


На правах рукописи



ЦЫРЕНОВ НИМА ЕГОРОВИЧ

**ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ
УНИВЕРСАЛЬНОГО ТРЕХКАНАЛЬНОГО АЭРОЖЕЛОБА
ДЛЯ АКТИВНОГО ВЕНТИЛИРОВАНИЯ
И ПНЕВМОВЫГРУЗКИ ЗЕРНОВОГО МАТЕРИАЛА**

Специальность – 05.20.01 – Технологии и средства
механизации сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Улан-Удэ 2013

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления» в период с 2004 по 2013 г.

Научный руководитель	доктор технических наук, профессор Онхонова Лариса Очировна
Официальные оппоненты:	доктор технических наук, профессор кафедры «Технический сервис и общепромышленные дисциплины» ФГБОУ ВПО «Иркутская государственная сельскохозяйственная академия» Кузьмин Александр Викторович кандидат технических наук, доцент, зав. кафедрой «Эксплуатация автомобильного транспорта и автосервис» ФГБОУ ВПО «Северо-Восточный федеральный университет им. М. К. Аммосова» Друзьянова Варвара Петровна
Ведущая организация	ФГБОУ ВПО «Бурятская государственная сельскохозяйственная академия им. В.Р.Филиппова»

Защита состоится 12 октября 2013 г. в 15-00 на заседании диссертационного совета ДМ 212.039.06 при ФГБОУ ВПО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления» по адресу: г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40 в, ауд. 8-124.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления.

Автореферат разослан 11 сентября 2013 г. и размещен на сайте ВАК Минобрнауки РФ referat_vak@obrнадзор.gov.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета



Б.Д. Цыдендоржиев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Сохранение материально-технической базы играет существенную роль в процессах послеуборочной обработки зерна. В период массового поступления зерна наибольшую актуальность приобретает обеспечение сохранности качества свежееубранного урожая, как на стадиях временного хранения, так и окончательной закладки на длительное хранение. В условиях Сибири среднесуточная влажность свежееубранного зерна изменяется в пределах 18–27%, а засоренность составляет 6–16%. Такое зерно необходимо немедленно и в кратчайшие сроки обработать. Однако поступающий зерновой ворох в 2-3 раза превышает среднесуточную производительность зернообрабатывающей техники. В результате свежееубранный зерновой ворох скапливается на площадках временного хранения, подвергается самосогреванию и потере качества, в результате чего около 25–30% зерна приходит в негодность.

Ограниченное количество и отсутствие специализированных установок для активного вентилирования, предназначенных обеспечивать сохранение качественных показателей зерна, побуждает к проведению дальнейших исследований по разработке эффективных технических средств.

Перспективными являются аэрожелоба, в комплексе осуществляющие операции и активного вентилирования, и пневматической выгрузки зерна. Аэрожелоба представляют собой систему воздухораспределительных коробов различной длины, снабженных перфорированными решетками. Аэрожелобами могут оснащаться различные сооружения и горизонтального, и вертикального типов. Однако аэрожелоба не лишены недостатков, к числу которых относятся неравномерность разгрузки во времени, максимальная в начале процесса и минимальная в конце, большой расход электроэнергии и повышенное пылевыведение в зоне его работы.

Исследования, составившие основу диссертации, выполнены автором в Восточно-Сибирском государственном университете технологий и управления (ВСГУТУ) по планам научно-исследовательских и госбюджетных работ по теме «Научные и технические вопросы расчета и проектирования аэротранспортеров по их использованию в процессах послеуборочной обработки зерна и семян» (Гос.регистрация № 01.200.205.744).

Цель и задачи исследований. Целью данной работы является разработка установки для активного вентилирования и пневморазгрузки зерна. В соответствии с поставленной целью и состоянием изучаемого вопроса поставлены следующие задачи исследования:

- теоретически обосновать пути повышения эффективности функционирования установки для активного вентилирования и пневморазгрузки, обеспечивающие сохранность зернового материала при минимальных энергозатратах;

- провести технологические и инженерные исследования применения установки для активного вентилирования и пневморазгрузки в структуре временной консервации зерна;

- обосновать параметры установки и разработать инженерную методику расчета и определить ее экономическую эффективность.

Объект исследований. Установка для активного вентилирования и пневморазгрузки, ее рабочие органы, свежесобранное зерно основных культур (пшеница, овес, ячмень).

Научную новизну представляют:

- математические модели аэродинамического сопротивления воздухораспределительного канала, перфорированной решетки, зерновой насыпи;

- критериальная зависимость, описывающая технологический процесс разгрузки зернового материала универсальным трехканальным аэрожелобом;

- оптимальные технологические режимы вентилирования и пневморазгрузки зерновой насыпи.

Технические конструктивные решения защищены патентами и свидетельствами №№ 48317, 79877, 82688, 2292275.

Практическую ценность имеют:

- технические решения установки для активного вентилирования и пневморазгрузки;

- методика расчета оптимальных параметров установки для активного вентилирования и пневморазгрузки;

- рекомендации по проведению операций активного вентилирования и пневморазгрузки.

Реализация результатов исследований:

- методика расчета параметров установки для активного вентилирования и пневморазгрузки применяется в учебном процессе и научных исследованиях в лабораториях Восточно-

Сибирского государственного технологического университета (ВСГУТУ);

– технические решения и методика расчета параметров установки, рекомендации по проведению операций активного вентилирования и пневморазгрузки предложены и внедрены в СПК «Хасуртайский» Хоринского и ООО «Сосновка» Селенгинского районов Республики Бурятия.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы доложены, обсуждены и одобрены на: научной конференции «Научный и инновационный потенциал Байкальского региона глазами молодежи» (г. Улан-Удэ, 2003 г); международной научно-практической конференции «Агроинженерная наука: проблемы и перспективы развития» (г. Улан-Удэ, 2005 г); всероссийской научно-практической конференции «Перспективы развития пищевой промышленности России» (г. Оренбург, 2005 г); международной научно-практической конференции «Современные проблемы техники и технологии пищевых производств» (г. Барнаул, 2006 г); всероссийской молодежной научно-практической конференции (г. Иркутск, 2007 г); всероссийской молодежной научно-практической конференции «Молодые ученые Сибири» (г. Улан-Удэ, 2008 г); VIII международной научно-практической конференции «Техника и технология пищевых производств» (г. Могилев, 2011 г); VIII международной научно-практической конференции «Инновационные разработки для АПК» (г. Черноград, 2013 г), научно-практической конференции «Технологии и средства механизации в АПК» (г. Улан-Удэ, 2006 – 2013 г).

Публикации. По теме диссертации опубликованы 25 печатных работ, в том числе 1 статья в изданиях, рекомендованных ВАК РФ и 4 патента РФ на изобретения.

На защиту выносятся:

– математические модели аэродинамического сопротивления воздухораспределительного канала, перфорированной решетки и зерновой насыпи;

– критериальная зависимость по определению производительности разгрузки универсального трехканального аэрожелоба в зависимости от параметров, оказывающих на нее влияние;

– рациональные технологические режимы вентилирования и разгрузки зерновой насыпи;

– методика расчета основных параметров установки для активного вентилирования и пневморазгрузки.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, семи глав, общих выводов и рекомендаций, списка использованных источников, включающего 170 наименований, в том числе 4 источника на иностранном языке, и приложений на 6 страницах. Основная часть содержит 143 страницы машинописного текста, 27 рисунков и 15 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дано обоснование направлению исследований, указана цель работы и ее практическая значимость.

В первой главе «Состояние вопроса и задачи исследований» дан обзор литературы по вопросам использования аэрожелобов на предприятиях сельскохозяйственного производства зерна, элеваторной промышленности и др., освещены вопросы расчета и конструирования устройств активного вентилирования и разгрузки зерна, сформулированы задачи исследований.

В России, в частности Сибири, включая и Бурятию, большая часть зернового материала поступает на асфальтированную площадку, затем с использованием отдельных машин, или зерноочистительных и зерноочистительно-зерносушильных агрегатов и комплексов оно обрабатывается, отгружается на производственные нужды или направляется на хранение. Недостатком такой технологии является использование открытых площадок, не оборудованных средствами активного вентилирования. Массовое скопление зернового вороха в период ожидания обработки ведет к самосогреванию, загрязнению вредителями, гниению. В зерновом ворохе интенсивно развиваются насекомые-вредители и микроорганизмы, а также происходит перераспределение влаги между зерном и примесями. В результате такого явления начальная влажность сырого зерна еще больше увеличивается, с ее увеличением возрастают энергозатраты на приведение зерна к кондиционному состоянию. Известно, что 25-30% затрат приходится на послеуборочную обработку.

В связи с вышесказанным, большую актуальность приобретает разработка высокопроизводительных устройств, способных эффективно проводить как временное, так и окончательное хранение зерна с одновременным охлаждением и частичным подсу-

шиванием. В существующих приемных отделениях с бункерами используются аэрожелоба одноканального исполнения, ведутся также исследования на трехканальных аэрожелобах.

Режимы использования аэрожелобов и их параметры в процессах послеуборочной обработки зерна исследовали многие отечественные ученые, в том числе В.И. Анискин, П.В. Блохин, Н.П. Черняев, В.С. Уколов, Е.М. Зимин, Н.П. Сычугов, С.А. Подоплелов, В.А. Резчиков, В.В. Солонецкий, Н.П. Сычугов, Е.М. Зимин, С.В. Иванов, Л.О. Онхонова, Бадмаев З.В., а также зарубежные ученые П. Смеречиньский, Х. Хаве, Я. Урбан и мн.др.

Из последних разработок известны работы, где предложены различные варианты конструктивного оформления одноканальных аэрожелобов, в том числе бункеров приемных отделений. Известны работы В.И. Анискина, А.В. Голубковича, Л.О. Онхоновой, которые продвинули дальнейшие исследования по трехканальным аэрожелобам. Указанными исследователями определены режимы функционирования трехканальных аэрожелобов.

Основной характеристикой аэрожелобов, как и любого другого устройства, является производительность. Исследованиями по определению производительности одноканальных аэрожелобов занимались В.И. Левченко, Е.А. Дмитрук, И.С. Сегаль, А.Ф. Трунов и др. Ими предложены расчетные зависимости для определения производительности одноканальных аэрожелобов.

Из выполненного обзора следует, что использование аэрожелобов в практике послеуборочной обработки зерна целесообразно. Перспективными являются трехканальные аэрожелоба, хотя еще требуются дальнейшие исследования. При эксплуатации в режиме транспортирования как одноканальных, так и трехканальных аэрожелобов, производительность вначале 40-45 т/ч, затем она неуклонно падает и к концу разгрузки становится равной 3-5 т/ч. Работа аэрожелобов сопровождается большим расходом электроэнергии (0,2-0,25 кВтч/т) в течение всего процесса вентилирования и разгрузки и повышенном пылевыделении.

На основании проведенного анализа поставлена цель и сформулированы задачи исследований.

Во второй главе «Теоретические предпосылки по обоснованию параметров установки для активного вентилирования и пневморазгрузки зерна» рассмотрены модели работоспособности установки, зависящие от конструктивных и технологических па-

раметров. Рассмотрены модели разгрузки зерна, в том числе критериальная зависимость по определению производительности. Рассмотрены зависимости по определению общего аэродинамического сопротивления всей установки, аэродинамических сопротивлений, возникающих в воздухораспределительных каналах и в перфорированной решетке, а также в зерновой насыпи.

Основной характеристикой установки для активного вентилирования и пневморазгрузки зерна является ее производительность. В режиме пневморазгрузки производительность зависит от множества переменных факторов, оказывающих на нее влияние, и находящихся в сложной зависимости друг от друга, вследствие чего ее очень трудно рассчитать.

$$G_p = f(g, \Delta P, V_\phi, v_1, h_{cl}, L, \beta_p, \kappa_1, \kappa_2, F_{p1}, F_{p2}, d_3, H_n, h_n, W, t, \eta_v, \eta_3, Z, \varepsilon, \rho_T), \quad (1)$$

где G – производительность разгрузки, кг/ч; g – ускорение свободного падения, m/c^2 ; ΔP – давление воздуха в транспортирующем канале, Па; V_ϕ – скорость фильтрации воздуха через воздухораспределительную решетку, m/c ; v_1 – ширина транспортирующей поверхности, m ; h_{cl} – высота разгружаемого (транспортируемого) слоя зерна, m ; L – длина транспортной поверхности, m ; β_p – угол наклона боковой решетки, град.; κ_1 и κ_2 – соответственно коэффициенты внутреннего и внешнего трения зерна; F_{p1} и F_{p2} – соответственно площадь транспортирующей и воздухораспределительных поверхностей, m^2 ; d_3 – диаметр зерна, m ; H_n – высота транспортирующего канала, m ; h_n – высота зерновой массы, m ; W – влажность зерна, %; t – время разгрузки, ч; η_v и η_3 – соответственно вязкость воздуха и зерновой смеси, $kg/m^2 \cdot c$; Z – засоренность зерна, %; ε – скважистость зерновой массы; ρ_T – плотность зерна, kg/m^3 .

Составляя уравнение размерностей по методу Рейля, в котором символ производительности со своим показателем размерности приравнивается произведению символов величин, влияющих на производительность с неизвестными показателями размерности, и, пренебрегая величинами, мало оказывающими влияние на разгрузку, получим уравнение по определению производительности для нестационарного процесса:

$$G / \lambda_B d = C [(Pd^2 \rho_B / \lambda_B)^a (L/d)^c (b/d)^d (h_{cl}/d)^f W^o], \quad (2)$$

где a, c, d, f, o – показатели физических величин; C – поправочный коэффициент.

В экспериментальной части производительность будем определять в зависимости от факторов, влияющих на нее, затем приступим к определению показателей степеней в уравнении (2), а затем получим формулу вычисления производительности универсального трехканального аэрожелоба.

Для подбора вентилятора необходимо знать количество мощности, затрачиваемой на преодоление сопротивлений, возникающих в установке, и определяемой по следующей зависимости:

$$\Sigma \Delta P_{\text{аэр}} = \Sigma \Delta P_{\text{к}} + \Sigma \Delta P_{\text{р}} + \Sigma \Delta P_{\text{зм}} + \Sigma \Delta P_{\text{ск}}, \quad (3)$$

где $\Sigma \Delta P_{\text{аэр}}$ – суммарные потери напора в универсальном трехканальном аэрожелобе; $\Sigma \Delta P_{\text{к}}$ – сумма гидравлических сопротивлений при прохождении воздуха внутри каналов, Па; $\Sigma \Delta P_{\text{р}}$ – сумма гидравлических сопротивлений, возникающих при преодолении отверстий в решетках аэрожелоба; $\Sigma \Delta P_{\text{зм}}$ – потери напора в зерновой насыпи, Па; $\Sigma \Delta P_{\text{ск}}$ – потери напора на создание скоростного движения, Па.

Сумма гидравлических сопротивлений при прохождении воздуха внутри каналов определится по формуле:

$$\Delta P_{\text{к}} = \lambda \frac{L}{D_{\text{эке}}} \cdot \rho \frac{v_{\text{ср}}^2}{2g}, \quad (4)$$

где λ – коэффициент сопротивления по длине; L – длина воздуховода, м; $v_{\text{ср}}$ – средняя скорость движения воздуха в воздуховоде, м/с; ρ – плотность воздуха, кг/м³; $D_{\text{эке}}$ – эквивалентный диаметр канала, м; g – ускорение свободного падения, м/с².

Аэродинамическое сопротивление от перфорированной решетки определится:

$$\Delta P_{\text{реш}} = \xi \frac{F_{\text{щ}}}{F_{\text{реш}}} \rho_{\text{в}} v_{\text{щ}}^2, \quad (5)$$

где ξ – коэффициент местного сопротивления; $F_{\text{щ}}$ – площадь щелей в решетке, м²; $F_{\text{реш}}$ – площадь перфорированной решетки, м²; $\rho_{\text{в}}$ – плотность воздушного потока, кг/м³; $v_{\text{щ}}$ – средняя скорость воздушного потока на выходе из щели, м/с.

Аэродинамическое сопротивление в зерновой решетке определится по формуле, предложенной Б.Е. Мельником, Па (кгс/м²):

$$\Delta P_{з.с.} = a_3 \cdot l \cdot v + b_3 \cdot l \cdot v^2, \quad (6)$$

где l – длина линий тока в зерновой насыпи, м; v – скорость фильтрации воздуха в зерновом слое, получаемая как частное от деления общей подачи воздуха в насыпь на площадь насыпи, обрабатываемой одним вентилятором без учета наличия зерна, м/с; a_3 и b_3 – коэффициенты, характеризующие зерновой слой в аэродинамическом отношении.

Скоростной напор определится:

$$\Delta P_{ск} = \rho \cdot v_p^2 / 2, \quad (7)$$

где v_p – скорость воздуха, выходящего из щели перфорированной решетки, м/с.

Таким образом, полное аэродинамическое сопротивление установки определится по следующей зависимости:

$$\Sigma \Delta P_{аэп} = \lambda \frac{L}{D_{экв}} \cdot \rho \frac{v_{cp}^2}{2g} + \xi \frac{F_{щ}}{F_{реш}} \rho v_{щ}^2 + a_3 \cdot l \cdot v + b_3 \cdot l \cdot v^2 + \rho \cdot v_p^2 / 2, \quad (8)$$

В третьей главе «Программа и методика исследований» изложены основные положения и условия проведения экспериментов, описана экспериментальная установка, приведены программа исследований, техника измерений и обработки результатов опытов.

Программой исследований предусматривалось:

– подтверждение основных теоретических положений по выводу критериальной зависимости производительности разгрузки и работоспособности установки;

– проверка теоретических выводов по обоснованию параметров установки;

– подбор измерительной аппаратуры и разработка методики экспериментов.

В соответствии с программой работ была разработана экспериментальная установка, отличающаяся от существующих устройств установкой изогнутых пластин внутри всех воздухо-распределительных коробов и перфорированными перегородками с пробитыми в них в шахматном порядке отверстиями полусферической формы. Схема установки приведена на рисунке 1.

Лабораторная установка (рис. 1) состоит из основного транспортирующего канала 1, боковых воздухо-распределитель-

ных каналов 2, снабженных перфорированными решетками 3 и 4, воздушных заслонок для центрального 5, боковых воздухо-распределительных каналов 6, коллектора 7, отверстия с выгрузной заслонкой 8, бункера 9, вентилятора 10, изогнутых пластин 11.

Установка работает в двух режимах – вентиляции и пневмовыгрузки. В режиме вентиляции выгрузное отверстие перекрыто заслонкой 8, с заполнением бункера 9 зерновым материалом включается вентилятор 10, и воздух через диффузор 7 нагнетается в зерновую массу, снизу вверх аэрируя ее.

Для разгрузки зерновой массы открывается выгрузное отверстие 8, зерно самотеком до достижения угла естественного откоса высыпается в приемную емкость.

Для выгрузки оставшейся части включается вентилятор. Внутри воздухо-распределительных каналов, перекрывая поперечное их сечение по всей длине, наклонно установлены изогнутые пластины 11.

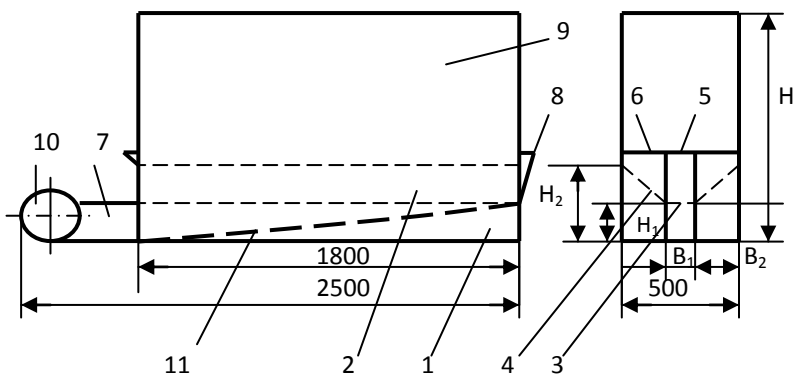


Рисунок 1 – Схема универсального трехканального аэроже-лоба с изогнутыми пластинами в каналах: 1 – основной транспортиру-ющий канал; 2 – боковые воздухо-распределительные каналы; 3 и 4 – перфорированные решетки, установленные соответственно в основ-ном транспортирующем и боковых воздухо-распределительных каналах; 5 и 6 – воздушные заслонки; 7 – коллектор; 8 – выгрузная заслонка; 9 – бункер; 10 – вентилятор; 11 – изогнутые пластины, установленные в каналах

Физическая модель имела размеры 2500x0,5x1,0 м, ширина центрального транспортирующего канала 0,2 м, высота 0,2 м, угол наклона сторон боковых воздухо-распределительных кана-

лов $\beta = 45^\circ$. Выгрузное отверстие выполнено на всю ширину установки $B = 0,5$ м. Изогнутые пластины имеют в поперечном сечении дугообразную форму, концы пластин загнуты и вставлены в пазы стенок каналов, при этом в начале каналов дугообразная часть пластин расположена на днище каналов, а в конце каналов пазы пластин установлены на уровне с перфорированной решеткой основного транспортирующего канала. В качестве материала для изготовления перфорированных решет и изогнутых пластин использовалась оцинкованная тонколистовая жель.

При проведении исследований на лабораторной установке использовался вентилятор марки ВЦ-14-46-3,1 с числом оборотов 3000 мин^{-1} мощностью 7,5 кВт, расходом воздуха 2,0-4,4 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$ и полным давлением 1850-2250 Па.

Температура окружающего воздуха и его относительная влажность определялись гигрометром психрометрическим ВИТ-1 с интервалом измерений 15-95%. Для измерения атмосферного давления использовали барометр – aneroid метеорологический БАММ-1 с диапазоном измеряемого давления 80-106 кПа. Влажность зернового материала определяли электронным влагомером зерна WILE-55 (Германия) и по стандартной методике.

Замеры давлений производили с помощью микроманометра ММН-240(5) 1 и пневмометрической трубки Пито-Прандтля (пневошуп) через каждые 300 мм по длине аэрожелоба протяженностью 1800 мм и ширине аэрожелоба через 200 мм.

Время истечения материала через выгрузное отверстие фиксировали секундомером. Для определения влияния подачи воздуха вентилятором на равномерность распределения воздуха в зерновой насыпи осуществлялись замеры статического давления воздушного потока проходящего через зерновую насыпь. Измерение давления в зерновой насыпи производилось по общепринятой методике путем исследования полей давления (изобар) в сечениях по длине и ширине насыпи находящейся в бункере модели. Изменение подачи воздуха осуществлялось регулируемой заслонкой на входном патрубке вентилятора. Высота зерновой насыпи измерялась металлической линейкой с пределом измерений до 1000 мм. Одновременно отбирались пробы для определения влажности зерна, регистрировалась относительная влажность воздуха. Исследования проводились на ворохе основных культур пшеницы, ржи, ячменя влажностью 14-27%, по засоренности 8-12%. При определении влияния толщины слоя зерновой насы-

пи на равномерность распределения воздуха производились замеры статического давления с постепенным погружением пневмощупа по высоте зерновой насыпи.

В четвертой главе «Результаты экспериментальных исследований» представлены результаты исследований и их анализ. Работоспособность установки проверяли в двух режимах – режиме разгрузки сжатым воздухом и режиме вентилирования. В качестве исходного материала использовались искусственно увлажненные зерна основных культур – пшеницы с плотностью $\rho_3 = 0,75 \text{ т/м}^3$; ржи $\rho_3 = 0,71 \text{ т/м}^3$; ячменя $\rho_3 = 0,62 \text{ т/м}^3$. Удельная подача воздуха находилась в пределах $70 - 130 \text{ м}^3/\text{ч}\cdot\text{т}$.

Во второй главе было выявлено, что производительность разгрузки находится в сложной зависимости от размеров и плотности зерна, геометрических параметров установки (ширины и длины транспортирующего канала), высоты зернового слоя и его влажности (2). Для определения производительности разгрузки устанавливали различные значения статического давления путем изменения входного отверстия с помощью воздушной заслонки. Для определения времени выгрузки зерна с различной влажностью методика замеров была следующая. Предварительно зерно погружали в бункер установки, разравнивали поверхность с помощью лопаточки, открывали выгрузное отверстие и после окончания истечения материала, включали вентилятор и измеряли время выгрузки, согласно принятой методики. Результаты эксперимента приведены в диссертации в главе 4.

При изучении влияния ширины на производительность нами предлагалась следующая методика. Ширина транспортирующего канала уже была определена $B = 0,2 \text{ м}$, в соответствии с чем мы могли ее размеры изменять в сторону уменьшения. С этой целью во внутрь канала устанавливали сменные изогнутые пластины с отбортовками, с помощью которых устанавливали необходимую ширину транспортирующего канала – 50, 100, 150 и 200 мм.

Изогнутая пластина с торцевой части транспортирующего канала устанавливалась заподлицо с его днищем, концом она упиралась в перфорированную решетку канала. Опыты проводили в соответствии с выбранной методикой. Во избежание случайных ошибок опыты проводились в трехкратной повторности с усреднением результатов.

Анализ графика (рис. 2) показывает, что с увеличением ширины при различном статическом давлении производительность

разгрузки увеличивается, с увеличением ширины канала мы имеем почти линейную зависимость увеличения производительности.

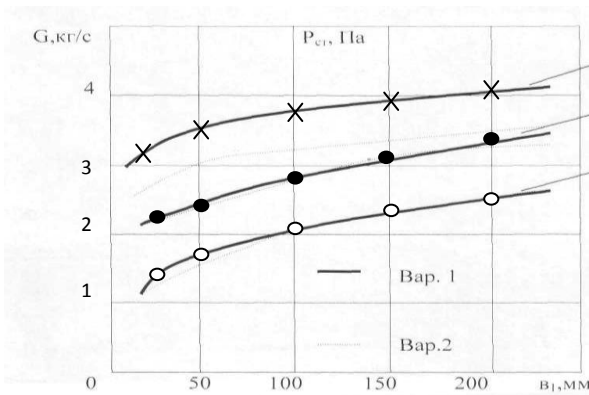


Рисунок 2 – Зависимость производительности разгрузки от ширины транспортной поверхности при различном статическом давлении.

Для выяснения картины зависимости производительности от высоты зернового слоя (рис. 3) нами установлены следующие значения: $h_n = 0,35, 0,50$ и $0,70$ м. Высота бункера составляла $0,8$ м. Заполняя бункер зерном на соответствующую высоту, равную $0,35, 0,50$ и $0,70$ м, производили разгрузку зерна, сначала под действием сил гравитации, затем при включенном вентиляторе. Определение производительности производили по стандартной методике.

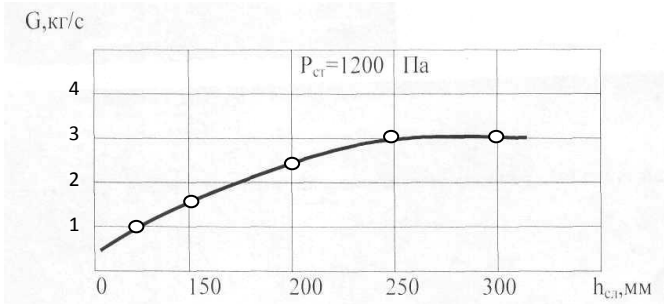


Рисунок 3 – Зависимость производительности от высоты зернового слоя

В качестве разгружаемого материала в опытах использовали различную культуру. Влажность каждой культуры соответственно составляла для овса и ячменя – 21,5%, пшеницы – 21,2%.

Анализ графика (рис. 3) влияния высоты на производительность разгрузки показывает, что с увеличением высоты зернового слоя производительность разгрузки увеличивается. Объясняется это тем, что с увеличением высоты порозность слоя уменьшается, вследствие чего плотность зерновой насыпи увеличивается. Эта закономерность сохраняется при подаче в транспортирующий канал воздуха с различным статистическим давлением (рис. 4).

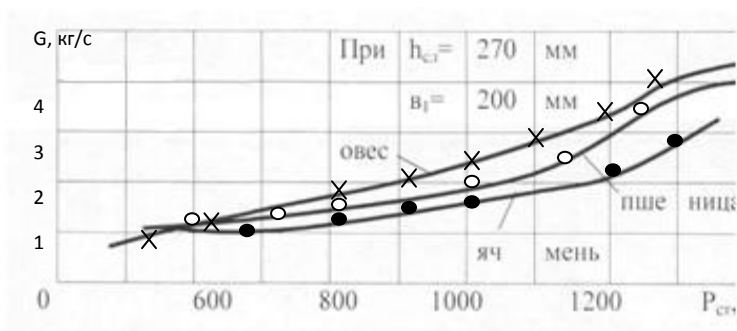


Рисунок 4 – Зависимость производительности при различном статическом давлении воздуха

Для выявления зависимости производительности от плотности зерновой массы брали соответствующие плотности – 630, 650, 700, 750 кг/м³. Для увеличения плотности в зерновую массу закладывали мелкие камешки, маленькие кусочки шифера. Зависимость производительности от плотности зернового материала приведена на графике (рис. 5).

Выявлено, что с увеличением плотности зерновой массы производительность разгрузки увеличивается.

С целью выявления зависимости производительности от удельной подачи воздуха в транспортирующий канал, были произведены опыты на зерне овса, ячменя и пшеницы соответственно с влажностью – 21,5%, 21,5%, пшеницы – 21,2%, слой транспортируемого зерна составлял $h_{ст} = 270$ мм, давление подаваемого воздуха – 650, 850 и 1200 Па (рис. 5).

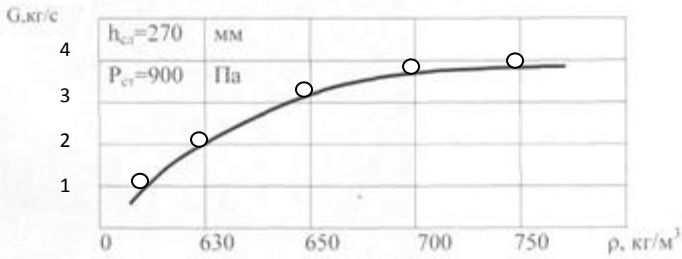


Рисунок 5 – Зависимость производительности от плотности зернового материала

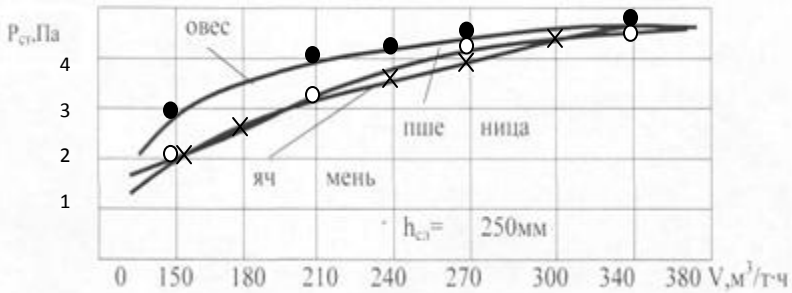


Рисунок 6 – Зависимость производительности от удельной подачи воздуха в транспортирующем канале

Минимальный удельный расход воздуха на разгрузку и транспортирование получен для варианта его подачи во все три канала при скоростях фильтрации воздуха V_{ϕ} от 1,0 до 1,3 м/с (рис. 6). При варианте подачи воздуха в центральный канал удельный расход воздуха повышается на 12-15%, а в боковые каналы – на 30-35%.

Угол наклона боковых решеток особого влияния не оказывает на производительность аэрожелоба.

Неизвестные показатели степеней в уравнении определяли графическим методом, как более простым и достаточно надежным. Порядок определения степеней покажем на примере нахождения значения a из равенства:

$$G/\lambda_B d = (Pd^2 \rho_B / \lambda_B)^a \quad (10)$$

Подставляя значения постоянных $\rho_n = 0,750 \text{ т/м}^3$, $d = 0,003 \text{ м}$, $\rho_3 = 0,760 \text{ т/м}^3$ и экспериментально найденные величины средней производительности $1,15 \text{ кг/с}$, при следующих параметрах установки: ширина транспортирующего основного канала $0,2 \text{ м}$, ширина боковых воздухораспределительных каналов $0,15 \text{ м}$, длина каналов, перекрываемых перфорированными перегородками с коэффициентом живого сечения $\varphi_1 = 0,12$ для основного транспортирующего канала и $\varphi_2 = 0,24$ для боковых воздухораспределительных каналов, 1800 м , угол наклона боковых воздухораспределительных каналов $\beta = 45^\circ$, получали численные значения, которые наносили на логарифмическую координатную сетку (рис. 7) и определяли искомую точку.

Аналогичным образом находили ряд расчетных значений a при других условиях опыта, которые наносили на логарифмическую сетку. Через найденные точки проводили прямую, тангенс угла наклона которой дает соответствующее значение a . Значения остальных показателей степеней находим аналогичным путем. В результате получены численные значения показателей степеней:

$$a = -0,43; c = 1,73; d = 0,47; f = 0,97; o = -0,25. \quad (11)$$

Поправочный коэффициент $C = 6,85 \cdot 10^8$ находили при $h_{\text{сл}} = 0,7 \text{ м}$; $\beta = 45^\circ$.

Формула для расчета производительности окончательно приобретает вид:

$$G/\lambda_b d = C[(Pd^2 \rho_b / \lambda_b)^a (L/d)^{0,47} (b/d)^{1,73} (h_{\text{сл}}/d)^{0,97} \beta^{0,25}]. \quad (12)$$

Эффективность вентилирования зерновой насыпи определяется качеством воздухораспределения, что характеризуется полученными изобарами равных статических давлений по длине и ширине установки (рис. 8 и 9).

Возможность возникновения застойных зон сведены к минимуму за счет установки изогнутых пластин внутри всех каналов и повышенной подачи воздуха, достигаемой вследствие увеличенного сечения щелей полусферической формы.

Экспериментальными исследованиями, проведенными в главе 4 обоснованы основные параметры универсального трехканального аэрожелоба, которые приведены в общих выводах.

В пятой главе «Хозяйственные испытания» проведены хозяйственные испытания в СПК «Хасуртайский» Хоринского и ООО «Сосновка» Селенгинского районов Республики Бурятия. Целью испытаний были проверка работоспособности универ-

сального трехканального аэрожелоба в двух режимах, определение изменений влажности зерна по ширине и высоте зерновой насыпи. Высота слоя насыпи была 2,2 м; ширина 3,5 м и длина насыпи 10 м.

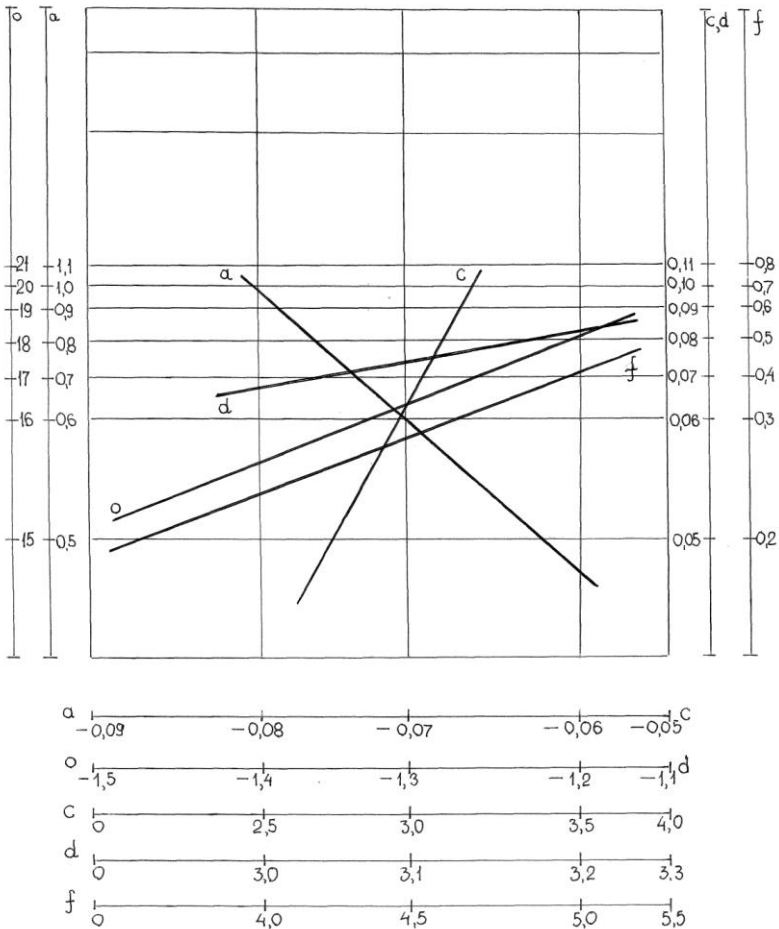


Рисунок 7 – К определению показателей степеней уравнения

Время вентиляции составляло 10 часов, удельная подача воздуха $q = 300 \text{ м}^3/\text{ч}\cdot\text{т}$; начальная влажность вороха ячменя $W_n = 18\%$; засоренность $Z = 9,2\%$; относительная влажность воздуха $W_{отн} = 60-65\%$; температура атмосферного воздуха $T_{атм} = 23^\circ \text{C}$.

Эксперименты показали, что при использовании перфорированной решетки с отверстиями полусферической формы и уста-

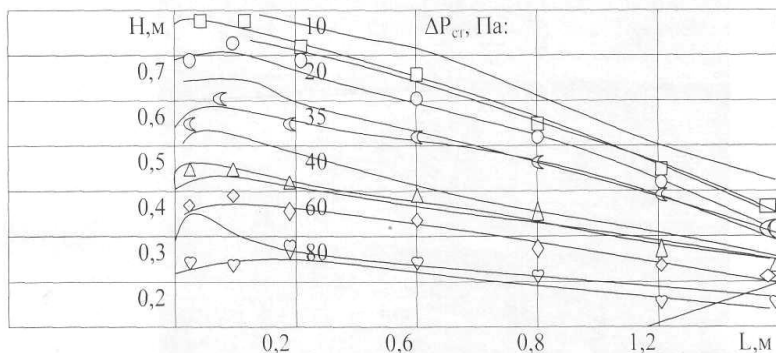


Рисунок 8 – Схема распределения изобар статического давления в зерновой насыпи по ее длине

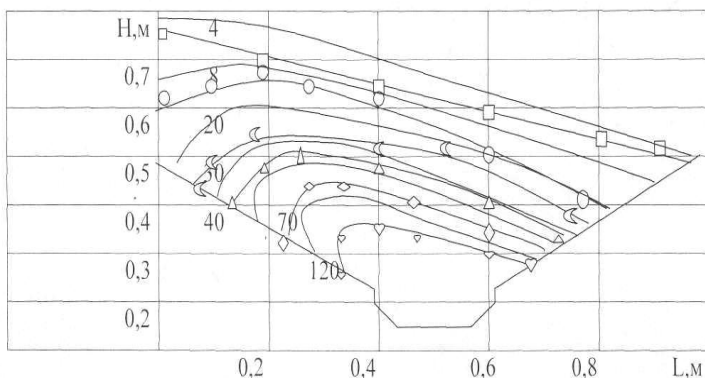


Рисунок 9 – Схема распределения изобар статического давления в зерновой насыпи по ее ширине

новленными изогнутыми пластинами внутри воздухораспределительных каналов обеспечивается достаточно высокий съем влаги в пределах 0,23-0,25% за первые часы вентилирования, одновременно с вентилированием зернового вороха происходит его подсушка. Основными факторами, влияющими на производительность аэрожелоба, являются конструктивные параметры аэрожелоба и свойства зернового вороха.

Анализ данных проводился с использованием методов математической статистики – критерия Стьюдента.

Проверка дисперсий измерений на однородность проводилась с помощью критерия Фишера.

В шестой главе «Расчеты экономической эффективности» приведен расчет экономической эффективности от внедрения в производство. Годовой экономический эффект от внедрения универсального трехканального аэрожелоба составил 250 тыс. руб. Срок окупаемости 0,7 года.

В седьмой главе приведена методика расчета универсального трехканального аэрожелоба.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Универсальный трехканальный аэрожелоб, снабженный изогнутыми пластинами внутри воздухораспределительных каналов, может использоваться в операциях активного вентилирования и разгрузки зернового материала в условиях временного и основного хранения в зернохранилищах (патенты РФ №№ 48317, 2292275, 79877, 82688).

2. Установлена расчетная зависимость производительности разгрузки от конструктивных параметров установки, характеристик и свойств зерновой массы.

3. При влажности зерна свыше $W = 22-24\%$, установленной как предельно допустимое значение при временной его консервации, сыпучесть вороха снижается и уменьшается его средняя производительность на $2,25-2,8\%$.

4. Отмечается эффективное воздухораспределение с коэффициентом неравномерности ($k_b=0,89$) воздухораспределения при следующих параметрах:

- ширина транспортирующей поверхности $v_1 = 0,2$ м;
- ширина воздухораспределительного канала $v_2 = 0,15$ м;
- угол наклона боковой воздухораспределительной решетки $\beta = 45^\circ$;
- коэффициент живого сечения основной транспортирующей и боковых воздухораспределительных решеток соответственно составил $\varphi_1 = 0,12$ и $\varphi_2 = 0,24$;
- давление воздуха в канале, $P_k = 800-1200$ Па;
- расход воздуха $Q = 20-22$ тыс.м³/ч (при влажности вороха $W = 26\%$).

5. Разгрузка зерна осуществляется при обеспечении статического давления в транспортирующем канале в пределах $P_{ст} = 1000-1200$ Па.

6. Снижение температуры зерновой массы $t_{з.м}$ зависит от температуры наружного атмосферного воздуха $t_{н.в.}$, высоты слоя $h_{сл}$, коэффициента неравномерности воздухораспределения k_b , удельной подачи воздуха $q_{уд}$. И составляет $t_{з.м.} = 0,09-0,28^{\circ}\text{C}$ в час при следующих условиях: $h_{сл} = 2-2,5$ м; $t_{н.в.} = 15-19^{\circ}\text{C}$; $q_{уд} = 290-325$ м³/ч·т, влагосъем составляет $\Delta W = 0,22\%$ в час.

7. Разработана методика инженерного расчета параметров универсального трехканального аэрожелоба с изогнутыми пластинами и перфорированными перегородками с отверстиями полусферической формы.

8. Использование универсального трехканального аэрожелоба в приемных отделениях по сравнению с трехканальным аэрожелобом последней известной разработки позволяет снизить энергоемкость в 1,5 раза.

9. Годовой экономический эффект от использования установки составляет 250 тыс. руб. на один транспортирующий канал.

**Основные положения диссертации опубликованы
в следующих работах:**

а) изданиях, рекомендованных ВАК РФ

1. Цыренов Н.Е. Разгрузка и транспортирование зернового вороха в трехканальном аэрожелобе [Текст] / Л.О. Онхонова // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2009. – № 5(5). – С. 148-152.

б) сборниках научных трудов и материалах конференций

2. Цыренов Н.Е. Приемный бункер с аэрожелобами [Текст]// Перспективы развития пищевой промышленности России:/ материалы всероссийской науч.-практ. конф. – Оренбург: ИПК ГОУ ОГУ, 2005. – С.30.

3. Цыренов Н.Е. Установка активного вентилирования и саморазгрузки [Текст] / Онхонова Л.О. и др. // Современные проблемы техники и технологии пищевых производств: сборник ст. и докл. IX Междунар. науч.-практ. конф. – Барнаул: Изд-во АлтГАУ, 2006. – С.136-138.

4. Цыренов Н.Е. Универсальный передвижной бункер для зернового материала [Текст] / Онхонова Л.О., Бадмаев З.В. // Современные проблемы техники и технологии пищевых производств: сб. ст. и докл. IX междунар. науч.-практ. конф. – Барнаул: Изд-во АлтГАУ, 2006. – С. 138-142.

5. Цыренов Н.Е. Изучение процессов воздухораспределения и пневмовыгрузки на перфорированных решетках и обоснование параметров аэродинамической установки [Текст] / Л.О. Онхонова и др. // сб. тр. Серия: Технология и средства механизации в АПК – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2006. Вып. 2. – С. 62-66.

6. Цыренов Н.Е. Об аэродинамике продуваемой зерновой насыпи [Текст] / Онхонова Л.О. и др. // сб. науч. тр. Серия: Технологии и средства механизации в АПК. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2007. Вып.3. – С. 100-108.

7. Цыренов Н.Е. О механизме разгрузки и обработки зерновой массы на саморазгружающейся установке активного вентилирования [Текст] / Онхонова Л.О. и др. // сб. науч. тр. Серия: Технологии и средства механизации в АПК. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2007. Вып.3. – С.108-110.

8. Цыренов Н.Е. Универсальный передвижной бункер для зерна [Текст] / Онхонова Л.О. и др. // сб. науч. тр. Серия: Технологии и средства механизации в АПК. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2007. Вып.4. – С.57-58.

9. Цыренов Н.Е. Исследование процесса вентилирования зернового вороха на трехканальном аэрожелобе [Текст] // Пищевые технологии, качество и безопасность продуктов питания: материалы докл. всерос. молодежной науч.- практ. конф. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. – С. 79-81.

10. Цыренов Н.Е. Обоснование применения трехканальных аэрожелобов в процессе послеуборочной обработки зерна [Текст] / Онхонова Л.О. // Пищевые технологии, качество и безопасность продуктов питания: материалы докл. всерос. молодежной науч.- практ. конф. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. – С. 81-83.

11. Цыренов Н.Е. Транспортирующая машина в послеуборочной обработке материалов [Текст] // Молодые ученые Сибири: материалы всерос. науч.-практ. молодежной конф. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2008. – С. 29-32.

12. Цыренов Н.Е. О научных и технических вопросах расчета и использования трехканальных аэрожелобов [Текст] // Аг-

роинженерная наука: Проблемы и перспективы развития: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Улан-Удэ: Изд-во БГСХА, 2008. – С. 234-239.

13. Цыренов Н.Е. О механизме разгрузки и обработки зерновой массы на саморазгружающейся установке активного вентилирования [Текст] / Онхонова Л.О., Бадмаев З.В., Николаев Г.М // сб. науч. тр. Серия: Технология и средства механизации в АПК. Вып.3. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2007. – С. 94-100.

14. Цыренов Н.Е. О воздухораспределении в универсальном аэрожелобе [Текст] / Онхонова Л.О. и др.// В мире научных открытий. – Красноярск: Изд-во НИИЦ, 2009. – №1. – С. 34-38.

15. Цыренов Н.Е. К расчету основных параметров универсальных трехканальных аэрожелобов [Текст] / Онхонова Л.О., Бимбаев С.Е // материалы конф., посвящ. 50-летию юбилею факультета МСХ. – Монголия, Улан-Батор: МонгСХУ, 2010.

16. Цыренов Н.Е. К расчету основных параметров универсальных трехканальных аэрожелобов. [Текст] / Данзанов А.А., Мантуров Л.А. // материалы. междунар. науч.-практ. конф., посвященной 80-летию БГСХА им. В.Р. Филиппова и 50-летию инженерного факультета «Инженерное обеспечение и технический сервис в АПК». – Улан-Удэ, 2011. – С. 141-146.

17. Цыренов Н.Е., О приемах предварительной сушки зерна на этапе накопления и перевозки на стационарный пункт [Текст] / Табинаев А.Э., Данзанов А.А. // материалы межвуз. науч. - практ. конф.: сб. науч. тр. Серия: Технология и средства механизации в АПК. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2011. Вып. 7. – С. 34-38.

18. Цыренов Н.Е. Предварительная сушка влажного зернового вороха в момент его накопления [Текст] / Онхонова Л.О., Данзанов А.А., Мантуров Л.А.// Технологии и технические средства в АПК: сб. науч. тр. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2012.

19. Цыренов Н.Е. О целесообразности предварительной сушки зернового вороха в кузове автомобильного транспорта [Текст] / Онхонова Л.О., Табинаев А.Э., Гомбожапов С.Д., Онхонов А.Д. // Техника и технология пищевых производств: материалы VIII междунар. науч.-практ. конф. 27-28 апр. – Могилев (Беларусь): Изд-во МГУП, 2011. – С. 234-239.

20. Цыренов Н.Е. Приемные бункера, оснащенные саморазгружающимися аэрожелобами / Онхонова Л.О., Табинаев А.Э., Гомбожапов С.Д., Данзанов А.А. // Техника и технология

пищевых производств: материалы VIII междунар. науч.-практ. конф. 27-28 апр. – Могилев (Беларусь): Изд-во МГУП, 2011. – С. 80-81.

21. Цыренов Н.Е., Предварительная сушка влажного зернового вороха в момент его накопления [Текст] / Онхонова Л.О., Данзанов А.А., Мантуров Л.А.// материалы. межвуз. науч.-практ. конф. Серия: Технология и средства механизации в АПК / – Улан-Удэ, 2012. – Вып. 8. – С. 114-117.

22 Патент 48317, РФ, МПК В65g Трехканальный универсальный аэрожелоб для активного вентилирования и выгрузки сыпучих материалов [Текст] / Онхонова Л.О., Бадмаев З.В., Цыренов Н.Е. Оpubл.10.10.05. Бюл. № 28. – 4 с.

23. Патент 79877, РФ, МПК В 65 Установка для транспортирования и активного вентилирования семян и зерна [Текст] / Онхонова Л.О., Цыренов Н.Е., Онхонов Д.В., Онхонов А.Д. Оpubл. 20.01.09. Бюл. № 2. – 4с.

24. Патент 2292275, РФ, МПК В65 Универсальный передвижной бункер для зернового материала [Текст] / Бадмаев З.В., Онхонова Л.О., Цыренов Н.Е. Оpubл. 27.01.07. Бюл. №3. – 4с.

25. Патент 82688, РФ, МПК В65. Установка для пневмотранспортирования и аэрации семян и зерна [Текст] / Онхонова Л.О., Цыренов Н.Е., Онхонов Д.В., Онхонов А.Д./Оpubл. – 4 с.

Подписано в печать 9.9.2013 г. Формат 60x84 1/16
Усл.п.л.1,39. Тираж 100 экз. Заказ № 265.

Издательство ВСГУТУ.
670013, г. Улан-Удэ, ул. Ключевская, 40 в.