

На правах рукописи



Ахматов Александр Александрович

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ
ЗЕРНОВОГО ВОРОХА ПО ШИРИНЕ РАБОЧИХ ОРГАНОВ
ВОЗДУШНО-РЕШЕТНЫХ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНЫХ МАШИН**

05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж – 2018

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I (Воронежский ГАУ)».

Научный руководитель доктор сельскохозяйственных наук
Оробинский Владимир Иванович

Официальные оппоненты: **Тишанинов Николай Петрович**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве», научный руководитель отдела управления качеством технологических процессов в сельском хозяйстве;
Свиридов Леонид Тимофеевич, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», профессор кафедры производства, ремонта и эксплуатации машин.

Ведущая организация **ООО «Воронежсельмаш»**

Защита состоится 12 апреля 2018 г. в 10 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 220.010.04, созданного на базе Воронежского ГАУ, по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, учебный корпус агроинженерного факультета (корпус № 3), аудитория 319.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Воронежского ГАУ и на сайте www.vsau.ru («Информация о деятельности диссертационных советов» – «Защиты» – «Д 220.010.04»), а также по ссылке: <http://ds.vsau.ru/?p=5765>.

Автореферат разослан 12 февраля 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Афоничев Дмитрий Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Национальная безопасность государства напрямую зависит от его продовольственной независимости. В обеспечении суверенитета в этой области особую роль играет сельское хозяйство, основой которого, безусловно, является зерновое производство. Главной задачей агропромышленного комплекса в связи с этим является увеличение объемов производства продовольственного и семенного зерна. Широкое использование прогрессивных технологий и технических средств, учитывающих почвенно-климатические особенности различных регионов, являются приоритетным направлением развития агропромышленного комплекса.

В РФ и за рубежом доминирующим средством очистки семенного и продовольственного зерна остаются зерноочистительные машины, в конструкциях которых имеются приемно-распределительные устройства, обеспечивающие подачу материала на рабочие органы машины. Неравномерная подача материала по ширине воздушно-решетной очистки приводит к снижению производительности зерноочистительных машин, увеличению потерь, ухудшению качества готового зерна и стабильности работы поточных линий. В настоящее время широкое распространение получили устройства гравитационного типа, но такие устройства зачастую не обеспечивают равномерность подачи зернового вороха по ширине зерноочистительной машины. Исходя из того, что тема работы предполагает повышение равномерности распределения зернового вороха по ширине рабочих органов воздушно-решетных машин, она является актуальной.

Диссертация выполнена в рамках научно-исследовательской работы агроинженерного факультета Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (ВГАУ) «Инновационные направления совершенствования процессов и технических средств механизации и электрификации сельскохозяйственного производства», утвержденной ученым советом ВГАУ (номер государственной регистрации 01.200.1-003986).

Степень разработанности темы. Вопросами повышения равномерности распределения и снижения травмирования зерна приемно-распределительными устройствами зерноочистительных машин занимались и в настоящее время продолжают заниматься множество ученых. Процессы распределения зернового вороха по ширине рабочих органов зерноочистительной машины рассматривались в трудах Тарасенко А.П., Оробинского В.И., Свиридова Л.Т., Тишанинова Н.П., Сундеева А.А., Быкова В.С., Завгороднего А.И., Зюлина А.Н., Вахниной Г.Н., Кожуховского И.Е., Лопана А. А., Файбушевича Г.З., Чумакова В.Г., Борискина М.А., Заики П.М., Шакина Н.И. и др. Анализ изученных патентных и литератур-

ных источников показал, что в настоящее время применяют приемно-распределительные устройства принудительного, гравитационного и комбинированного действия. Принудительные и комбинированные приемно-распределительные устройства существенно травмируют зерновой материал. Наиболее перспективными являются приемно-распределительные устройства гравитационного типа, т.к. практически не травмируют зерновой материал. Однако такие устройства в большинстве случаев не обеспечивают равномерную подачу материала по ширине рабочих органов зерноочистительных машин, это приводит к снижению производительности и ухудшению качества очистки зерна. Поэтому, распределительные устройства гравитационного типа нуждаются в дальнейшем изучении с целью улучшения и модернизации конструкции для повышения производительности и качества очистки зерна.

Цель и задачи исследования. Цель исследования – повышение равномерности распределения зернового вороха по ширине рабочих органов воздушно-решетных зерноочистительных машин при сходе с приемно-распределительного устройства путем стабилизации уровня зерна в бункере дозирующего устройства.

Задачи исследования:

- изучить закономерность формирования зернового вороха в бункере приемно-распределительного устройства воздушно-решетных зерноочистительных машин;
- установить зависимость бокового давления от высоты слоя зерна в бункере приемно-распределительного устройства воздушно-решетных зерноочистительных машин;
- разработать новое техническое решение для реализации процесса равномерного распределения зернового вороха по ширине рабочих органов воздушно-решетных зерноочистительных машин;
- экспериментально обосновать конструктивно-технологические параметры гравитационного приемно-распределительного устройства.

Научная новизна:

- закономерность формирования зернового вороха в бункере приемно-распределительного устройства воздушно-решетных зерноочистительных машин, отличающаяся учетом сдвига вершины вороха в зависимости от угла подачи зерна;
- аналитическая зависимость бокового давления от высоты слоя зерна в бункере приемно-распределительного устройства воздушно-решетных зерноочистительных машин, отличающаяся учетом неравномерности бокового давления в горизонтальном сечении вороха;
- техническое решение для реализации процесса равномерного распределения зернового вороха по ширине рабочих органов воздушно-решетных зерноочистительных машин, отличающееся тем, что привод заслонки дополнительно связан с датчиками верхнего и нижнего уровня зер-

нового материала, а датчики установлены на расстоянии от кромки выгрузного окна, которое определяется в зависимости от длины выгрузного окна и угла естественного откоса зерна;

- рациональные конструктивно-технологические параметры гравитационного приемно-распределительного устройства.

Теоретическая и практическая значимость работы. Закономерность формирования зернового вороха в бункере приемно-распределительного устройства воздушно-решетных зерноочистительных машин, позволяет определить расположение вершины вороха в бункере в зависимости от угла подачи зерна. Аналитическая зависимость бокового давления от высоты слоя зерна в бункере приемно-распределительного устройства воздушно-решетных зерноочистительных машин позволяет определить боковое давление в любой точке вороха. Закономерность формирования зернового вороха в бункере приемно-распределительного устройства и аналитическая зависимость бокового давления от высоты слоя зерна в бункере дополняют теорию зерноочистительных машин.

Предложенное техническое решение, защищенное патентом Российской Федерации (№ 166618), позволит повысить равномерность распределения материала по ширине рабочих органов воздушно-решетной зерноочистительной машины и ее производительность.

Результаты теоретических и экспериментальных исследований можно использовать при разработке наиболее перспективных моделей приемно-распределительных устройств воздушно-решетных зерноочистительных машин.

Объектом исследований является процесс подачи и распределения зернового материала приемно-распределительным устройством по ширине рабочих органов воздушно-решетных зерноочистительных машин.

Предметом исследований является закономерность распределения зернового вороха по поверхности приемно-распределительного устройства воздушно-решетных зерноочистительных машин.

Методология и методы исследования. Теоретическое исследование произведено на основе методов теоретической механики, дифференцирования и интегрального исчисления, решения дифференциальных уравнений. Лабораторный эксперимент поставлен на основе планирования эксперимента, для проведения которого были изготовлены две экспериментальные лабораторные установки: гравитационное приемно-распределительное устройство зерноочистительной машины и шнековое приемно-распределительное устройство. Для проведения расчетов и обработки результатов эксперимента применяли современные ЭВМ и использовали программное обеспечение: Microsoft Excel, MatLab, Mathcad.

Положения, выносимые на защиту:

- закономерность формирования зернового вороха в бункере приемно-распределительного устройства воздушно-решетных зерноочиститель-

ных машин, позволяющая определить траекторию полета и точку падения частицы в бункере, а также расположение зернового вороха по ширине дозирующей щели;

- аналитическая зависимость бокового давления от высоты слоя зерна в бункере приемно-распределительного устройства воздушно-решетных зерноочистительных машин, позволяющая определить боковое давление, действующее на частицу в слое зернового вороха;

- новое техническое решение для реализации процесса равномерного распределения зернового вороха по ширине рабочих органов воздушно-решетных зерноочистительных машин, позволяющее повысить эффективность сепарации зерна;

- рациональные конструктивно-технологические параметры приемно-распределительного устройства, позволяющие повысить равномерность распределения материала по ширине рабочих органов и увеличить производительность воздушно-решетных зерноочистительных машин.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность результатов работы подтверждается методологической базой исследований, применением современных методов исследований, средств вычислительной техники и программного обеспечения.

Эксперимент поставлен на лабораторной установке с применением современных средств измерений и регистрации результатов. Обработку результатов выполняли на ЭВМ по стандартным апробированным программам. Сравнение результатов теоретических и экспериментальных исследований показало, что экспериментальные данные отличаются от теоретических не более чем на 9 %.

Основные положения диссертации докладывались и обсуждались:

- на научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов по актуальным проблемам АПК в области механизации, электрификации сельского хозяйства и переработки сельскохозяйственной продукции (Воронежский ГАУ, 2014–2017 годы);

- на международной заочной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов на иностранных языках (Россия, Воронеж, апрель 2015 г.).

Результаты диссертационной работы внедрены на предприятии по производству сельскохозяйственных машин и оборудования ЗАО «Техника-Сервис» (г. Воронеж).

Результаты диссертационной работы используются в учебном процессе Воронежского ГАУ при подготовке бакалавров по направлению 35.03.06 «Агроинженерия» и магистров по направлению 35.04.06 «Агроинженерия».

Личный вклад соискателя. Личный вклад соискателя заключается в постановке задач исследования, выборе методов и разработке методики исследований, разработке математической модели, выполнении математи-

ческих преобразований и расчетов, реализации модели на ЭВМ, усовершенствовании конструкции приемно-распределительного устройства, изготовлении лабораторных установок, проведении экспериментов, обработке экспериментальных данных, формулировке выводов, подготовке научных публикаций.

Публикации. Результаты диссертационной работы опубликованы в 12 научных статьях, из которых три – в рецензируемых научных изданиях, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты кандидатских диссертаций. По результатам диссертационной работы получено два патента на полезные модели № 148656 и № 166618.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, включающих 40 рисунков и 10 таблиц, заключения, списка литературы, состоящего из 154 наименований, 12 приложений. Объем диссертации составил 155 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дается обоснование актуальности темы исследования, дана формулировка цели и задач работы, научных положений, которые вынесены на защиту, представлена новизна научных исследований, их практическая значимость.

В первом разделе «Состояние степени разработанности темы» рассмотрены состав зернового вороха, поступающего на послеуборочную обработку и требования к качеству семян; представлены технические решения приемно-распределительных устройств для равномерной подачи материала по ширине рабочих органов зерноочистительной машины, выявлены их преимущества и недостатки. Обозначено перспективное направление в совершенствовании приемно-распределительных устройств зерноочистительных машин. Представлены конструктивно-технологических параметры приемно-распределительных устройств влияющие на качество семян. На основании анализа литературных источников определена степень разработанности темы, намечены цель и задачи исследования.

Во втором разделе «Теоретические исследования процесса распределения зернового вороха по ширине рабочих органов воздушно-решетных зерноочистительных машин» проведен теоретический анализ процесса формирования зернового вороха в бункере приемно-распределительного устройства зерноочистительной машины в зависимости от угла ввода материала через загрузочный зернопровод. При подаче зерна в бункер из зернопровода оно подается в определенное место дна и, по мере накопления образует конус из зерновой массы с углом естественного откоса, а в нижней части зерно под давлением

вышележащего слоя распределяется в соответствии с конфигурацией днища приемно-распределительного устройства.

Начальное место подачи зернового вороха в приемно-распределительное устройство в значительной степени определяется углом наклона зернопровода (углом подачи). Рассмотрена траектория полета зерновок из загрузочного зернопровода в приемно-распределительное устройство зерноочистительной машины и влияние на формируемый

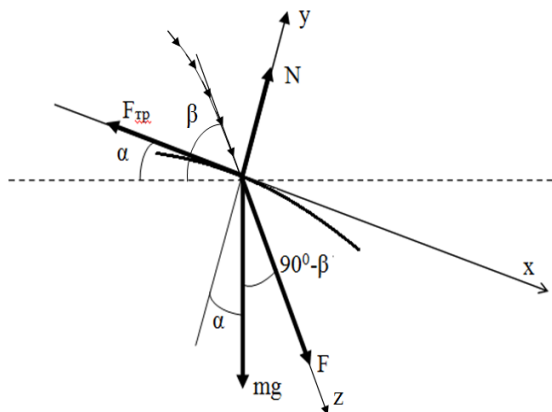


Рисунок 1 – Силы действующие на частицу в момент соприкосновения ее с формируемым ворохом зерна

ворох. На рисунке 1 показаны силы действующие на частицу в момент соприкосновения ее с поверхностью формируемого вороха зерна. При падении частиц на ворох зерна в приемно-распределительном устройстве они соприкасаются с наклонной поверхностью и скользят по ней.

Определили угол скользывания частиц с наклонной плоскости, для этого спроектировали силы на

ось x:

$$m \cdot g \cdot \sin \alpha + F \cdot \sin(90^\circ - \beta + \alpha) - F_{\text{тр}} = 0, \quad (1)$$

где m – масса частицы (кг), g – ускорение свободного падения (м/с^2), F – сила, с которой зерно действует на элемент вороха при падении (Н), $F_{\text{тр}}$ – сила трения (Н), α – угол касательной к вороху с горизонтом ($^\circ$), β – угол касательной к траектории падения частицы с горизонтом ($^\circ$).

После некоторых преобразований уравнения (1) получили выражение, позволяющее определить изменение тангенса угла трения частиц по вороху в зависимости от скорости падения частиц:

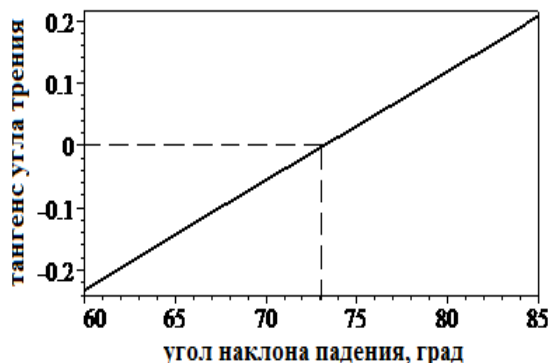


Рисунок 2 – Зависимость тангенса угла трения от угла наклона падения частиц

$$tg \alpha = \frac{f \frac{4}{3} r \cdot g + f \cdot V^2 \cdot \sin \beta - V^2 \cdot \cos \beta}{\frac{4}{3} r \cdot g + V^2 \cdot \sin \beta + f \cdot V^2 \cdot \cos \beta}. \quad (2)$$

Результаты показали, что угол трения практически не зависит при скорости падения зерновок из загрузочного зернопровода свыше 1,5 м/с. В рассматриваемом нами процессе скорость падения частиц находится в диапазоне свыше 1,5 м/с.

На рисунке 2 показана зави-

симость тангенса угла трения от угла наклона касательной к траектории падения в точке встречи частицы с поверхностью при $V=2$ м/с. Из рисунка видно, что с увеличением угла наклона падения частицы тангенс угла трения уменьшается и при 73° обращается в 0. Таким образом, в зоне падения частиц на вершине вороха должна образовываться практически горизонтальная площадка, по которой частицы будут перемещаться за счет горизонтальной составляющей скорости падения. Чем выше эта составляющая, тем большая асимметрия будет наблюдаться в расположении вороха.

Определение точки и скорости падения проводится с помощью численного решения задачи Коши для квазилинейной системы обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка:

$$\begin{cases} \ddot{x} = k\dot{x}\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} \\ \ddot{y} = -k\dot{y}\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} - g \end{cases} \quad (3)$$

где k – коэффициент парусности,

с начальными условиями:

$$x(0)=0, y(0)=H, \dot{x}(0)=v_0 \cos(\beta), \dot{y}(0)=v_0 \sin(\beta).$$

Формирование вороха на рисунке 3, представляет собой визуализацию решения системы уравнений полета совместно с порядком перераспределения частиц.

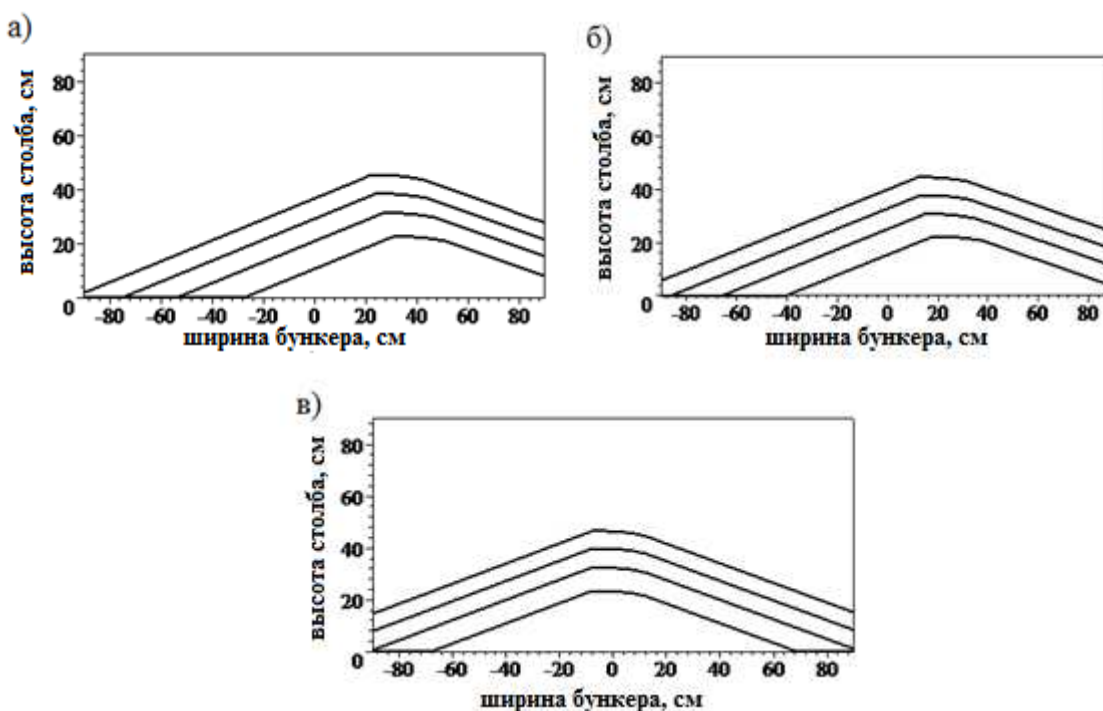


Рисунок 3 – Процесс формирования вороха в бункере:

а) – при угле подачи 70° ; б) – при угле подачи 80° ; в) – при угле подачи 90°

Проведенный анализ процесса формирования зернового вороха в бункере показал, что для обеспечения симметричного вороха в бункере

приемно-распределительного устройства при наклонной подаче необходимо смещать место ввода зерна в бункер. При угле наклона подачи 70° смещение должно составлять 25...27 см, а при угле подачи 80° смещение должно составлять 12...14 см.

Также во втором разделе проведен теоретический анализ истечения материала через дозирующую щель приемно-распределительного устройства. Равномерность истечения сыпучего материала через отверстие приемно-распределительного устройства в значительной степени зависит от сил действующих на ворох в зоне его истечения. Был рассмотрен зерновой ворох, находящийся в бункере приемно-распределительного устройства высотой Δz , длиной b и шириной h . На элемент зерновой массы действуют следующие силы: сила тяжести F_1 ; сила давления зернового вороха снизу и сверху F_2 , F_3 ; сила трения F_{mp} (рисунок 4).

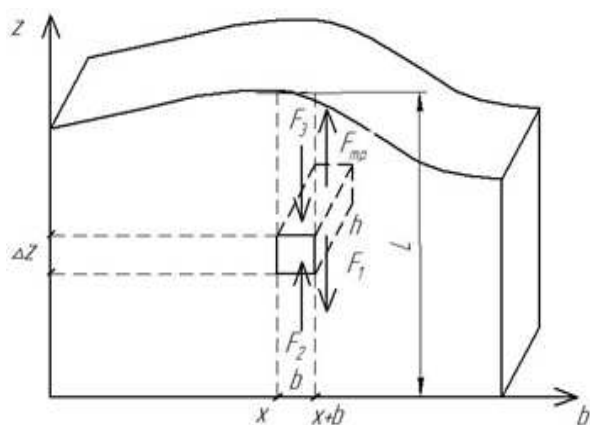


Рисунок 4 – Схема сил действующих на элемент зернового вороха находящийся в приемно-распределительном устройстве

При рассмотрении процесса истечения сыпучих смесей из приемно-распределительного устройства зерноочистительной машины использовались методы классической механики и гидравлики, процесс истечения материалов моделировался с применением дифференциальных уравнений и последующих математических вычислений. Было составлено уравнение равновесия:

$$F_{mp} + F_2 - F_1 - F_3 = 0. \quad (4)$$

После определения всех сил, действующих на выделенный зерновой элемент вороха, и некоторых преобразований получили выражение:

$$P(z) = \frac{\rho \cdot g \cdot b}{2 \cdot k \cdot \zeta} \left(1 - e^{\frac{2 \cdot k \cdot \zeta}{b} (z-L)} \right). \quad (5)$$

Полученное выражение (5) позволяет определить давление, действующее на элемент зернового вороха в вертикальном столбе при разной высоте слоя.

Подставив в полученное уравнение исходные данные, определим численные значения давления в слое. Графические зависимости давления на элемент зерновой массы в слое при различной высоте вороха в бункере представлены на рисунке 5.

Результаты проведенных теоретических исследований показывают, что в верхнем слое вороха давление, действующее на зерновки, равно нулю и возрастает к нижним слоям. При большей высоте вороха в бункере давление в слое нарастает более интенсивно, чем при малой высоте. Необ-

ходимо создать максимальную высоту зернового вороха в бункере для выравнивания давления в нижних слоях (близких к дозирующей щели), при этом необходимо учитывать и ограничиваться габаритными размерами бункера. В нашем случае для достижения равномерного распределения материала через дозирующую щель по ее длине (1,85 м) необходимо в бункере поддерживать определенную высоту вороха, которая не должна быть менее 0,6 м.

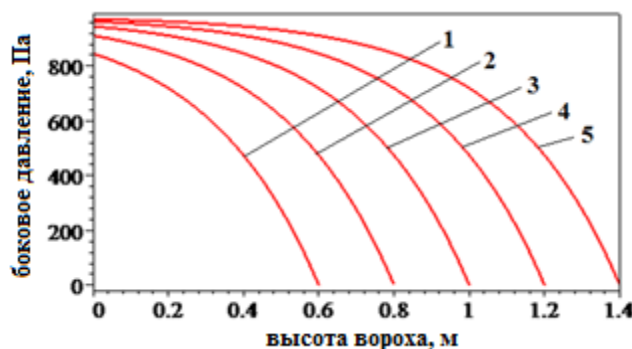


Рисунок 5 – Изменение давления на зерновки в бункере приемно-распределительного устройства по высоте слоя зернового вороха:
1 – высота вороха в бункере 0,6 м; 2 – 0,8 м; 3 – 1 м; 4 – 1,2 м; 5 – 1,4 м

В третьем разделе «Программа и методика экспериментальных исследований» представлена программа и методика экспериментальных исследований, включающая определение: состава бункерного вороха пшеницы; влажности зерна; стекловидности и содержание клейковины зерна; повреждение зерна; параметров вороха в бункере при его заполнении; распределения зерна по ширине рабочей машины.

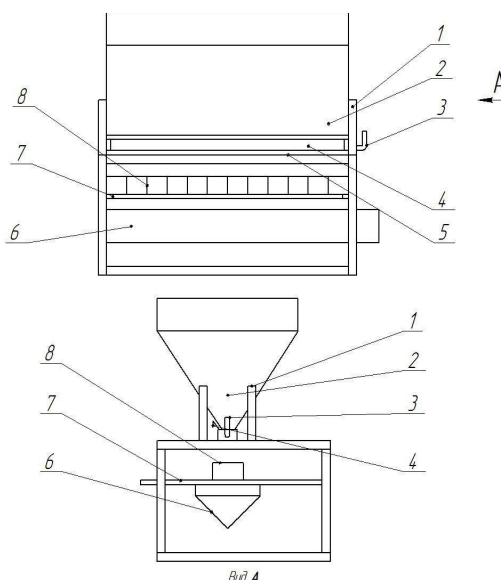


Рисунок 7 – Схема лабораторной установки:
1 – рама; 2 – загрузочный бункер; 3 – регулятор заслонки;
4 – регулировочная заслонка; 5 – дозирующая щель; 6 – приемный лоток;
7 – подвижная каретка; 8 – емкости пробоотборников

Для исследования гравитационного приемно-распределительного

устройства зерноочистительной машины изготовили лабораторную установку, которая моделирует работу приемно-распределительного устройства зерноочистительной машины первичной очистки МЗС-25, представлена на рисунке 7. Экспериментальные исследования проводили в лабораторных условиях кафедры сельскохозяйственных машин ВГАУ.

Отбор образцов и обработку полученных результатов проводили по стандартным методикам в соответствии с требованиями ГОСТов. Для обработки результатов эксперимента применяли ЭВМ с использованием пакетов программ Mathcad, Statistica 10 и др.

В четвертом разделе «Результаты экспериментальных исследований» отражены результаты опытов по заполнению бункера гравитационного приемно-распределительного устройства зерноочистительной машины в зависимости от места ввода материала и угла наклона подающего зернопровода.

На первом этапе исследовали заполнение бункера при подаче зерна по центру.

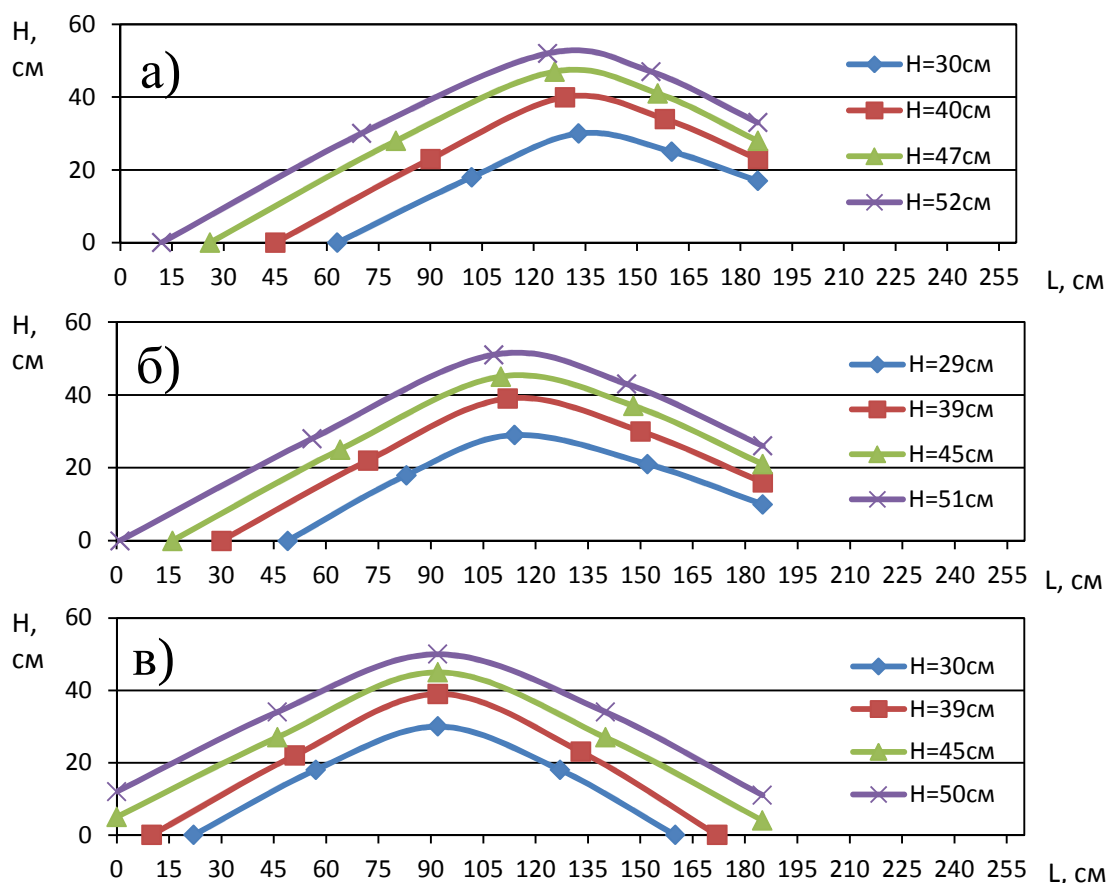


Рисунок 10 – Заполнение бункера приемно-распределительного устройства при загрузке зерна по центру и различных углах подачи материала:

H – высота вороха, см; L – длина основания бункера, см; α – угол подачи материала, °; а) $\alpha = 70^\circ$; б) $\alpha = 80^\circ$; в) $\alpha = 90^\circ$

Для проведения экспериментов было выбрано устройство, представляющее собой бункер с передней и задней наклонными стенками высотой

1 м и шириной 1,85 м. При проведении экспериментов имитировали подачу материала в бункер с максимальным приближением к реальным условиям. Характер распределения зерновой массы в бункере приемно-распределительного устройства представлен на рисунке 10.

Чем больше высота вороха в бункере, тем большую ширину он заполняет. Экспериментальные исследования показали, что полное заполнение бункера по ширине происходит при высоте вороха 0,42 м. Дальнейшее увеличение высоты слоя позволяет формировать толщину слоя у краев бункера, что гарантирует более равномерную загрузку решета по ширине зерноочистительной машины. В случае подачи материала под углом 70° (рисунок 10) при малой высоте слоя в бункере свободная зона существенна и при увеличении слоя сокращается обратно пропорционально его высоте. Полное заполнение основания бункера (питающей щели) происходит при высоте вороха 0,62 м.

Также были проведены исследования формирования зернового вороха в приемно-распределительном устройстве, при смещении места подачи материала на 15 см и 30 см от центра бункера.

Проведенные исследования показали (рисунок 11), что для равномерного распределения материала по ширине рабочей части зерноочистительной машины необходимо в гравитационном приемно-распределительном устройстве иметь равномерно распределенный зерновой ворох, а это можно достичь при центральной загрузке материала под углом подачи 90° ; при загрузке материала со смещением 15 см от центра бункера под углом подачи 80° ; при загрузке материала со смещением 30 см от центра бункера под углом подачи 70° ; при загрузке материала со смещением 45 см от центра бункера под углом подачи 60° .

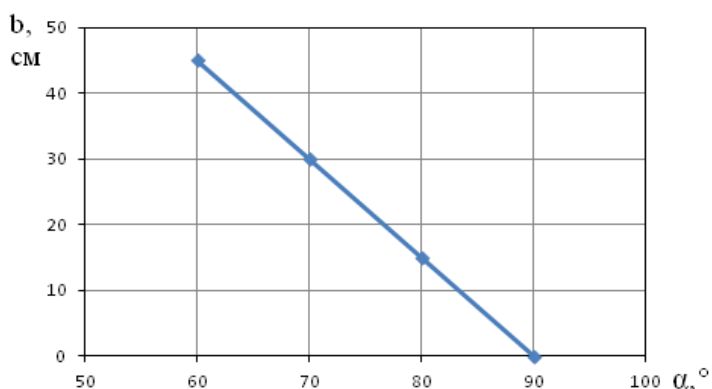


Рисунок 11 – Зависимость смещения места ввода зерна (b) в бункер от угла наклона зернопровода (α)

Характер заполнения по ширине бункера (рисунок 12) приемно-распределительного устройства зерноочистительной машины, полученный с помощью экспериментальных данных, подтверждает теоретическую зависимость. Среднее относительное отклонение не превышает 9 %.

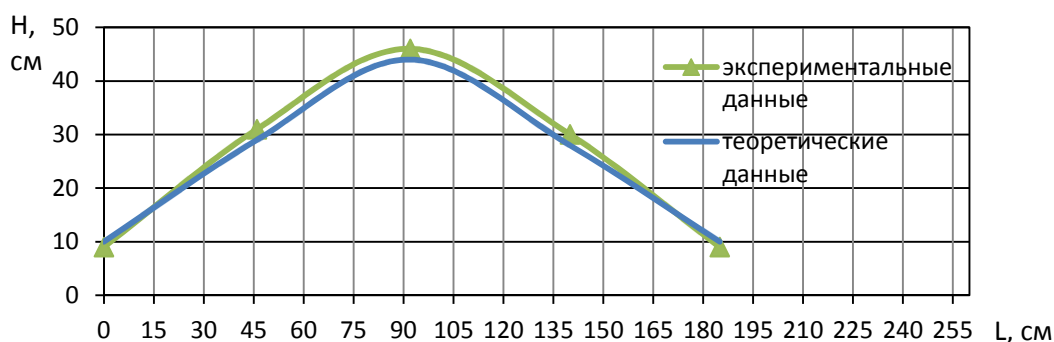


Рисунок 12 – Формирование зернового вороха в бункере гравитационного приемно-распределительного устройства:

H – высота вороча, см; L – длина основания бункера, см

Для установления более точной высоты вороча, которую необходимо иметь в бункере, для равномерного распределения материала по ширине дозирующей щели были проведены экспериментальные исследования по истечению зерна через дозирующую щель при центральном вводе материала (рисунок 13) и боковом под углом 70° к горизонту (рисунок 14).

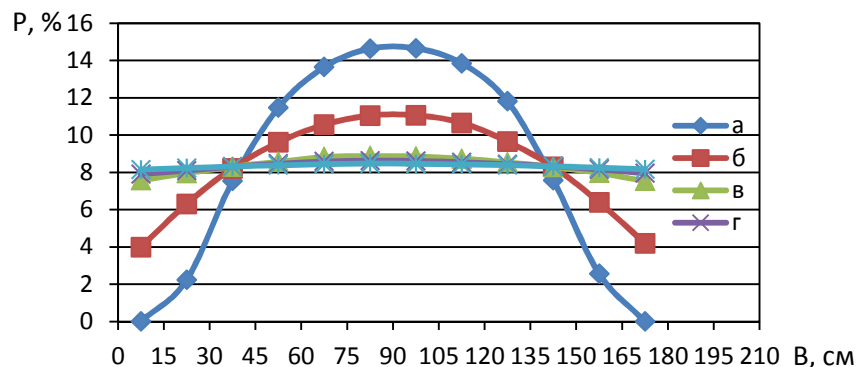


Рисунок 13 – Изменение истечения зерна через дозирующую щель по ширине бункера при вертикальной его загрузке:

P – вероятность истечения, %; B – ширина дозирующей щели, см; а) высота слоя зерна в бункере $H=26$ см; б) $H=40$ см; в) $H=48$ см; г) $H=57$ см; д) $H=68$ см

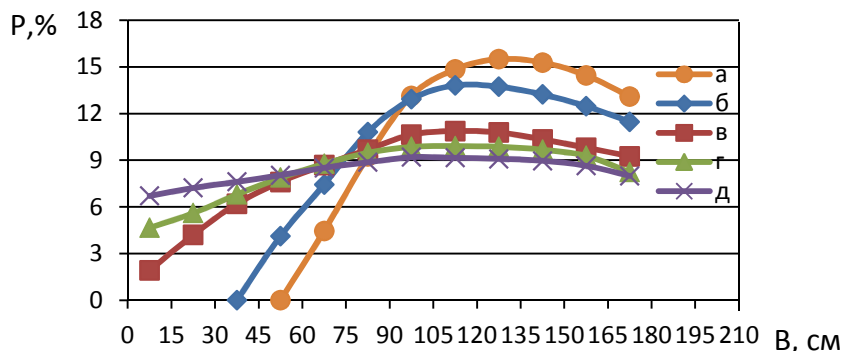


Рисунок 14 – Изменение истечения зерна через дозирующую щель бункера распределительного устройства при вводе материала под углом 70° :

P – вероятность истечения, %; B – ширина дозирующей щели, см; а) высота слоя зерна в бункере $H=30$ см; б) $H=37$ см; в) $H=56$ см г) $H=63$ см; д) $H=70$ см

Анализ данных показал, что для обеспечения равномерной загрузки решет и высоких качественных показателей работы очистки зерноочисти-

тельной машины и максимальной ее производительности (рисунок 13) необходимо в бункере приемно-распределительного устройства поддерживать уровень зернового вороха не менее 45-48 см. Минимальная высота слоя зерна (рисунок 14) в бункере приемно-распределительного устройства при наклонной подачи зерна по центру бункера должна быть не менее 63...70 см.

Представленные экспериментальные данные показали, что равномерность загрузки решет зерноочистительной машины в значительной степени зависит от высоты слоя зерна в бункере приемно-

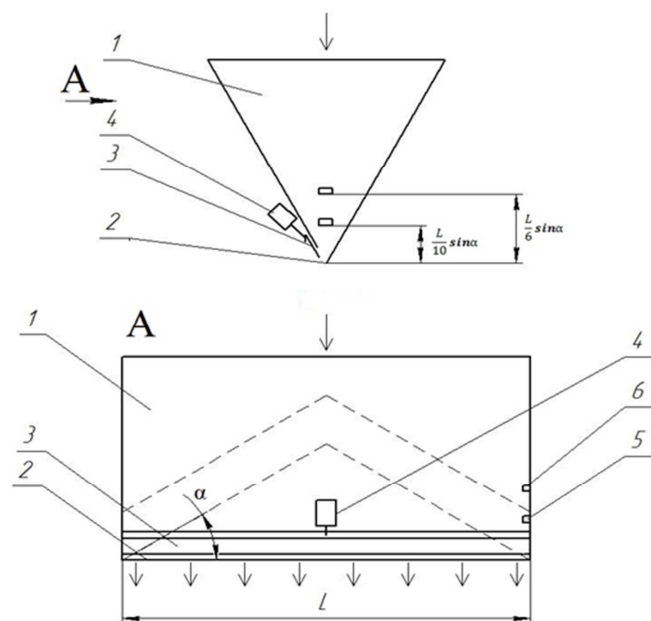


Рисунок 15 – Приемно-распределительный бункер зерноочистительной машины:

- 1 – бункер; 2 – выгрузное окно; 3 – заслонка; 4 – привод заслонки; 5 – датчик нижнего уровня материала; 6 – датчик верхнего уровня материала

распределительного устройства, равномерностью его распределения по ширине бункера (длине дозирующей щели и высотой слоя зерна в бункере). Равномерность распределения зерна по ширине бункера определяется местом его ввода из самотечного зернопровода, углом наклона подающего зернопровода относительно места ввода зерна в бункер приемно-распределительного устройства. Это необходимо учитывать при компоновке зерноочистительной линии.

Для равномерной подачи зерна необходимо четко согласовать производительность подающей норрии и приемно-распределительного устройства зерноочистительной машины. Согласовать два объекта по производительности в ручном ре-

жиме практически невозможно, поэтому нами предлагается техническое решение, позволяющее регулировать истечение зерна из приемно-распределительного устройства для поддержания установленной высоты слоя в бункере (рисунок 15).

Устройство состоит (рисунок 15) из бункера 1 зерноочистительной машины, в нижней части которого имеется выгрузное окно 2, заслонка 3 с приводом 4, который связан с датчиком нижнего уровня 5, удаленного от нижней кромки выгрузного окна 2 на расстоянии $\frac{L}{10} \sin \alpha$, и датчиком верхнего уровня 6, удаленного от нижней кромки выгрузного окна на расстоянии $\frac{L}{6} \sin \alpha$, где L – длина выгрузного окна; $\alpha = 26...40^\circ$.

Для обеспечения дозирования по ширине выгрузного окна необходимо в бункере поддерживать определенную высоту слоя. Поддерживать его вручную невозможно, т.к. согласовать подачу материала в бункер и истечение его через выгрузное окно невозможно или сложно. На высоту слоя влияют такие параметры как: L – длина бункера и α – угол естественного откоса зерна.

Приемно-распределительный бункер зерноочистительной машины работает следующим образом. Поток сыпучего материала подается в загрузочный бункер 1. В бункере начинает формироваться ворох конусообразной формы, при достижении материалом уровня нижнего датчика 5, заслонка 3 остается в закрытом положении. Материал в бункере 1 накапливается и при достижении им уровня верхнего датчика 6 сигнал от него подается на привод 4, который открывает заслонку 3. Истечение материала увеличивается через выгрузное окно 2 и уровень в бункере 1 уменьшается до нижнего датчика 5, сигнал от него подается на привод 4, который прикрывает заслонку 3, но не закрывает ее совсем. Истечение материала через выгрузное окно 2 уменьшается, а уровень его в бункере 1 повышается до уровня верхнего датчика 6. Далее цикл работы повторяется.

Для стабильной работы и поддержания слоя на основании экспериментальных данных, нижний датчик уровня необходимо установить на расстоянии $\frac{1}{5}$ высоты слоя от нижней кромки выгрузного окна ($\frac{L}{10} \sin \alpha$). Данный датчик при такой высоте поддерживает необходимый минимальный слой в бункере и обеспечивает равномерность подачи зерна на решета зерноочистительной машины. Нижний датчик уровня управляет прикрытием заслонки приемно-распределительного бункера. Верхний датчик уровня установлен на расстоянии $\frac{1}{3}$ высоты слоя от нижней кромки выгрузного окна ($\frac{L}{6} \sin \alpha$). Он предотвращает перегрузку бункера при постоянной его загрузке и управляет открытием заслонки приемно-распределительного бункера. Оба датчика управляют только заслонкой приемно-распределительного устройства зерноочистительной машины, чем и обеспечивается постоянная равномерная загрузка зерна на решета.

В пятом разделе «Экономическая оценка эффективности приемно-распределительного устройства» приведены расчеты показателей экономической эффективности от модернизации приемно-распределительного устройства зерноочистительной машины МЗС-25. Расчеты эффективности проекта показали, что использование модернизированной конструкции приемно-распределительного устройства является экономически целесообразным. Внедрение предложенного технического решения обеспечит повышение производительности оборудования, улучшение качества очистки зерна, что в конечном итоге позволит получить годовой экономический эффект в размере 447,1 тыс. руб при сроке окупаемости 0,4 года эксплуатации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенные исследования подтвердили, что в шнековых приемно-распределительных устройствах открытого типа зерноочистительных машин отмечается значительное дробление зерна до 3,54 % и снижение всхожести семян до 91,14 %. В настоящее время перспективными для дальнейшего совершенствования являются приемно-распределительные устройства гравитационного типа.

2. Выявленная закономерность формирования зернового вороха в бункере гравитационного приемно-распределительного устройства воздушно-решетных зерноочистительных машин позволяет определить расположение зернового вороха по ширине дозирующей щели в зависимости от угла подачи зерна. Установленная аналитическая зависимость бокового давления от высоты слоя зерна в бункере приемно-распределительного устройства воздушно-решетных зерноочистительных машин позволяет определить боковое давление в горизонтальном сечении вороха.

3. Теоретически выявлено, что в бункере необходимо поддерживать высоту зернового вороха не менее 0,6 м для обеспечения равномерного распределения материала через дозирующую щель приемно-распределительного устройства по ее длине. Равномерное заполнение бункера зерновым ворохом по ширине обеспечивается при вертикальной подаче по центру бункера. При наклонной подаче отмечается смещение зернового вороха к одной из боковых стенок бункера.

4. Необходимо изменять место подачи зерна в бункер для получения симметричного вороха при наклонной подаче зерна. При центральной подаче зерна по зернопроводу под углом 80° необходимое смещение места загрузки должно составлять 15 см от центра бункера, при подаче под углом 70° необходимое смещение составляет 30 см. Уменьшение угла наклона зернопровода до 60° приводит к требуемому смещению на 45 см. Полное заполнение бункера по ширине дозирующей щели при центральной загрузке материала происходит на высоте вороха 0,42 м под углом наклона зернопровода 90° к горизонту и на высоте вороха 0,62 м под углом наклона зернопровода 70° к горизонту.

5. Экспериментально установлено, что равномерность загрузки по ширине рабочих органов воздушно-решетных зерноочистительных машин в значительной степени зависит от высоты слоя зерна в бункере. Минимальная высота слоя зерна в бункере приемно-распределительного устройства при вертикальном вводе материала должна составлять не менее 45...48 см. При наклонной подаче зерна по центру бункера под углом 70° высоту слоя необходимо увеличить до уровня не менее 63 см.

6. Предложено техническое решение приемно-распределительного устройства воздушно-решетной зерноочистительной машины (патент на полезную модель № 166618), позволяющее поддержать определенный

слой зерна в бункере для равномерного истечения материала из дозирующей щели по ее длине и повысить производительность машины на 12 %.

7. Расчетный годовой экономический эффект от использования предложенного технического решения в воздушно-решетной зерноочистительной машине типа МЗС-25 составил 447,1 тыс. руб. при сроке окупаемости 0,4 года эксплуатации.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных изданиях

1. Ахматов А.А. Распределение зерна по ширине решета машины МЗС-25 / А.А. Ахматов, В.И. Оробинский, В.Н. Солнцев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2015. – № 9. – С. 8-9.

2. Ахматов А.А. Травмирование зерна шнековым питающим устройством / А.А. Ахматов, В.И. Оробинский, В.Н. Солнцев // Вестник Воронежского ГАУ. – 2015. – Вып. 4 (47) – С. 98-101.

3. Ахматов А.А. К обоснованию истечения зерновых смесей в питающем устройстве / А.А. Ахматов, В.И. Оробинский, В.П. Шацкий. В.Н. Солнцев // Вестник Воронежского ГАУ. – 2016. – Вып. 4 (51). – С. 114-120.

Патенты

4. Пат. № 148656, МПК В 07 В11/06(2006.01). Приемно-распределительное устройство зерноочистительной машины / Оробинский В.И., Солнцев В.Н., Ахматов А.А.: заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО «Воронежский ГАУ имени императора Петра I». № 2014128445/03; заявл. 10.07.2014; опубл. 10.12.2014, Бюл. № 34.

5. Пат № 166618, МПК В 02 С 25/00(2006.01). Приемно-распределительный бункер зерноочистительной машины / Ахматов А.А., Оробинский В.И., Солнцев В.Н.: заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное Учреждение высшего образования «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I» (ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ). № 2016113093/13; заявл. 05.04.2016; опубл. 10.12.2016, Бюл. № 34.

В сборниках научных трудов и материалах конференций

6. Ахматов А.А. Приемно-распределительные устройства зерноочистительных машин / А.А. Ахматов, В.И. Оробинский, В.Н. Солнцев // Современные тенденции развития технологий и технических средств для АПК: материалы научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов по актуальным проблемам АПК в области механизации, электрификации сельского хозяйства и переработки сельскохозяйственной продукции (31 марта – 7 апреля 2014 г.). – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2014. – С. 9-11.

7. Солнцев В.Н. Повреждения зерна при уборке и послеуборочной обработки / В.Н. Солнцев, А.А. Ларченко, А.А. Ахматов // Лесотехнический журнал. – Воронеж. 2015. – С. 131-135.

8. Ahmatov A.A. Empfangs- und Verteilereinrichtung im Getreidereiniger/ A.A. Ahmatov, V.I. Orobinsky, V.N. Solncev // Актуальные проблемы аграрной науки, производства и образования: материалы международной заочной научно-практической конференции молодых ученых и специалистов на иностранных языках (Россия, Воронеж, апрель 2015 г.) – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2015. – С. 107-110.

9. Ахматов А.А. Загрузка решет машины МЗС-25 от подачи зерна в питающее устройство / А.А. Ахматов, А.Н. Солдатов, В.Н. Солнцев, В.И. Оробинский // Инновационные технологии и технические средства для агропромышленного комплекса: материалы научной конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов / Коллектив авторов. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский ГАУ, 2015. – С. 21-24.

10. Ларченко А.А. Совершенствование зерноочистительного агрегата для обработки зерна / А.А. Ларченко, В.Н. Солнцев, А.А. Ахматов, А.В. Горбанев, М.В. Борисов // Молодежный вектор развития аграрной науки: материалы 67-й студенческой научной конференции. – Ч. II. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. – С. 83-86.

11. Ахматов А.А. Распределение зерна питающим устройством гравитационного типа по ширине зерноочистительной машины / А.А. Ахматов, В.И. Оробинский, В.Н. Солнцев, К.Р. Казаров // Наука вчера, сегодня, завтра: материала научно-практической конференции. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. – С. 34-39.

12. Ахматов А.А. Формирование зернового вороха в бункере питающего устройства / А.А. Ахматов, В.Н. Солнцев, В.И. Оробинский // Современные тенденции развития технологий и технических средств в сельском хозяйстве: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 80-летию А.П. Тарасенко, доктора технических наук, заслуженного деятеля науки и техники РФ, профессора кафедры сельскохозяйственных машин Воронежского государственного аграрного университета имени императора Петра I (Россия, Воронеж, 10 января 2017 г.). – Ч. II. – Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2017. – С. 31-36.

Просим принять участие в работе диссертационного совета Д 220.010.04 или выслать Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 13, ученому секретарю. Телефон: (473) 224-39-39, 8-900-924-5638, e-mail: et@agroeng.vsau.ru.

Подписано в печать 07.02.2018 г. Формат 60×80^{1/16}. Бумага кн.-журн.

П.л. 1,0. Гарнитура Таймс. Тираж 100 экз. Заказ № 17311.

Типография ФГБОУ ВО ВГАУ 394087, Воронеж, ул. Мичурина, 1