, №1. – P. 32–36.
4. Puligundla, P. Potentials of Microwave Heating Technology for Select Food Processing Applications – a Brief Overview and Update [Text] / P. Puligundla, S. A. Abdullah, W. Choi, S. Jun, S. E. Oh, S. Ko // Food Process Technolgy. – 2013. – V. 4, №11. – P. 2–9.
5. Hoogenboom, R. Microwave Assisted Chemistry: a Closer Look at Heating Efficiency [Text] / R. Hoogenboom, T. Wilms, T. Erdmenger, U.S. Schubert // Heating Efficiency in Microwave-Assisted Chemistry. – 2009. – V. 62. – P. 236–243.
6. Rattanadecho, P. Microwave-Assisted Drying [Text] / P. Rattanadecho, N. Makul // A Review of the State-of-the-Art. – 2016. – V. 34, №1. – P. 1–38.
7. Mohammadi, B. Investigation of microwave application in agricultural production drying [Text] / B. Mohammadi, S. Busaleyki, R. Modarres, E. Yarionsorudi, M. Fojlaley, S. Andik // International Journal of Technical Research and Applications. – 2014. – V. 2, №1. – P. 69–72.
8. Dadali, G. Microwave heat treatment of spinach: drying kinetics and effective moisture diffusivity [Text] / G. Dadali, E. Demirhan, B. Özbek, O. Belma // Dry Technology. – 2007. – V. 25. – P. 1703–1712.
9. Kalender'yan, V. A. Kinetics of microwave drying of a free-flowing organic material [Text] / V. A. Kalender'yan, I. L. Boshkova, N. V. Volgusheva // Journal of Engineering Physics and Thermophysics. – 2006. – V. 79, №3. – P. 547–552.
10. Календерьян, В. А. Влияние режимных параметров на распределение температур в движущемся плотном слое дисперсного материала при микроволново-конвективной сушке [Текст] / В. А. Календерьян, И. Л. Бошкова, Н. В. Волгушева // Промышленная теплотехника. – 2010. – Т. 32, №1. – С. 37–44.
11. Feng, H. Microwave Drying of Food and Agricultural Materials: Basics and Heat and Mass Transfer Modeling [Text] / H. Feng, Y. Y. J. Tang // Food Engineering Reviews. – 2012. – V. 4, №2. – P. 89–106.

Авторский алфавитный указатель

- Ашкенова З.Н., Какимова Ж. Х., Утегенова А.О.**
Ферментные биосенсоры для определения хлороорганических пестицидов в молоке
Ashkenova Z.N., Kakimova J.H., Surname Fn.Sn.
Enzyme biosensors for determination of chlorogenic pesticides in milk 7
- Белецкий Э.В., Петренко Е.В.**
Особенности гидравлического расчета совокупности каналов трубопроводов холодильных и климатических систем
Beletskiy E.V., Petrenko O.V.
Features of hydraulic calculation of collectivity of channels of pipelines of refrigerating and climatic systems 10
- Данько В.П.**
Исследование зависимости гидродинамического режима работы теплообменных аппаратов абсорбционных систем жизнеобеспечения от концентрации абсорбента
Danko V.P.
Investigation of the dependence of the hydrodynamic mode of the heat and mass transfer apparatus absorption life support systems on the concentration of the absorbent 14
- Георгиев Е.В.**
Расчет средней температуры материала с учетом теплоотдачи с окружающей средой
Georgiiev E.V.
Calculation of the average temperature of the material with the account of heat treatment with the environment 18
- Фуркало С.В., Данько В.П.**
Анализ причин поломок холодильного оборудования на предприятиях торговли
Furkalo S.V., Danko V.P.
Analysis of the causes of failure of refrigeration equipment in the trade company 21
- Волчок В.А., Волчок Е.В.**
Источники тепловлажностных выделений в воздушную среду консервных предприятий
Volchok V.A., Volchok H.V.
Sources of thermalhumidity receivables in air environment of canning enterprises 24
- Цой А.П., Грановский А.С., Бараненко А.В., Цой Д.А.**
Разработка технико-экономической компьютерной модели системы ночного радиационного охлаждения
Tsoy A.P., Granovskiy A.S., Baranenko A.V.
Development of the techno-economic computer model of the night radiative cooling system 27
- Доценко Н.В., Подорога В.И.**
Криобработка как способ снижения гликемического индекса картофеля продуктов
Dotsenko N.V., Podoroga V.I.
Cryo processing as a way to reduce the glycemic index of potato products 32
- Волгушева Н.В., Бошкова И.Л.**
Изучение особенностей сушки зерна в микроволновом поле
Volgusheva N.V., Boshkova I.L.
Study of the features of drying grain in microwave field 38
- Ермоленко М.В., Степанова О.А., Акимов М.М.**
Исследование процесса замораживанияпельменей с растительными добавками
Yermolenko M.V., Stepanova O.A., Akimov M.M.
Investigation of the process of freezing pelmeni with vegetable additives 43