Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»
==========

УДК 537.8:631.17

Устройства и основы безопасной эксплуатации бункерной сушилки с СВЧ-зоной

Таранов М.А., Руденко Н.Б., Грачева Н.Н., Егорова И.В., Ксёнз Н.В.

Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ

Аннотация

В статье рассмотрено устройство бункерной сушилки с СВЧ-зоной. Одним из первостепенных этапов подготовки зерна к длительному хранению является его сушка. Сушка зерна – длительный по времени процесс с огромными энергетическими затратами, что в результате, влияет на итоговую стоимость конечного продукта. Поэтому необходимо снижать энергозатраты на сушку зерна за счет рециркуляции зерна и воздействия магнитным полем сверхвысокой частоты (СВЧ).

На оператора в процессе эксплуатации бункерной сушилки с СВЧ-зоной воздействуют опасные и вредные производственные факторы. Предложены меры защиты от СВЧ.

Ключевые слова: СУШИЛКА С СВЧ-ЗОНОЙ, БЕЗОПАСНОСТЬ, СУШКА ЗЕРНА, ОПЕРАТОР, ВЛАЖНОСТЬ, ТЕМПЕРАТУРА ЗЕРНА, АКТИВНОЕ ВЕНТИЛИРОВАНИЕ, ВРЕДНЫЕ И ОПАСНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ФАКТОРЫ

Зерновые культуры являются основой мирового продовольственного обеспечения и животноводства. Однако для того, чтобы собранный урожай сохранил свою питательную ценность, товарный вид и был безопасным для потребления, критически важно обеспечить его правильное хранение. Одним из первостепенных этапов подготовки зерна к длительному хранению является его сушка.

Сухое зерно – это единственное зерно, которое может храниться длительное время без значительной потери качества. Установление оптимального уровня влажности (обычно 13-14% для большинства культур) замедляет все биологические и химические процессы до

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

минимума.

Сложность организации хранения больших масс зерна заключается в их биологических и физико-химических особенностях. Зерно представляет собой живой организм, в котором протекают разнообразные жизненные процессы. Основными факторами, определяющими интенсивность жизнедеятельности зерна, являются влажность и температура зерна и зерновой насыпи. От их сочетания зависят процессы, в результате которых зерно может потерять свои качества. В таблице 1 [1, 2] приведены характеристики зерна по влажности, на основании которых делаются выводы о безопасных сроках хранения.

Таблица 1. Характеристика зерна по влажности

Культура	Влажность, %			
	Сухое не более	Средней сухости не более	Влажное не более	Сырое более
Пшеница, рожь, ячмень, гречиха и рис	14	15,5	17	17
Овес	14	16	18	18
Просо	13,5	15	17,4	17
Кукуруза	14	17	20	20
Горох	14	16	18	18
Семя подсолнечное и льняное	11	13	14,5	14,5
Семя конопляное	11	12	14	14
Клещевина	7	9	11	11
Соя	12	14	16	16

Например, если средняя влажность партии свежеубранного зерна составляет 12,8%, т. е. соответствует категории сухого, то из-за неравномерности созревания зерна по колосу в этой партии имеются отдельные зерна с влажностью до 19%. При хранении такой партии без дополнительной обработки, вследствие повышенной жизнедеятельности влажных зерен, постепенно образуются очаги самосогревания, дальнейшее развитие которых может привести к самосогреванию всей зерновой массы [2, 3, 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

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

атмосферным или подогретым на 2-7°С воздухом, тогда как в зерносушилках – горячим, поэтому скорость сушки значительно ниже и составляет от 1 до 3 % в сутки.

Для семенного зерна, которое нельзя подвергать интенсивной сушке при повышенных температурах, активное вентилирование теплым атмосферным воздухом низкой относительной влажности особенно целесообразно, так как оно позволяет не только сохранить, но и улучшить всхожесть и энергию прорастания семян [5, 6].

Установки активного вентилирования, в разных вариантах их исполнения, в большей степени востребованы в природно-климатической зоне Южного Федерального округа. Поскольку в этих условиях дождливая погода во время уборки случается один раз в 5-8 лет, то зернопроизводящие хозяйства не считают целесообразным приобретать зерносушилки.

В последние годы предпочтение отдается более ранним сортам подсолнечника, поэтому его убирают так же с невысокой влажностью. Мощное зерносушильное оборудование остается востребованным при больших объемах производства кукурузы. Установки активного вентилирования многофункциональны. Их использование, как для хранения зерна, так и для его подсушки делает их привлекательными [7, 8].

Сушка зерна – длительный по времени процесс с огромными энергетическими затратами, что в результате, влияет на итоговую стоимость конечного продукта. Поэтому необходимо снижать энергозатраты на сушку зерна за счет рециркуляции зерна и воздействия магнитным полем сверхвысокой частоты (СВЧ).

Способ сушки активным вентилированием с применением СВЧ рециркуляции предусматривает использование стандартных бункеров активного вентилирования, которые применяются в технологических линиях послеуборочной обработки зерна. В процессе сушки сырое зерно подают в СВЧ активную зону, где установлен магнетрон мощностью 0,9 кВт и частотой 3,0 Ггц. Время нахождения материала в СВЧ активной зоне выбирают таким, чтобы температура нагрева зерна не превысила предельного значения, не более 5 с.

После обработки полем СВЧ зерно подают в бункер активного вентилирования, в котором происходит вентилирование материала. Зерно, требующее досушивания, направляют в СВЧ активную зону. Здесь зерно перемешивают, чтобы обеспечить равномерность обработки и повысить её эффективность. Одновременно с перемешиванием высушиваемый материал подвергают воздействию СВЧ поля. Таким образом, СВЧ полем на материал воздействуют троекратно. После первого и второго воздействий полем зерно выдерживают в течение некоторого времени необходимого для снижения температуры до заданного

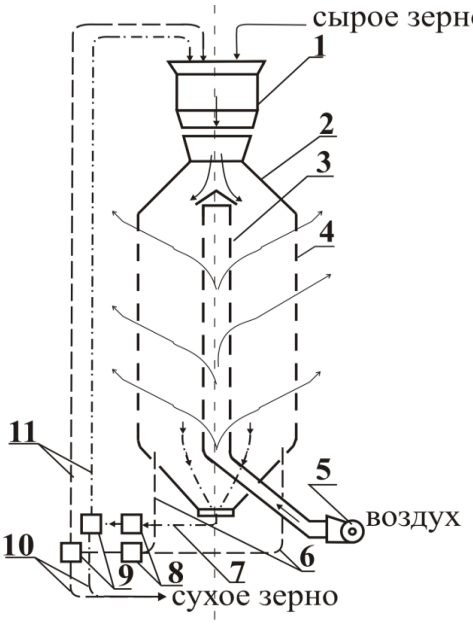
Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

значения без воздействия на зерно. И далее отправляют в СВЧ зону для последнего, третьего воздействия. Откуда нагретый материал отправляется в бункер активного вентилирования для досушивания.

Для СВЧ-рециркуляционной сушки зерна используются бункеры активного вентилирования БВ-40 с вентилятором, электрокалорифером, разгрузочным шнеком и зерновой норией и предлагаемой конструкции бункера с активной СВЧ зоны для интенсификации процесса сушки зерна или мобильные бункерные сушилки (рисунки 1а, 1б), которые устанавливаются рядом со складами или силосами, где зерно хранится насыпью.



а)



б)

Рис. 1. Бункерная сушилка с СВЧ-зоной
а – внешний вид СВЧ-зоны с мобильной бункерной сушилкой; б – технологическая схема бункерной сушилки с СВЧ-зоной, где 1 – СВЧ активная зона; 2 – бункер активного вентилирования; 3 – центральный перфорированный воздуховод; 4 – внешняя перфорированная стенка бункера; 5 – вентилятор; 6 – каналы выпуска сырого зерна; 7 – канал выпуска сухого зерна; 8 – влагомер; 9 – перепускные заслонки; 10 – канал сухого зерна; 11 – канал рециркулируемого зерна.

Нагнетаемый вентилятором холодный или подогретый электронагревателем воздух, выходя через перфорации внутреннего цилиндра в зерновую массу, проходит через нее в радиальном направлении. Зона охлаждения или сушки перемещается в направлении движения воздуха. Процесс вентилирования продолжают до тех пор, пока охладятся или

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

высохнут семена, наиболее удаленные от направления движения воздуха. При высокой относительной влажности воздуха электронагреватель должен быть включен.

Вентилируемый бункер БВ-40А имеет следующие характеристики [9, 10, 11]:

1. Зерновая вместимость (по пшенице): 40 т.

2. Установленная мощность: 66,5 кВт, из них вентилятор 11 кВт, электрокалорифер 54 кВт, шнек 1,5 кВт.

3. Диаметр корпуса: не более 3,1 м.

4. Диаметр центральной трубы: не менее 0,77 м.

5. Масса: не более 3100 кг.

6. Габаритные размеры не более (ВхШхГ): 11х3,5х4,4 м.

7. Удельный расход воздуха на 1 тонну пшеницы: не менее 400 м3/ч.

8. Уровень шума на рабочем месте оператора: 76 дБА.

9. Концентрация пыли: 3 мг/м3.

Активная зона и издает токи высокой частоты до 3 ГГц, как уже говорилось в тексте выше.

Активная СВЧ-зона с блоком питания представлены на рис. 2 и 3.

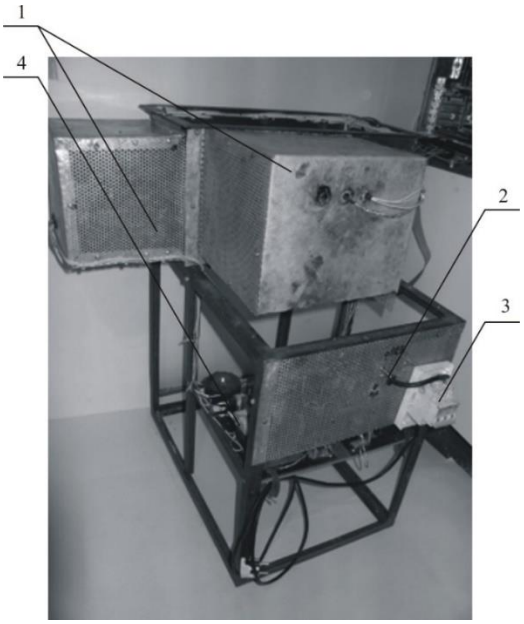


Рис. 2. Активная зона в сборе с блоком питания
1 – зоны расположения магнетронов с системой вентиляции; 2 – переключатель выбора магнетрона; 3 – автомат подачи питания к установке; 4 – блок питания.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

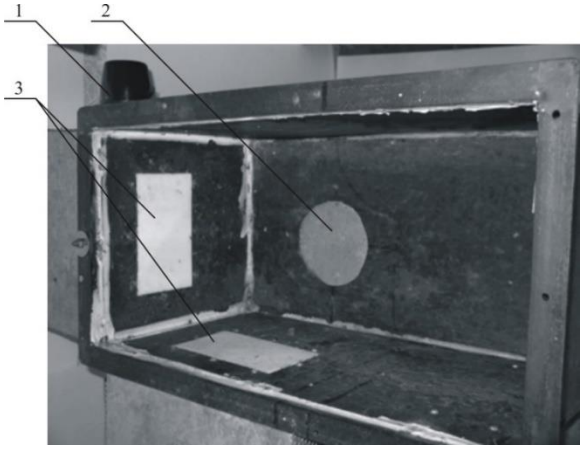


Рис. 3. Активная зона
1 – вентилятор охлаждения магнетрона; 2 – канал активного вентилирования зерна;
3 – радиопрозрачные фторопластовые экраны магнетронов.

Таким образом, мы можем идентифицировать вредные и опасные производственные факторы, влияющие на обслуживающий персонал [12]:

1. Вращающиеся или движущиеся части оборудования;
2. Повышенная запыленность воздуха рабочей зоны;
3. Пониженная температура воздуха рабочей зоны;
4. Недостаточная освещенность рабочей зоны;
5. Расположение рабочего места на высоте относительно поверхности земли;
6. Пожара-взрывоопасность.

Одной из основной профессиональной опасностью является повышенная запыленность воздуха рабочей зоны. В данном случае, это запыленность воздуха, идущая от семян при их загрузке в бункер и токи сверх высокой частоты до 3 ГГц [12].

Пыль – дисперсная система, состоящая из мелких твердых частиц, находящихся во взвешенном состоянии. При выгрузке и загрузке зерна образуется большое количество пыли. Она ухудшает условия работы рабочих, снижает производительность труда, повышает трение и износ в машинах, способствует возникновению пожаров, пылевых взрывов.

Вредное влияние пыли обусловлено многими факторами: физико-химическими свойствами, размерами и формой пылевых частиц; концентрацией их в воздухе рабочей зоны; длительностью воздействия ее в течение смены и профессиональным стажем; другими неблагоприятными производственными факторами и особенностями трудовой деятельности [13].

Химический состав пыли определяет многообразие воздействия ее на организм.

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

Специфическое влияние проявляется прежде всего при вдыхании пыли; меньшее значение имеет заглатывание ее со слюной и слизью. Вдыхание пыли преимущественно может вызывать поражение органов дыхания – бронхит, пневмокониоз или развитие общих реакций – аллергии и интоксикации.

Наибольшую вредность для организма работников представляет пыль с содержанием значительного количества двуокиси кремния (SiO2), вызывающий тяжелое хроническое заболевание – силикоз. Пыль зерновая содержит до 10 % свободной SiO2 – 4 мг/м3.

Для того, чтобы предложить меры защиты от СВЧ мы рассмотрим, как они действуют на организм человека.

Воздействие облучений на ткани вызывает их перегрев и необратимые повреждения. Распределение температуры в организме под действием микроволн определяется не только параметрами самого излучения (длина волны, мощность, время воздействия), но и другими факторами. Ключевыми среди них являются теплоотдача с поверхности, особенности строения тканей и интенсивность кровотока. Следовательно, интенсивное СВЧ-облучение живых тканей изменяет их свойства из-за тепловых эффектов, вызванных поглощением энергии. Для дальнейшего изучения живые ткани можно классифицировать на две группы: ткани, содержащие кровеносные сосуды, и ткани, лишённые кровеносных сосудов [14].

СВЧ-излучение нагревает организм, при этом кровоток снижает степень нагрева (это характерно для органов с обильным кровоснабжением), что уменьшает вредное воздействие. В то же время хрусталик глаза, не имеющий кровеносных сосудов, под влиянием СВЧ-излучения подвергается помутнению и разрушению. Нагрев тканей традиционными методами и нагрев, вызванный СВЧ-излучением, существенно различаются: при традиционном нагреве сначала прогревается поверхностный слой, а проникновение тепла в глубину зависит от теплопроводности ткани, тогда как СВЧ-излучение нагревает весь объём облучаемого объекта равномерно.

Биологические эффекты электромагнитных полей накапливаются при длительном многолетнем воздействии, что приводит к развитию отдалённых последствий, включая дегенеративные изменения центральной нервной системы, лейкемию, опухоли мозга и гормональные нарушения. Это может вызывать преждевременное старение организма, сбои в обменных процессах, заболевания иммунной, эндокринной и репродуктивной систем, гипоксию, снижение работоспособности и повышенную утомляемость. При этом

низкоэнергетические электромагнитные поля могут оказывать благоприятное влияние на организм человека [12, 13].

Существует множество исследований о вредном влиянии СВЧ энергии на человека, но их результаты часто противоречивы (рисунок 4). Полное понимание рисков СВЧ электромагнитных полей (ЭМП) для здоровья затруднено из-за недостатка точных статистических данных о реальном уровне облучения персонала. Разнообразие методик проведения экспериментов и расхождений во мнениях специалистов не позволяют поставить диагноз "СВЧ облучение" на основе статистических данных. Поэтому разработка безопасных условий труда при использовании новых СВЧ технологий остается важной задачей, требующей детального изучения.

Для оценки безопасности рабочего места оператора СВЧ установки анализируются принципы генерации и характеристики ЭМП (электромагнитных полей) СВЧ. Конструкция СВЧ генераторов, их компоненты и потенциальные нежелательные излучения напрямую влияют на уровень электромагнитного поля на рабочем месте [14].

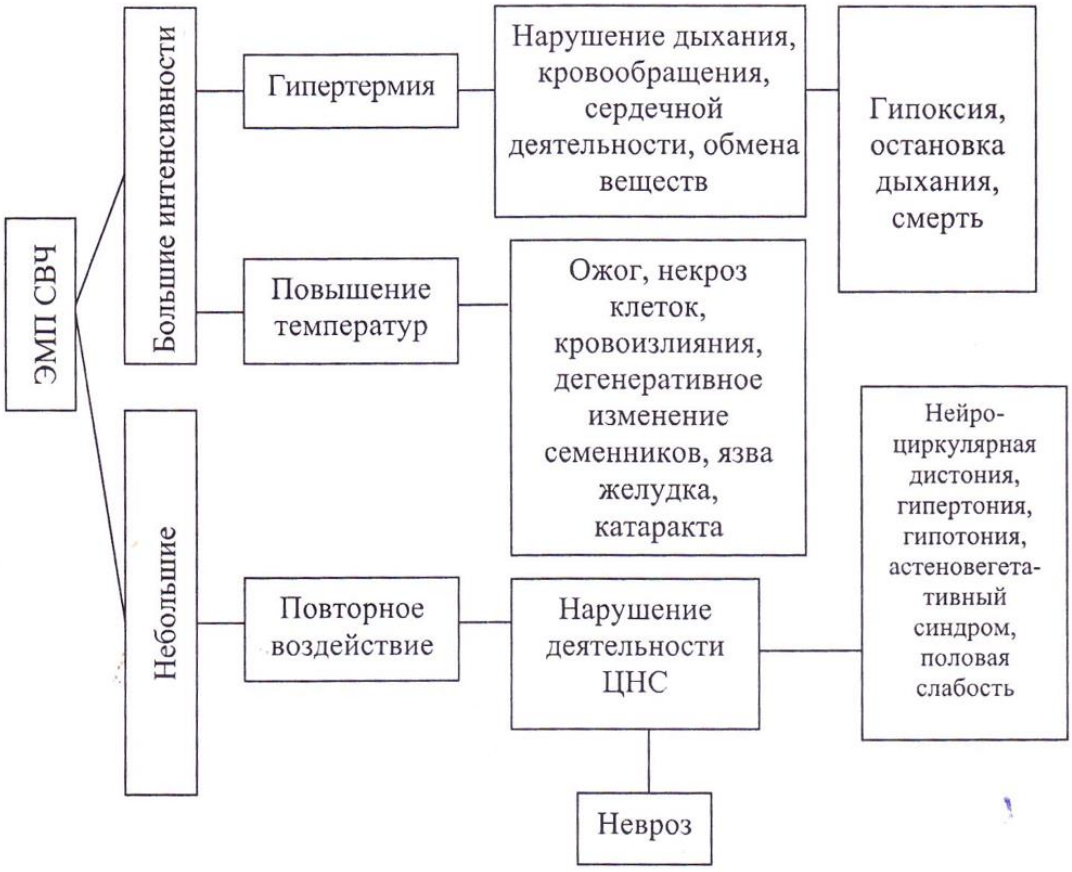


Рис. 4. Патологические изменения, возникающие под влиянием СВЧ

Рис. 5 демонстрирует визуализацию данных, полученных путем преобразования модели распределения плотности потока энергии (ППЭ) электромагнитного СВЧ-поля. Эта визуализация представляет собой карту опасности электромагнитного излучения, основанную на критерии допустимого времени пребывания. На карте выделены области, обозначенные изоповерхностями, цвет которых соответствует значению допустимого времени, в течение которого люди могут безопасно находиться вблизи работающей СВЧ-установки [14, 15].

Согласно оценке рисков, приближение к СВЧ-камере на дистанцию менее 0,5 метра категорически запрещено. В интервале от 0,5 до 1,5 метра от камеры максимальное допустимое время пребывания персонала составляет 8 минут. Для зоны от 1,5 до 3 метров возможно нахождение в течение 20 минут. Пребывание на расстоянии свыше 3 метров разрешено на протяжении всей стандартной 8-часовой рабочей смены. Следовательно, эксплуатация данной СВЧ-установки без защитных мер является недопустимой.

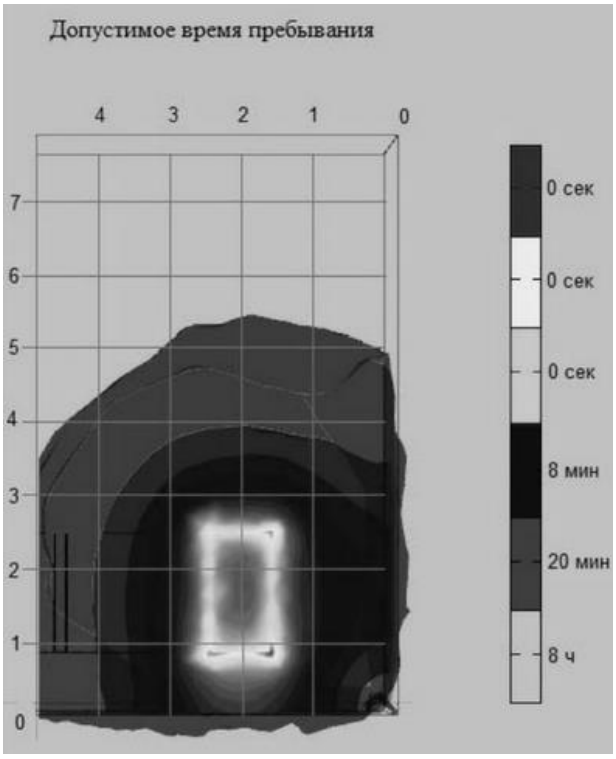


Рис. 5. Картина опасности электромагнитного излучения

Для защиты от электромагнитного излучения в данном случае предлагаются следующие меры [13, 14, 15]:

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

– сокращение времени нахождения вблизи установки;

– применение защитных экранов;

– использование дистанционно управляемых инструментов и манипуляторов;

– применение специальной защитной одежды.

Наиболее эффективным способом защиты в данном случае является экранирование.

Для обеспечения требуемых условий эксплуатации принято использование латунной сетки. Она изготовлена из проволоки диаметром 0,1 мм с ячейками 1 мм и подключена к контуру заземления. Расстояние от сетки до элементов установки составит 0,1 метра, что гарантирует бесперебойность технологического процесса.

Таким образом, рабочее место оператора СВЧ установки по подготовке семян зерновых к посеву с использованием СВЧ энергии можно располагать на расстоянии не более 5 метров от источника. При этом территорию, находящуюся в радиусе 4 метров от источника СВЧ, необходимо обозначить как зону повышенной опасности.

Список использованных источников:

1. Васильев, А.Н. Предварительные результаты производственного эксперимента СВЧ сушки зерна/А.Н. Васильев, Д.А. Будников, Б.Г. Смирнов//Электротехнологии и электрооборудование в сельскохозяйственном производстве: сборник научных трудов. -Зерноград, ФГОУ ВПО АЧГАА, 2007. -Вып.6. -С.78-80.

2. Васильев, А.Н. Электротехнология и управление при интенсификации сушки зерна активным вентилированием/А.Н. Васильев//Ростов-на-Дону: Терра Принт, 2008. -240 с.

3. Каун, В.Д. Скорость потока влаги зерна при СВЧ обработке/В.Д. Каун//Механизация и электрификация сельского хозяйства. -2004. -№4. -С. 6-8.

4. Малин, Н.И. Энергосберегающая сушка зерна/Н.И. Малин. -Москва: КолосС, 2004. -240 с.

5. Пат. №2282117 РФ, МПК F26B 3/06. Способ сушки семян и зерна/А.В. Голубкович, В.И. Скутнев, А.П. Орехов, А.Г. Чижиков, (ГНУ ВИМ). -№ 2005106619/06, заявлен 09.03.2005; опубликован 20.08.2006, Бюл. -2006. -№ 23 (64).

6. Васильев А.Н. Динамика зернового слоя при его сушке активным вентилированием/А.Н. Васильев, Н.Б. Руденко//Проблемы исследования и проектирования машин: II международная научно-техническая конференция, сборник статей. -Пенза, 2006. -С. 162-164.

7. Васильев А.Н. Динамические свойства зернового слоя при его сушке активным вентилированием и использование этих свойств в системах автоматического

управления/А.Н. Васильев, Н.Б. Руденко//Электротехнологии и электрооборудование в сельскохозяйственном производстве: сборник научных трудов/ФГОУ ВПО АЧГАА. -Зерноград, 2004. -Том 2. -С. 112-117.

8. Руденко, Н.Б. Модель тепловлагообмена при рециркуляции зерна/А.Н. Васильев, Н.Б. Руденко//ФГОУ ВПО АЧГАА. -Зерноград, 2007. -С. 37-41.

9. Васильев А.Н. Определение сопротивления зернового слоя при его сушке в бункерах активного вентилирования с радиальным воздухораспределением/А.Н. Васильев, Н.Б. Руденко//Методы и технические средства повышения эффективности применения электроэнергии в сельском хозяйстве: сборник научных трудов. -Ставрополь: АГРУС, 2006. -С. 107-111.

10. Васильев А.Н. Процессы сушки зерновых материалов с использованием ЭМП СВЧ/А.Н. Васильев, Н.Б. Руденко, С.В. Маркова//Вестник МГАУ. Агроинженерия.. -Москва, 2011. -№1(46). -С. 19-22.

11. 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.

12. Липкович И.Э. Обеспечение безопасности в сельскохозяйственной отрасли / И.Э. Липкович, С.Л. Пушенко, М.М. Украинцев, И.В. Егорова, Н.В. Петренко, А.В. Пикалов // Том Часть 2 Охрана труда при техническом сервисе на сельскохозяйственном предприятии. Зерноград, 2020.

13. Адибаев, Б. М. Действие сверхвысокочастотного (СВЧ) излучения на организм / Б. М. Адибаев, Н. М. Алмабаева, Г. Е. Байдуллаева // Электронный научный журнал. – 2019. – № 6(26). – С. 8-10. – EDN ZDLWWS.

14. Логачева, Е. А. Обследование рабочего места оператора СВЧ установки по предпосевной обработке семян / Е. А. Логачева, В. Г. Жданов // Вестник АПК Ставрополья. – 2017. – № 2(26). – С. 21-26. – EDN YULIIX.

15. Сошников, А. А. Обеспечение безопасности процесса обработки семян в СВЧ-поле / А. А. Сошников, Е. В. Титов // Ползуновский вестник. – 2012. – № 4. – С. 69-74. – EDN PYQBBR.

Цитирование: Таранов М.А., Руденко Н.Б., Грачева Н.Н., Егорова И.В., Ксёнз Н.В. Устройства и основы безопасной эксплуатации бункерной сушилки с СВЧ-зоной [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2026. – № 2. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2026/2/st_212.pdf
DOI: https://doi.org/10.51419/202162212.