

ПОДБОР ЭФФЕКТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ  
ВАКУУМНОЙ СУШКИ ТВЕРДЫХ СЫРОВ

V.A. Ermolaev, M.A. Yakovchenko,  
A.A. Kosolapova

SELECTION OF EFFECTIVE TECHNOLOGICAL PARAMETERS  
OF VACUUM DRYING OF FIRM CHEESES

**Ермолаев В.А.** – д-р техн. наук, доц. каф. природообустройства и химической экологии Кемеровского государственного сельскохозяйственного института, г. Кемерово. E-mail: ermolaevvla@rambler.ru

**Яковченко М.А.** – канд. хим. наук, доц., и. о. зав. каф. природообустройства и химической экологии Кемеровского государственного сельскохозяйственного института, г. Кемерово. E-mail: mara.2002@mail.ru

**Косолапова А.А.** – ассист., зав. лаб. каф. природообустройства и химической экологии Кемеровского государственного сельскохозяйственного института, г. Кемерово. E-mail: mara.2002@mail.ru

**Ermolaev V.A.** – Dr. Techn. Sci., Assoc. Prof., Chair of Environmental Engineering and Chemical Ecology, Kemerovo State Agricultural Institute, Kemerovo. E-mail: ermolaevvla@rambler.ru

**Yakovchenko M.A.** – Cand. Chem. Sci., Assoc. Prof., Acting Head, Chair of Environmental Engineering and Chemical Ecology, Kemerovo State Agricultural Institute, Kemerovo. E-mail: mara.2002@mail.ru

**Kosolapova A.A.** – Asst, Head, Lab., Chair of Environmental Engineering and Chemical Ecology, Kemerovo State Agricultural Institute, Kemerovo. E-mail: mara.2002@mail.ru

Данная работа посвящена исследованию влияния таких технологических параметров вакуумной сушки, как толщина слоя и степень измельчения продукта, на эффективность процесса. Проведены опыты по вакуумной сушке твердых сыров при подборе вышеуказанных параметров. Установлено их влияние на продолжительность процесса, органолептическую оценку и массовую долю влаги в сухих продуктах. Установлено, что с увеличением толщины слоя продукта продолжительность обезвоживания увеличивается, однако при этом повышается производительность установки в целом. Рассчитана величина относительной поверхности продукта при различной степени измельчения и форме. Органолептическая оценка позволила установить, что наилучшим качеством характеризуются сыры, обезвоженные при толщине от 10 до 30 мм. При данном режиме органолептическая оценка может достигать 26 баллов. При увеличении толщины слоя до 40 мм органолепти-

ческая оценка уменьшается до 25–24 баллов. Определена массовая доля влаги в сухих сырах в зависимости от толщины слоя сушки, формы продукта и степени измельчения. Содержание влаги менее 7 % в сухих сырах наблюдается при толщине слоя не более 30 мм, а также в сырах, измельченных в форме пластинок размерами 17×2×1 и 55×5×2 мм; кубиков размером 6×6×6 и 10×10×10 мм, а также прямоугольников размером 30×6×6 и 30×10×10 мм. Обнаружено, что обезвоживать сыры целесообразно при вышеуказанных параметрах измельчения, что обеспечивает минимальную продолжительность сушки, высокие качественные показатели продукта, минимальные энергозатраты, а также массовую долю влаги не более 7 %.

**Ключевые слова:** твердые сыры, вакуумная сушка, толщина сушки, измельчение.

*This work is devoted to the research of influence of such technological parameters of vacuum drying,*

as thickness of a layer and extent of grinding of the product, on efficiency of process. The experiments on vacuum drying of firm cheeses at selection of the above parameters were made. Their influence on the process duration, organoleptic assessment and mass fraction of moisture in dry products was established. It was established that with the increase in thickness of a layer of product duration of dehydration increases, however thus installation productivity in general increases. The size of relative surface of a product at various extents of grinding and the form were calculated. The organoleptic assessment allowed establishing that the best quality characterizes the cheeses dehydrated at the thickness from 10 to 30 mm. At this mode the organoleptic assessment can reach 26 points. At increase in thickness of a layer to 40 mm the organoleptic assessment decreases to 25-24 points. The mass fraction of moisture in dry cheeses depending on thickness of a layer of drying, the form of a product and extent of crushing was defined. Dry cheeses moisture content less than 7 % was observed at the thickness of layer no more than 30 mm, and also in the cheeses crushed in the form of plates, the sizes 17×2×1 and 55×5×2 of mm; cubes, 6×6×6 in size and 10×10×10 mm, and also rectangles, size 30×6×6 and 30×10×10 of mm. It has been found out that it is advisable to dehydrate the cheese under the given above parameters of grinding that provides minimal drying time, high-quality product performance, minimal power consumption, as well as the mass fraction of moisture not more than 7 %.

**Keywords:** firm cheeses, vacuum drying, drying thickness, grinding.

**Введение.** Вакуумная сушка является одной из наиболее эффективных технологий обезвоживания пищевого сырья [1–3]. Методом вакуумной сушки возможно получать продукты высокого качества, при этом по сравнению с традиционным методом – заморозкой появляется существенное преимущество, такое как значительное снижение объема и как следствие – сокращение затрат на транспортировку и хранение продукта [4, 5].

На кинетику процесса вакуумной сушки и качество готового продукта влияет ряд технологических параметров, среди которых – форма и размеры продукта [6].

**Цель исследования:** подбор эффективной степени измельчения твердых сыров при вакуумной сушке.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие **задачи:** анализ кинетики процесса сушки, исследование влияния толщины слоя продукта и степени его измельчения на продолжительность процесса и массовую долю влаги.

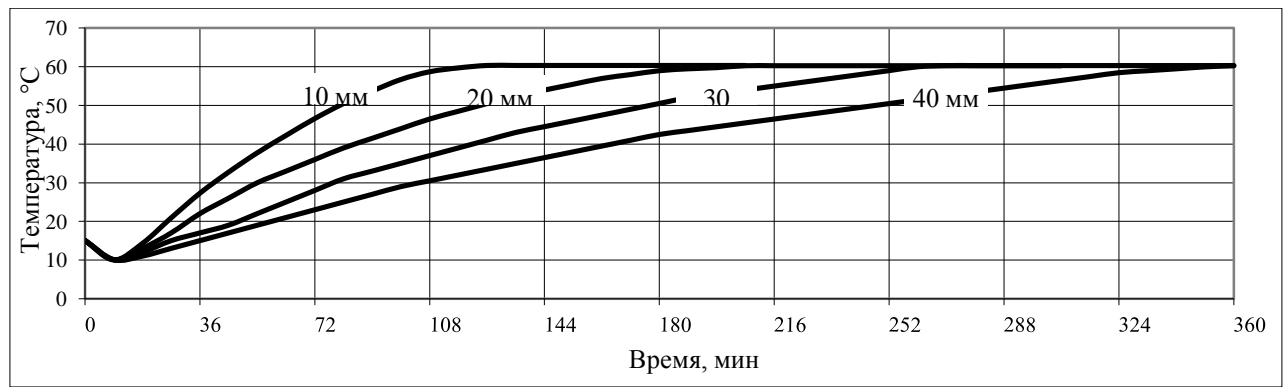
**Объекты и методы исследования.** Объектами исследования были выбраны твердые сыры следующих марок: «Советский», «Голландский», «Костромской» и «Пошехонский».

Производили подбор толщины слоя сушки, для этого сыры перед загрузкой в камеру измельчали до толщины 10, 20, 30 и 40 мм. Остаточное давление в камере составляло 2-3 кПа.

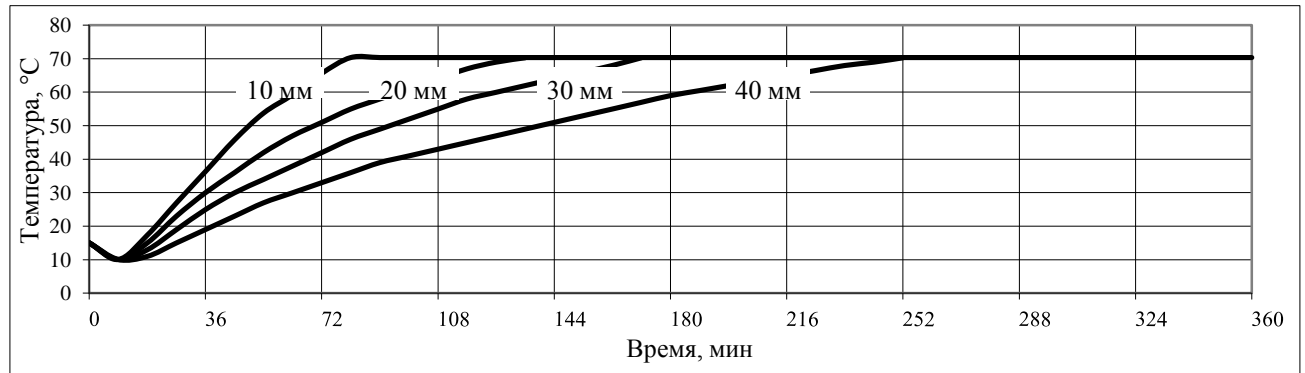
**Результаты исследования.** На рисунке 1 приведены графики изменения температур центральных слоев продукта при различной толщине слоя.

Установлено, что с увеличением толщины слоя продукта продолжительность достижения центральными слоями требуемой температуры увеличивается. При обезвоживании сыра «Советский» необходимая температура в 60 °С центральными слоями достигается при толщине слоя 10 мм за 110 мин; а при толщине слоя 20 мм – 190 мин. В случае, когда толщина слоя составляла 30 мм, это время было равно 260 мин, а при толщине слоя 40 мм – 360 мин.

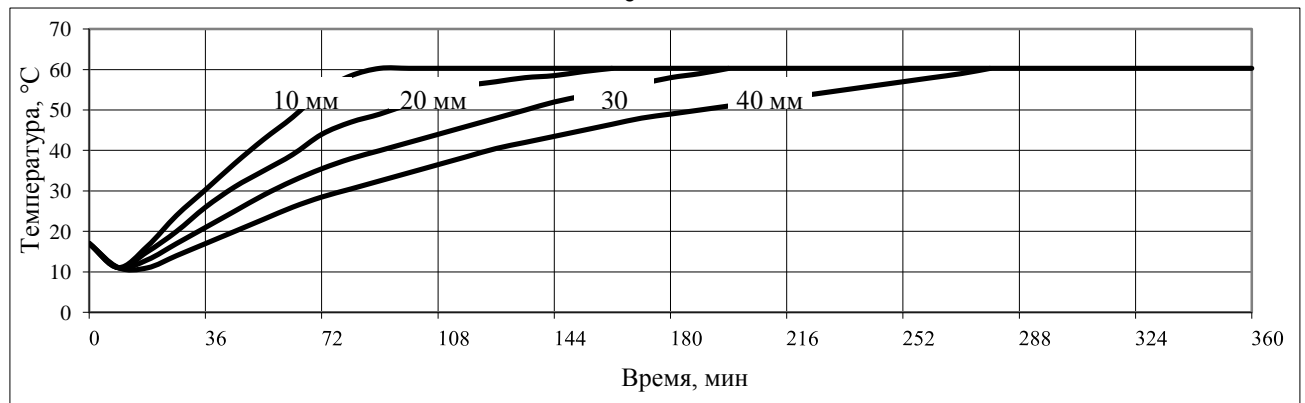
При обезвоживании других сыров изменение температуры в центральных слоях имеет схожий характер. При толщине слоя 40 мм в центральных слоях «Советского» сыра требуемая температура достигается через 360 мин после начала процесса сушки, «Голландского» – через 250 мин, а «Пошехонского» – через 280 мин. Стоит отметить, что сыр «Пошехонский» прогревается быстрее, чем «Советский», поскольку установленная плотность теплового потока для него составляет 7,36 кВт/м<sup>2</sup>, а для «Советского» она равна 5,52 кВт/м<sup>2</sup>.



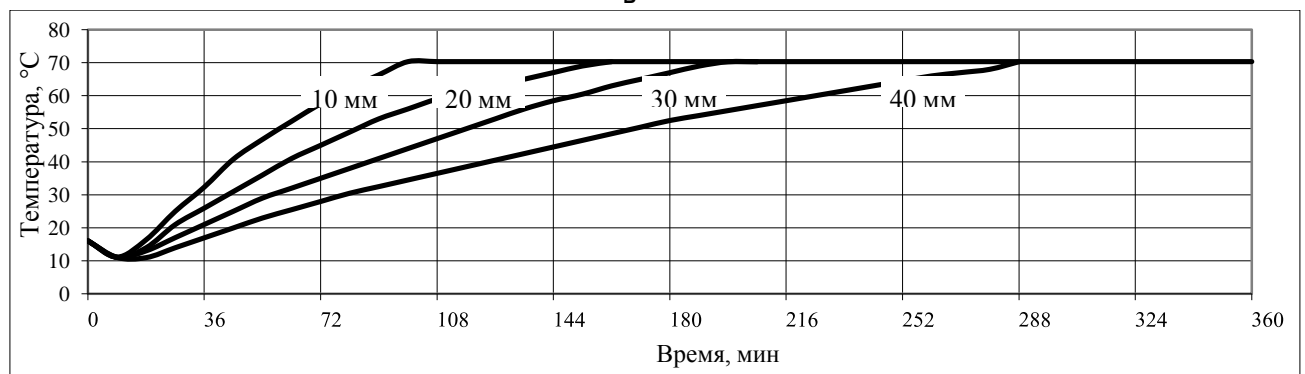
а



б



в



г

Рис. 1. Графики температуры при вакуумной сушке сыров при различной толщине слоя: а – «Советский»; б – «Голландский»; в – «Костромской»; г – «Пошехонский»

На рисунке 2 представлены графики зависимости продолжительности вакуумной сушки сыров от толщины слоя продукта и степени измельчения.

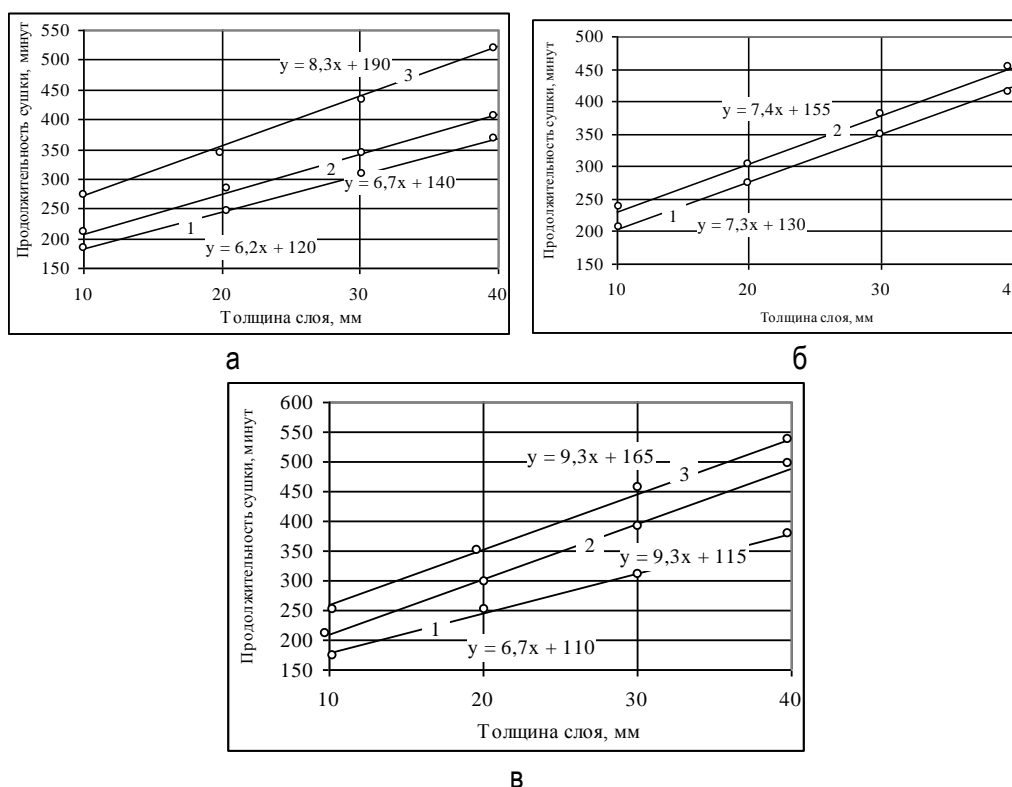


Рис. 2. Графики зависимости продолжительности вакуумной сушки сыра «Голландский» от толщины слоя и степени измельчения: а – кубики размером: 1 – 6 × 6 × 6 мм; 2 – 10 × 10 × 10 мм; 3 – 15 × 15 × 15 мм; б – прямоугольники размером: 1 – 30 × 6 × 6 мм; 2 – 30 × 10 × 10 мм; в – гранулы диаметром: 1 – 2 мм; 2 – 5 мм; 3 – 8 мм

Установлено, что с повышением толщины слоя продолжительность обезвоживания сыров увеличивается при всех вариантах измельчения.

Для расчета продолжительности обезвоживания сыров в зависимости от толщины слоя сушки, формы и размера измельчения были разработаны уравнения, приведенные на рисунке 2. В представленных уравнениях через  $x$  обозначена толщина слоя.

При увеличении толщины слоя не только возрастает продолжительность процесса сушки, но также увеличивается производительность установки. Например, при толщине слоя 10 мм загрузка продукта в камеру составляет 5 кг, а продолжительность обезвоживания составляет 190 мин. При толщине слоя 40 мм загрузка продукта равна 20 кг, а продолжительность процесса – 450 мин. При повышении продолжительности процесса в 2,4 раза производительность по сухому продукту увеличивается в 4 раза. Эффективность использования установки при толщине слоя продукта 40 мм по сравнению с толщиной в 10 мм повышается в 1,7 раза.

Однако стоит отметить, что повышение эффективности использования сушильной уста-

новки за счет увеличения толщины слоя ограничено качественными показателями сухого продукта и содержанием в нем массовой доли влаги. Обнаружено, что для одного и того же вида сыра при одинаковой толщине слоя, но различных формах и размерах частиц продолжительность обезвоживания разная.

Окончательный выбор исследуемых технологических факторов формы и размера продукта должен основываться на качественных показателях сухого продукта, содержании массовой доли влаги и удельных затратах теплоты.

Установлено, что наибольшей органолептической оценкой (до 26 баллов) характеризовались сыры, высушенные при толщине от 10 до 30 мм. При толщине слоя продукта 40 мм органолептическая оценка уменьшается до 25–24 баллов. При толщине слоя свыше 30 мм ухудшение качественных показателей сухих сыров происходит вследствие неравномерного высыхания по толщине слоя и наличия слипшейся массы.

В таблице приведены данные по массовой доле влаги сухих сыров в зависимости от толщины слоя сушки, формы и размера измельчения.

**Массовая доля влаги сухих сыров в зависимости от толщины слоя сушки и степени измельчения, %**

Форма и размеры	Толщина слоя, мм			
	10	20	30	40
Пластины, мм				
17×2×1	3,7	3,9	4,5	6,8
55×5×2	4,0	4,5	5,3	7,5
85×30×5	4,8	5,6	6,7	8,0
Кубики, мм				
6×6×6	4,2	4,5	5,0	7,1
10×10×10	4,9	5,7	6,3	8,5
15×15×15	5,5	6,8	7,7	8,5
Прямоугольники, мм				
30×6×6	4,5	4,5	5,6	7,5
30×10×10	5,0	5,7	7,0	8,0

Массовой долей влаги не более 7,0 % обладали сыры, обезвоженные при толщине слоя не более 30 мм. При толщине слоя свыше 40 мм практически при всех формах и размерах измельчения в сухом продукте массовая доля влаги была свыше 7,0 %.

На рисунке 3 представлены графики изменения массовой доли влаги сыра «Костромской» в процессе вакуумной сушки при различной толщине слоя.

С увеличением толщины слоя повышается не только продолжительность сушки, но и содержание влаги в сухом сыре. При толщине

слоя 10 мм массовая доля влаги составляла 4,2 %; при 20, 30 и 40 мм – 4,5; 5,0 и 7,1 % соответственно. Повышение массовой доли влаги в сухих продуктах при увеличении толщины слоя происходит вследствие снижения скорости удаления влаги и интенсивности прогрева центральных слоев. При повышении толщины слоя продукта от 10 до 20 мм продолжительность сушки увеличивается на 20–30 %, а массовая доля влаги – на 0,3–0,4 %. В случае, когда толщина слоя сушки повышается от 30 до 40 мм, продолжительность сушки возрастает на 27–46 %, а массовая доля влаги – на 2,1–2,3 %.

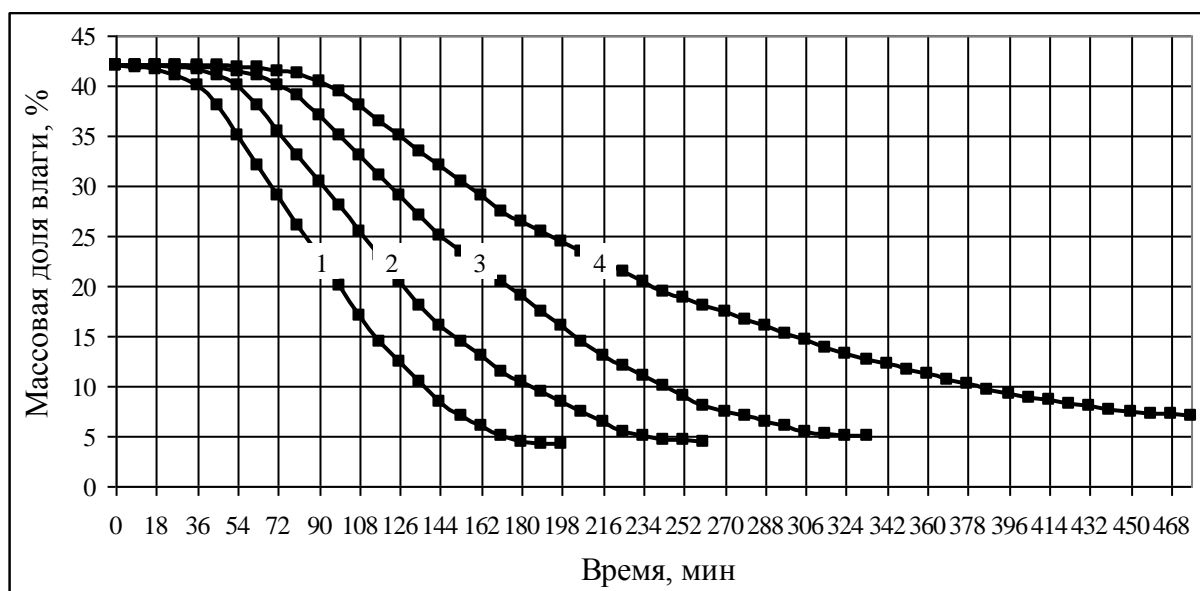


Рис. 3. Графики изменения массовой доли влаги «Костромского» сыра при различных толщинах слоев: 1 – 10 мм; 2 – 20 мм; 3 – 30 мм; 4 – 40 мм

**Выводы.** Выявлена нецелесообразность обезвоживания сыров при толщине слоя сушки более 30 мм из-за повышения продолжительности обезвоживания, снижения качественных показателей продукта и повышенного содержания массовой доли влаги в сырах, а также повышенных удельных затрат теплоты.

Таким образом, для вакуумной сушки твердых сыров рекомендуемыми технологическими параметрами являются:

- толщина от 10 до 30 мм;
- формы и размеры: пластинки – 17×2×1, 55×5×2 мм; кубики – 6×6×6, 10×10×10 мм; прямоугольники – 30×6×6, 30×10×10 мм.

При вышеуказанных параметрах наблюдается минимальная продолжительность процесса сушки, сухие сыры обладают высокими органолептическими показателями, массовая доля влаги в продукте составляет не более 7,0 %, а удельные затраты теплоты минимальны.

#### Литература

1. Дубкова Н.З., Галиакбеков З.К., Николаев Н.А. Кинетика вакуумной сушки при получении порошков из растительного сырья // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2002. – № 10. – С. 23–25.
2. Захарова Л.М., Ермолаев В.А., Архипова Л.М. Кинетика и массообмен при вакуумной сушке обезжиренного творога // Молочная промышленность. – 2008. – № 10. – С. 86–87.
3. Ермолаев В.А., Сметанин В.С. Способы уменьшения удельных затрат теплоты при вакуумной сушке молочных продуктов // Вестн. КрасГАУ. – 2010. – № 1. – С. 160–164.
4. Расщепкина Е.А., Попов А.М., Турин В.В. и др. Результаты экспериментальных исследований вакуумной сушки брусники // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2007. – № 9. – С. 67–70.

5. Ермолаев В.А., Просеков А.Ю. Вакуумные технологии молочно-белковых концентратов: монография. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2010. – 212 с.
6. Семенов Г.В., Буданцев Е.В., Булкин М.С. Качество и энергозатраты в процессах вакуумного обезвоживания термолабильных материалов // Изв. вузов. Пищевая технология. – 2011. – № 1. – С. 65–68.

#### Literatura

1. Dubkova N.Z., Galiakbekov Z.K., Nikolaev N.A. Kinetika vakuumnoj sushki pri poluchenii poroshkov iz rastitel'nogo syr'ja // Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ja. – 2002. – № 10. – S. 23–25.
2. Zaharova L.M., Ermolaev V.A., Arhipova L.M. Kinetika i massoobmen pri vakuumnoj sushke obezzhirennogo tvoroga // Molochnaja promyshlennost'. – 2008. – № 10. – S. 86–87.
3. Ermolaev V.A., Smetanin V.S. Sposoby umen'shenija udel'nyh zatrat teploty pri vakuumnoj sushke molochnyh produktov // Vestn. KrasGAU. – 2010. – № 1. – S. 160–164.
4. Rasshhepkina E.A., Popov A.M., Turin V.V. i dr. Rezul'taty jeksperimental'nyh issledovanij vakuumnoj sushki brusniki // Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ja. – 2007. – № 9. – S. 67–70.
5. Ermolaev V.A., Prosekov A.Ju. Vakuumnye tehnologii molochno-belkovyh koncentratov: monografija. – Kemerovo: Kuzbassvuzizdat, 2010. – 212 s.
6. Semenov G.V., Budancev E.V., Bulkin M.S. Kachestvo i jenergozatraty v processah vakuumnogo obezvozhivaniya termolabil'nyh materialov // Izv. vuzov. Pishhevaja tehnologija. – 2011. – № 1. – S. 65–68.