

На правах рукописи

Книга Юрий Анатольевич

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИЁМА И ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ
ПОДРАБОТКИ ЗЕРНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРИЁМНИКОВ
АКТИВНОГО ТИПА**

Специальность 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского
хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Красноярск – 2011

Работа выполнена в ФГОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет»

Научный руководитель доктор технических наук, профессор
Манасян Сергей Керопович

Официальные оппоненты: **Матюшев Василий Викторович**
 доктор технических наук, профессор

Семёнов Александр Викторович
кандидат технических наук, доцент

Ведущая организация **ГНУ КНИИСХ Россельхозакадемии**

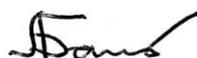
Защита состоится 22 апреля 2011 г. в 15⁰⁰ часов на заседании объединенного диссертационного совета ДМ 220.037.01 при ФГОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет» по адресу: 660049, г. Красноярск, просп. Мира, 90.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГОУ ВПО «Красноярский государственный аграрный университет».

Автореферат разослан 22 марта 2011 г.

Автореферат размещен 22 марта 2011 г. на сайте www.kgau.ru

Ученый секретарь
диссертационного совета



Бастрон А.В.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Производство зерна является одной из важнейших задач устойчивого развития продовольственного рынка страны, а также обеспечения ее продовольственной безопасности. Увеличение производства зерна должно решаться не только повышением валового сбора урожая зерновых, но и обеспечением качества зерна. Особое значение в улучшении качества зерна и сохранности значительного его объема играет технология предварительной обработки зернового материала (ПОЗ), которая в природно-климатических зонах с повышенным увлажнением является одним из проблемных звеньев.

Значительная часть зерноприемников, бункеров, машин для предварительной очистки зернового материала и вспомогательного технологического оборудования зернопунктов в АПК устарела как физически, так и морально, имеет во многих случаях, несогласованные значения емкости, производительности, расхода энергии и других технико-экономических показателей, не удовлетворяющих существующим условиям и требуемым характеристикам.

подавляющее большинство технологических процессов в сельском хозяйстве осуществляется с использованием приемно-накопительных устройств. Вопросы совмещения дополнительных функций с основными (прием, размещение, компенсация неравномерности поступления) зерноочистительно-сушильных комплексов (ЗОСК) в настоящее время не изучены. Для зернопунктов, функционирующих в условиях повышенной влажности, решение данной проблемы позволит значительно улучшить условия работы основных машин (зерносушилок и зерноочистительных устройств) за счет улучшения сыпучести, повышения скважистости.

Поэтому разработка научно обоснованной технологии обработки и применения зерноприёмников активного типа (ЗПАТ) в приемном отделении ЗОСК в качестве основы для повышения эффективности ПОЗ представляет перспективное направление экономии топливно-энергетических ресурсов и приобретает в настоящее время особую актуальность.

Работа выполнена в соответствии с межведомственной координационной программой приоритетных фундаментальных и прикладных исследований по научному обеспечению развития АПК РФ на 2006–2010 гг., координационным планом НИР СО РАСХН на 2006–2010 гг. и КрасГАУ на 2006–2009 гг. по проблеме совершенствования технологий и средств механизации послеуборочной обработки зерна.

Цель работы. Повышение эффективности приёма и предварительной подработки зерна с использованием приёмников активного типа для снижения энергозатрат зерноочистительно-сушильных комплексов в условиях хозяйств Красноярского края.

Для реализации цели работы были поставлены следующие задачи:

- провести анализ современного состояния по использованию средств механизации приёмного отделения ЗОСК и выявить основные направления совершенствования ПОЗ с учётом влияния природно-климатических условий Красноярского края;
- разработать структуру имитационной модели приёмного отделения ЗОСК сельскохозяйственного назначения и методику ее построения с учетом условий и характера функционирования ЗПАТ;
- разработать программу и методику проведения экспериментальных исследований для идентификации модельных коэффициентов и определения оптимальных режимных параметров зерноприёмника активного типа (ЗПАТ) в исследуемом диапазоне условий функционирования;
- исследовать параметры и режимы работы ЗПАТ на основе практически обоснованных имитационных моделей;
- оценить технико-экономическую эффективность применения зерноприёмников активного типа.

Объект исследований. Технология приёма, размещения и временного хранения зернового материала, поступающего на обработку в ЗОСК сельскохозяйственного назначения.

Предмет исследований. Закономерности процессов поступления зернового материала и его предварительной подработки в приёмном отделении ЗОСК.

Методы исследований. В теоретических исследованиях применены методы системного анализа, имитационного моделирования, математической статистики, статистической динамики.

При проведении экспериментальных исследований за основу были приняты методики проведения опытов и испытаний зерносушилок, государственные и отраслевые стандарты, требования и нормы метрологии, контроля качества технологических процессов, планирования экспериментов, теории подобия и моделирования.

Научную новизну представляют математические модели и результаты экспериментальных исследований процессов поступления зернового материала, предварительной подработки его в приёмном отделении активного типа с воздушной системой для отделения лёгких примесей, подсушки и накопления перед сушильным отделением ЗОСК.

Практическая значимость работы. Выполнена оценка влияния конструкций приёмных устройств на работу ЗОСК. Предложены конструкции зерноприёмных устройств и технологическая схема предварительной обработки материала в приёмном отделении, позволяющие повысить эффективность работы основных зерноочистительных и зерносушильных машин.

Реализация результатов исследований. Полученные результаты были приняты к использованию в хозяйствах ООО «Чистые пруды» Балахтинского района Красноярского края и КООПхоз им. Кутузова Тяжинского района Кемеровской области, а также используются в учебном процессе ФГОУ ВПО «КрасГАУ» при подготовке студентов агроинженерных специальностей.

На защиту выносятся:

- имитационные математические модели процессов поступления зернового материала на ЗОСК;
- методики исследования глубины эффективного влагосъёма в неподвижном зерновом слое и его теплопроводности;
- конструктивно-технологическая схема зерновых приёмников, осуществляющих активное вентилирование, подсушку и предварительную очистку материала;
- параметры и режимы работы зерноприёмника активного типа;
- результаты сравнительных исследований приёмного отделения ЗОСК, работающего по базовой и усовершенствованной технологиям.

Достоверность основных положений, выводов и рекомендаций подтверждается сходимостью результатов теоретических и экспериментальных исследований, а также испытаний разработанных технологий, режимов и процессов предварительной обработки зерна.

Апробация работы. Основные результаты исследований доложены и одобрены на всероссийских и региональных научно-технических конференциях в Красноярском ГАУ (2006–2010); региональных конференциях молодых ученых и аспирантов Ачинского филиала КрасГАУ (2005–2007); всероссийской научно-практической конференции в СибИМЭ (Новосибирск, 2008).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 14 печатных работ, в том числе 3 статьи в издании, рекомендованном ВАК для публикации материалов диссертаций.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов по работе, списка литературы, приложений. Работа изложена на 150 страницах,

содержит 45 рисунков, 14 таблиц и 6 приложений. Библиографический список включает 104 литературных источника, в том числе 5 на иностранном языке.

Личный вклад. Результаты лабораторных и производственных исследований, представленные в диссертации, получены автором лично. Вклад автора в работы, выполненные в соавторстве, заключается в обсуждениях и постановке задач на этапах научной работы, анализе и оформлении полученных результатов.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана характеристика проблемы, показана ее актуальность, сформулированы цели и задачи, приведены основные выводы работы.

В главе 1 «Анализ современного состояния средств механизации приёмного отделения зерноочистительно-сушильных комплексов» представлена характеристика природно-климатических и технико-экономических условий хозяйств Красноярского края и их влияния на выбор параметров технологии обработки зерна; проведён анализ конструкторско-технологических схем существующих зерновых приемников.

Изучение вопроса о совершенствовании процесса обработки зерна на основе аналитических методов отражено в работах ученых Э.В. Жалнина, Н.М. Иванова, В.А. Резчикова, Н.В. Цугленка, А.Г. Чижикова, Э.И. Липковича, С.К. Манасяна, Г.С. Окуня, А.В. Авдеева, Н.М. Андрианова, В.И. Анискина, В.Д. Галкина, Т.Н. Бастрон, Л.В. Колесова, В.А. Кубышева, А.Б. Лурье, А.В. Лыкова, Ф.Н. Эрка и др.

При повышенных значениях исходной влажности и засорённости лёгкими примесями при современном уровне уборочно-транспортного комплекса (УТК) в условиях неравномерности поступления зернового вороха применяемые технологические линии не предусматривают операций (рис. 1) предварительной подработки (подсушивания и очистки от лёгких примесей) на стадии приёма. Разработанная на кафедре СХиММ КрасГАУ технология активного вентилирования предусматривает использование процесса первичной очистки в зерноочистительной машине, что приводит к увеличению удельных затрат.

Главной причиной ухудшения качества и даже порчи зерна является влага, содержащаяся в зерне сверх равновесной, – активная влага. При временном хранении материала влажностью более 21 % и засоренностью более 5 % в приемниках без перемешивания и продувки происходит перераспределение влаги с примесей имеющих, как правило, значительно большую влажность, на зерновки, что вызывает увеличение влажности всей массы.

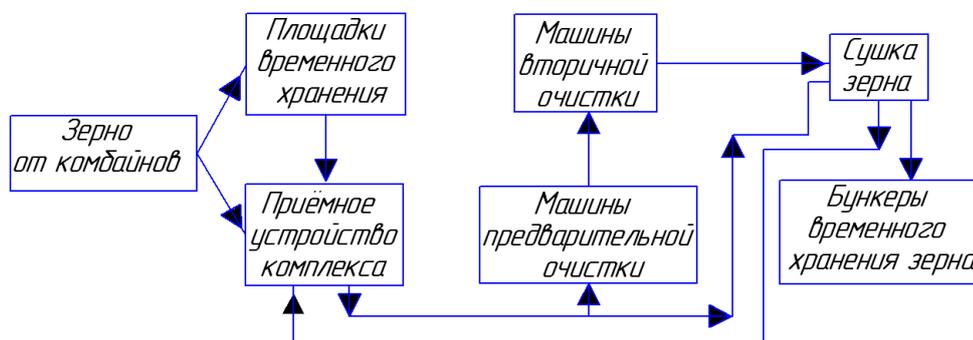


Рисунок 1 – Упрощенная схема послеуборочной обработки зерна

Процесс предварительной очистки (до сушки) влажного материала с использованием плоских решёт малоэффективен при влажности 21...25 % и неэффективен при влажности 25...35 %. При этом процесс очистки тормозится наличием поверхностной влаги. Её необходимо удалять на этапе приёма при

совмещении технологического процесса приёма и размещения зернового вороха с его подсушиванием и предварительной очисткой. Учитывая, что поступающий на ЗОСК материал (при современных требованиях и уровне организации УТП) находится в очереди на обработку в течение большого времени, становится очевидным, что основной и наиболее эффективный способ удаления излишней влаги из зерна – сушка – нуждается в дополнении посредством вспомогательной технологической операции – подсушивания зерна на этапе приёма.

При разработке технологической схемы приемного отделения и выборе параметров приемника необходимо учитывать большое число факторов, основными из которых являются урожайность и число культур, обрабатываемых на зернопункте, их физико-механические свойства и т.д.

В главе 2 «Имитационное моделирование функционирования приёмного отделения зерноочистительно-сушильных комплексов» для учета условий функционирования разработана логическая структура базы данных, которая физически была реализована для зернопунктов нескольких хозяйств Красноярского края. При этом теоретические исследования включали два этапа: 1. Имитационное моделирование условий функционирования зернопунктов. 2. Моделирование процессов вентилирования и подсушивания в ЗПАТ.

Разработана имитационная модель процесса поступления зернового вороха на ЗОСК, построены имитационные модели уборочной влажности и засорённости зерна и зернового вороха, объёмов, ритма и периодов поступления; обоснована структура моделей условий функционирования комплекса и его приемного отделения.

Условия функционирования процессов ПОЗ задаются валовым сбором зерна Q_c , продолжительностью поступления $N_{(C)}$, средней сезонной $W_{(C)}$ и суточной W_i , $i=1, N^{(C)}$ влажностью, средней суточной засорённостью ψ_i , интенсивностью поступления Q_i , неоднородностью зерна по спелости $v_i=(v_{1i}, v_{2i}, v_{3i})$. Между перечисленными характеристиками рассматриваемых процессов имеют место соотношения

$$Q^{(C)} = \sum_{i=1}^{N^{(C)}} Q_i = \sum_{i=1}^{N^{(C)}} \sum_{j=1}^3 v_{ji} Q_i = \left(\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^3 v_{ji} K_i^n \right) \frac{Q^{(C)}}{N}, Q_i = K_i^n \frac{Q^{(C)}}{N}, \sum_{i=1}^{N^{(C)}} \sum_{j=1}^3 v_{ji} = N^{(C)}, \sum_{i=1}^{N^{(C)}} K_i^n W_i = W^{(C)}, \quad (1)$$

а также нефункциональные связи, носящие вероятностный характер. С другой стороны, нетрудно проследить временные вероятностные закономерности, например, для Q_i . Поэтому в математическом описании были использованы случайные процессы и случайные величины, определена последовательность имитаций указанных величин, выделена величина, играющая роль связующего звена, с известным законом распределения (для упрощения модели и увеличения ее достоверности).

В основе предлагаемого общего подхода лежит введенный коэффициент условного накопления зерна перед сушкой K , характер распределения которого не зависит от указанных ситуаций (начальных условий модели):

$$K_{n,0} = 0, K_{n,i} = \begin{cases} 0, & K_{n,i-1} + K_i^n \leq 1; \\ K_{n,i-1} + K_i^n - 1, & K_{n,i-1} + K_i^n > 1. \end{cases} \quad i = \overline{1, N}. \quad (2)$$

Компоненты случайного вектора K_n могут быть представлены как реализация однотипных (сглаженных по сравнению с K_i^n) явлений, происходящих в i -й день после начала сезона уборки в предприятиях ПОЗ. Поэтому можно представить:

$$K_i^n \in \mathcal{N}(a_i, \sigma_i^2). \quad (3)$$

Важно отметить, что здесь, в отличие от K_c , имеет место определенная тенденция изменения параметров a_i, σ_i при изменении i от 1 до $N^{(n)}$:

$$a_i^{(K_H)} = a_0 + f_{(i)}(i-1), \quad \sigma_i^2 = \sigma_0^2 + d_{(i)}(i-1), \quad \text{sign } f_{(i)} = \begin{cases} 1, & i < n_1 \\ 0, & i = n_1 \\ -1, & i > n_1 \end{cases}, \quad n_1 = \left\lceil \frac{N^C}{2} \right\rceil, \quad d > 0. \quad (4)$$

Коэффициенты $f_{(i)}, d_{(i)}$ зависят от начальных условий (блок 0); возможно также их табличное задание. Значения K_c генерировали из обратного соотношения с использованием псевдослучайной величины $\eta \in \mathcal{P}(0,1)$. Значения остальных характеристик данных процессов имитируются с использованием полученных K_i^n . Например, параметры нормальных величин W_i :

$$a^{(W_i)} = \left\{ a_0^{(W^C)} - C_{(i)}(i-1) + \sum_{m=1}^N \sum_{j=1}^{i-1} A_{(m)} \cdot [1 - E(K_{i-j}^n \cdots K_{i-j-m}^n)] \right\}, \quad \delta^2 = \delta_0^2 + B_i E(K_i^n), \quad (5)$$

где A, B, C – коэффициенты, учитывающие влияние метеорологических условий на W , неравномерность созревания хлебов, постепенность созревания в процессе уборки для культуры в данной зоне.

Построенная имитационная модель оформлена в виде пакета программ, структура которых приведена на рис. 2. Полученная модель даёт возможность предопределить вероятные условия функционирования объектов. В связи с созданием ЗОСК новых типов и построением АСУ технологическими процессами ПОЗ, возникает необходимость в численном моделировании условий функционирования. При рассмотрении процессов ПОЗ во взаимодействии, без выделения какого-либо одного из этих процессов, стохастическая составляющая их математических моделей доминирует над детерминистической, которая в этом случае выражает не основные закономерности, а их тенденции.

Таким образом, для решения задачи моделирования используются связанные между собой вероятностный и описательный методы. Другая особенность предлагаемого подхода состоит в использовании случайных векторов.

Известные вероятностные имитационные модели функционирования ПОЗ основаны на представлении данных процессов и их количественных и качественных характеристик случайными величинами. Принимают, что те или другие процессы и их характеристики (например, поступление зернового материала, его влажность, засоренность и т.д.) распределены по нормальному закону или по какому-нибудь другому стандартному закону (например, поступление простейшим пуассоновским потоком). В случае если среднесезонные характеристики (случайные величины) хорошо подчиняются какому-нибудь стандартному закону распределения, его нельзя распространить на среднесуточные характеристики. Однако представление в виде случайной величины указанных процессов является очень сильной идеализацией действительных процессов ПОЗ.

Учитывая, что продолжительность поступления $N^{(c)}$ – небольшая величина (для одной культуры $N=5 \dots 20$, для всех культур $N=15 \dots 45$), можно предложить использовать N -мерные случайные величины при математическом (вероятностном) описании данных процессов. Таким образом, детерминистические составляющие заложены в вероятностную модель, придавая тем самым ей описательный характер.

Другими словами, нет необходимости описывать все процессы ПОЗ, а достаточно выделить основные (или искусственно построить связующую величину), подчиняющиеся стандартным законам распределения и выявить из большого числа взаимосвязей главные.

При таком подходе компоненты отдельных процессов (величин) могут оказаться как независимыми (например, ψ_i , $i=1,2,\dots,N$), так и зависимыми между собой (например, W_i).

В качестве начальных данных задаются следующие параметры: количество обрабатываемых культур, K ; коэффициент обеспеченности хозяйств уборочной техникой, K_y ; средняя продолжительность уборки в данном регионе, α^n ; средняя дисперсия продолжительности уборки, $\delta^{2(n)}$; коэффициент, учитывающий влияние обеспеченности хозяйства уборочной техникой на продолжительность уборки, K_{on} ; коэффициент, учитывающий постепенное созревание культуры в процессе уборки, K_a (мера изменения математического ожидания среднесуточной влажности); коэффициент, характеризующий неравномерность процесса созревания хлебов, K_δ (мера изменения дисперсии среднесуточной влажности); коэффициент, учитывающий влияние метеорологических условий, K_M .

Для имитационного моделирования основных показателей материала, поступающего на обработку, процесс имитации представлен в виде схемы, показанной на рис. 2.

В блоке 1.1 генерируется среднесезонная влажность зерна $W^{(c)}$, которая может быть описана нормальным законом распределения с $\alpha^W=26\%$, $\sigma^W=2,5-3,1$. Значения $\alpha^{(W)}$ и $\delta^{(W)}$ корректируются с учетом начальных данных сезона:

$$\alpha^{(W)} = K_M \alpha_o^{(W)}, \quad \delta^{2(W)} = K_\delta \cdot K_m^2 \cdot \delta_o^{2(W)}. \quad (6)$$

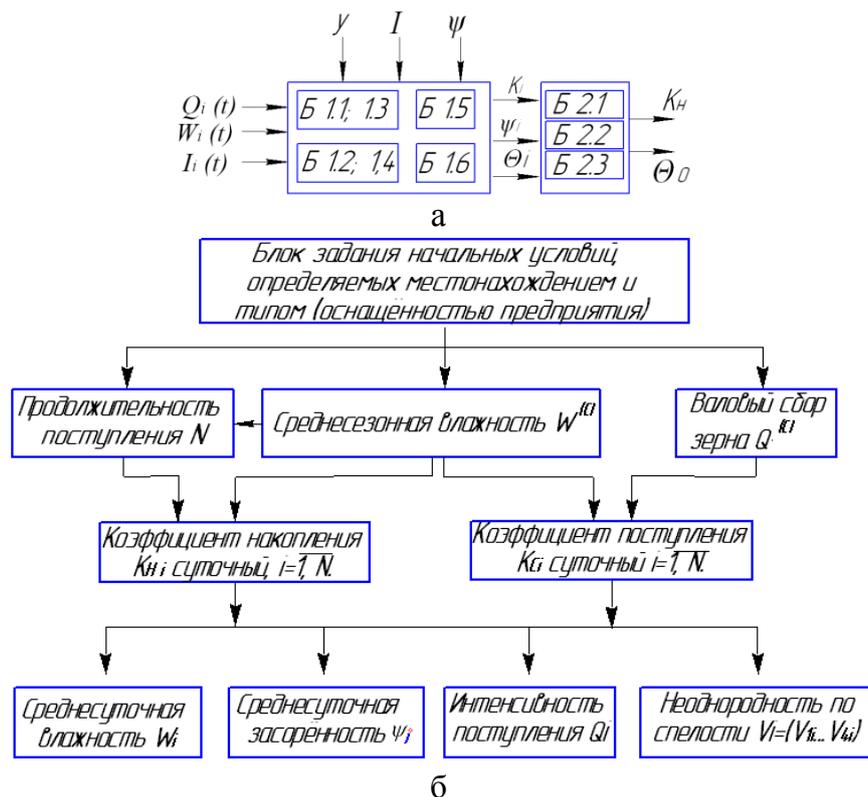


Рисунок 2 – Схема имитации (путём генерирования случайных величин с заданием параметров) характеристик процесса поступления зернового вороха на ЗОСК: а – обобщённая схема системы математических моделей; б – схема имитационной модели подсистемы 1.1 – 1.6

В блоке 1.2 производится имитация числа N дней уборки в сезоне (продолжительность поступления), как реализация нормально распределенной случайной величины $N(\alpha, \delta^2)$, причем параметры α и δ зависят от сгенерированного в блоке 1.1 значения W , а также от коэффициентов K_y и K_{on} .

$$\alpha^{(N)} = \alpha^n - (K_y - 1)K_{0n}, \quad \delta^{2(N)} = \delta^{2n} - (K - 1)K_{0n}^2. \quad (7)$$

В блоке 1.3 генерируются величины W_1, W_2, \dots, W_N , каждая из которых распределена по нормальному закону с параметрами $(\alpha_i$ и $\delta_i)$, где

$$\alpha_i^{(W)} = \left\{ \alpha_0 - K_\alpha(i)(i-1) + \sum_{m=1}^n \sum_{j=1}^{i-1} K_M^{m \times} [1 - E(K_{c,i-j} K_{c,i-j-1} \dots K_{c,i-j-m})] \right\} \cdot E(K_{c,i}), \quad (8)$$

$$\delta_i^{(W)} = [\delta_0 + K_\delta(i)] \cdot E(K_{c,i}), \quad K_\alpha(i) > 0, \quad E(x) = \begin{cases} 0, & x \leq 0 \\ 1, & x > 0 \end{cases}. \quad (9)$$

В блоке 1.4 происходит последовательное вычисление значений $K_{C1}, K_{C2}, \dots, K_{CN}$, коэффициента суточной неравномерности поступления зерна и Q_1, Q_2, \dots, Q_N – интенсивности поступления по дням на основе генерируемых в подблоках 1.4.1; 1.4.2 и 1.4.3 значений коэффициента суточного накопления $K_{H1}, K_{H2}, \dots, K_{HN}$ в соответствии с алгоритмом:

1.4.1. Генерация K_{Hi} :

а) вычисление $\alpha_i^{(Kh)}, \delta_i^{(Kh)}$;

б) датчик $N(\alpha_i, \delta_i^2)$;

в) преобразование $K_{Hi} = \chi(K_{Hi})$;

г) проверка условия $K_{H,i-1} - K_{Hi} \leq 1$.

1.4.2. Вычисление K_{ci} .

1.4.3. Вычисление $Q_i = \frac{Q}{N}$, $\bar{Q} = \sum_{i=1}^N Q_i$.

В блоке 1.5 имитируется значение среднесуточной засоренности ψ по дням. Величины $\psi_i, i=1$ распределены по нормальному закону с параметрами $(\alpha_i^{(\psi)}, \delta_i^{(W_i)})$, зависящими от значений W_i , сгенерированных в блоке 1.3:

$$\alpha_i^{(\psi)} = K_M \cdot \alpha_i^{(W_i)}, \quad \delta_i^{(\psi)} = K \delta_i^{(W_i)}. \quad (10)$$

В блоке 1.6 на основе выходных данных блоков 1.4 и 1.5 и вычисления весовых коэффициентов для различных степеней спелости P_1, P_2, P_3 генерируется постепенное перераспределение значений ν_1, ν_2, ν_3 .

При проведении теоретических исследований и построения модели процессов воздухораспределения были использованы основы теории, позволяющей проводить расчет значений основных параметров многофункциональных зерновых приемников и других устройств, функционирующих в составе приемного отделения зернопунктов.

В современной практике применяют достаточное количество зерноприемников различного конструктивного исполнения. Однако до настоящего времени не разработана классификация данных устройств, за исключением работы ВИМ (авторы В.И. Анишкин и др.), в которой использован единственный классификационный признак – схема продувки.

Все приемные устройства можно классифицировать по нескольким признакам.

По назначению: для консервации зерна охлаждением; универсальные; аэрационные; с фракционированием; с подсушиванием; многоцелевые.

По способу подвода воздушного потока в зерновую массу: с вертикальным односторонним; с горизонтальным радиальным (одно- и двухсторонним); с горизонтальным поперечным; со смешанным.

По типу воздушной системы: с аэрожелобами, коробами или каналами; с перфорированным полом; с жалюзийными стенками; с перфорированными центральными и наружными цилиндрами.

По конструктивному оформлению камеры: бескамерные; завальные ямы; камерные.

По типу разгрузочных устройств: саморазгружающиеся; с пневмовыгрузными устройствами; со шнековыми разгрузчиками.

В соответствии с родом граничных условий предложена классификация воздушных систем зерноприемников (см. рис. 3–5).

Схемы воздушной системы зерноприемников с перфорированными и жалюзийными стенками могут иметь следующие виды:

- радиальные (центральная) (рис. 3);
- поперечные (рис. 4);
- активные (рис. 5).

В зависимости от схемы нами выделено два типа систем воздухораспределения: первого типа (рис. 3–4) и второго типа (рис. 5). Несмотря на то, что каждый из этих типов может быть подразделён на подклассы, принципиальный подход к постановке и решению задач аэродинамики и тепловлагопереноса для соответствующих подсхем остается без существенных изменений.

Простой технологической линии ПОЗ, обусловленные зерноприемником, в основном вызваны неправильной работой его выгрузной системы, отсутствием или несовершенством воздушной системы, а также выбором параметров размера, угла наклона стенок, внутриконструкционных устройств и их несоответствием виду обрабатываемого материала.

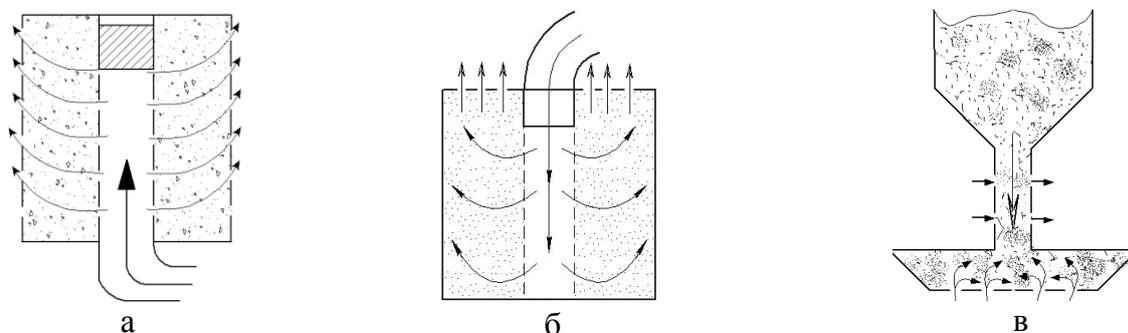


Рисунок 3 – Схемы радиального воздухораспределения: а – с двумя перфорированными цилиндрами; б – со сплошным наружным цилиндром; в – с аэроизгрузочной камерой

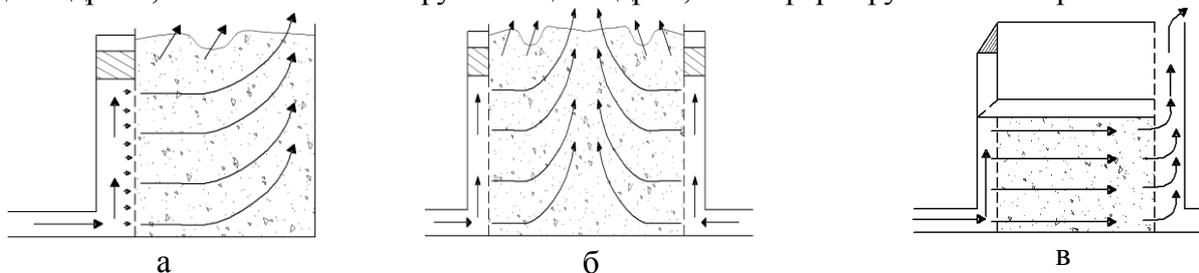


Рисунок 4 – Схемы поперечного воздухораспределения: а – односторонняя; б – двухсторонняя (симметричная); в – поперечно-продольная

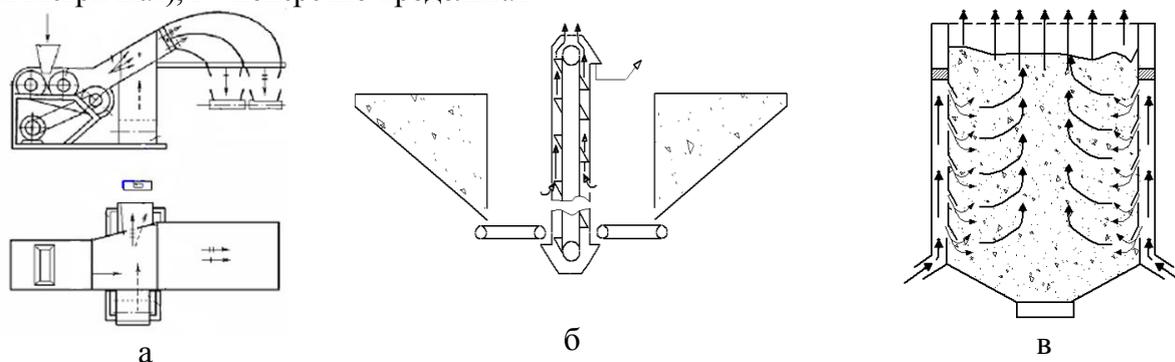


Рисунок 5 – Схемы с активным (направленным) использованием воздушного потока: а – при фракционировании зерна; б – при транспортировании; в – при подсушивании

До настоящего времени не существует теории, системно учитывающей все группы отрицательных факторов. При этом приемное отделение и, в частности, зерноприемник, остается наименее технически отработанным звеном в ЗОСК. На основе принятой схемы проведения исследования на данном этапе были использованы три взаимосвязанные подмодели:

- определение необходимого расхода воздуха (блок 2.1);
- определение распределения воздушного потока (блок 2.2);
- определение температурного и влажностного полей материала (блок 2.3).

Производительность и эффективность работы зерноприемника зависит от движения воздушных потоков в зерновых слоях; важное значение приобретает разработка метода расчёта аэродинамики (поле скоростей воздушного потока) и динамики тепло-влажнопереноса.

Теоретические исследования включали расчёт следующих параметров: необходимого количества воздуха; оптимального расхода воздуха; неравномерности распределения полей давления воздуха; температуры и влажности зерна; температуры и относительной влажности воздуха при вентилировании и подсушке.

Исследование основных закономерностей распределения воздуха в плотном зерновом слое дало возможность определить поле скоростей, общее аэродинамическое сопротивление, а также равномерность параметров зернового материала.

Для обеспечения достаточной адекватности теории (и, в частности, формулы, выражающей общее аэродинамическое сопротивление зерноприемника), а также для анализа равномерности параметров подрабатываемого материала, приходится использовать значительное число опытных данных, характеризующихся сложным пространственным движением воздуха в зерновом слое, ставить сложные аналитические задачи, использовать сложные расчёты.

Трудность при аналитическом решении данного класса задач связана с необходимостью задания разрывных краевых условий на одной из границ контура области определения искомой функции (давление, скорость; влажность, температура; засоренность по отдельным группам примесей). На одной части границы задаётся ее значение (граничные условия первого рода), а на другой – для производной данной функции (граничные условия второго рода). При этом возникает необходимость задания условий согласования между ними на границе между двумя участками области (эта граница соответствует воздухопроводящему каналу устройства). Краевые задачи с такими смешанными граничными условиями представляют значительную сложность, потому что непосредственное применение метода разделения переменных не позволяет получить их решение, так как невозможно, чтобы одна непрерывная функция удовлетворяла двум различным граничным условиям при фиксированном значении координаты.

Построение модели проводили на основе схемы, разработанной на кафедре «Сельскохозяйственные и мелиоративные машины» д.т.н. Н.В. Цугленком и д.т.н. С.К. Манасяном.

Блок 2.1. Для расчёта необходимого расхода воздуха используем следующие балансовые соотношения:

$$c_3 G_3 (\Theta_\tau - \Theta_0) = V_\tau (T_\tau - T_0) c_T, V_\tau = Q \cdot \tau \quad (11)$$

$$Q = \frac{c_3 G_3 (\Theta_\tau - \Theta_0)}{c_T \tau (T_\tau - T_0)}, \quad \frac{\Theta_\tau - \Theta_0}{\tau} = \frac{c_T}{c_3} \cdot \frac{Q}{G_3} \cdot \frac{T_\tau - T_0}{\tau} \quad (12)$$

На основе формулы (12) с учётом очевидного неравенства $(\Theta_\tau - \Theta_0) \leq (T_\tau - T_0)$ были получены расчётные соотношения для объёма и расхода воздушного потока:

$$V_\tau \geq G_3 \frac{c_3}{c_T}, q \geq \frac{c_3}{c_T \tau} \quad (13)$$

и для оценки изменения температуры и влажности зерна (при $\Delta W < 4 \text{ \%}/\text{ч}$):

$$\frac{d\Theta}{dt} = k_{\Theta}(w) \frac{dT}{dt}, \quad k_{\Theta}(w) = \frac{c_T Q}{c_3(w) G_3}, \quad \frac{dW}{dt} = -k_w w \Theta. \quad (14)$$

Блок 2.1 даёт предварительные соотношения между основными показателями состояния зерна и воздушного потока, уточнение которых возможно на основе моделей блоков 2.2 и 2.3.

Блок 2.2. Поставим задачу разработки аэродинамической модели для воздухораспределителей активного типа, реализующих схему, представленную на рис. 5, в. Математическая формулировка задачи для данной схемы воздухораспределения следующая: найти в прямоугольнике $x \in (x_0; X)$, $y \in (0; H)$ решение уравнения:

$$\frac{\partial^2 P(x, y)}{\partial x^2} + \frac{1}{x} \frac{\partial P(x, y)}{\partial x} + \frac{\partial^2 P(x, y)}{\partial y^2} = 0 \quad (15)$$

при граничных условиях:

$$\left. \frac{\partial p}{\partial y} \right|_{y=0} = 0, \quad p \Big|_{y=H} = 0, \quad \left. \frac{\partial p}{\partial y} \right|_{y=y_0} = 0, \quad p \Big|_{y=y_0} = p_0. \quad (16)$$

При выводе модели были приняты следующие допущения и предложения: зерновая масса – изотропная среда; плотность воздуха в процессе продувки постоянная; плотность укладки зёрен одинаковая во всем объеме камеры; между скоростью воздуха v (v_r, v_z) и градиентом статического давления $grad P$ ($\partial P/\partial x, \partial P/\partial y$) справедлива линейная зависимость, в которой в качестве коэффициента пропорциональности выступает коэффициент фильтрации. Разделяя переменные $P(x, y) = P_x(x) \cdot P_y(y)$, получим два дифференциальных уравнения:

$$\frac{1}{R} \left(\frac{\partial^2 P_r}{\partial x^2} + \frac{1}{x} \frac{\partial P_r}{\partial x} \right) = \pm \delta^2, \quad -\frac{1}{H} \frac{\partial^2 P_y}{\partial y^2} = \pm \delta^2, \quad (17)$$

решения которых представляются посредством функций Бесселя нулевого порядка J_0, Y_0

$$P_r = B_1 J_0(\delta x) + B_2 Y_0(\delta x), \quad P_y = C_1 \exp(-\delta y) + C_2 \exp(\delta y), \quad (18)$$

где C_1, C_2, B_1, B_2 – постоянные. Введя относительные величины $h/H = \bar{y}$, $x/X = \bar{x}$, которые могут рассматриваться как безразмерные критерии подобия (например, \bar{y} характеризует степень заполненности бункера зерновым материалом и определяется положением запорного поршня, перекрывающего часть воздухоподводящего канала высотой $(H - h)$), представим распределение воздушного потока в приёмном устройстве рассматриваемого типа в виде следующей формулы:

$$p(\bar{x}, \bar{y}) = \sum_{s=0}^{\infty} \bar{B}_s \left[K_0(\delta_s x) - \frac{K_0(\delta_s X)}{I_0(\delta_s X)} I_0(\delta_s x) \cos \pi \bar{y} \left(s + \frac{1}{2} \right) \right]. \quad (19)$$

Все введенные критерии принимают значения в интервале от 0 до 1, причём крайние величины (0 и 1) представляют собой граничные условия (для \bar{x} и \bar{y}) или предельные условия (для \bar{h}). Наиболее часто встречающиеся на практике значения для \bar{h} лежат в пределах $0,7 \div 0,9$, поэтому при расчётах брали три уровня этого параметра: $\bar{h} = 0,75$; $\bar{h} = 0,80$; $\bar{h} = 0,85$.

Блок 2.3. Модели воздухораспределения и тепловлагодпереноса в разработанном приёмном устройстве:

$$grad w = -\frac{\rho_e}{10\rho} grad D, \quad \frac{d\omega}{dt} = -K_{\beta} \omega \Theta + K_{\alpha}^c (K_{\beta} \omega \Theta + 1)(T - \Theta); \quad (20)$$

$$\text{grad } \Theta = -\frac{r}{100c} J(\omega, \Theta) + K_\alpha^c (1 + K_\alpha^v J(\omega, \Theta))(T - \Theta), \quad \frac{d\Theta}{dt} = K_\alpha^c (1 + K_\alpha^v K_\beta \omega \Theta)(T - \Theta) - \frac{r}{100c} K_\beta \omega \Theta; \quad (21)$$

$$\text{grad } T = -\frac{(1-\varepsilon)m\rho}{R\varepsilon\rho_T c_T} K_\alpha^c (1 + K_\alpha^v)(T - \Theta), \quad \frac{dT}{dt} = -aK_\alpha^c (1 + K_\alpha^v)(T - \Theta); \quad (22)$$

$$\text{grad } D = \frac{10\rho}{\varepsilon\rho_T} J(\omega, \Theta), \quad \frac{dD}{dt} = bK_\beta \omega \Theta. \quad (23)$$

На основе полученных моделей реализованы алгоритмы и методы определения параметров разработанных устройств и оценки адекватности имитационных моделей. Проведена идентификация процессов подсушивания зерна, воздухораспределения и предварительной очистки от лёгких примесей в ЗПАТ, которая позволила настроить модели Б 2.1 и Б 2.2 (см. рис. 2) на конкретные параметры зернового материала и приемного устройства путём определения значений модельных коэффициентов. Математическая композиция моделей Б 2.1–2.2 с начальными условиями в виде моделей Б 1.1–1.4 дала возможность идентифицировать многофункциональный процесс ЗПАТ в составе предлагаемой технологической схемы ПОЗ.

В главе 3 «Программа и методика экспериментальных исследований процессов подработки зерна в приёмниках активного типа» изложены методы, задачи и основные результаты проведенных экспериментальных исследований.

Целью экспериментальных исследований являлось:

- проверка применимости разработанных теоретических моделей и настройка этих моделей для предлагаемых условий, конструкций зерноприёмников и технологических схем приёмного отделения;
- определение рациональной конструктивной схемы воздухораспределения в ЗПАТ и обоснование конструктивно-технологических параметров предлагаемой схемы рассматриваемого устройства и технолого-эксплуатационных параметров приёмного отделения.

Программа проведения экспериментальных исследований включала два этапа. Первый этап предусматривал проведение пассивных и активных наблюдений процессов поступления, приёма и ПОЗ. На втором этапе проводились активные опыты на лабораторной установке (рис. 6). План опытов по схеме ПФЭ 2⁴ представлен на рис. 7.

Многократная прогонка моделей Б1 с использованием независимых датчиков нормальных случайных величин и результатами первого этапа экспериментов, сопоставление результатов с идентичными характеристиками за 2007–2010 годы показали, что предложенная модель достаточно хорошо имитирует действительные процессы ПОЗ. Значения среднеквадратичных абсолютных погрешностей ($\delta_W=3,2\%$, $\delta_\psi=2,4\%$, $\delta_Q=21,7\%$, $\delta_v=0,7=\sum_{i=1}^3 \delta_{v_i}$) соизмеримы со значениями среднеквадратичных отклонений соответствующих нормальных случайных величин $\delta_A \ll 3 \delta_A^{\text{эм}}$,

где $\delta_A^{\text{эм}}$ – среднеквадратическое отклонение экспериментального значения соответствующей характеристики условий функционирования ЗОСК в течение сезона.

Сравнение полученных результатов с реальными показало, что при использовании в блоке начальных данных массивов характеристик для конкретного предприятия за предыдущие годы могут быть уточнены значения коэффициентов модели k_M , k_3 , k_y , соответствие данной зоне и обеспеченность хозяйст-

ва оборудованием и техникой для решения задачи прогнозирования характеристик исследуемых процессов.

Во второй группе первого этапа производилось измерение следующих параметров: температура, влажность и засорённость зернового материала на входе и выходе ЗПАТ, давление, скорость и влагосодержание воздушного потока; температура и относительная влажность наружного воздуха, влагосъём. Полученные данные по распределению давления по вертикальным и горизонтальным сечениям приёмного устройства статистически несущественно отличаются (с доверительной вероятностью 0,9) от расчётных теоретических значений.

В первой группе второго этапа проводили активные эксперименты по плану ПФЭ 2^4 (рис. 7) на лабораторной установке, представленной на рис. 6, результаты которых приведены на рис. 8.

Программа проведения экспериментальных исследований предусматривала реализацию сочетаний четырёх факторов, каждый из которых варьировался на двух уровнях (минимальный, максимальный), – засорённость зерна (x_1), температура теплоносителя на входе (x_2), влажность зерна (x_3), температура зерна (x_4).

Во второй группе второго этапа экспериментов проводили определение теплопроводности зернового слоя с целью обоснования величины допустимого теплового потока с использованием цилиндрического зонда нестационарного теплового потока и на основе закона Фурье: $q = -\lambda \text{ grad } \Theta$.

Лабораторная установка содержит следующую аппаратуру: прибор ИТФХЗВ, погрешность которого не превышает 5 %. Время теплового воздействия 4–5 мин, чувствительность прибора по температуре 1°C . Измерительный блок объединяет стабилизированные источники мостовой измерительной системы и подогревной обмотки зонда. Кроме того, в состав прибора входят измерительная схема и усилитель. Для проведения опытов по были взяты 6 образцов по каждой культуре с влажностью от 10 до 35 %. По каждой культуре приготовили по одиннадцать образцов с влажностью от 10 до 35 %. Некоторые результаты представлены на рис. 9–10.

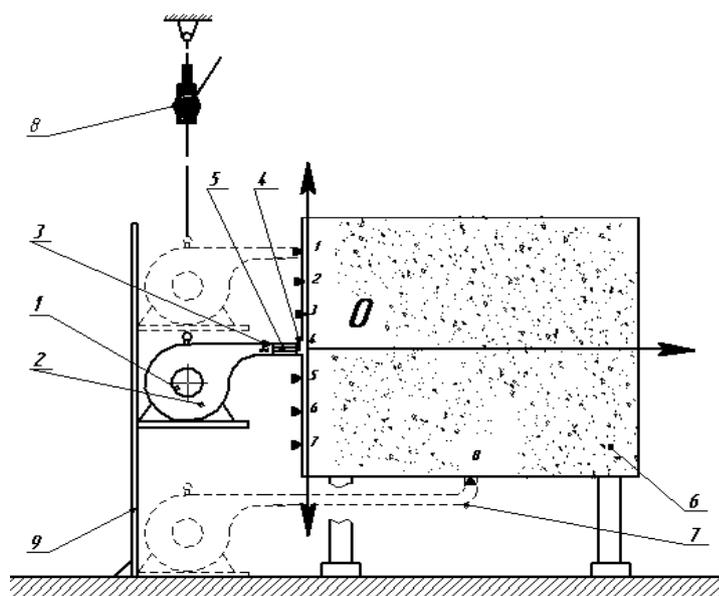


Рисунок 6 – Схема лабораторной установки:

- 1 – электродвигатель;
- 2 – центробежный вентилятор;
- 3 – анемометр крыльчатый АСО-3;
- 4 – термометр;
- 5 – электрический нагреватель;
- 6 – ёмкость с зерном;
- 7 – термоизолированный гибкий патрубок;
- 8 – ручная лебёдка;
- 9 – направляющая штанга

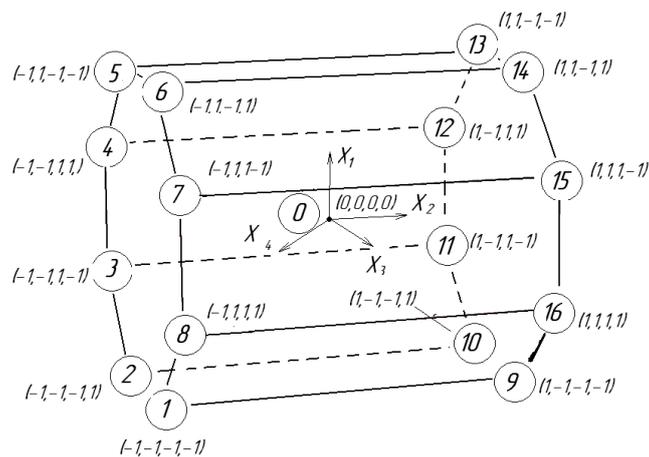


Рисунок 7 – Схематическое представление плана ПФЭ 2 ⁴

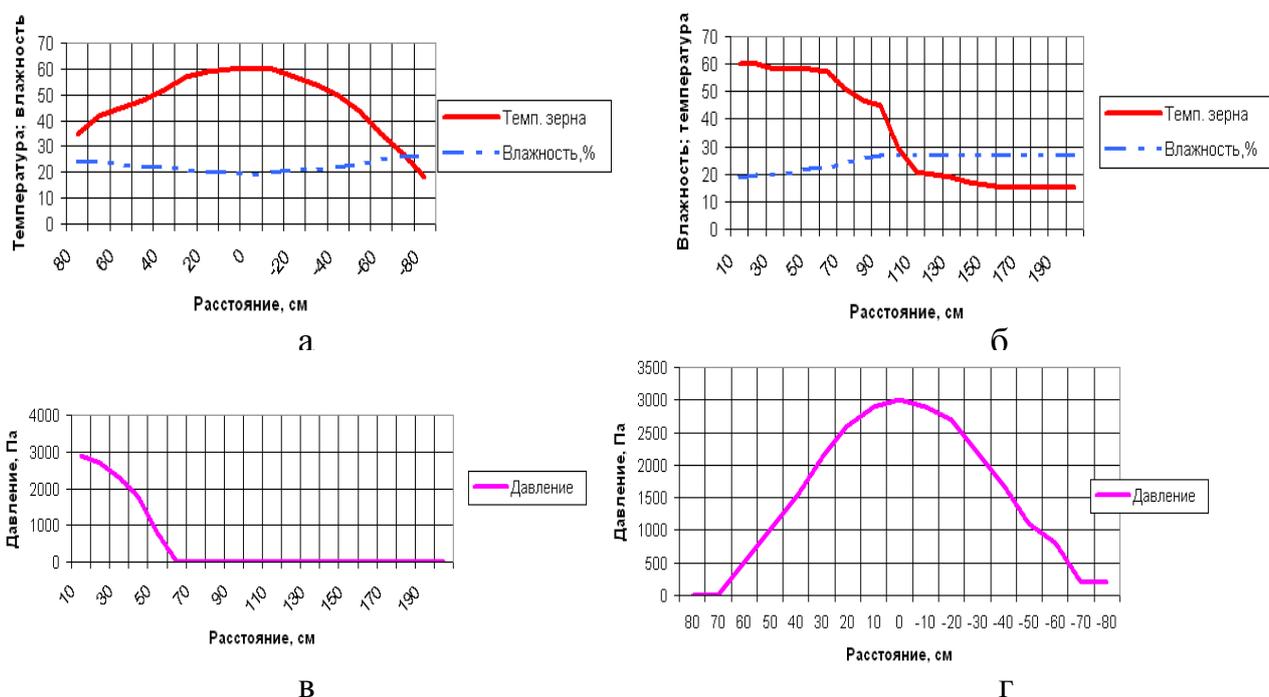


Рисунок 8 – Графики распределения температуры, влажности зерна и давления воздушного потока: а – распределение температуры и влажности в поперечном вертикальном направлении; б – распределение давления в продольном направлении; в – распределение температуры и влажности зерна в продольном направлении; г – распределение давления в поперечном направлении

Характер изменения теплопроводности можно объяснить различными формами связи влаги с материалом. При влажности зерна до 30 % влага заполняет мелкие поры и после их насыщения переходит в межзерновое пространство; при этом λ меньше, так как в поры материала вместо воды входит воздух, теплопроводность которого значительно меньше, чем жидкости. У материала с высокой влажностью при наличии активной влаги на поверхности зерновок происходит резкое увеличение λ за счет поверхностной влаги, так как влага выступает на поверхность отдельных зерен и образует водяные тепловые «мостики» в местах контакта частиц материала (верхняя правая часть кривой 2 на рис.10), а в случае, когда зерно отлежалось и влага перешла в более связанное состояние, происходит уменьшение теплопроводности (кривая 2 нижняя правая часть кривой).

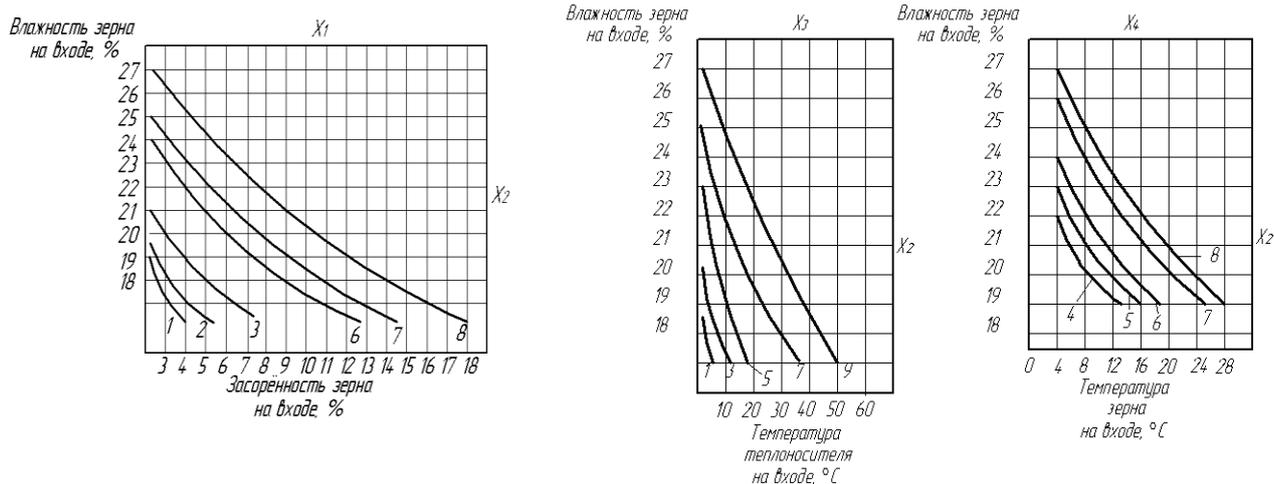


Рисунок 9 – Зависимость величины влагосъёма от характеристик теплоносителя и зернового вороха: 1 – $\Delta w = 1$ %; 2 – $\Delta w = 1,5$ %; 3 – $\Delta w = 2$ %; 4 – $\Delta w = 2,5$ %; 5 – $\Delta w = 3$ %; 6 – $\Delta w = 3,5$ %; 7 – $\Delta w = 4$ %; 8 – $\Delta w = 4,5$ %; 9 – $\Delta w = 5$ %

Вследствие низкой теплопроводности теплота в зерновой массе задерживается в тонком слое, контактирующем с агентом сушки. При этом зерно быстро перегревается, что приводит к ухудшению его качеств. Это обстоятельство сильно затрудняет основной процесс высокотемпературной сушки, поэтому ещё более повышается актуальность, целесообразность и эффективность подсушивания в зерновых приёмниках.

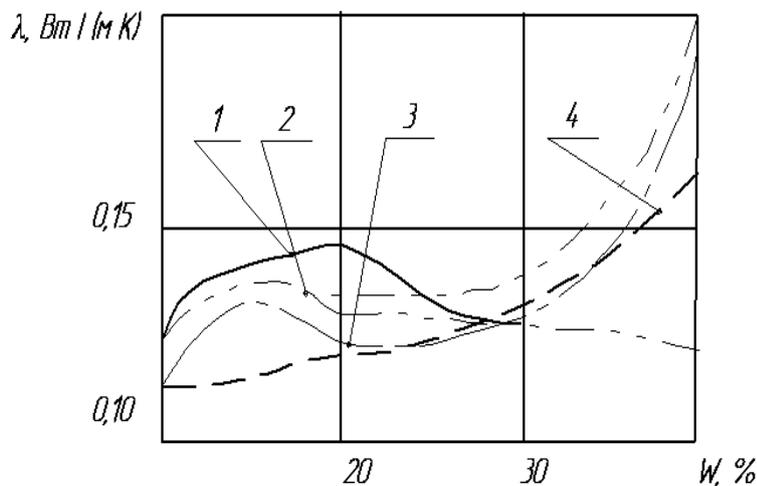


Рисунок 10 – Зависимость теплопроводности зернового слоя от влажности (при температуре 25°С):

- 1 – пшеница;
- 2 – ячмень (с отлёживанием);
- 3 – овёс;
- 4 – рожь

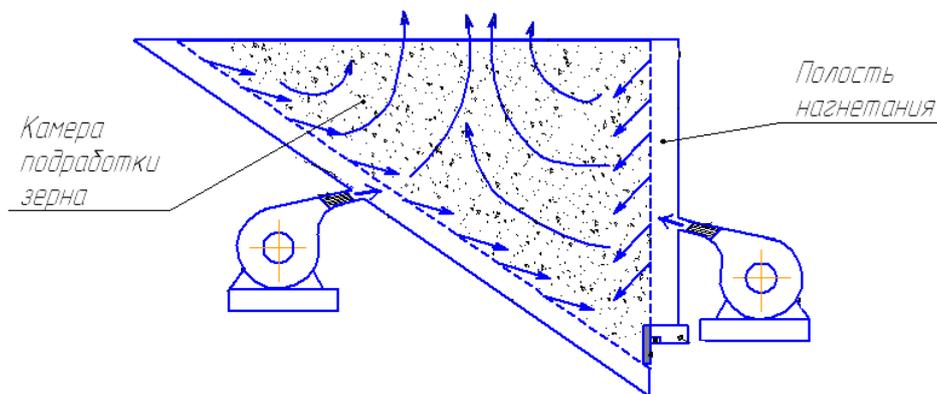


Рисунок 11 – Схема воздухораспределения в предлагаемом устройстве

В результате реализации плана эксперимента ПФЭ для разработанного комбинированного зерноприемника активного типа (рис. 11) была построена вход-выходная модель предварительной обработки зернового вороха в ЗПАТ. Статистическая оценка результатов моделирования показала, что значимыми с доверительной вероятностью 0,95 являются факторные переменные x_1, x_2, x_3, x_4 , в то время как эффекты парных взаимодействий факторов x_1 и x_2, x_1 и x_3, x_2 и x_3, x_1 и x_4 – значимы только на уровне 0,80; результаты взаимодействия (совместного действия) всех остальных пар факторов статистически незначимы. Поэтому была принята линейная регрессия:

$$Y1 = -0,661 x_1 + 0,327 x_2 + 1,296 x_3 + 0,302 x_4 + 2,115; \quad (24)$$

$$Y2 = -0,238 x_1 + 0,167 x_2 + 1,641 x_3 + 0,490 x_4 + 3,319. \quad (25)$$

С учётом того, что расчётные значения критерия Фишера (с вероятностью 0,95) меньше табличного при числе степеней свободы $K=N-m$ ($N=16, m=9$),

$$F^{расч} = 2,49; \quad F_{0,95;16;9}^{крит} = 3,09; \quad F^{расч} < F_{0,95}^{крит}.$$

Полученные регрессионные уравнение адекватно представляет рабочий процесс подсушивания в ЗПАТ.

Наибольшее влияние на интенсивность влагосъёма оказывают засорённость зерна на входе, влажность зерна на входе и температура теплоносителя на входе.

В главе 4 «Практическое обоснование имитационных моделей и результаты исследования процессов предварительной обработки зернового материала» приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований по обоснованию режимов подработки зерна в ЗПАТ, дана оценка адекватности предлагаемых имитационных моделей, обоснована технологическая схема ЗОСК (рис. 12), использующего предложенные конструкции.

Обработка результатов экспериментальных исследований позволила идентифицировать математическую модель для предлагаемой конструкции ЗПАТ и представить её в следующем виде:

$$\frac{d\Theta}{dt} = 0,24(w) \frac{dT}{dt}, \quad \frac{dW}{dt} = -0,27 w \Theta. \quad (26)$$

В современных комплексах для ПОЗ очистка, сушка и сортирование производятся в виде отдельных технологических процессов, объединенных в единую поточную многомашинную систему.

На рисунке 13 представлена схема работы предлагаемого многофункционального приёмника. Данное устройство позволяет производить сортирование зернового вороха по аэродинамическим свойствам совместно с удалением поверхностной влаги.

В главе 5 «Технико-экономическая эффективность применения зерноприёмников активного типа» получены сравнительные показатели технологической эффективности комплекса КЗС-20Ш для ПОЗ с существующими (пассивными) и предлагаемым ЗПА (см. рис. 13).

При подработке зернового вороха на этапе приёма повысилась эффективность предварительной очистки (рис. 14), произошло снижение энергозатрат при сушке за счёт уменьшения содержания сорных примесей и числа пропусков через зерносушилку; производительность ЗОСК была приближена к номинальной при поступлении зернового вороха высокой влажности и засорённости.

Экономический эффект от предлагаемых технологий предварительной обработки зерна составляет 150–170 руб. на 1 пл. т обработанного материала (средневзвешенный показатель для семенного, продовольственного и фуражного зерна).

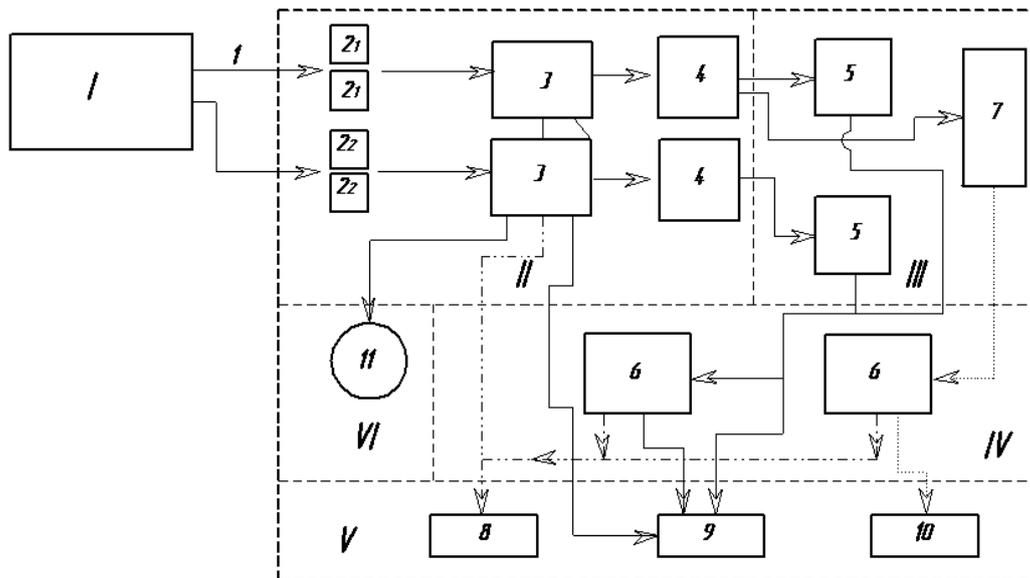


Рисунок 12 – Предлагаемая функционально-технологическая схема работы ZOСK: I – уборочно-транспортный комплекс; II – приёмное отделение; III – сушильное отделение; IV – очистительное отделение; V – склад; VI – отделение химического консервирования: 1 – транспорт; 2 – предлагаемый приёмник; 3 – ворохоочиститель; 4 – компенсирующие бункеры; 5,7 – зерносушилки; 6 – машины для вторичной очистки; 8 – бункер отходов; 9,10 – зернохранилища; 11 – установка для химического консервирования

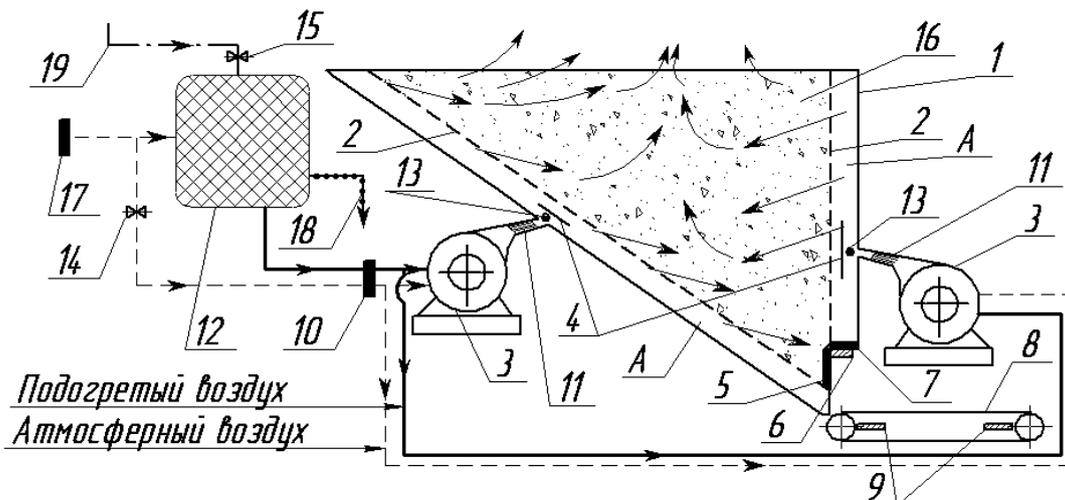
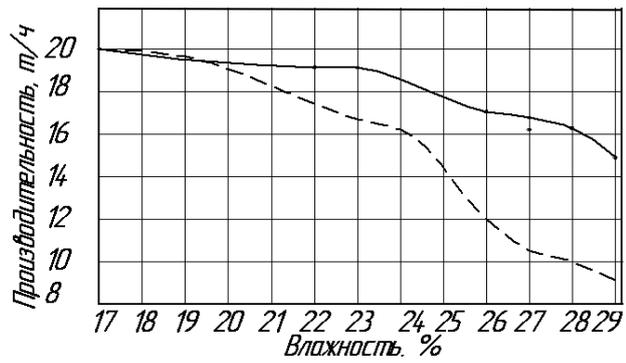
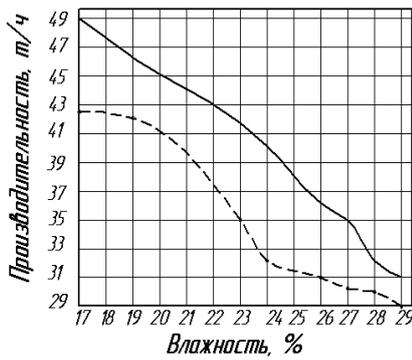


Рисунок 13 – Схема разработанного приёмного устройства с использованием теплообменника (Заявка № 2009136527/12 от 15.11.2009): 1 – корпус приёмного устройства; 2 – жалюзийные стенки; 3 – вентилятор; 4 – пластина распределительная; 5 – заслонка выпускного окна; 6 – датчик положения заслонки выпускного окна; 7 – привод заслонки выпускного окна; 8 – приёмный транспортёр; 9 – датчики угловых скоростей; 10 – первичный датчик температуры; 11 – электронагревательный элемент; 12 – теплообменник; 13 – контрольный датчик температуры; 14, 15 – электродвигатели; 16 – зерновой ворох; 17 – датчик температуры окружающей среды; 18 – охлаждённый отработанный агент сушки и конденсат; 19 – отработанный теплоноситель от зерносушилки

Результаты технико-экономического анализа предлагаемых конструкций зерноприемников и технологий их использования в составе приемных отделений ZOСK показали, что они позволяют улучшить показатели их по удельному расходу топлива на 25–27 %.



а

б

Рисунок 14 – Влияние зерноприёмника активного типа на производительность отделений ЗОСК: а – на предварительную очистку; б – на сушку зерна; ----- – базовый вариант; — — модернизированный вариант.

Автор выражает благодарность руководителю проблемы профессору Н.В. Цугленку и руководителю диссертационной работы С.К. Манасяну.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

1. Анализ современного состояния средств механизации приёмного отделения зерноочистительно-сушильных комплексов выявил несовершенство конструкций зерноприёмников и их несоответствие природно-климатическим условиям Красноярского края.

2. Разработанная имитационная модель функционирования зерноприёмников в составе приемных отделений зернопунктов и построенная модель воздухораспределения и тепловлагопереноса в ЗПАТ позволили выявить направления модернизации приёмного отделения ЗОСК (применение комбинированных многофункциональных зерноприёмников, производящих подсушивание и фракционирование) и определить рациональные параметры их работы (время экспозиции $\tau = 1 \dots 3$ ч в диапазоне температур теплоносителя $T = 30 \dots 60$ °С).

3. В результате реализации разработанной программы и методики экспериментальных исследований определены максимальные (эффективные) значения модельных коэффициентов тепло- и влагообмена: $k_{\infty} = 0,28 \dots 0,31$; $k_w = 0,25 \dots 0,28$.

4. На основе построенных моделей установлены оптимальные значения температуры теплоносителя в виде логистической функции от времени экспозиции процесса подработки в ЗПАТ (при $\tau = 1$ ч: для семенного зерна $T=30$ °С, для продовольственного зерна $T=40$ °С, для фуражного $T=50$ °С). Сопоставление расчетных характеристик с экспериментальными показывает, что рассогласование не превышает 15 %.

5. Предложенная схема приемного отделения ЗОСК с использованием предлагаемого ЗПАТ позволила обосновать конструкции многофункциональных приемников, отличающихся равномерностью распределения влажности и температуры в слое зерна при влагосъёме (при $\Delta W = 3 \dots 4$ %, равномерность повышается на 65–75 % по сравнению с системами воздухораспределения первого типа), способствующих уменьшению числа циклов транспортировки и пропусков материала через основные машины сушильного и очистительного отделений, повышением качества зерна.

6. Результаты технико-экономического анализа предлагаемых конструкций зерноприёмников показали, что наблюдается незначительный рост потреблённой электроэнергии (на 3,9 % в среднем), однако при этом снижается потребление дизельного топлива в среднем на 27 %. Полученные значения оценочных показателей доказывают, что предлагаемый ЗПАТ способствует повышению эффективности и интенсификации последующих технологических процессов предварительной очистки и сушки на 18–27 %.

Основные положения диссертации изложены в следующих работах:

а) в рекомендованных ВАК изданиях

1. Цугленок, Н.В. Имитационная модель функционирования сушильных установок [Текст] / Н.В. Цугленок, С.К. Манасян, Н.В. Демский, Ю.А. Книга // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2007. – Вып. 3. – С. 196–200.

2. Книга, Ю.А. Математическое моделирование процесса воздухораспределения в приёмно-сушильно-вентиляционных устройствах бункерного типа / Н.В. Цугленок, С.К. Манасян, Ю.А. Книга [и др.] // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2009. – Вып. 10. – С. 116–123.

3. Книга, Ю.А. Подход к повышению эффективности комплексов послеуборочной обработки зерна / Н.В. Цугленок, О.Г. Дьяченко, С.К. Манасян, Ю.А. Книга // Вестник КрасГАУ. – Красноярск, 2009. – Вып. 4. – С. 193–197.

4. Манасян, С.К. Методика определения теплофизических характеристик зернового материала [Текст] / С.К. Манасян, Н.В. Демский, Ю.А. Книга // Машинно-технологическое, энергетическое и сервисное обеспечение сельхозтоваропроизводителей Сибири : мат-лы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения академика ВАСХНИЛ А.И. Селиванова. – Новосибирск: СибИМЭ, 2008. – С. 61–65.

б) в других изданиях

5. Книга, Ю.А. К обоснованию исходных требований на проектирование предприятий послеуборочной обработки зерна / С.К. Манасян, Ю.А. Книга, Н.В. Демский [и др.] // Аграрная наука на рубеже веков: мат-лы регион. науч. конф. / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2006. – С. 263–266.

6. Книга, Ю.А. Методика лабораторных исследований по определению теплофизических характеристик зернового материала / Н.В. Цугленок, С.К. Манасян, Ю.А. Книга [и др.] // Аграрная наука на рубеже веков: мат-лы регион. науч. конф. / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2007. – С. 226–228.

7. Книга, Ю.А. Методика обоснования и расчета средств технической оснащённости предприятий для послеуборочной обработки семян пшеницы / Н.В. Цугленок, С.К. Манасян, Ю.А. Книга // Инновации в науке и образовании: мат-лы Всерос. очно-заочной науч.-практ. и науч.-метод. конф., посвящ. 55-летию КрасГАУ. – Красноярск, 2007. – Ч. 2. – С. 159–161.

8. Книга, Ю.А. Место сушки в поточной комплексной организации послеуборочной обработки зерна / Н.В. Цугленок, Т.Н. Бастрон, С.К. Манасян, Ю.А. Книга // Аграрная наука на рубеже веков: мат-лы регион. науч. конф. / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2007. – С. 235–237.

9. Книга, Ю.А. Условия функционирования зерносушилок сельскохозяйственного назначения / С.К. Манасян, А.В. Корепанов, Ю.А. Книга [и др.] // Аграрная наука на рубеже веков: мат-лы регион. науч. конф. / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2007. – С. 228–229.

10. Книга, Ю.А. Модель функционирования сушильных установок сельскохозяйственного назначения / С.К. Манасян, Н.В. Демский, А.В. Корепанов, Ю.А. Книга // Аграрная наука на рубеже веков: мат-лы регион. науч. конф. / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2007. – С. 232–235.

11. Книга, Ю.А. Виброустойчивость сельскохозяйственных машин / С.К. Манасян, Н.В. Демский, О.В. Пиляева, Ю.А. Книга // Ресурсосберегающие технологии механизации сельского хозяйства: прил. к «Вестн. КрасГАУ». – Красноярск, 2007. – С. 86.

12. Книга, Ю.А. Классификация зерносушилок сельскохозяйственного назначения / Н.В. Цугленок, С.К. Манасян, Н.В. Демский, Ю.А. Книга // Проблемы современной аграрной науки. – Красноярск, 2008. – С. 90–92.

13. Книга, Ю.А. Конструктивные особенности сушильных камер зерносушилок сельскохозяйственного назначения и тенденции их развития / С.К. Манасян, Н.В. Демский, Ю.А. Книга [и др.] // Аграрная наука на рубеже веков: мат-лы регион. науч. конф. / Краснояр. гос. аграр. ун-т. – Красноярск, 2007. – С. 229–232.

14. Книга, Ю.А. Приёмное устройство зерноочистительно-сушильного комплекса сельскохозяйственного назначения: заявка на пат. № 2009136527/12 от 15.11.2009.

Санитарно-эпидемиологическое заключение № 24.49.04.953.П. 000381.09.03 от 25.09.2003 г.

Подписано в печать 21.03.2011. Формат 60x84/16. Бумага тип. № 1.

Печать – ризограф. Усл. печ. л. 1,0 Тираж 100 экз. Заказ № 1116

Издательство Красноярского государственного аграрного университета
660017, Красноярск, ул. Ленина, 117

