

УДК 631.365.22

UDC 631.365.22

06.00.00 Сельскохозяйственные науки

Agricultural sciences

**СПОСОБ ИНТЕНСИФИКАЦИИ СУШКИ
ЗЕРНА АКТИВНЫМ ВЕНТИЛИРОВАНИЕМ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЧ-РЕЦИРКУЛЯЦИИ**

**THE METHOD OF THE DRYING GRAIN
INTENSIFICATION WITH ACTIVE
VENTILATION USING MICROWAVE-
RECYCLING**

Руденко Нелли Борисовна
кандидат технических наук
РИНЦ SPIN-код: 4348-8168
РИНЦ AuthorID: 677604
nellyi-rud@yandex.ru

Rudenko Nelly Borisovna
Candidate of Technical Sciences
RISC: SPIN-cord: 4348-8168
RSCI AuthorID: 677604
nellyi-rud@yandex.ru

Грачева Наталья Николаевна
кандидат технических наук
РИНЦ: SPIN-код: 4928-8945
РИНЦ AuthorID: 676644
grann72@mail.ru

Gracheva Natalia Nikolaevna
Candidate of Technical Sciences
RISC: SPIN-cord: 4928-8945
RSCI AuthorID: 676644
grann72@mail.ru

*Азово-Черноморский инженерный институт –
филиал ФГБОУ ВО «Донской государственный
аграрный университет» в г. Зернограде, г.
Зерноград, Ростовская область, Россия*

*Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of
FSBEI HE «Don State Agrarian University» in
Zernograd, Zernograd, the Rostov region, Russia*

Необходимость совершенствования технологии сушки зерна обусловлена значительным объемом этой операции, большой удельной энергоемкостью процесса и высокими требованиями к сохранению качества зерна. В этой связи разработка новых технологий и оборудования, направленных на снижение затрат топлива и электроэнергии, обеспечивающих сохранение качества зерна, имеет определяющее значение для снижения стоимости сушки. Обычно, электрофизические воздействия на обезвоживаемый материал способствуют не только уменьшению толщин или разрушению пограничных слоев, но и увеличению поверхности контакта фаз, т.е. они вызывают комбинированные эффекты интенсификации процесса сушки, что является экономически выгодным и говорит о необходимости более широкого практического использования электротехнологий. Способ сушки зерна с использованием СВЧ рециркуляции в установках активного вентилирования бункерного типа позволяет увеличить производительность по сравнению со стандартной технологией до 30% и снизить энергоёмкость процесса на 17%

The need of improving the grain drying technology is due to a significant volume of this operation, high specific energy and high standards to preserve quality of grain. In this regard, the development of new technologies and equipment aimed at reducing the cost of fuel and electricity, providing the preservation of grain quality has essential meaning to reduce the drying cost. Usually, the electrophysical effects on the dehydrated material not only contribute to the thickness reduction or destruction of the boundary layers and increase the surface of phase contact, i.e. they cause the combined effects of the intensification of the drying process that is economically favorable and they say for a broader practical use of electrotechnologies. Method of grain drying using microwave recycling in installations of active aeration bunker type allows increasing productivity compared with standard technology for up to 30% and reducing process energy consumption by 17%

Ключевые слова: СУШКА ЗЕРНА, ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ, ЗЕРНОВЫЕ КУЛЬТУРЫ, АКТИВНОЕ ВЕНТИЛИРОВАНИЕ, СВЧ, РЕЦИРКУЛЯЦИОННАЯ СУШКА

Keywords: GRAIN DRYING, ENERGY SERVING TECHNOLOGIES, GRAIN CROPS, ACTIVE AERATION, MICROWAVE, RECIRCULATION DRYING

Doi: 10.21515/1990-4665-126-051

Процесс послеуборочной обработки зерна – один из самых важных в технологии производства зерновых культур. Именно послеуборочная об-

работка способствует получению высококачественной продукции, долгому и эффективному сохранению этой продукции, вплоть до сбора нового урожая.

В Российской Федерации затраты на энергетическую компоненту производства сельскохозяйственной продукции составляют более половины её себестоимости. Необходимость совершенствования технологии сушки зерна обусловлена значительным объемом этой операции, большой удельной энергоемкостью процесса и высокими требованиями к сохранению качества зерна. В этой связи разработка новых технологий и оборудования, направленных на снижение затрат топлива и электроэнергии, обеспечивающих сохранение качества зерна, имеет определяющее значение для снижения стоимости сушки [1-4].

Чтобы сохранить качество поступающего зерна, наряду с очисткой и сушкой широко используется интенсивная обработка его атмосферным воздухом или активное вентилирование. Применение этого способа в процессе приема и хранения зерновых насыпей позволяет предупреждать и ликвидировать самосогревание зерна, а также охлаждать его до температуры, обеспечивающей длительное хранение. Сушка в бункерах производится атмосферным или подогретым на 2-7°C воздухом, тогда как в зерносушилках – горячим, поэтому скорость сушки значительно ниже и составляет от 1 до 3 % в сутки.

Однако низкая скорость сушки в бункерах активного вентилирования и неравномерность удаления влаги по толщине слоя не позволяют эффективно использовать бункера, когда необходимо снижать влажность больших партий зерна. В этой связи интенсификация процесса сушки зерна в бункерах активного вентилирования расширит их функциональные возможности и будет способствовать сохранности убранного зерна, поэтому выполнение исследований по интенсификации сушки зерна в бункерах активного вентилирования представляет собой актуальную задачу [1].

Возможные пути интенсификации сушильных процессов можно установить из анализа уравнений тепло-массообмена:

$$Q = K_T \cdot F \cdot \Delta t \cdot \tau,$$

$$G = K_m \cdot \Delta c \cdot \tau,$$

где Q и G – количество тепла и массы вещества, Дж и кг;

K_T , K_m – коэффициенты теплопередачи и массопередачи, кВт/(м² · К);

F – поверхность контакта фаз, м²;

Δc , Δt – разность концентрации и температур (движущие силы процесса); τ – время, с.

Из этих уравнений вытекают следующие методы интенсификации (рисунок 1):



Рисунок 1 – Методы интенсификации сушки зерна

1. Увеличение разности потенциалов (движущей силы).

Движущей силой в процессах являются градиент переносимой субстанции: при передаче тепла – градиент температур, при переносе массы – градиент концентрации и т.д. В процессе сушки движущей силой является и градиент парциального давления сушильного агента, т.е. разность парциальных давлений на поверхности материала и в сушильной среде. Движущую силу можно увеличить увеличением численного значения субстанции (концентрация, температура, давление) в начальной фазе и уменьшением ее в принимающей (конечной) фазе. При внутреннем переносе это разность температур, концентраций влаги и давлений внутри материала и на его поверхности, а при внешнем переносе – парциальных давлений водяного пара на поверхности материала и в среде агента сушки.

2. Увеличение поверхности контакта фаз.

Увеличения поверхности контакта фаз можно достигнуть измельчением, диспергированием, распылением, перемешиванием, предотвращением слипания частиц высушиваемого продукта, созданием взвешенного или кипящего слоя в процессе сушки. Кроме того, площадь тепло- и массообмена взаимодействующих сред при сушке можно увеличить также вибрацией, ударными и акустическими воздействиями или другими способами обновления или образования новых зон поверхностей контакта фаз.

3. Увеличение кинетических коэффициентов (коэффициентов переноса).

Его можно достигнуть уменьшением толщины, либо разрушением пограничного слоя, изменением свойств и структуры высушиваемого продукта. Изменение свойств или структуры объекта сушки связано с возникновением изменений от воздействий технологических факторов на объект на молекулярном уровне. К таким способам интенсификации относятся воздействия различными видами электроактивированного воздуха, магнитными и электрическими полями и акустическими колебаниями. Разру-

шение целостности или уменьшение пограничного слоя обычно достигают увеличением турбулизации путем увеличения скорости агента сушки относительно поверхности высушиваемого материала, введением дополнительных порций высушиваемого продукта в камеру, изменением скорости движения теплового потока, увеличением шероховатости поверхности материала и др.

Обычно, электрофизические воздействия на обезвоживаемый материал способствуют не только уменьшению толщины или разрушению пограничных слоев, но и увеличению поверхности контакта фаз, т.е. они вызывают комбинированные эффекты интенсификации процесса сушки, что является экономически выгодным и говорит о необходимости более широкого практического использования электротехнологий.

Существует большое разнообразие способов сушки зерна [1, 3, 6-12]. В отдельных из них, реализуется только один из указанных методов интенсификации, что характерно для классических технологий обезвоживания зерна с однокомпонентными технологическими воздействиями [16]. В других способах возникают сочетания нескольких разных методов ускорения сушки зерна и чем их больше, тем эффективнее происходит процесс удаления влаги, что свойственно, прежде всего, комбинированным электрофизическим способам обработки [1-3, 6-12].

Наибольшей перспективой применения в комбинированных технологиях сушки зерна по комплексу вызываемых эффектов интенсификации процесса влагосъёма обладает способ воздействия на зерно СВЧ-полями [1, 2, 4-10].

Сушка семян токами сверхвысокой и высокой частоты использует явление диэлектрического нагрева материала в электромагнитном поле сверхвысокой частоты (ЭМП СВЧ). При попадании зерна (семян) в ЭМП СВЧ молекулы воды совершают колебательные движения, в результате которых происходит трение о соседние молекулы воды и каркаса сухого ве-

щества. Это становится причиной нагрева воды в зерне и самого зернового материала. При этом происходит нагрев и испарение воды внутри зерна, возникает градиент давления водяных паров ∇p , который выталкивает влагу на поверхность зерна. В результате чего существенно интенсифицируется процесс сушки. В отличие от традиционных способов сушки, при СВЧ-нагреве градиенты влагосодержания ∇U и температуры ∇T нагрева зерновки совпадают, что интенсифицирует внутренний тепло-влагоперенос и существенно ускоряет сушку [9, 13, 17].

Комбинированная сушка семян с применением ЭМП СВЧ включает диэлектрический нагрев и выполняется циклически в сочетании с высокотемпературным конвективным нагревом зерна до 50 °С, а потом только кратковременная его СВЧ-обработка с повышением температуры материала до 60 °С. При СВЧ-обработке внутри нагретой зерновки создается избыточное давление влаги при температуре ниже температуры кипения воды. Вследствие этого ускоряется фильтрационный перенос влаги из зерновки на её поверхность в капельно-жидкостном состоянии. С поверхности зерна влага удаляется подогретым воздушным теплоносителем. Удельный расход энергии на сушку зерна, по сравнению с традиционной конвективной, сокращается в 1,3 и более раз, снижаются микроповреждения семян до 6%, их посевные качества повышаются на 5% [5, 6].

Предлагаемый способ сушки зерна сочетает в себе обработку материала в ЭМП СВЧ и активное вентилирование [13-15].

Сырое зерно подают в СВЧ активную зону, где на него воздействуют полем СВЧ. Время нахождения материала в СВЧ активной зоне выбирают таким, чтобы температура нагрева зерна не превысила предельного значения. Обработка полем СВЧ приводит к перемещению влаги в зерне от его центра к поверхности, что снижает затраты энергии на последующем этапе

сушки неподогретым или слабоподогретым воздухом и увеличивает скорость процесса.

После обработки полем СВЧ материал подают в бункер активного вентилирования. После частичного заполнения бункера воздухозапорный клапан, расположенный в центральном воздуховоде, устанавливают ниже верхней кромки зерна и начинают процесс вентилирования. Атмосферный, или подогретый калорифером, воздух подают в центральный воздуховод вентилятором. Оттуда, через зерновой слой по радиусу бункера, воздух движется к внешней стенке цилиндра. Происходит вентилирование материала.

При такой системе воздухораспределения первыми подсыхают слои зерна расположенные ближе к центральному воздуховоду. Слои зерна расположенные ближе к стенке внешнего цилиндра могут даже незначительно увлажняться, поскольку происходит перенос влаги от зерна расположенного ближе к стенке внутреннего воздуховода. Возникает значительная неравномерность влажности материала по радиальной толщине слоя. По истечению заданного времени вентилирования, когда подсушатся до требуемой влажности слои зерна расположенные ближе к центральному воздуховоду, через выпускное устройство выпускают из бункера вертикальные слои зерна расположенные ближе к внешнему цилиндру. В реальных установках активного вентилирования это зависит от конструктивных особенностей бункера. В них может быть как несколько выпускных устройств, так и одно, к которому элементы конструкции бункера направляют вертикальные слои зерна расположенные ближе к внешней стенке цилиндра. Конструкция бункера может позволять избирательно выпускать зерно более чем из двух вертикальных слоёв. Одновременно начинают выпускать материал расположенный ближе к центральному воздуховоду. Соотношение объёмов выпускаемого влажного и подсушенного зерна зависит от исходной влажности материала загруженного в бункер, влажности зерна воз-

ле центрального воздуховода, критерия управления процессом активного вентилирования. Влажность выпускаемого зерна измеряют с помощью влагомеров. Если она соответствует требуемой конечной влажности, то материал с помощью заслонок направляют в линию сухого зерна для последующей обработки. Зерно, требующее досушки, направляют в СВЧ активную зону. Здесь зерно перемешивают, чтобы обеспечить равномерность обработки и повысить её эффективность. Одновременно с перемешиванием зернистый материал подвергают воздействию СВЧ поля. СВЧ полем на материал воздействуют втрое. Время воздействия поля устанавливают таким, чтобы температура нагрева зерна не превысила требуемого значения. После первого и второго воздействий полем материал выдерживают в течение времени необходимого для снижения температуры до заданного значения. В течение этого времени происходит перераспределение влаги между влажным и подсушенным зерном. Экспериментально установлено, что после третьего воздействия полем на материал температуры его влажной и сухой составляющей выравниваются. Для выравнивания влажности между компонентами материала зерно выдерживают без всякого воздействия требуемое время. Процесс рециркуляции закончен. Из СВЧ активной зоны зернистый материал направляют в бункер активного вентилирования для досушивания.

Данный способ сушки можно описать с помощью следующего алгоритма (рисунок 2):

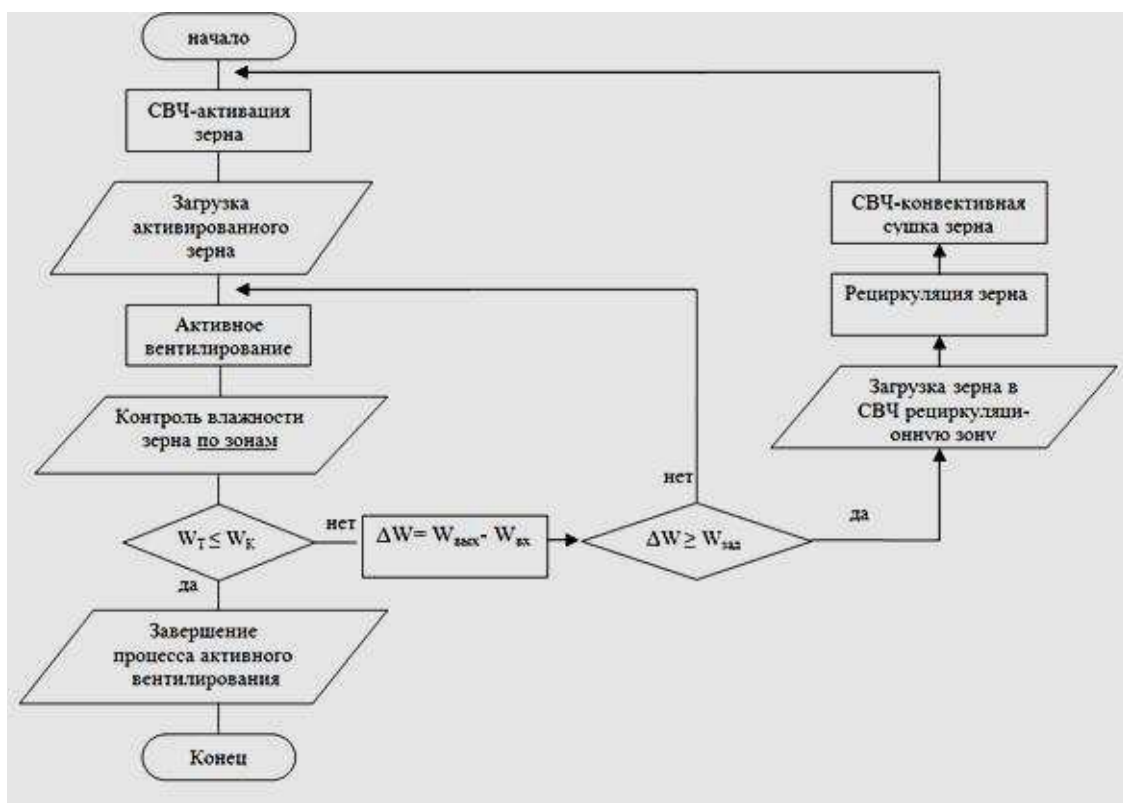


Рисунок 2 – Алгоритм реализации способа сушки

Описанный способ сушки зерна с использованием СВЧ рециркуляции в установках активного вентилирования бункерного типа позволяет увеличить производительность по сравнению со стандартной технологией до 30% и снизить энергоёмкость процесса на 17%.

Литература

1. Будников, Д.А. Интенсификация сушки зерна активным вентилированием с использованием электромагнитного поля СВЧ: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02. – Волгоград: ФГОУ ВПО АЧГАА, 2008. – 164 с.
2. Руденко, Н.Б. Использование поля СВЧ при рециркуляционной сушке зерна активным вентилированием: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02. – Волгоград, 2011. – 136 с., ил.
3. Пахомов, В.И. Перспективы повышения качества и эффективности уборки и сушки семян зерновых культур / В.И. Пахомов, А.И. Бурьянов, М.А. Бурьянов // Ресурсосберегающие технологии и техническое обеспечение производства зерна: Сб. науч. тр. Междунар. науч.-техн. конф. (г. Москва, ГНУ ВИМ Россельхозакадемии, 05-06 октября 2010 г.). – М., 2010. – С.337-342.
4. Пахомов, В.И. Энергосберегающая технология комбинированной высокотемпературной конвективной сушки и озоновооздушной обработки зерна (Ч.1) / В.И. Пахомов, В.А. Максименко, К.Н. Буханцов // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2013. – №5. – С.19-25.

5. Пахомов, В.И. Перспективы применения СВЧ-энергии в сельском хозяйстве / В.И. Пахомов, А.И. Пахомов, А.А. Парапонов // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: Труды 7-й Междунар. науч.-техн. конференции (г. Москва, ГНУ ВИЭСХ, 18-19 мая 2010г.). В 5-ти частях. – М.: РИГ ВИЭСХ, 2010. – Ч.3. – С.250-255.

6. Липкович, Э.И. Комбинированная сушка семян с использованием СВЧ-энергии / Э.И. Липкович, В.И. Пахомов // Использование СВЧ энергии в сельскохозяйственном производстве: Сб. науч. трудов / ВНИПТИМЭСХ. – зерноград: ПМГ ВНИПТИМЭСХ, 1989. – С.124-131.

7. Буханцов, К.Н. Использование электрофизических способов для повышения эффективности сушки зерна / К.Н. Буханцов // Новые технологии в сельском хозяйстве и пищевой промышленности с использованием электрофизических факторов и озона: Сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конференции (Ставрополь, ФГОУ ВПО Ставропольский ГАУ, 11-13 мая 2006г.). – Ставрополь, 2006. – С.27-30.

8. Смоленский, А.В. Результаты исследований технологического модуля высокоинтенсивной тепловой обработки ингредиентов комбикормов / А.В. Смоленский, В.Д. Каун, В.А. Максименко, В.А. Михайлов, Н.И. Бахчевников, Е.С. Кочегура // Инновационные процессы и технологии в животноводстве: исследования, испытания, внедрение: Сб. науч. трудов 6-й Междунар. науч.-практ. конференции «Инженерное обеспечение инновационного развития сельскохозяйственного производства» (г. зерноград Ростовской обл., ГНУ СКНИИМЭСХ Россельхозакадемии, 6-7 апреля 2011г.). – зерноград, 2011. – С.75-82.

9. Васильев, А.Н. Процессы сушки зерновых материалов с использованием СВЧ-нагрева / А.Н. Васильев, Н.Б. Руденко, С.В. Маркова // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. – 2011. – № 1 (46). – С. 19-22.

10. Васильев, А.Н. СВЧ-рециркуляционная сушка зерна активным вентилированием / А.Н. Васильев, Н.Б. Руденко // Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве: сборник научных трудов по материалам 74-й науч.-практ. конференции (г. Ставрополь, ФГОУ ВПО Ставропольский ГАУ, 19-23 апреля 2010г.). – Ставрополь, 2010. – С. 285-290.

11. Патент №2422741 РФ, МПК F26 В3/14. Способ сушки зерновых материалов / В.И. Пахомов, В.А. Максименко, К.Н. Буханцов (ВНИПТИМЭСХ). – №2010106531/06, заявл.: 24.02.2010, опубл.: 27.06.2011, Бюл. №18. – 13с.

12. Васильев, А.Н. Способ интенсификации сушки зерна активным вентилированием электроактивированным воздухом / А.Н. Васильев, Д.А. Будников, Н.Н. Грачева, Н.Б. Руденко // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: Труды 9-й Междунар. науч.-техн. конференции. – М., 2014. – Т. 2. – С. 88-91.

13. Васильев, А.Н. Исследование нагрева зерна при СВЧ рециркуляции / А.Н. Васильев, Д.А. Будников, Н.Б. Руденко, А.А. Васильев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2011. – №11. – С. 26-29.

14. Васильев, А.Н. Тепловлагообмен в зерновом слое при рециркуляции / А.Н. Васильев, Н.Б. Руденко // Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве: Сб. науч. трудов по материалам науч.-практ. конф. электроэнергетического факультета ФГОУ ВПО Ставропольского ГАУ. – Ставрополь, 2009. – С. 7-12.

15. Руденко, Н.Б. Математическая модель изменения температуры воздуха в межзерновом пространстве при СВЧ-рециркуляционной сушке зерна активным вентилиро-

ванием / Н.Б. Руденко, Н.Н. Грачева, Д.А. Будников // Инновационные энергоресурсосберегающие технологии: Пленарные докл. и тез. сообщений Междунар. науч.-практ. конференции (г. Москва, МГАУ им. ВП. Горячкина, 8-9 ноября 2012 г.). – М., 2012. – С. 45-47.

16. Буханцов, К.Н. Обоснование энергосберегающего способа сушки зерновых материалов с использованием электрофизических методов / К.Н. Буханцов // Новые технологии и технические средства в животноводстве: разработка, испытание, эффективность: Сб. науч. тр./ ВНИПТИМЭСХ. – Зерноград, 2006. – С.122-131.

17. Бородин, И.Ф. Наноэффект СВЧ-обработки зерна и семян / И.Ф. Бородин, В.И. Пахомов // Сельский механизатор. – 2008. – №1. – С.34-36.

References

1. Budnikov, D.A. Intensifikacija sushki zerna aktivnym ventilirovanijem s ispol'zovaniem jelektromagnitnogo polja SVCh: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.20.02. – Zernograd: FGOU VPO AChGAA, 2008. – 164 s.

2. Rudenko, N.B. Ispol'zovanie polja SVCh pri recirkuljacionnoj sushke zerna aktivnym ventilirovanijem: dis. ... kand. tehn. nauk: 05.20.02. – Zernograd, 2011. – 136 s., il.

3. Pahomov, V.I. Perspektivy povyshenija kachestva i jeffektivnosti uborki i sushki semjan zernovyh kul'tur / V.I. Pahomov, A.I. Bur'janov, M.A. Bur'janov // Resur-sosberegajushhie tehnologii i tehničeskoe obespečenie proizvodstva zerna: Sb. nauch. tr. Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. (g. Moskva, GNU VIM Rossel'hozakademii, 05-06 ok-tjabrja 2010 g.). – M., 2010. – S.337-342.

4. Pahomov, V.I. Jenergosberegajushhaja tehnologija kombinirovannoj vysokotemperaturnoj konvektivnoj sushki i ozonovozdushnoj obrabotki zerna (Ch.1) / V.I. Pahomov, V.A. Maksimenko, K.N. Buhancov // Hranenie i pererabotka sel'hozsyr'ja. – 2013. – №5. – S.19-25.

5. Pahomov, V.I. Perspektivy primeneniya SVCh-jenergii v sel'skom hozjajstve / V.I. Pahomov, A.I. Pahomov, A.A. Paraponov // Jenergoobespečenie i jenergosberezhenie v sel'skom hozjajstve: Trudy 7-j Mezhdunar. nauch.-tehn. konferencii (g. Moskva, GNU VI-JeSH, 18-19 maja 2010g.). V 5-ti chastjah. – M.: RIG VIJeSH, 2010. – Ch.3. – S.250-255.

6. Lipkovich, Je.I. Kombinirovannaja sushka semjan s ispol'zovaniem SVCh-jenergii / Je.I. Lipkovich, V.I. Pahomov // Ispol'zovanie SVCh jenergii v sel'skohozjajstvennom proizvodstve: Sb. nauch. trudov / VNIPTIMJeSH. – Zernograd: PMG VNIPTIMJeSH, 1989.– S.124-131.

7. Buhancov, K.N. Ispol'zovanie jelektrofizičeskikh sposobov dlja povyshenija jeffektivnosti sushki zerna / K.N. Buhancov // Novye tehnologii v sel'skom hozjajstve i pishhevoj promyshlennosti s ispol'zovaniem jelektrofizičeskikh faktorov i ozona: Sb. nauch. tr. po materialam Mezhdunar. nauch.-prakt. konferencii (Stavropol', FGOU VPO Stavropol'skij GAU, 11-13 maja 2006g.). – Stavropol', 2006. – S.27-30.

8. Smolenskij, A.V. Rezul'taty issledovanij tehnologičeskogo modulja vysokointensivnoj teplovoj obrabotki ingredientov kombikormov / A.V. Smolenskij, V.D. Kaun, V.A. Maksimenko, V.A. Mihajlov, N.I. Bahčevnikov, E.S. Kočegura // Innovacionnye processy i tehnologii v zhivotnovodstve: issledovanija, ispytaniya, vnedrenie: Sb. nauch. trudov 6-j Mezhdunar. nauch.-prakt. konferencii «Inženernoe obespečenie innovacionnogo razvitija sel'skohozjajstvennogo proizvodstva» (g. Zernograd Rostovskoj obl., GNU SKNIIMJeSH Rossel'hozakademii, 6-7 aprelja 2011g.). – Zernograd, 2011. – S.75-82.

9. Vasil'ev, A.N. Processy sushki zernovyh materialov s ispol'zovaniem SVCh-nagreva / A.N. Vasil'ev, N.B. Rudenko, S.V. Markova // Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdenija vysshego professional'nogo obrazovanija Mo-skovskij gosudarstvennyj agroinženernyj universitet im. V.P. Gorjachkina. – 2011. – № 1 (46). – S. 19-22.

10. Vasil'ev, A.N. SVCh-recirkuljacionnaja sushka zerna aktivnym ventilirovanijem / A.N. Vasil'ev, N.B. Rudenko // Metody i tehničeskije sredstva povyshenija jeffektivnosti ispol'zovanija jelektrooborudovanija v promyshlennosti i sel'skom hozjajstve: sbornik

nauchnyh trudov po materialam 74-j nauch.-prakt. konferencii (g. Stavro-pol', FGOU VPO Stavropol'skij GAU, 19-23 aprelja 2010g.). – Stavropol', 2010. – S. 285-290.

11. Patent №2422741 RF, MPK F26 V3/14. Sposob sushki zernovyh materialov/ V.I. Pahomov, V.A. Maksimenko, K.N. Buhancov (VNIPTIMJeSH). – №2010106531/06, zajavl.: 24.02.2010, opubl.: 27.06.2011, Bjul. №18. – 13s.

12. Vasil'ev, A.N. Sposob intensivifikacii sushki zerna aktivnym ventilirovaniem jelektroaktivirovannym vozduhom / A.N. Vasil'ev, D.A. Budnikov, N.N. Gracheva, N.B. Rudenko // Jenergoobespechenie i jenergosberezhenie v sel'skom hozjajstve: Trudy 9-j Mezhdunar. nauch.-tehn. konferencii. – M., 2014. – T. 2. – S. 88-91.

13. Vasil'ev, A.N. Issledovanie nagreva zerna pri SVCh recirkuljacii / A.N. Vasil'ev, D.A. Budnikov, N.B. Rudenko, A.A. Vasil'ev // Mehanizacija i jelektrifikacija sel'skogo hozjajstva. – 2011. – №11. – S. 26-29.

14. Vasil'ev, A.N. Teplovlagoobmen v zernovom sloe pri recirkuljacii / A.N. Vasil'ev, N.B. Rudenko // Metody i tehniczeskie sredstva povyshenija jeffektivnosti ispol'zovanija jelektrooborudovanija v promyshlennosti i sel'skom hozjajstve: Sb. nauch. trudov po materialam nauch.-prakt. konf. jelektrojenergeticeskogo fakul'teta FGOU VPO Stavropol'skogo GAU. – Stavropol', 2009. – S. 7-12.

15. Rudenko, N.B. Matematicheskaja model' izmenenija temperatury vozduha v mezhzernovom prostranstve pri SVCh-recirkuljacionnoj sushke zerna aktivnym ventilirovaniem / N.B. Rudenko, N.N. Gracheva, D.A. Budnikov // Innovacionnye jenergoresursosberegajushhie tehnologii: Plenarnye dokl. i tez. soobshhenij Mezhdunar. nauch.-prak. konferencii (g. Moskva, MGAU im. VP. Gorjachkina, 8-9 nojabrja 2012 g.). – M., 2012. – S. 45-47.

16. Buhancov, K.N. Obosnovanie jenergosberegajushhego sposoba sushki zernovyh materialov s ispol'zovaniem jelektrofiziceskih metodov / K.N. Buhancov // Novye tehnologii i tehniczeskie sredstva v zhivotnovodstve: razrabotka, ispytanie, jeffektivnost': Sb. nauch. tr./ VNIPTIMJeSH. – Zernograd, 2006. – S.122-131.

17. Borodin, I.F. Nanojeffekt SVCh-obrabotki zerna i semjan / I.F. Borodin, V.I. Pahomov // Sel'skij mehanizator. – 2008. – №1. – S.34-36.