

На правах рукописи



Анашкин Александр Витальевич

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ
ТРИЕРНЫХ БЛОКОВ В МНОГОКАНАЛЬНЫХ
ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ**

Специальность: 05.20.01 – Технологии и средства механизации
сельского хозяйства

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Мичуринск-наукоград РФ, 2020

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном научном учреждении «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» (ФГБНУ ВНИИТиН)

- Научный консультант:** доктор технических наук, профессор
Тишанинов Николай Петрович
- Официальные оппоненты:** **Алдошин Николай Васильевич**, доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Российский государственный аграрный университет-МСХА имени К.А. Тимирязева», кафедра «Сельскохозяйственные машины», заведующий
Гиевский Алексей Михайлович, доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», кафедра сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей, профессор
Пахомов Виктор Иванович, доктор технических наук, доцент, ФГБНУ "АНЦ "Донской", врио заместителя директора по научной работе
- Ведущая организация:** ФГБНУ "Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого"

Защита состоится 23 декабря 2020 года в 10 часов на заседании объединенного диссертационного совета Д 999.179.03, созданного на базе ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет», ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет», ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве» по адресу: 393760, Тамбовская область, г. Мичуринск, ул. Интернациональная, д. 101, корпус 1, зал заседаний диссертационных советов, тел./факс (47545) 9-44-12, E-mail: dissov@mgau.ru.

С диссертацией и авторефератом можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ и на сайте www.mgau.ru, с авторефератом – на сайте Высшей аттестационной комиссии Министерства образования и науки Российской Федерации www.vak.ed.gov.ru.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, с указанием индекса, почтового адреса, телефона, электронной почты и сайта организации, фамилии, имени, отчества лица, подготовившего отзыв, просим направлять ученому секретарю диссертационного совета.

Автореферат разослан «___» _____ 2020 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Николай Владимирович Михеев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Российская Федерация является одной из крупнейших зернопроизводящих стран мира при производстве более 100 млн. тонн зерна в год. Значимым этапом производства зерна является подработка зернового вороха, обеспечивающая незамедлительное удаление примесей, которые имеют высокую биологическую активность и влажность, что является благоприятной средой для обитания и размножения вредных микроорганизмов, которые ухудшают качество зерна, особенно при длительном хранении. В сельхозпредприятиях применяют для этого многоканальные поточные технологии подработки зерна с использованием зерноочистительных агрегатов типа ЗАВ. Уровень использования этих агрегатов остается крайне низким из-за отсутствия эффективных средств управления потоками зерна по технологическим каналам и технологического несоответствия последовательных операций в триерных блоках. Применяемые делители потока зерна флажкового, призменного или тарельчатого типов не обеспечивают качество деления перевалочных потоков зерна на технологические каналы, достаточное для обеспечения работоспособности триерных блоков – более 90% их выведено из эксплуатации. В нормативно-технической документации сопровождения отечественных и зарубежных зерноочистительных технологий отсутствуют регламенты подготовки к работе и управления процессами триерной очистки зерна из-за недостатка исследований динамики процессов выделения частиц зерносмесей по длине ячеистой поверхности. До сих пор проектировщики при оценке производительности триеров используют «нормативы» по удельной нагрузке на ячеистую поверхность, что исключает взаимосвязь результатов расчетов с режимами работы и настройками параметрами триеров. Поэтому проблема расширения знаний о динамике процессов триерной очистки зерна, необходимых для создания эффективных средств управления ими, является актуальной.

Степень разработанности темы. Большой вклад в совершенствование зерноочистительных технологий внесли Тарасенко А.П., Тишанинов Н.П., Оробинский В.И., Завражнов А.И., Пахомов В.И., Гиевский А.М., Алдошин Н.В., Сысуев В.А., Сайтов В.Е., Савиных П.А., Сычугов Н.П., Бурков А.И. и др.

Разработке теории цилиндрического триера посвящены работы Горячкина В.П., Летошнева М.Н., Павловского Г.Т., Тишанинова Н.П., Туаева М.В., Лурье А.Б., Блох З.Ш., Терскова Г.Д., Полетаева С.В.

Повышению эффективности триерной очистки зерна за счет разработки новых форм ячеек триера посвящены работы Урханова Н.А., Цыренжапова Д.Д., Абидуева А.А., Озонова Г.Р., Бугжеева А.С., Рассадина А.А..

Большой вклад в разработку новых конструкций триеров и обоснование их параметров внесли Тарасенко А.П., Тишанинов Н.П., Викторова Н.Н., Урханов Н.А., Абидуев А.А., Одинцов Д.В., Евдокимов В.Ф., Козлов Д.А., Бурков А.И., Кузьмин М.В., Мироненко Д.Н. и др.

Изучением вопроса деления падающего потока сыпучих материалов и созданием соответствующих технических средств занимались Тишанинов Н.П., Завражнов А.И., Тишанинов К.Н., Востриков П.С., Кузнецов В.В., Извеков Е.А. и др.

Большой вклад отмеченных авторов в изучение процессов триерной очистки зерна и их совершенствование не подвергается сомнению. Однако остаются нерешенными ряд вопросов: взаимосвязи производительности триеров с режимами работы и настроечными параметрами; интенсивности выделения частиц основной культуры и примесных компонентов по длине ячеистого цилиндра; взаимосвязи качества процесса разделения компонентов зерносмесей с величиной загрузки триера, скоростными режимами его работы и угловым положением выводного лотка. Установление указанных взаимосвязей и количественной оценки физических эффектов в циркулирующих слоях сегмента зерносмеси и в контактирующем с ячеистой поверхностью слое обуславливает необходимость проведения дополнительных теоретических и экспериментальных исследований. Кроме того, проблема создания эффективных средств управления массовыми потоками зерна в отечественных и зарубежных технологиях многие десятилетия остается нерешенной.

Научная проблема. Низкий уровень использования триерных технологий объясняется несогласованностью последовательных операций в овсюжном и кукольном цилиндрах по расходным характеристикам и качеству процессов. Они протекают в принципиально разных условиях по интенсивности и избирательности сепарирующих воздействий на выделяемые частицы, что повышает требования к управлению технологией. Известные теоретические и экспериментальные исследования процессов триерной очистки зерносмесей не адаптированы к противоречивым условиям их протекания, необходимо их пополнение закономерностями выделения компонентов зерносмеси по длине ячеистых поверхностей и управления подачей.

Научная гипотеза. Совершенствование использования триерных блоков в многоканальных зерноочистительных технологиях может быть достигнуто за счет согласования процессов в овсюжном и кукольном цилиндрах по режимам работы и настроечным параметрам, а так же обеспечения управляемости их загрузкой.

Цель исследований – совершенствование процессов триерной очистки зерносмесей за счет обеспечения согласованности последовательных операций и управления загрузкой.

Задачи исследований:

- обосновать метод вариантной оценки эффективности использования многоканальных зерноочистительных технологий и выявить резервы их модернизации;
- обосновать конструктивно-технологические схемы, режимы работы и параметры стендового оборудования для исследований ячеистых поверхностей и средств управления потоками зерносмесей;
- разработать метод идентификации результатов стендовых исследований ячеистых поверхностей;
- установить взаимосвязи интенсивности выделения зерновок основной культуры и примесных компонентов по длине ячеистой поверхности, степени заполнения ячей и показателей качества процесса от режимов работы, настроечных параметров и составов зерносмесей;

– установить взаимосвязи расходных характеристик и показателей качества процесса авторегулируемых делителей потока зерносмесей с их параметрами и режимами загрузки;

– установить влияние динамической сегрегации примесных компонентов в циркулирующих слоях сегмента зерносмеси, инерционного удержания контактирующего слоя и динамического «выедания» зерновок из ячеек на интенсивность выделения примесей и степень заполнения ячеек.

Объект исследований. Технологические процессы деления потоков зерна и их триерной очистки.

Предмет исследований. Закономерности процессов выделения частиц основной культуры, короткой и длинной примесей из зерносмесей ячеистыми поверхностями при различных режимах работы и настроечных параметрах триеров; закономерности изменения качества процессов деления потока зерносмеси авторегулируемыми делителями различных типов и исполнений во взаимосвязи с их расходными характеристиками и условиями подачи.

Научная новизна работы:

– новые физические эффекты в технологических процессах триерной очистки зерносмесей – динамической сегрегации примесных компонентов в циркулирующих слоях сегмента, инерционного удержания контактирующего с ячеистой поверхностью слоя зерносмеси, динамического «выедания» зерновок из ячеек;

– закономерности процессов триерного разделения зерносмесей – интенсивности выделения зерновок основной культуры и примесей по длине ячеистых поверхностей, изменения степени заполнения ячеек, технологические последствия (количественные) новых физических эффектов;

– способы преодоления физического противоречия в процессах деления потока сыпучих материалов, обеспечивающих качество процесса за счет сохранения сплошности делимого потока при исключении рисков сводообразования;

– приборно-стендовое оборудование и методы для исследований ячеистых поверхностей на основе временной модели рабочего процесса, обеспечивающие кратное снижение затрат и инвариантность результатов относительно свойств примесных компонентов;

– методы идентификации результатов стендовых исследований ячеистых поверхностей и вариантной оценки эффективности использования многоканальных зерноочистительных технологий.

Теоретическая и практическая значимость. В результате исследований уточнены и расширены положения теории цилиндрических триеров по согласованности режимов и параметров реализации последовательных операций, управлению массовыми потоками зерносмесей, расходным характеристикам, выявленным физическим эффектам. Разработаны теоретические основы стендовых исследований процессов разделения зерносмесей ячеистыми поверхностями.

С учетом обоснованных требований к качеству деления перевалочных потоков зерносмесей в многоканальных технологиях их очистки и предложенных способов исключения процесса сводообразования при сохранении сплошности среды разработано семейство авторегулируемых делителей потока сыпучих материалов, представляющих собой новый класс техники, обеспечивающих работоспособность и качество зерноочистительных технологий.

Методология и методы исследований. Теоретические исследования проводились с использованием положений классической механики, механики насыпных грузов, теории цилиндрических триеров и математического анализа. Экспериментальные исследования процессов разделения зерносмесей ячеистыми поверхностями и процессов деления потока зерна выполнялись в соответствии с разработанными частными методиками и использованием сертифицированных приборов. Физико-механические свойства компонентов исследуемых зерносмесей определялись в соответствии с общепринятыми методиками, использованием стандартных и разработанных нами приборов. Обработка результатов экспериментальных исследований проводилась методами математической статистики на ПЭВМ с современным программным обеспечением.

Степень достоверности результатов. Достоверность результатов исследований подтверждается: достаточным объемом воспроизводимых экспериментальных исследований, их сопоставимостью с результатами теоретического анализа процессов; использованием в исследованиях современных приборов и оборудования; апробацией и внедрением разработок.

Положения, выносимые на защиту:

1. Баланс влияния эффектов инерционного удержания и динамического «выедания» зерновок на интенсивность их выделения по длине овсюжного цилиндра.
2. Закономерности выделения коротких частиц кукольным цилиндром при их разновекторной сегрегации в циркулирующих слоях зернового сегмента.
3. Временная модель исследований процессов выделения компонентов зерносмеси и степени заполнения ячеек их частицами, обеспечивающая кратное снижение затрат без ущерба в достоверности результатов.
4. Способы преодоления физического противоречия при делении падающих перевалочных потоков зерна на технологические каналы.
5. Параметры средств управления массовыми потоками зерна в многоканальных отечественных и зарубежных зерноочистительных технологиях.

Реализация результатов исследований.

Авторегулируемые делители потока зерносмесей внедрены в производство в составе зерноочистительных технологий фирм «Perry» и «Fortschritt» с расходными характеристиками от 50 до 180 т/ч. На основе выполненных исследований и созданных технических решений разработаны и внедрены в производство «Рекомендации по модернизации и эффективному использованию зерноочистительных технологий». Разработанный прибор для разделения проб зерносмесей внедрен в лабораторию контроля качества семенного завода ООО «Бетагран Рамонь» Воронежской обл.

Апробация результатов исследований. Основные положения диссертации доложены и одобрены на международных, всероссийских научно-практических конференциях: Повышение эффективности использования ресурсов при производстве с/х продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства (ФГБНУ ВНИИТиН: 2011, 2013, 2015, 2017, 2019 гг.); Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве (НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства: 2014 г.);

Актуальные вопросы науки, технологии и производства (Санкт-Петербург: 2015 г.); Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК (Ставропольский ГАУ: 2015 г.); Импортзамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки с/х сырья (Тамбовский ГТУ: 2019 г.); Инженерные технологии для устойчивого развития и интеграции науки, производства и образования (Тамбовский ГТУ: 2020 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 80 научных работ, в том числе 28 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, 21 в описаниях к патентам. Общий объем публикаций составляет 49,61 п.л., из них автору принадлежит 23,03 п.л.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5-ти разделов, заключения, списка литературы и приложений. Работа изложена на 394 страницах машинописного текста, включает 155 рисунков, 60 таблиц и 4 приложения на 45 страницах. Список литературы содержит 231 наименований, в том числе 5 на иностранном языке.

Соответствие паспорту специальности. Материалы диссертации соответствуют паспорту специальности 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства: п. 2. «Разработка теории и методов технологического воздействия на среду и объекты (почва, растение, животное, зерно, молоко и др.) сельскохозяйственного производства», п. 5 «Разработка методов повышения надежности и эффективности функционирования производственных процессов, использования агрегатов, звеньев, технологических комплексов и поточных линий, создание безопасных и нормальных условий труда, соблюдение требований охраны труда», п. 7 «Разработка методов оптимизации конструктивных параметров и режимов работы технических систем и средств в растениеводстве и животноводстве по критериям эффективности и ресурсосбережения технологических процессов», п. 10 «Разработка и совершенствование методов, средств испытаний, контроля и управления качеством работы средств механизации производственных процессов в растениеводстве и животноводстве».

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** дана краткая характеристика рассматриваемой проблемы, обоснована актуальность исследований, представлены основные положения, выносимые на защиту.

В **первой главе** «СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С ТРИЕРНОЙ ОЧИСТКОЙ» проанализировано состояние использования современных зерноочистительных технологий подработки зерна в сельхозпредприятиях.

В хозяйствах для подработки зернового вороха в большинстве случаев применяют поточную многоканальную технологию с использованием морально устаревших зерноочистительных агрегатов и комплексов типа ЗАВ и КЗС, спроектированных в 60-70-е годы прошлого века.

Все они имеют характерные признаки: основное технологическое оборудование размещается в одном уровне непосредственно над накопительными

бункерами соответствующих фракций. Это предполагает многократное транспортирование обрабатываемого зерна в вертикальном направлении с помощью ковшовых транспортеров, что негативно сказывается на показателе травмирования зерна. При отсутствии эффективных средств управления массовыми потоками зерна крайне затруднена качественная настройка и регулировка зерноочистительных машин, эффективность работы которых жестко связана с регламентацией подачи зерносмеси. Все технологии подработки зерна в условиях сельхозпредприятий реализованы по многоканальной схеме работы.

Триерные блоки ЗАВ 10.90.000 и БТ-5 в существующих агрегатах при последовательной схеме их работы можно рассматривать как двухканальную реализацию технологии. Таким образом, поток, подаваемый на триера промежуточной норией, должен быть разделен на четыре равные части.

Триерные блоки, представляющие собой последовательный технологический процесс с выделением зерновок основной культуры и коротких примесных компонентов из зерносмеси, не обеспечивают требуемого качества работы. Оптимальная загрузка овсюжного триера, обусловленная гарантированным сходом длинных примесей и исключением потерь зерна основной культуры, не может соответствовать оптимальной загрузке кукольного триера. При последовательном режиме работы триерных цилиндров, когда поочередно выделяются длинные и короткие примеси, необходимо обеспечить технологическое соответствие этих процессов, которые протекают по-разному.

Существующих знаний о процессе разделения компонентов зерносмесей ячеистыми поверхностями недостаточно для модернизации триерных блоков за счет обеспечения управляемости режимами загрузки овсюжного цилиндра и расширения технологических возможностей кукольного цилиндра. Отсутствуют исследования по обеспечению согласованности работы кукольного и овсюжного цилиндров. Недостаточно исследований по динамике выделения из зерносмеси коротких примесей и частиц основной культуры, исследований по параметрам циркуляции сегмента зерносмеси внутри ячеистого цилиндра.

Для существующих зерноочистительных технологий, где используются флажковые и призменные делители, характерно отведение несплошных потоков. Такие делители не могут обеспечить качество процесса из-за того, что падающий поток сыпучих материалов меняет геометрию сечения и расходные характеристики на его участках. Известно, что даже при вертикальной подаче с высоты 0,5-0,6 м заполненного потока на флажковый делитель при симметричном его размещении, соотношение массовых расходов изменяется в диапазоне 150-600%. Необходимо учесть, что в существующих технологиях потоки зерна подаются по зернопроводам большей длины и под углом к установленным делителям, что значительно усложняет условия протекания процесса. Это послужило основанием для разработки качественно новых конструкций делителей, классификация которых представлена на рисунке 1.

Из классификации делителей потока сыпучих материалов следует, что перспективными являются делители непрерывного действия с подвижной стабилизирующей емкостью и грузовоспринимающей системой или делители с неподвижной стабилизирующей емкостью и отводом зерносмеси через стенку-опору свода.

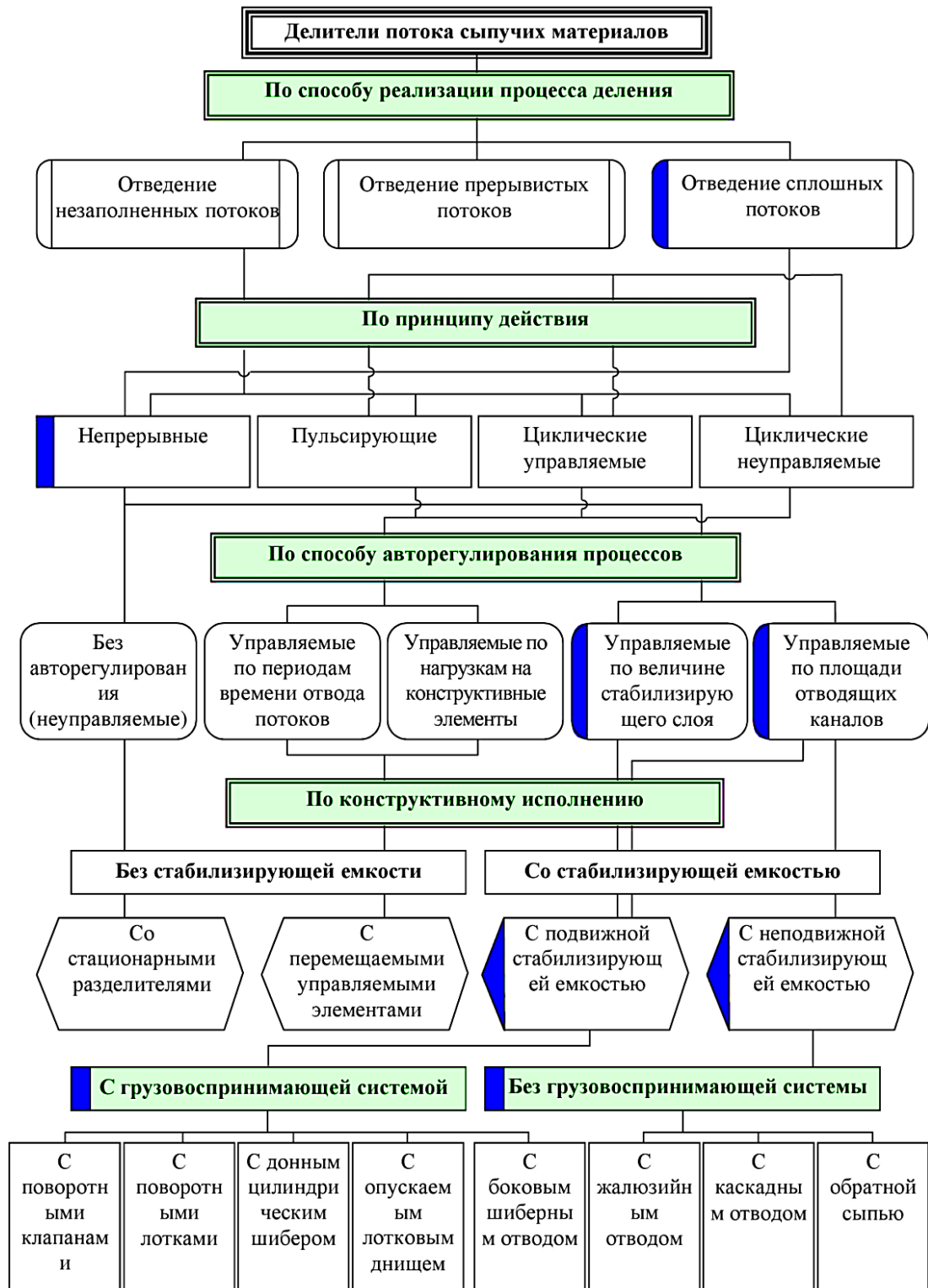


Рисунок 1 – Схема классификации делителей потока сыпучих материалов

Во второй главе «ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЗЕРВОВ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРИЕРНЫХ БЛОКОВ» проанализированы противоречия в конструкции триерных блоков и протекающих в них процессах, выполнено теоретическое обоснование параметров стандового оборудования для исследований ячеистых поверхностей, выполнен анализ процессов выделения зерновок основной культуры и коротких примесей из зерносмеси, обоснованы параметры новых делителей падающего потока сыпучих материалов.

Анализ резервов эффективности

Резервы совершенствования триерной технологии установлены анализом противоречий в реализации последовательных процессов, рисунок 2.

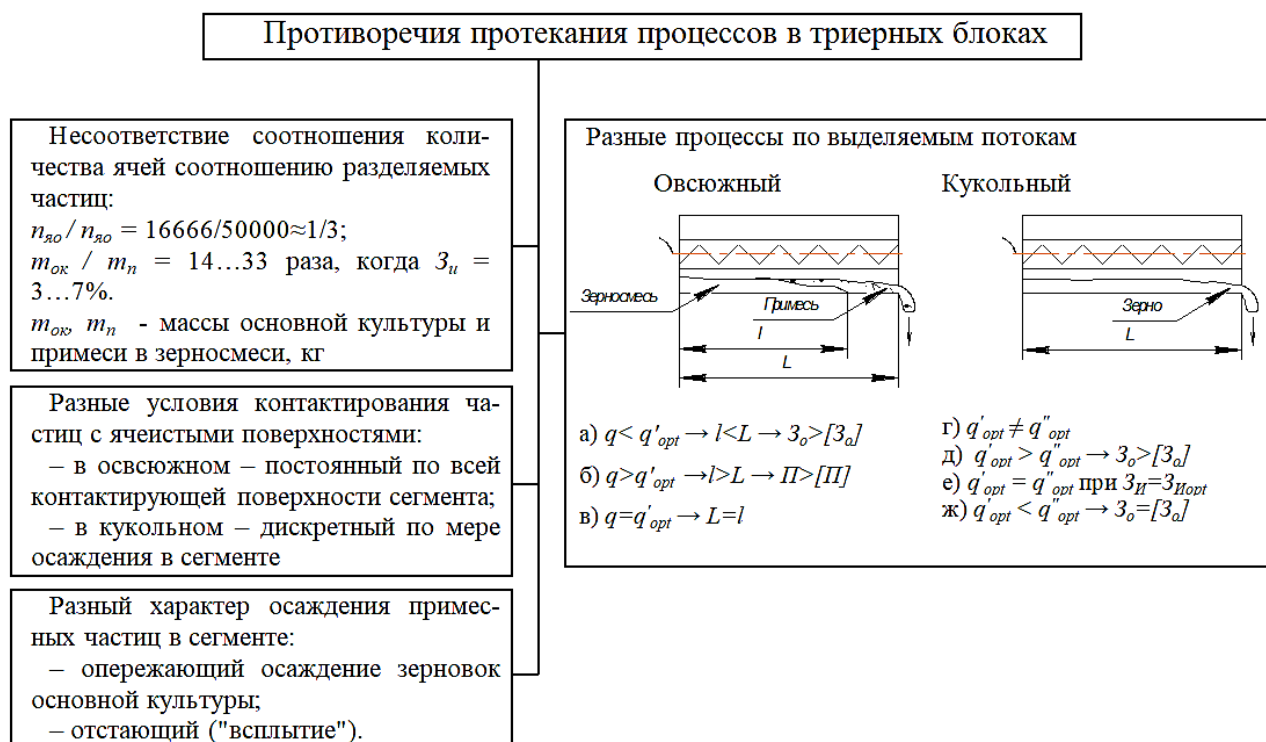


Рисунок 2 – Схема анализа противоречий:

$n_{яо}, n_{як}$ – число ячеек в овсяжном и кукольном цилиндрах, шт.;

q, q'_{opt}, q''_{opt} – подача и оптимальные подачи, кг/с;

L, l – общая и загруженная длина цилиндра, м;

$\Pi, [\Pi]$ – фактические и допустимые потери, %;

$Z_o > [Z_o]$ – фактическая и допустимая остаточная засоренность, %;

Z_n – исходная засоренность зерносмеси, %.

Из рисунка 2 вытекают направления совершенствования технологии: исключение или блокирование части рабочей поверхности овсяжного цилиндра; повышение технологических возможностей кукольного цилиндра; управление режимами работы; согласование качества процессов выделения длинных и коротких примесей. Выявлена необходимость интенсификации контакта коротких частиц с ячейками и снижения эффекта «выедания» частиц из ячеек.

Для реализации выявленных резервов повышения качества процессов выполнен анализ способов и средств управления технологией, рисунок 3.

Выбор решений по управлению качеством процессов основан на учете целевых функций: потери $\Pi_{ок} \rightarrow \min$; остаточная засоренность $Z_o \rightarrow \min$; степень выделения примесных компонентов $C_b \rightarrow \max$; производительность $W \rightarrow \max$; затраты на модернизацию $Z_m \rightarrow \min$.

Установленные резервы эффективности триерных технологий должны быть подтверждены экспериментально, для чего необходимо создать принципиально новую экспериментальную базу.



Рисунок 3 – Способы и средства управления триерной технологией

Обоснование параметров натурального стенда для исследований ячеистых поверхностей

Традиционные методы исследований не обеспечивают сохранение условий опытов при использовании питающих бункеров для зерносмеси, необходима отдельная нормированная подача компонентов зерносмеси на ячеистую поверхность. Для этого нами разработан натуральный стенд для исследований ячеистых поверхностей, рисунок 4.

Режимы работы и параметры стенда связаны с производительностью триера, размерными характеристиками желоба 5, параметрами транспортера подачи примесей, бункера основной культуры и временем отбора проб. Для установления этих связей приняты решения из условий: реальной загрузки существующих триерных блоков, необходимости минимизации погрешностей, конструктивных соображений.

Объем ячеей ($V_{я}$) отборника, заполненного выделенными частицами за время опыта, можно рассчитать по формуле:

$$V_{я} = \pi d_B L / 16 n_0 = \pi d_B l / 16, \quad (1)$$

где d_B – внутренний диаметр отборника, м; L – длина триерного цилиндра, м; n_0 – число объемов для проб, шт.; l – длина ячейки отборника, м.

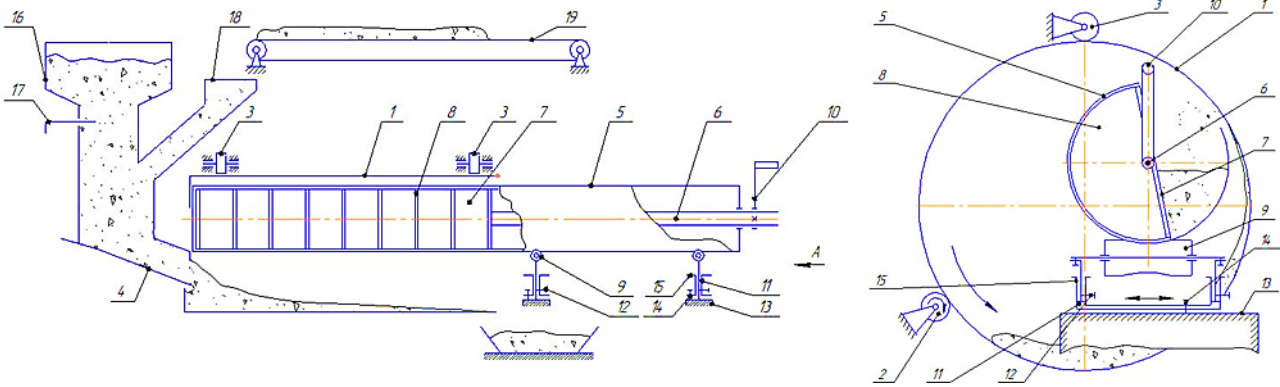


Рисунок 4 – Натурный стенд для исследований ячеистых поверхностей:

1 – ячеистая поверхность; 2 – приводные ролики; 3 – опорные ролики; 4 – загрузочный лоток;
 5 – желоб; 6 – вал; 7 – стенка; 8 – сегментные перегородки; 9 – опорные валики;
 10 – поворотный рычаг; 11 – платформа; 12, 14 – фиксаторы; 13 – рама; 15 – направляющие;
 16 – бункер основной культуры; 17 – регулирующая заслонка;
 18 – приемная горловина примесей; 19 – транспортер подачи примесей

В формуле (1) учтено, что контрольные пробы выделенных частиц заполняют четверть сечения отборника. Масса выделенных частиц во всем отборнике будет:

$$M_0 = \pi d_B L / 16. \quad (2)$$

где ρ – насыпная плотность зерносмеси, кг/м³.

Продолжительность отбора проб (t_0) с учетом максимальной подачи составит:

$$t_0 = M_0 / Q_{max}. \quad (3)$$

Примем во внимание, что в бункере основной культуры после окончания опыта должен оставаться стабилизирующий слой зерна массой $M_{ст} = 15$ кг. Тогда с учетом времени стабилизации $t_c = 5$ с на начало опыта в бункере должна находиться масса:

$$M_B = M_0 + M_{ст} + Q_{max} t_c. \quad (4)$$

Емкость бункера основной культуры (V_B) с учетом рационального коэффициента его заполнения ($K_{ЗБ} = 0,7$) будет:

$$V_B = M_0 / \rho K_{ЗБ}. \quad (5)$$

Для синхронной подачи примесей (Q_l) в триерный цилиндр в заданном соотношении (3) с зерном основной культуры ($3 = Q_l / Q_{max} 100\%$) скорость ленты транспортера будет:

$$V_l = \frac{3 Q_{max}}{100 h_{сл} B_k \rho_{пр} K_k}, \quad (6)$$

где $h_{сл}$ – высота слоя примеси в разделенном коробе, который используется для равномерного распределения примесей по ленте, м; $\rho_{пр}$ – насыпная плотность примеси, кг/м³; K_k – коэффициент заполнения короба (разный при различной высоте заполнения); B_k – ширина короба, м.

Из уравнения (6) видно, что при известной величине V_l (не изменяемой в опытах) величину 3 можно варьировать за счет изменения $h_{сл}$. Учитывая нелинейную взаимосвязь $K_k = f(h_{сл})$ из-за сложной формы перегородок короба, скорость ленточного транспортера целесообразно определять по величине погонной массы (q_n) примеси, распределенной по ленте транспортера:

$$V_{Л} = 3Q_{max}/100q_n. \quad (7)$$

Величина погонной массы, примесного компонента составит:

$$q_n = 3Q_{max}/100V_{Л}. \quad (8)$$

По величине q_n можно подбирать параметры короба, учитывая выражение:

$$q_n = K_k h_{сл} B_k \rho_{np}. \quad (9)$$

При этом с целью предотвращения потерь примесного компонента, должно соблюдаться условие:

$$B_k \leq 0,3 \dots 0,35 B_{Л}, \quad (10)$$

где $B_{Л}$ – ширина ленты транспортера подачи примеси, м.

Для принятых условий ($B_k = 0,15$ м; $h_{сл} = 0,1$ м; $\rho_{np} = 300$ кг/м³; $K_k = 0,7$) величина погонной массы составит $q_n = 3,15$ кг/м, а скорость ленты при засоренности $Z = 10\%$:

$$V_{Л} = (10 \cdot 1,4)/(100 \cdot 3,15) = 0,0444 \text{ м/с.}$$

Полезная длина ленты ($L_{Л}$) транспортера составит:

$$L_{Л} = V_{Л}(t_0 + t_c) = 0,0444(12,6 + 5) \approx 0,78 \text{ м.}$$

Обоснование параметров стенда циклического действия

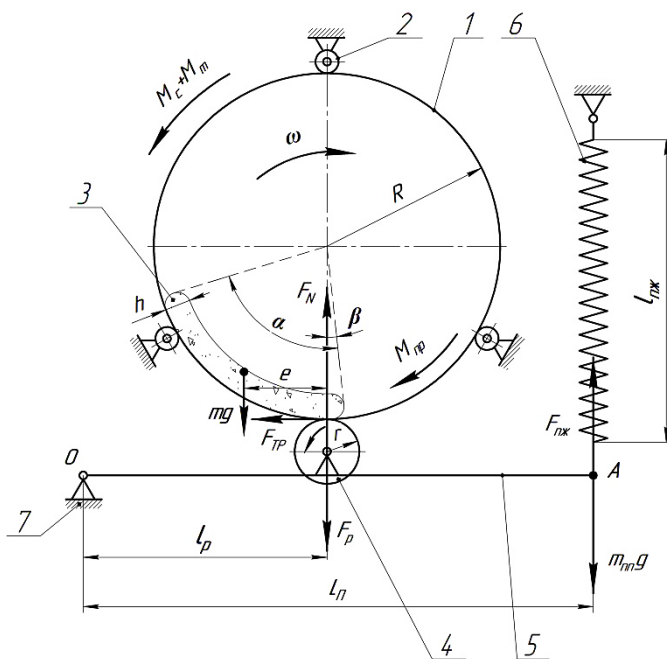


Рисунок 5 – Расчетная схема стенда циклического действия:

- 1 – ячеистый цилиндр; 2 – опорные ролики;
3 – сегмент зерносмеси; 4 – фрикционный ролик;
5 – платформа; 6 – пружина; 7 – рама

При вращении ячеистого цилиндра навеска зерносмеси формируется в виде циркулирующего сегмента с углом охвата α , и смещением относительно вертикальной оси на угол β . Предложенный стенд обеспечивает временную модель процесса с интервальным контролем продолжительности без ограничения, что исключает пространственная модель.

Высота слоя циркулирующего сегмента (h) определяется согласно известным соотношениям и взаимосвязана с массой зерносмеси в цилиндре. Для случая выделения коротких примесей допустимо считать массу зерносмеси в цилиндре постоянной из-за малых величин ее засоренности.

Разработанный нами натурный стенд для исследований ячеистых поверхностей, содержащий полноразмерный триерный цилиндр и многосекционный отборник примесного компонента имеет ряд ограничений по диапазонам: расходных характеристик; углов охвата факела выброса; радиального зазора с ячеистой поверхностью.

Предложенный стенд (рисунок 5) позволяет реализовать временную модель процесса, устраняет недостатки пространственной модели, и обеспечивает инвариантность условий опытов относительно длины ячеистой поверхности.

При вращении ячеистого цилиндра навеска зерносмеси формируется в виде циркулирующего сегмента с углом охвата α , и смещением относительно вертикальной оси на угол β . Предложенный стенд обеспечивает временную модель процесса с интервальным контролем продолжительности без ограничения, что исключает пространственная модель.

При работе станда приводной момент M_{np} уравнивается моментом сопротивления вращению на холостом ходу M_c и моментом сопротивления сил трения M_{mp} зерна массой m о ячеистую поверхность:

$$M_{mp} = mg \left[(R-h) \sin(\alpha/2 - \beta) \right]; \quad (11)$$

$$M_{np} = M_c + mg \left[(R-h) \sin(\alpha/2 - \beta) \right]. \quad (12)$$

Величину момента M_c определяли измерениями с интервалом положения ячеистого цилиндра в 45° .

Величину m можно определить по формуле:

$$m = S_c l_y \rho K_y, \quad (13)$$

где S_c – торцевая площадь сегмента, m^2 ; l_y – длина ячеистого цилиндра, м; ρ – насыпная плотность зерносмеси, kg/m^3 ; K_y – коэффициент, учитывающий снижение плотности сегмента при циркуляции слоев (для пшеницы $K_y = 0,78$).

Площадь сегмента будет:

$$S_c = \frac{\alpha}{2\pi} \pi \left[R^2 - (R-h)^2 \right]. \quad (14)$$

С учетом уравнений (13) и (14) получим:

$$m = \alpha l_y \rho K_y \left[R^2 - (R-h)^2 \right] / 2. \quad (15)$$

При $\omega = 4,2 \text{ с}^{-1}$ величина $\alpha = 1,57$ рад, а при загрузке близкой к максимально возможной $h = 0,05$ м. Насыпная плотность пшеницы $\rho = 750 \text{ кг/м}^3$, $l_y = 0,6$ м. С учетом принятых значений $m = 7,6$ кг.

Величина M_{mp} определенная по формуле (11):

$$M_{mp} = 13 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (16)$$

Суммарный момент сопротивления:

$$M_{np} = M_c + M_{mp} = 11,5 + 13 = 24,5 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (17)$$

Потребляемая мощность составит:

$$N_n = M_{np} \omega = 24,5 \times 4,2 = 103 \text{ Вт} \quad (18)$$

Использование временной модели триерного процесса и станда циклического действия для ее реализации требует разработки метода переноса результатов исследований на натурные условия.

Обоснование метода идентификации расходных характеристик по стендовым исследованиям

При выделении коротких примесей из зерносмеси стенд циклического действия обеспечивает прямое измерение результативного показателя (остаточную засоренность). Выделение зерновок основной культуры можно представить уменьшением толщины сегмента зерносмеси от начального значения (h) до нулевого. То есть чем выше подача (W_n) зерносмеси в ячеистый цилиндр, тем выше высота (h) сегмента и продолжительность процесса. Предпосылки для разработки этого метода заключаются в следующем: продолжительность реального процесса стендом циклического действия воспроизводится; динамика уменьшения h от начального значения до 0 при заданных режимах работы и настроечных параметрах идентична реальным условиям; взаимосвязь скорости осевого смещения

зернового сегмента с величиной подачи зерносмеси в ячеистый цилиндр установлена профессором Летошневым М.Н. и другими учеными.

Последовательность действий предложенным методом следующая: по взаимосвязи средней скорости осевого смещения (v) зернового сегмента в ячеистом цилиндре с величиной подачи (W_n) зерносмеси в него определяют время (t_u), за которое сегмент смещается на величину (l_p), равную рабочей длине ячеистого цилиндра в стенде; по шкале времени для каждой выявленной функции интенсивности выделения $q_i = f_i(t)$ определяют число интервалов времени (t_u); интегрируют функцию $q_i = f_i(t)$ в пределах каждого интервала и определяют среднее интервальное значение интенсивности выделения (q_i); складывают полученные значения.

С учетом изложенного выше идентифицированная производительность существующего или проектируемого ячеистого цилиндра будет определяться по формуле:

$$W_g = \sum_{i=1}^{i=n_i} \left[\int_{t_i}^{t_{i+1}} q_i(t) dt / (t_{i+1} - t_i) \right], \quad (19)$$

где $q_i(t)$ – интенсивность выделения зерновок основной культуры из зерносмеси в i -ом интервале времени, $m/ч$; $(t_{i+1} - t_i)$ – интервал времени осевого смещения сегмента зерносмеси в ячеистом цилиндре стенда при подаче W_n , с.

Величина W_g связана с величиной подачи соотношением:

$$W_g = W_n - W_{cx}, \quad (20)$$

где W_{cx} – интенсивность схода зерносмеси с ячеистой поверхности, $m/ч$.

Величина l_p определяется по формуле:

$$l_p = l_{yc} - b_{об} - 3_T = 0,5 - 0,02 - 0,01 = 0,47 м, \quad (21)$$

где l_{yc} – длина ячеистого цилиндра стенда, $м$; $b_{об}$ – ширина обечайки, предотвращающей пристенный эффект, $м$; 3_T – торцевой зазор между вертикальной стенкой выводного лотка и глухой стенкой стенда, $м$.

Для стандартного ячеистого цилиндра $L_y = 2,2 м$, тогда величина соотношения длин n_k будет:

$$n_k = L_y / l_o = 2,2 / 0,47 \approx 4,7. \quad (22)$$

Диапазон скоростей углового смещения сегмента составляет $v = 0,0325 \dots 0,050 м/с$ в зависимости от величины подачи (W_n) при скорости вращения цилиндра $\omega = 4,7$ рад/с (45 об/мин). Скорость осевого смещения сегмента зерна в ячеистом цилиндре с подачей в него связана линейно, а подача (W_n) прямо пропорциональна величине загрузке стенда. Временная модель процесса стендового воспроизведения динамики выделения зерновок основной культуры из зерносмеси адекватна реальному процессу в пространственной модели. В стенде реализуется идентичный реальному процесс выноса зерновок из сегмента исходных размеров до нулевых.

Анализ процесса выделения зерновок основной культуры из зерносмеси

Степень заполнения ячей частицами является продуктивным показателем оценки динамики процесса. Он позволяет анализировать взаимосвязь расход-

ных характеристик с режимами работы и настроечными параметрами триера, толщиной (высотой) зернового сегмента и углом его охвата. Большинство этих параметров изменяются по длине ячеистой поверхности, изменяются условия выброса ячеями захваченных частиц (параметры факела выброса) и вероятность их попадания в лоток.

Степень заполнения ячей зерновками основной культуры определяется по формуле:

$$n_{zij} = m_{nij} \cdot 1000 / (n_{яj} \cdot m_{1000}), \quad (23)$$

где n_{zij} – число зерновок, захваченных ячейей в i -ом интервале времени замеров j -го опыта, шт; m_{nij} – масса выделенных зерновок в i -ом интервале времени замеров j -го опыта, г; $n_{яj}$ – число задействованных ячеей за интервал времени замеров в i -ом опыте, шт; m_{1000} – масса 1000 зерновок основной культуры, г.

Величина m_{nij} определяется по результатам стендового эксперимента. Число задействованных ячеей в j -ом опыте за интервал времени замеров (t_{uj}) определяется по формуле:

$$n_{яi} = \alpha_{nj} n_{\Sigma} / 2\pi, \quad (24)$$

где α_{nj} – угол поворота ячеистого барабана стенда за время (t_{uj}) в j -ом опыте, рад; n_{Σ} – число ячеей на ячеистом барабане стенда, шт.

$$\alpha_{ni} = 2\pi n_j t_{uj} / 60 = 0,1047 n_j t_{uj}, \quad (25)$$

где n_j – скорость вращения ячеистого барабана стенда в j -ом опыте, об/мин.

С учетом уравнений (24) и (25) получим:

$$n_{zij} = m_{nij} \times 1000 / (101,3 n_j t_{uj} \times 52,6) = m_{nij} \times 0,1877 / n_j t_{uj}. \quad (26)$$

При анализе результатов исследований степени заполнения ячеей нужно обеспечить условие сопоставимости оценок по полноте приема выделяемого факела частиц выводным лотком. При этом нужно учитывать начальное положение верхней кромки передней стенки выводного лотка относительно верхней границы циркулирующего зернового сегмента и достаточность скоростного режима работы стенда. Полнота анализа процесса по степени заполнения ячеей требует знаний об эквивалентной расходной характеристике и параметрах сегмента ячеистого цилиндра в произвольном его сечении. Это позволяет учитывать возрастающее угловое расстояние между верхней границей циркулирующего слоя и рабочей кромкой выводного лотка, убывающее число циркулирующих слоев в зерновом сегменте.

Для определения эквивалентной расходной характеристики в i -ом интервале времени необходимо определить величину остаточной массы по формуле:

$$m_{нiо} = m_n - \left(\sum_1^{i-1} m_{н(i-1)} + m_i / 2 \right), \quad (27)$$

где $m_{н(i-1)}$ – интервальные массы выделенных частиц до начала i -го интервала, кг; m_i – масса выделенных частиц в i -ом интервале, кг.

Площадь сечения зернового сегмента в середине i -го интервала (S_i) определяется по формуле:

$$S_i = m_{нiо} / l_{uc} \rho. \quad (28)$$

Расчетному значению (S_i) соответствует эквивалентная расходная характеристика реального ячеистого цилиндра. Она определяется по формуле:

$$W_{эi} = S_i v_i \rho = m_{нi} v_i / l_{цc}, \quad (29)$$

где v_i – эквивалентная скорость осевого перемещения зернового сегмента в i -ом интервале, м/с.

По установленным значениям $W_{эi}$ и параметрам сегмента анализируют степень заполнения ячеек в произвольном сечении ячеистого цилиндра.

Процесс выделения коротких частиц существенно отличается и требует дополнительного анализа, учитывающего их распределение по слоям сегмента.

Анализ процесса выделения коротких примесей из зерносмесей

При анализе динамики выделения коротких частиц большое значение имеет число циркулирующих слоев (n) в сегменте:

$$n = q / \gamma \cdot b \cdot l \cdot v_x, \quad (30)$$

где q – секундная подача зерносмеси в триерный цилиндр, кг/с; γ – насыпная плотность зерносмеси, кг/м³; b – средняя толщина зерновок основной культуры, м; l – длина дуги контактирующего слоя сегмента, м; v_x – скорость осевого смещения сегмента, м/с.

Величину l определяли из уравнения:

$$l = \alpha \cdot r \cdot \pi / 180; \quad (31)$$

Время перемещения зерновок по дуге длиной l определили по формуле:

$$t = \alpha \cdot \pi / 180 \cdot \Omega, \quad (32)$$

где Ω – угловая скорость перемещения зерновок (по М.Н. Летошневу) в триерном цилиндре $\Omega = (0,34 \dots 0,51)\omega$, рад/с.

Скорость осевого смещения сегмента зерносмеси определяли по формуле М.Н. Летошнева. Величину осевого смещения сегмента зерносмеси при однократном выделении примеси из контактирующего слоя определяли по формуле:

$$x = v_x \cdot t. \quad (33)$$

Для оценки выделенных частиц в каждом последующем цикле необходимо из исходного числа частиц в сегменте (P) вычесть сумму выделенных частиц во всех предыдущих циклах, а затем разницу разделить на число слоев (n).

Засоренность сегмента после i -го цикла выделения примеси определяли по формуле:

$$Z_i = Z_H \left(1 - \sum_1^i n_{чиi} / P \right). \quad (34)$$

где $n_{чи1}$ – число частиц примеси, выделенных в первом цикле, шт.

Продолжительность времени протекания процесса определяет число кукольных цилиндров в составе триерного блока из условия достаточности. Алгоритм расчета эквивалентной длины ячеистой поверхности для выделения коротких примесей представлен на рисунке 6.

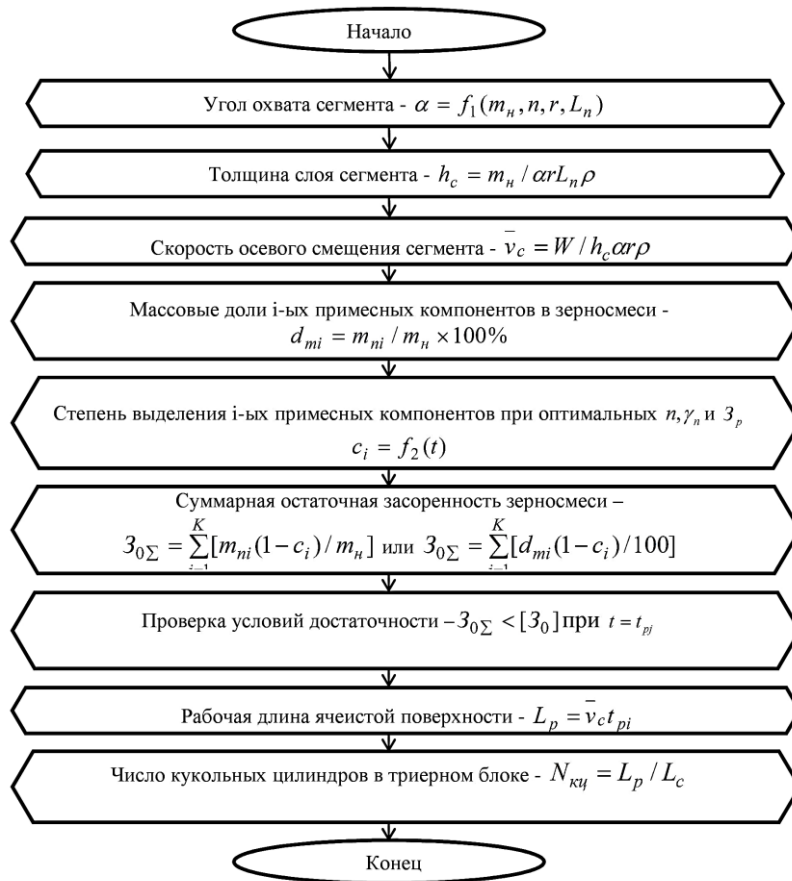


Рисунок 6 – Схема алгоритма расчета эквивалентной длины ячеистой поверхности: α – угол охвата сегмента, рад; m_n – величина навески зерносмеси внутри ячеистого цилиндра, кг; n – скорость вращения ячеистого цилиндра, об/мин; r, L_n – радиус и длина ячеистого цилиндра, м; ρ – насыпная плотность зерносмеси, кг/м³; m_{ni} – масса i -го примесного компонента в навеске, кг; d_{mi} – долевое содержание i -го примесного компонента в зерносмеси, %; γ_n – угол подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка, град; Z_p – зазор между верхней кромкой передней стенки лотка и ячеистым цилиндром, мм; c_i – степень выделения i -го примесного компонента, %; $Z_{0\Sigma}$ – суммарная остаточная засоренность зерносмеси, %; $[Z_0]$ – регламентная остаточная засоренность зерносмеси, %; t_{pj} – j -ое расчетное время очистки зерносмеси, с; L_p – расчетная длина ячеистой поверхности, м; L_c – длина стандартного ячеистого цилиндра, м; $N_{кц}$ – число кукольных ячеистых цилиндров в триерном блоке

Обоснование параметров делителя потока зерна с шибберным отводом

Движение стабилизирующей емкости определяется силой тяжести (Mg) и силой дополнительного растяжения пружин ($nc \cdot dh$), рисунок 7. Динамическое воздействие падающего потока зерна компенсируется силами трения в направляющих, а вес стабилизирующей емкости уравнивается предварительным растяжением пружин. Сила тяжести меняется в зависимости от количества зерна, накопившегося в стабилизирующей емкости, и определяется балансом подачи (Π) зерна в нее и расхода (P) из нее.

Откуда уравнение движения стабилизирующей емкости будет:

$$\int_{t_0}^t (\Pi - P) g dt - nch = M \frac{d^2 h}{dt^2}, \quad (35)$$

где Π – подача зерна в емкость, кг/с; P – расход зерна через отвод, кг/с; M – масса стабилизирующей емкости вместе с массой накопившегося в ней зерна, кг;

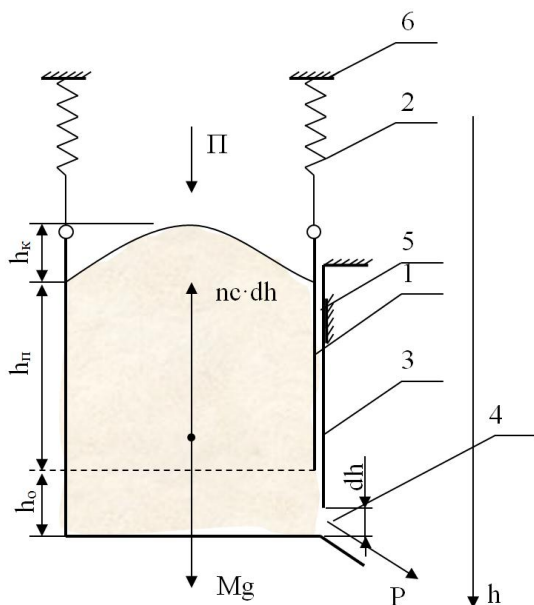


Рисунок 7 – Схема делителя с шиберным отводом:

1 – регулирующая емкость;

2 – пружина; 3 – регулирующий шибер;

4 – отвод; 5 – направляющая; 6 – рама

h – вертикальное отклонение емкости от начального положения равновесия, м; d^2h/dt^2 – ускорение стабилизирующей емкости в результате действия на нее сил тяжести и растяжения пружин.

Для выявления реальной динамики движения стабилизирующей емкости необходима количественная определенность некоторых ее параметров и режимов работы. Наиболее динамичное воздействие внешних сил на стабилизирующую емкость будет при величине подачи зерна $\Pi = 10$ т/ч, которая определяет номинальный режим работы стандартных триерных блоков.

Из конструктивных соображений принято: $M = 10$ кг; $n = 2$ шт.; $C = 1000$ н/м. Для уравновешенной стабилизирующей емкости в начальный момент времени $P_n = 0$ и $h_k = 0$. Окончательный вид уравнения движения стабилизирующей емкости будет следующим:

$$h = 0,2 - 0,2 \cdot e^{-0,1t} - 0,036 \cdot e^{0,05t} \sin(-13,9t). \quad (36)$$

В равновесном исходном положении, когда подъем шибера относительно дна стабилизирующей емкости равен 0, баланс сил может быть представлен уравнением:

$$nc\Delta l = m_E g + m_3 g = m_E g + abh_0 \rho g, \quad (37)$$

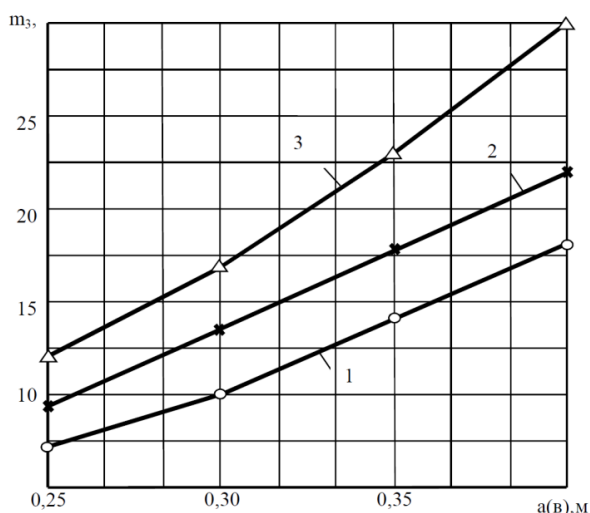


Рисунок 8 – Зависимость массы стабилизирующего слоя зерна от габаритов емкости и его высоты

где Δl – предварительное растяжение пружин, м; m_E , m_3 – масса емкости и стабилизирующего слоя зерна, кг; a , b – габариты сечения стабилизирующей емкости, м; h_0 – стабилизирующая высота слоя зерна, м; n – число пружин, шт; ρ – плотность зерна, кг/м³.

Для принятых диапазонов изменения стабилизирующего слоя ($h_0 = 0,15$; $h_0 = 0,20$; $h_0 = 0,25$) и габаритов (a , b) стабилизирующей емкости изменение объема зерна в ней составляет 0,0094...0,04 м³. При этом масса (m_3) стабилизирующего слоя зерна изменяется в диапазоне 7,03...30,0 кг. На рисунке 8 представлен характер изменения m_3 от h_0 и (a , b).

Размеры насыпного тела зерна, характерные для верхнего позиционного срабатывания, играют определяющую роль в лимитировании его вертикальных габаритов, что очень важно для компоновки делителя в существующие техно-

логические линии. Поэтому рациональным является вариант: $a=b=0,35$ м; $h_{\Sigma}=0,353$ м; $h_0=0,15$ м. Стабилизирующий слой высотой $h_0=0,15$ м является компенсатором вариации подачи (II) независимо от необходимости в стабилизирующем слое. Величина вертикального габарита $\Gamma_{\epsilon}=0,633$ м приемлема для существующих технологий.

Обоснование параметров жалюзийных делителей потока зерна

Для анализа работы жалюзийного делителя рассмотрим расчетную схему с асимметричным размещением зернового монолита в стабилизирующей емкости, когда подача зерна осуществляется непосредственно к жалюзийной стенке, рисунок 9.

Площади живых сечений отводов зерна из стабилизирующей емкости через левую ($S_{л}$) и правую ($S_{п}$) части боковой стенки описывается уравнениями:

$$S_{л} = BH / 2 - B^2 \operatorname{tg} \alpha / 8 - eB \operatorname{tg} \alpha / 2; \quad (38)$$

$$S_{п} = -e^2 \operatorname{tg} \alpha + BH / 2 - B^2 \operatorname{tg} \alpha / 8 + eB \operatorname{tg} \alpha / 2. \quad (39)$$

Разница площадей (расходов) через левую и правую части жалюзийного делителя зависит от смещения подаваемого потока зерна (e), угла естественного откоса (α) и ширины стабилизирующей емкости (B):

$$S_{п} - S_{л} + \operatorname{tg} \alpha (eB - e^2) = e \operatorname{tg} \alpha (B - e). \quad (40)$$

Относительная величина погрешности деления (Δ) зависит от высоты (H). Для ее оценки необходимо определить среднюю площадь. С учетом этого погрешность деления будет определяться по формуле:

$$\Delta = 2(S_{п} - S_{л}) / (S_{п} + S_{л}) \times 100\% = \frac{2[e \operatorname{tg} \alpha (B - e)]}{BH - e^2 \operatorname{tg} \alpha - B^2 \operatorname{tg} \alpha / 4} \times 100\%. \quad (41)$$

Из рисунка 9 видно, что верхний контур EFG с расположением EF и FG под углом естественного откоса зерна (α), характерен для подачи зерна непосредственно к жалюзийной стенке, что неприемлемо. При смещении подачи зерна от жалюзийной стенки к центру стабилизирующей емкости форма контура сопряжения зернового монолита с жалюзийной стенкой будет параболой. Высота (h_n) параболы – вертикальное расстояние между точками E' и F' (см. рисунок 10) будет определяться по формуле:

$$h_n = \sqrt{(C/2)^2 + (B/2)^2} \times \operatorname{tg} \alpha - C/2 \times \operatorname{tg} \alpha. \quad (42)$$

Для квадратной формы сечения стабилизирующей емкости:

$$h_n = B \operatorname{tg} \alpha (1/\sqrt{2} - 1/2) = 0,126B \quad (43)$$

Линия 5 является линейной аппроксимацией параболы $E'F'$ из условия равенства площадей под ними. С учетом (α') наклона аппроксимирующей линии 5 будет одинаковой для всей B , что позволит использовать принятую расчетную схему для оценки Δ при произвольных координатах центра подаваемого потока зерна в стабилизирующую емкость.

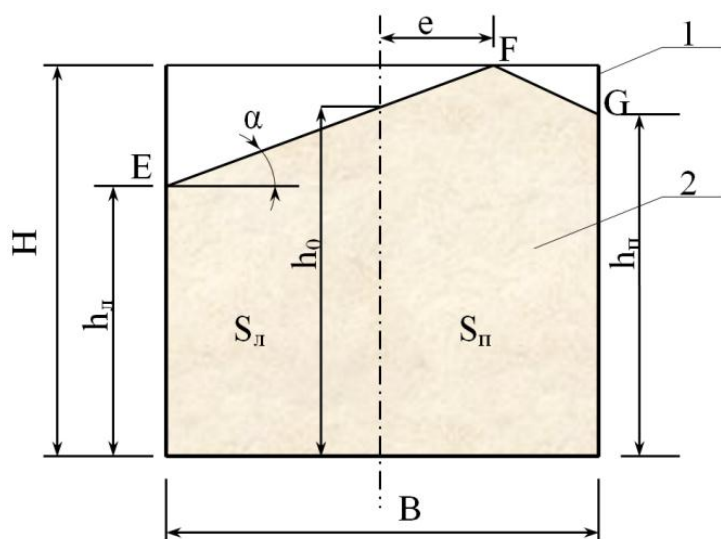


Рисунок 9 – Расчетная схема жалюзийного делителя

1 – стабилизирующая емкость;
2 – зерновой монолит; H, B – высота и ширина стабилизирующей емкости, м; α – угол естественного откоса зерна, град; S_I, S_{II} – площади истечения зерна через левую и правую части делителя

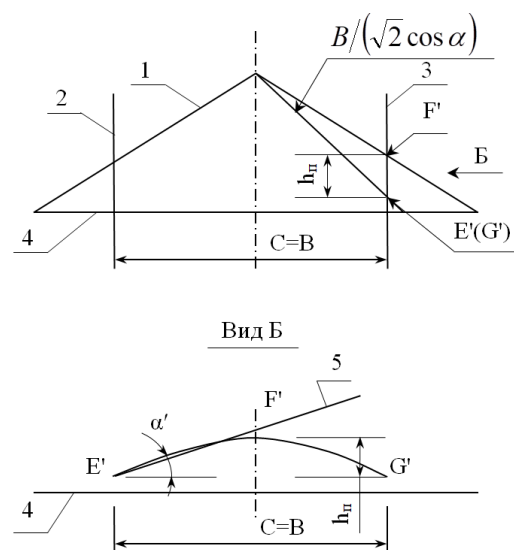


Рисунок 10 – Схема определения угла α' :

1 – поверхность насыпного конуса;
2 – задняя стенка стабилизирующей емкости; 3 – жалюзийная стенка;
4 – основание конуса;
5 – аппроксимирующая линия

Из уравнения (44) и рисунка 10 следует, что $\alpha' = 15^\circ$. Расчетные уравнения для оценки Δ при изменении e, B, H для параболического контура $E'F'G'$ будут иметь вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha'_1 = 15^\circ; e_1 = 0,05 \text{ м} \rightarrow \Delta'_1 = \frac{0,027(B - 0,05)}{BH - 0,000675 - 0,07B^2} \times 100\%; \\ \alpha'_2 = 15^\circ; e_2 = 0,1 \text{ м} \rightarrow \Delta'_2 = \frac{0,054(B - 0,1)}{BH - 0,0027 - 0,07B^2} \times 100\%; \\ \alpha'_3 = 15^\circ; e_3 = 0,15 \text{ м} \rightarrow \Delta'_3 = \frac{0,081(B - 0,15)}{BH - 0,006 - 0,07B^2} \times 100\%. \end{array} \right. \quad (44)$$

Увеличение смещения потока (e) повышает погрешность деления (Δ') в 2,2...4,4 раза. Сокращение высоты стабилизирующей емкости (H) от 0,6 м до 0,3 м при изменении B и e в указанных диапазонах повышает Δ' в 2,1...2,2 раза.

Делитель с расходной характеристикой $Q = 23,3$ т/ч ($B = 0,4$ м; $H = 0,3$ м) может быть использован при модернизации существующих зерноочистительных агрегатов ЗАВ – 40 с установкой перед триерными блоками. Однако, качество работы этого делителя очень чувствительно к асимметрии (e) зернового монолита в стабилизирующей емкости. Поэтому его следует применять с центрирующей приемной горловиной. При этом вертикальный габарит $H_{22} = 1,05$ м вписывается в запас технологической высоты агрегата.

В третьей главе «ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ» представлена программа исследований, которая предусматривает: разработку и изготовление экспериментального оборудования для исследований процессов разделения зерносмесей с помощью ячеистых

поверхностей, процессов деления потока зерна; разработку частных методик экспериментальных исследований.

Стендовое оборудование для исследований процессов разделения компонентов зерносмесей ячеистыми поверхностями представлено на рисунке 11.

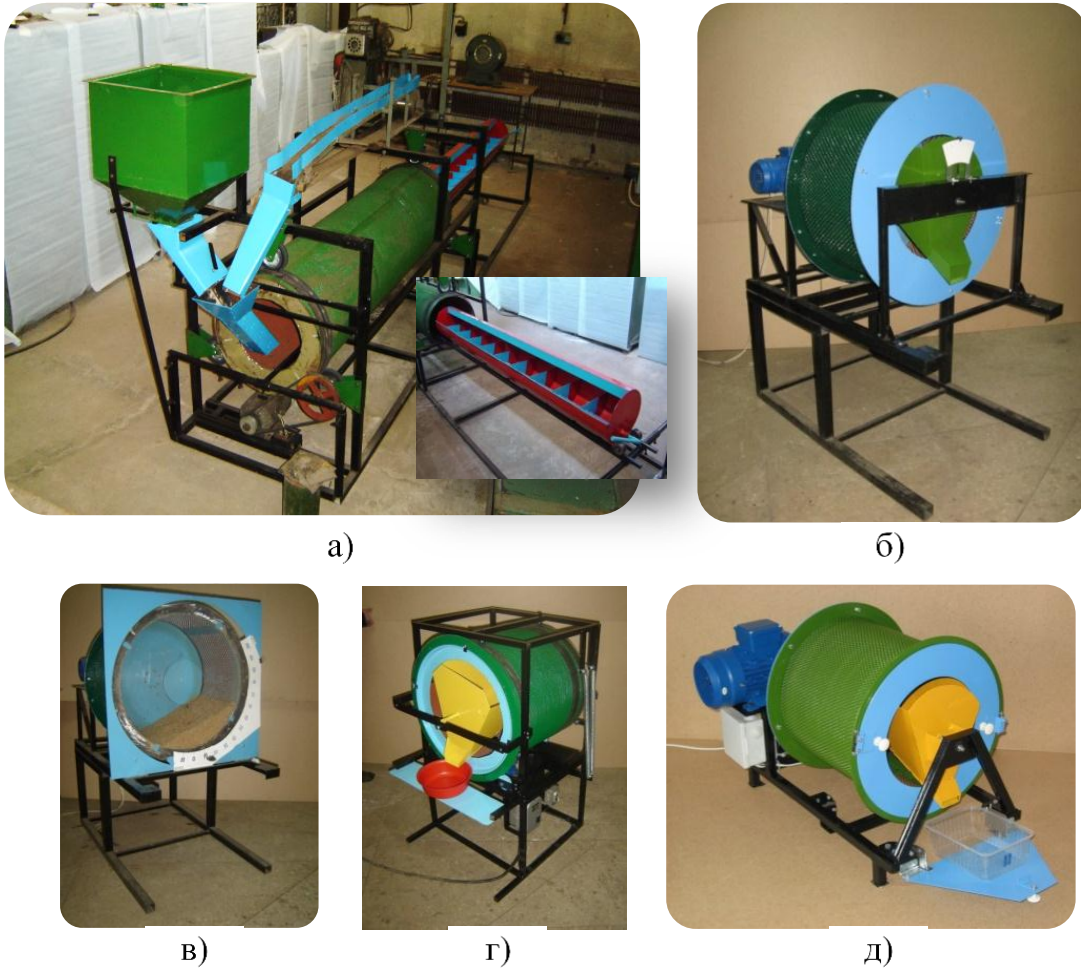
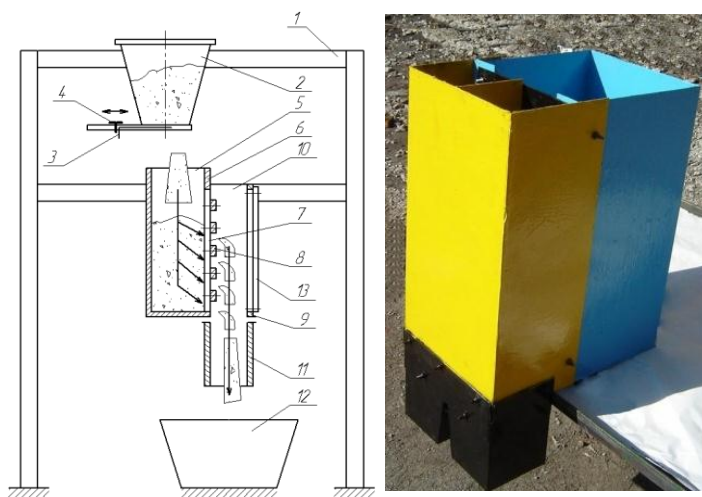


Рисунок 11 – Стендовое оборудование для исследований ячеистых поверхностей

Натурный стенд (рисунок 11 а) предусматривает регламентированную раздельную подачу компонентов исследуемой зерносмеси в ячеистый цилиндр. Стенды циклического действия с размещением ячеистого цилиндра на опорных роликах (рисунок 11 г) и с консольным креплением ячеистого цилиндра (рисунок 11 б) предусматривают циклическую загрузку и непрерывный контроль отвода выделяемого компонента, что обеспечивает инвариантность результатов относительно длины ячеистых поверхностей. Стенд для исследований параметров циркулирующего сегмента зерносмеси (рисунок 11 в) позволяет визуально контролировать процесс. Прибор (рисунок 11 д) позволяет значительно снизить затраты труда на проведение экспериментальных исследований и повысить точность их результатов.

Экспериментальная установка для исследований процесса деления потока зерна делителем жалюзийного типа представлена на рисунке 12а, а делителем с неподвижным шиберным отводом – на рисунке 12б.



а) Жалюзийный делитель:

- 1 – рама; 2 – загрузочный бункер;
 3 – регулируемый шибер; 4 – фиксатор;
 5 – стабилизирующая емкость; 6 – боковая стенка; 7 – отводные каналы;
 8 – разделительные стенки; 9 – корпус;
 10 – вертикальная перегородка; 11 – патрубки;
 12 – сборные емкости; 13 – смотровое окно



б) Делитель с шиберным отводом

Рисунок 12 – Оборудование для исследований процесса деления потока зерна

В четвертой главе «РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ» представлены установленные закономерности триерной очистки зерносмесей и управления массовыми потоками зерна.

Взаимосвязь параметров сегмента зерносмеси со скоростным режимом работа и величиной загрузки стенда

Установление взаимосвязей качества процесса триерной очистки с параметрами зернового слоя требует оценки угла охвата сегмента, его высоты и числа циркулирующих слоев по времени процесса. Для овсюжного цилиндра диаметром $D=0,6$ м, длиной $L=0,35$ м и массе навески $m_n=0,05-7,7$ кг установлены закономерности изменения угловых размеров циркулирующего сегмента от его массы при разных скоростных режимах, рисунок 13.

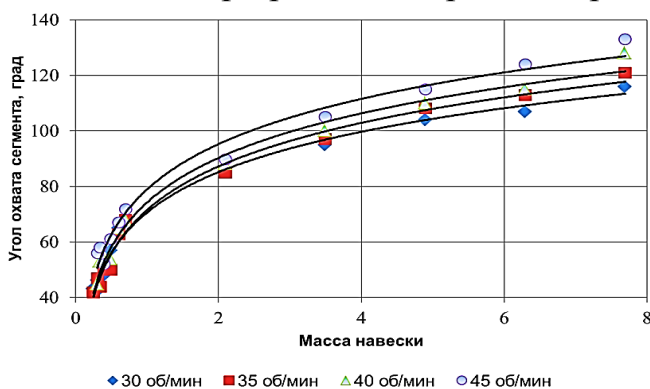


Рисунок 13 – Влияние массы зерносмеси в цилиндре на угловой размер сегмента

Минимальная масса зерна в цилиндре для формирования полноценного сегмента составляет $m_{min}=250$ г для скорости вращения ячеистого цилиндра $n=30-35$ об/мин, что эквивалентно $0,71$ кг/м.п., и $m_{min}=300$ г ($0,86$ кг/м) для скорости вращения $n=40-45$ об/мин. При изменении массы навески в диапазоне $m_n=0,25-7,7$ кг угол охвата изменяется в пределах $\gamma_{ox}=42-133^\circ$.

При анализе динамики процесса выделения частиц из зерносмеси необходимо учитывать параметры сегмента по высоте. Результаты исследований угла охвата (γ_{ox}) сегмента позволяют определить число циркулирующих слоев при различных m_n , n и высоту (h_c) сегмента по формулам:

$$\begin{cases} n_{cl} = 180,4m_n / \gamma_{ox}; \\ h_c = 0,00321n_{cl}. \end{cases} \quad (45)$$

В диапазоне загрузки цилиндра $m_n=0,6-7,7$ кг высота сегмента h_c изменяется от 5,2 до 38,4 мм, число слоев в сегменте n_{cl} изменяется от 1,62 до 11,97 шт., причем значение h_c и n_{cl} возрастает при снижении скорости вращения цилиндра и увеличении загрузки.

Исследования процессов выделения основной культуры из зерносмеси

Стенд циклического действия позволяет моделировать работу ячеистого цилиндра произвольной длины. Принцип его действия основан на базовом положении классической теории триеров. Оно заключается в том, что из сегмента зерносмеси с начальными параметрами (γ_{ox} , h_c) постепенно (по мере его осевого смещения) выделяются зерновки основной культуры до момента, когда $\gamma_{ox}=0$ и $h_c=0$.

Результаты исследований взаимосвязи $W_{\epsilon}=f(\gamma_n)$ при низких скоростных режимах представлены на рисунке 14.

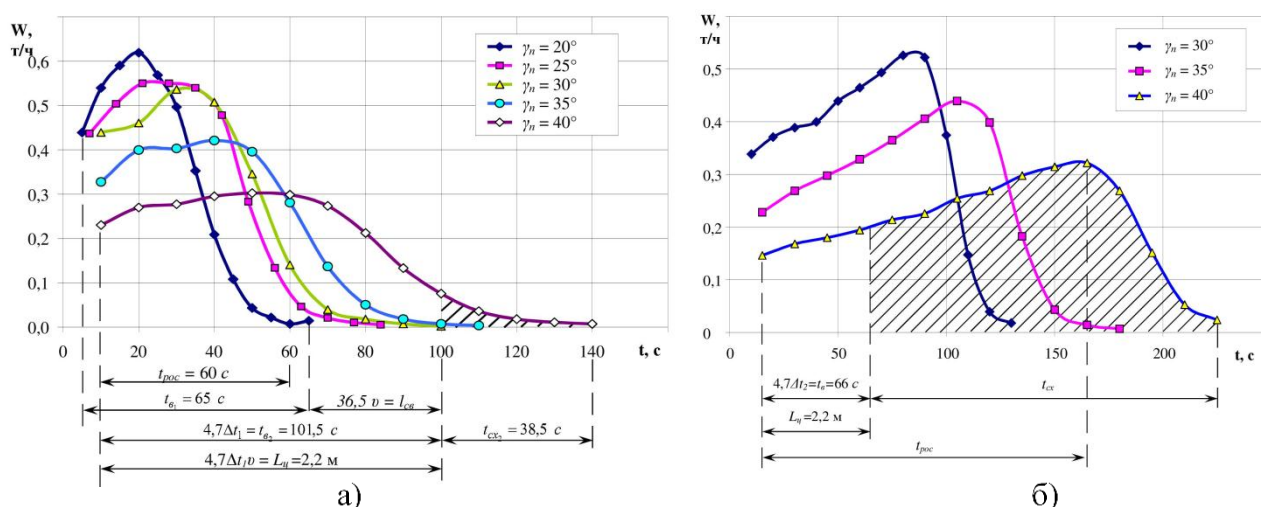


Рисунок 14 – Влияние положения лотка на W при $m_n = 7$ кг; $n = 30$ об/мин (а) и при $m_n = 13$ кг; $n = 30$ об/мин (б)

Из рисунка 14 видно, что с ростом γ_n степень отсечения факела выделенных зерновок и продолжительность их выделения из сегмента возрастают. При этом участки относительно стабильной интенсивности выделения по времени расширяются. Эти особенности процесса характерны для всех скоростных режимов работы ячеистого цилиндра.

При $m_n=7$ кг, $n=30$ об/мин и $\gamma_n=40^\circ$ интенсивность выделения возрастает на протяжении 50–60 с. При этом циркулирующая масса зерносмеси уменьшается до 4–3,2 кг. При большей загрузке $m_n=13$ кг увеличение интенсивности выделе-

ния при том же скоростном режиме работы и $\gamma_n=40^\circ$ продолжается 160 с. Циркулирующая масса сегмента уменьшается до сопоставимой величины – 3-3,5 кг.

Таким образом, независимо от величин γ_n и m_n сохраняется оптимальная масса циркулирующего сегмента зерносмеси, которая обеспечивает максимальную интенсивность выделения зерновок. При этом число циркулирующих слоев в сегменте составляет $\approx 5-6$ шт. Полученные результаты характеризуют эффект динамического «выедания» зерновок из ячеей при большом количестве циркулирующих слоев, который обусловлен преобладающим воздействием на захваченные частицы контактирующим слоем над инерционными силами.

Частные закономерности взаимосвязи результативного показателя (W_6) от скоростного режима работы ячеистого цилиндра нельзя рассматривать в отрыве от других значимых факторов – γ_n , m_n . В обобщенном виде закономерности стеновых расходных характеристик от скоростных режимов его работы при переменных начальных условиях по величинам m_n и γ_n представлены на рисунке 15.

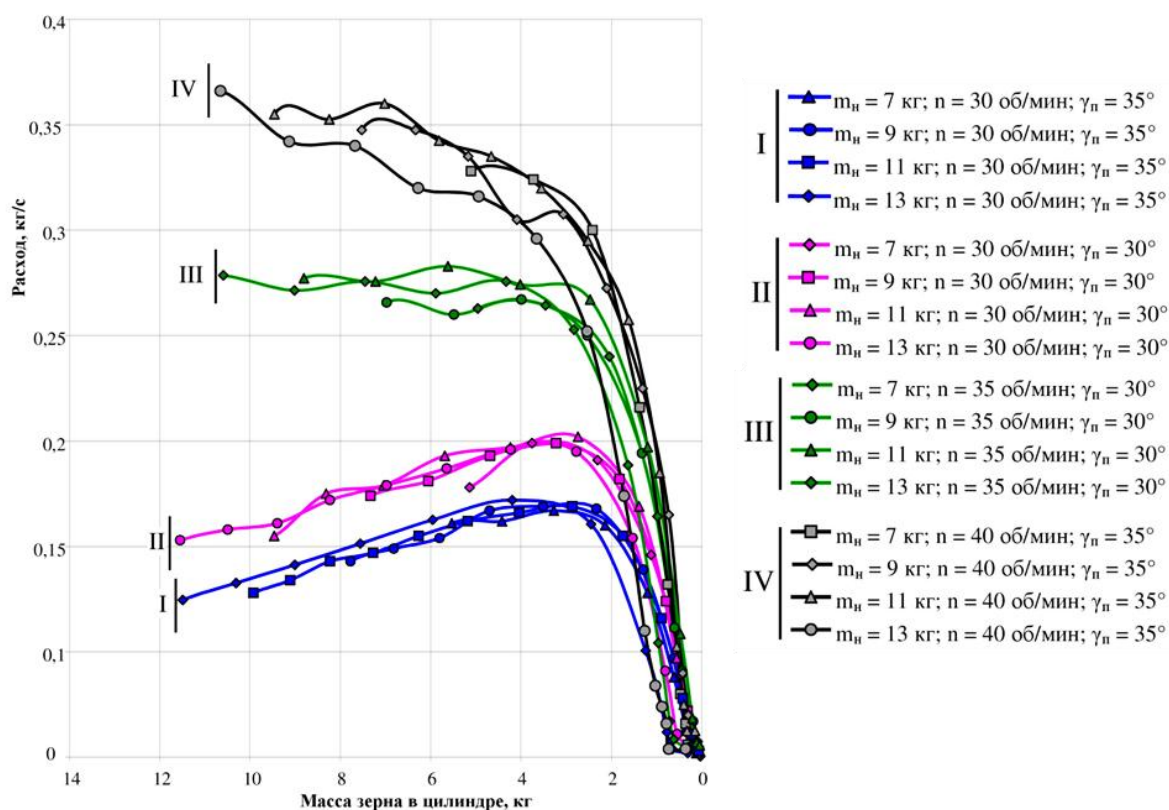


Рисунок 15 – Стеновые расходные характеристики процесса в зависимости от скоростных режимов работы при различных m_n и γ_n

Из рисунка 15 видно, что с приращением скоростного режима до $n=35$ об/мин эффект «выедания» уравнивается увеличением инерционных сил, удерживающих зерновки в ячейках (группа закономерностей – III). Расходные характеристики на уровне 0,27–0,28 кг/с (0,97–1,008 т/ч) сохраняются весь период разгрузки стенового ячеистого цилиндра – до оптимальной величины циркулирующих в зерновом сегменте масс (3–4 кг).

Увеличение скоростного режима работы стенового цилиндра до 40 об/мин (группа закономерностей IV) приводит к непропорционально большему приращению расходных характеристик за счет возросшего воздействия на них инерционных сил.

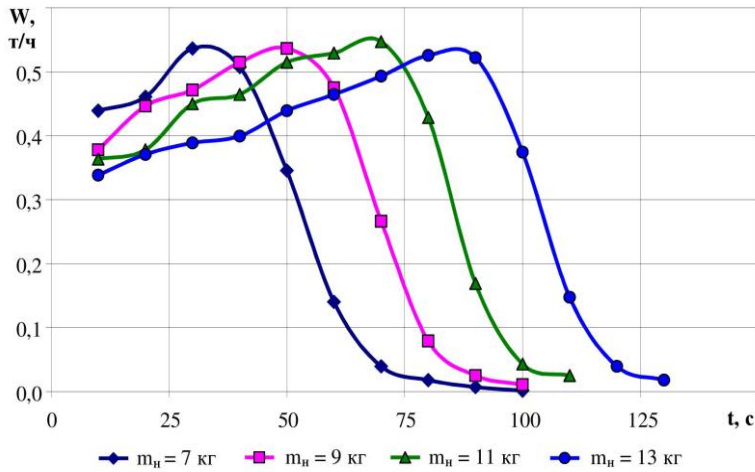


Рисунок 16 – Влияние массы исходной навески на $W(n = 30 \text{ об/мин}; \gamma_n = 30^\circ)$

Реализация расходных характеристик, представленная на рисунке 16, в очевидной форме показывает смещение по оси времени (t) максимальных значений $W_{\text{с}}$. Причем равным интервалам прироста циркулирующих масс в ячеистом цилиндре стенда ($\Delta m_n = 2 \text{ кг}$) соответствуют равные интервалы времени смещения ($\Delta t = 20 \text{ с}$) максимальных значений расходных характеристик (W_{max}).

Влияние скоростного режима на степень заполнения ячей представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Взаимосвязь степени заполнения ячей зерновками со скоростным режимом работы (n) при $m_n = 7 \text{ кг}$, $\gamma_n = 20^\circ$, $3_p = 28 \text{ мм}$

| n , об/мин | Номера интервалов времени замеров | | | | | | | | |
|-----------------|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 30 | 0,76 | 0,94 | 1,03 | 1,08 | 0,99 | 0,86 | 0,61 | 0,36 | 0,19 |
| 35 | 1,08 | 1,16 | 1,19 | 1,19 | 1,08 | 0,71 | 0,36 | 0,16 | 0,07 |
| 40 | 1,9 | 1,88 | 1,38 | 1,10 | 0,80 | 0,38 | 0,19 | 0,09 | 0,05 |
| 45 | 2,34 | 1,93 | 1,61 | 1,18 | 0,67 | 0,35 | 0,19 | 0,14 | 0,08 |

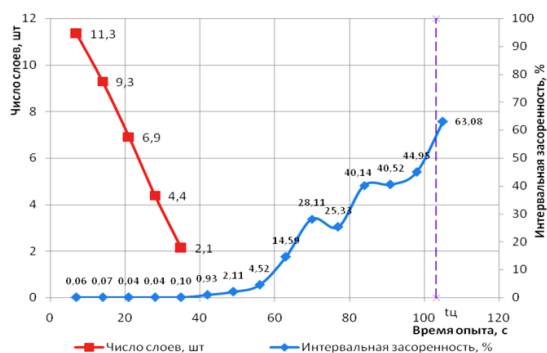
Степень заполнения ячей зерновками по мере разгрузки ячеистого цилиндра в пределах 9-ти интервалов времени замеров по 5 с изменяется в 5,7–38 раз. Этот факт установлен впервые. Снижение степени заполнения ячей зерновками при сокращении числа циркулирующих слоев ($n_{\text{сл}}$) в сегменте зерносмеси объясняется относительным ростом динамического воздействия на него ячеистой поверхностью, приводящей к нарастающему выбросу из него зерновок. При этом вероятность захвата зерновок резко снижается.

Исследования качества процесса очистки зерносмесей от длинных примесей

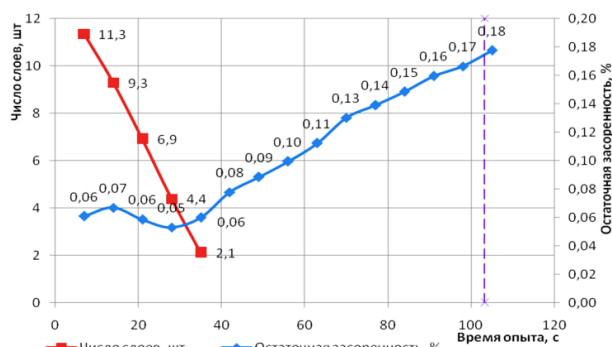
Впервые установлены закономерности изменения интервальной засоренности Z_i (содержания длинной примеси в выделенных навесках) от параметров сегмента в соответствующем интервале времени, рисунок 17.

При отсутствии в ячеистом цилиндре многослойного сегмента остаточная засоренность увеличивается. К 15 интервалу времени контроля процесса остаточная засоренность достигла 0,18%, что в 3,6 раза больше в сравнении 4-ым интервалом.

Таким образом управление качеством триерной очистки необходимо осуществлять на основе компромисса величины остаточной засоренности и потерь зерна сходом.



а)



б)

Рисунок 17 – Влияние параметров сегмента

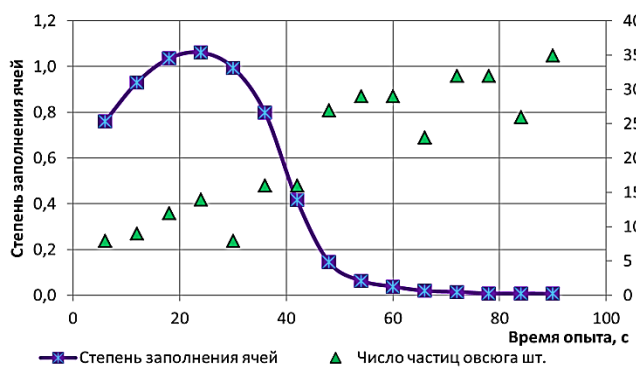
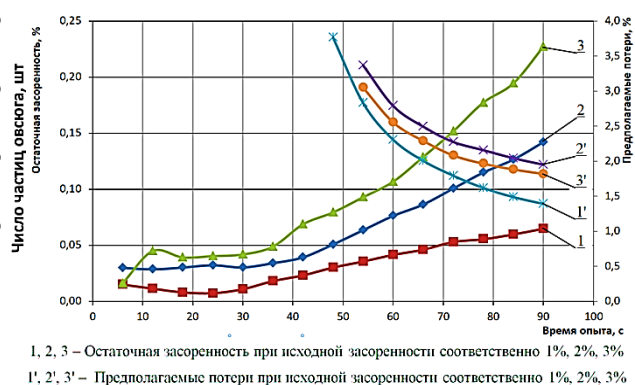
на засоренность выделенных навесок (а) и остаточную засоренность (б)

при: $m_n=4,9$ кг; $n=30$ об/мин; $\gamma_n=10^\circ$; $Z_u=1\%$; $Z_p=20$ мм

При увеличении скоростного режима до 35 об/мин остаточная засоренность зерна сохранялась на одном уровне. Интервальная засоренность уменьшилась: для 15-го контрольного интервала времени она составила 10,86%. Увеличение γ_n до 40° привело к снижению интенсивности процесса в начальных интервалах времени на 19-23%. По окончании опыта величина остаточной засоренности составила 0,06%.

При увеличении Z_u от 1% до 2% общее количество попавших в лоток примесных частиц увеличилось в 2,1 раза.

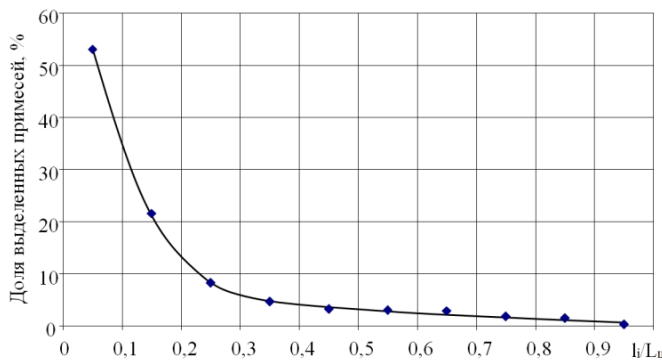
Характер изменения степени заполнения ячеек подтверждает выявленный эффект динамического «выедания» частиц из ячеек, рисунки 18 и 19.

Рисунок 18 – Взаимосвязь степени заполнения ячеек с числом захваченных зерновок овсяга при $m_n=4,9$ кг; $n=35$ об/мин; $\gamma_n=40^\circ$; $Z_u=2\%$ Рисунок 19 – Показатели качества процесса при $m_n=4,9$ кг; $n=35$ об/мин; $\gamma_n=40^\circ$; $Z_u=1-3\%$

Наличие свободной ячеистой поверхности при степени заполнения ячеек менее 0,2кратно увеличивает число длинных примесей, попавших в выводной лоток с чистым зерном.

Исследования процессов выделения коротких примесей

Установлено, что основная доля короткой примеси выделяется из зерно-меси на участке ячеистой поверхности длиной 70-90 см, что составляет только

Рисунок 20 – $W = 2673$ кг/ч. $Z_{и} = 4,1$ %

30-40% ($l_i/L_{ц}=0,3-0,4$) от длины ячейеистого цилиндра стандартного триерного блока независимо от подачи (W) зерносмеси и исходной засоренности ($Z_{и}$) (рисунок 20).

Степень выделения примеси в этом случае составила 92,3-97,7%. Распределение выделенной примеси по длине ячейеистого цилиндра показано на рисунке 21.

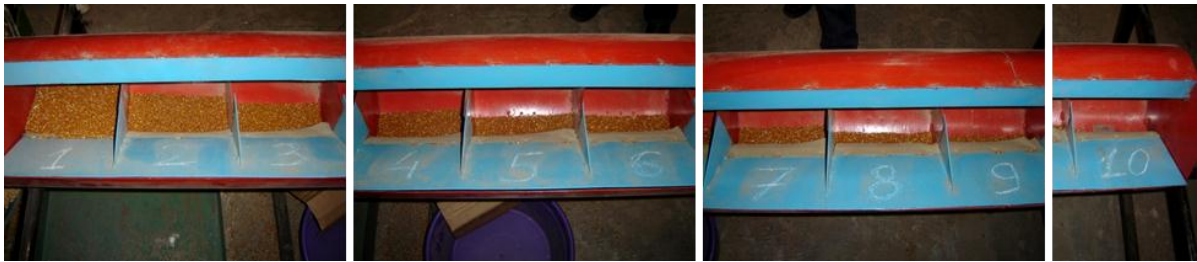


Рисунок 21 – Распределение выделенной примеси по длине ячейеистой поверхности



Рисунок 22 – Динамические параметры сегмента зерна в ячейеистом цилиндре

Для расширения области исследований по угловым положениям выводного лотка, величине зазора между рабочей кромкой лотка и ячейеистой поверхностью и продолжительности процесса нами использован прибор циклического действия, рисунок 22, с помощью которого проводились дальнейшие исследования процесса выделения коротких примесей.

Исследованиями динамических параметров сегмента зерносмеси внутри цилиндра прибора установлено, что суммарный угол охвата сегмента увеличивается от 70° до 83° при загрузке ячейеистого цилиндра зерносмесью в 0,75 кг и скорости

вращения ячейеистого цилиндра 30 – 50 об/мин. В том же диапазоне скоростного режима при максимальной загрузке ячейеистого цилиндра в 1,75 кг суммарный угол охвата сегмента варьирует от 102° до 115° .

Поиск оптимальных режимов работы и параметров прибора представлен на рисунке 23

Исследованиями динамики выделения проса из пшеницы установлено, что при минимальной исходной засоренности зерносмеси ($Z_{и} = 1\%$) во всем диапазоне m_n степень выделения примесного компонента превышает 99%, а продолжительность выделения увеличивается пропорционально массе зерносмеси в ячейеистом цилиндре, рисунок 24. Интенсивный период выделения при-

месного компонента – 2-ой интервал времени опыта. Это характерно для всех видов примесных компонентов и других условий опытов. В этом интервале с ростом m_n от 0,75 кг до 1,5 кг соотношение выделенных масс примеси составляет 1,68; в 3-ем – 7,67; в 4-ом – 11,7 раза, рисунок 25.

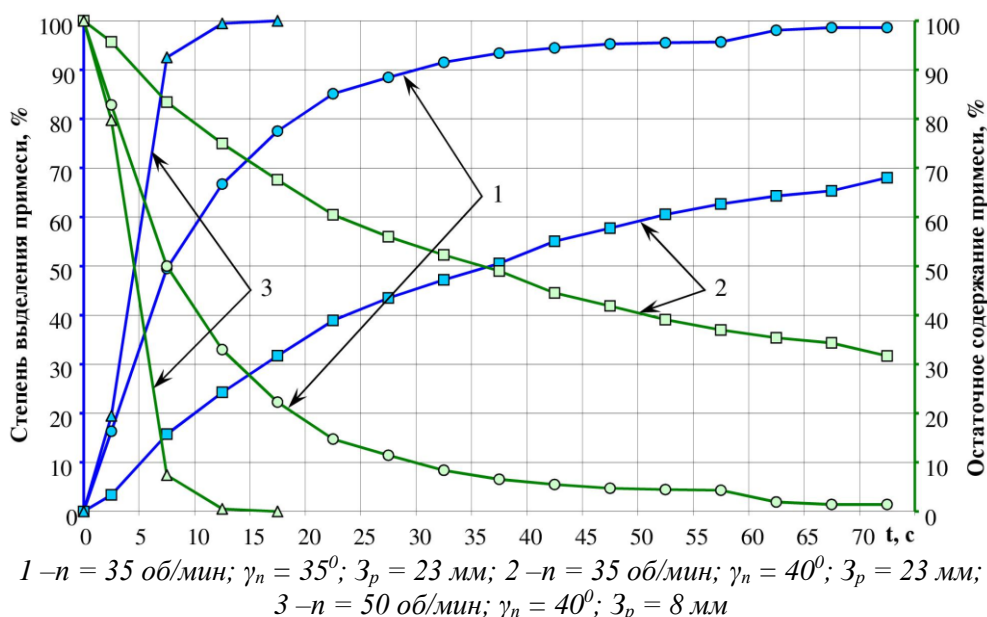


Рисунок 23 – Степень выделения и остаточное содержание проса на этапах поиска оптимальных Z_p , n , и γ_n

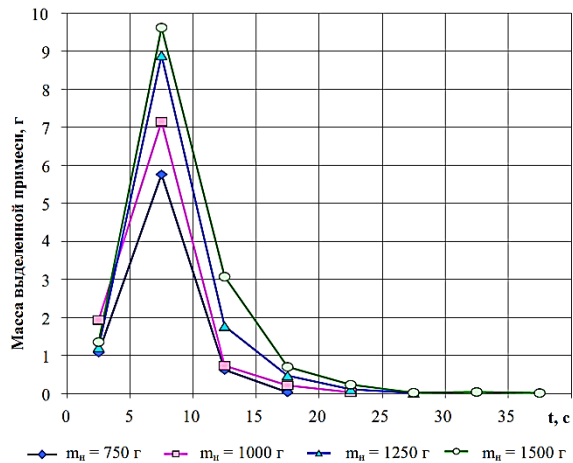


Рисунок 24 – Динамика выделения проса в зависимости от m_n , $Z_n = 1$ %

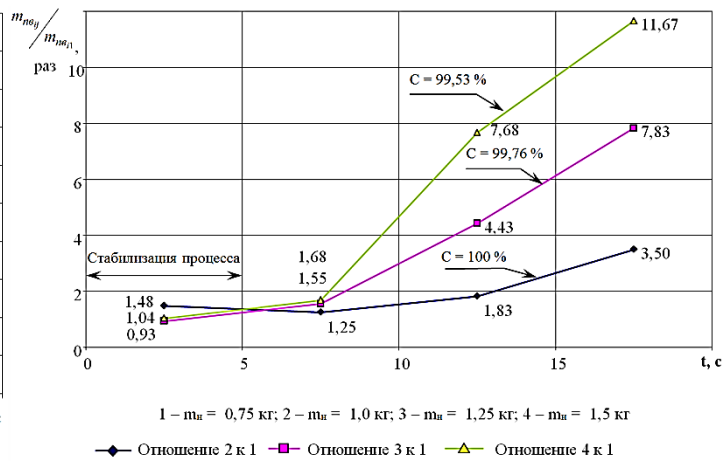


Рисунок 25 – Кратность масс выделенных частиц примеси по времени к массе 1-го контрольного интервала, $Z_n = 1$ %

Это объясняется эффектом динамической сегрегации, выявленным нами впервые. Он заключается в кратном увеличении интенсивности выделения легко выделяемых примесных частиц по времени протекания процесса. Избыточность ячеек относительно числа примесных частиц в контактирующем слое указывает на причину эффекта – увеличение частиц в контактирующем слое за счет динамической сегрегации не перегружает ячеистую поверхность. При этом сила эффекта динамической сегрегации компонентов зерносмеси определяется ее потенциалом – весовым содержанием примеси в сегменте. Выявленный эф-

факт динамической сегрегации дополняет принципиальные отличия реального процесса в кукольном цилиндре от теоретического.

В качестве примесных компонентов нами были исследованы семена сорго, горчицы, льна, гречишки вьюнковой, тысячелистника, стеблей осота полевого, частицы соломы, семена борщевика, льна и щавеля. Для сорго характерно увеличение продолжительности процесса в сравнении с просом, а также характерен меньший эффект динамической сегрегации в слое пшеницы. Выделение горчицы из пшеницы осуществляется за 5-6 интервалов времени по 5 с до $C = 100\%$. Семена горчицы также обладают высоким уровнем динамической сегрегации. Процесс протекает сходно с тем, когда примесным компонентом является просо. Семена горчицы следует отнести к легковыделяемым примесным компонентам.

Отличительной особенностью динамики выделения семян льна из пшеницы является кратное увеличение продолжительности процесса в сравнении с выделением проса. Повышение степени выделения семян льна с ростом их концентрации в зерносмеси объясняется слабой реализацией потенциала динамической сегрегации в сравнении с легковыделяемой примесью (просо). Этот эффект проявляется лишь в шестом и последующих интервалах времени в незначительной степени. Семена льна нельзя считать легковыделяемым примесным компонентом.

Свойства семян гречишки вьюнковой существенно отличаются от свойств семян льна, проса и основной культуры, но эффект динамической сегрегации высокий. Во всем диапазоне исходной засоренности степень выделения семян гречишки вьюнковой сохраняется на уровне 99% и выше, она обеспечивается за 6 интервалов времени по 5 с. Поэтому ее следует отнести к легковыделяемым примесным компонентам.

Анализ динамики выделения семян тысячелистника из зерносмеси (рисунок 26) указывает на противоположный вектор их сегрегации в слое основной культуры – склонность к «всплытию». Степень выделения составила $C = 62,9\%$. Средний уровень выделения за 26 интервалов составил 1,01% на интервал. Поэтому, экстраполируя установленную интенсивность выделения на последующий период, степень выделения $C = 98\%$ семян тысячелистника можно обеспечить за 65 интервалов времени по 5 с. При этом эквивалентная длина кукольного цилиндра составит 16,25 м. Это в 7,2 раза больше длина стандартного цилиндра, что подтверждает трудновыделяемость «всплывающих» (с обратным вектором сегрегации в слое основной культуры) частиц и несбалансированность последовательных звеньев технологического процесса триерной очистки по качественным показателям с использованием стандартных триерных блоков.

Частицы стеблей осота полевого относятся к легким примесным компонентам. Динамика выделения стеблей осота полевого из пшеницы представлена на рисунке 27.

Для достижения степени выделения $C = 98\%$ потребуется эквивалентная длина кукольного цилиндра 18 м. Это в 8 раз превышает длину стандартного кукольного цилиндра, что подтверждает трудноотделимость примесных компонентов, представляющих собой частицы стеблей сорняков.

Анализ динамики выделения частиц нарезной соломы из пшеницы показывает, что их также нельзя отнести к легковыделяемым примесям. Продолжи-

тельность процесса до обеспечения $C = 97,4\%$ составляет 29 интервалов времени, что соответствует 7,25 м длины ячеистой поверхности, которая в 3,2 раза превышает стандартную длину триерного цилиндра.

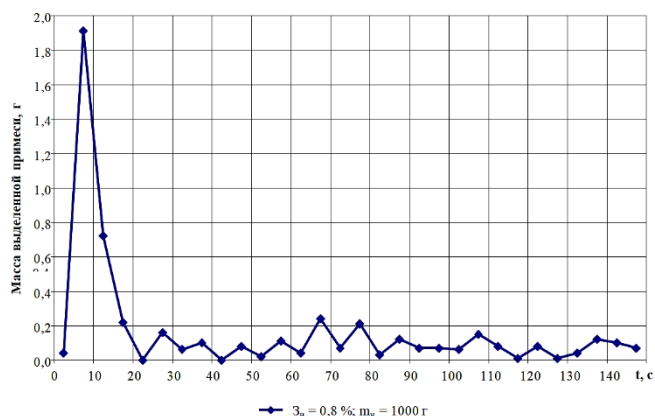


Рисунок 26 – Динамика выделения зерносмеси "пшеница – семена тысячелистника"

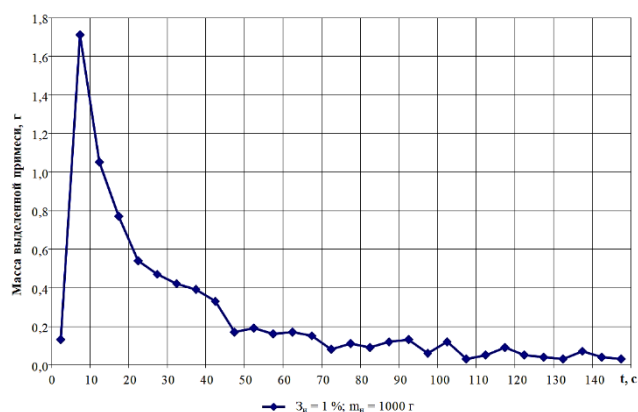


Рисунок 27 – Динамика выделения зерносмеси "пшеница – стебли осота"

Динамика выделения семян борщевика подтверждает ожидания его трудноотделяемости. За 29 интервалов времени выделилось лишь 84,95 примеси. Степень выделения $C = 98\%$ будет достигнута за 47 интервалов времени, эквивалентная рабочая длина ячеистого цилиндра составит 11,75 м, что в 5,2 раз превышает рабочую длину стандартного кукольного цилиндра.

Исследования процессов деления потока сыпучих материалов

Исследования процессов деления потока сыпучих материалов проводили применительно к делителям жалюзийного типа, делителям с шибберным отводом и пружинной грузовоспринимающей системой. Эти варианты исполнения средств управления массовыми потоками зерна охватывают все принципы преодоления препятствия (сводов образования) при делении потока, обладающего свойством сплошности. Общий вид делителей представлен на рисунке 12.

В результате экспериментальных исследований процесса деления потока зерна с помощью жалюзийного делителя при расходной характеристике до 20 т/ч подтверждено высокое качество его работы, рисунок 28.

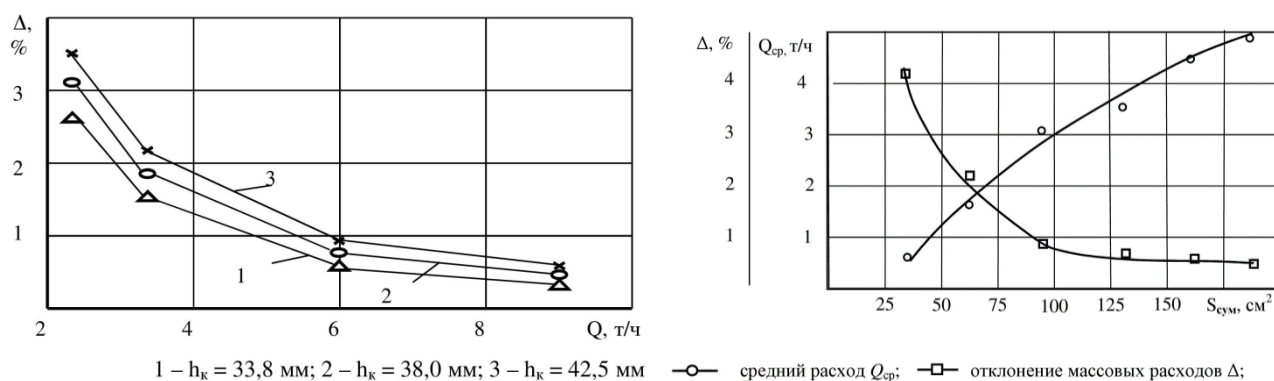


Рисунок 28 – Показатели качества работы жалюзийного делителя

Установлено, что при расходе более 3,542 т/ч отклонение Δ массовых расходов через каналы от среднего значения не превышает 2,2 % при любом из исследуемых значений высоты отводящего окна h_k .

При значении $h_k = 34$ мм и среднем расходе через канал $Q_{cp} = 1,67$ т/ч, их отклонение Δ составляет 1 %; при $h_k = 38$ мм и $Q_{cp} = 1,71$ т/ч, $\Delta = 1,26$ %; при $h_k = 43$ мм и $Q_{cp} = 1,77$ т/ч, $\Delta = 2,2$ %.

В диапазоне расхода ячменя 7,66-41,8 т/ч через делитель аналогичной конструкции отклонение составило 0,45-3,62%. При расходе более 18,4 т/ч Δ не превышает 1,31%. В диапазоне расхода пшеницы 9,38-51,28 т/ч отклонение составляло 0,38-3,22%. При расходе более 22,6 т/ч Δ не превышает 1,22%.

В результате экспериментальных исследований процесса деления потока зерна с помощью делителя с пружинной грузовоспринимающей системой и шиберным отводом установлено высокое качество его работы, рисунок 29.

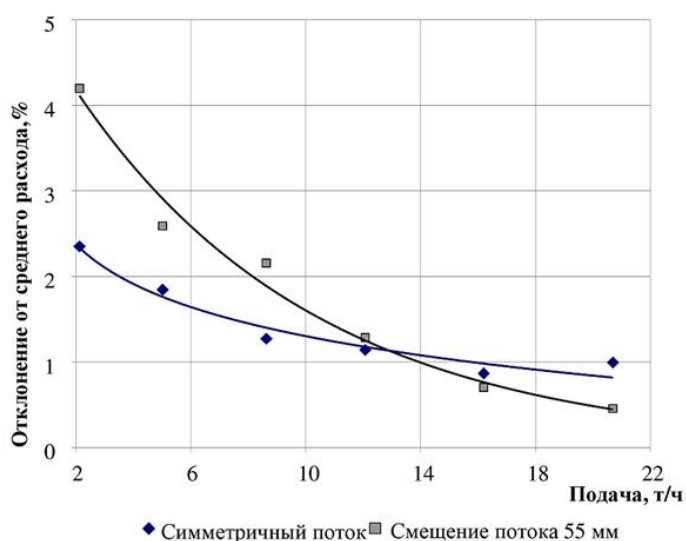


Рисунок 29 – Качество процесса деления потока зерна делителем с шиберным отводом

В диапазоне расхода Q пшеницы от 2,12 до 2,7 т/ч отклонение Δ находится в пределах 0,87-2,35%. Для Q в пределах от 10 т/ч (что соответствует номинальной производительности триерного блока в зерноочистительной технологии ЗАВ-40) до 20 т/ч (производительность 2-х триерных блоков) отклонение от среднего расхода не превышает 1,3%. При смещении центра падающего потока зерна относительно центра емкости на 55 мм и диапазоне Q – от 2,12 до 8,62 т/ч величина отклонения Δ составляет 2,1- 4,2%, что допустимо. В диапазоне реальной производительности триерных блоков в составе зерноочистительных агрегатов – 10-20 т/ч величина Δ не превышает 1,5%. Поэтому можно утверждать об отсутствии у созданного делителя снижения качества процесса при асимметрии подачи зерна в стабилизирующую емкость.

Шестиканальное деление перевалочного потока зерна делителем наклонного исполнения не снижает качество процесса за счет распределения отбойником подаваемого в стабилизирующую емкость потока по ее ширине. Отбойник представляет собой две пластины высотой $h_n = 0,06$ м, длиной $l_n = 0,25$ м с углом отклонения от оси $\alpha_{от} = 30^\circ$ и зазором между ними $z_n = 0,08$ м.



а) Блок вертикальных двухканальных авторегулируемых делителей потока зерна (СХПК «Сосновый Бор»)



б) Двухканальный жалюзийный делитель с расходной характеристикой до 50 т/ч



в) Технология фирм «Perry» «Fortschritt»

Рисунок 30 – Внедрение авторегулируемых делителей потока зерна

В пятой главе «ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК» выполнена оценка экономической эффективности мероприятий по модернизации зерноочистительного агрегата на основе разработанного нами «вариантного метода оценки эффективности использования технологий подработки зерна». Он основан на сопоставлении часовых эксплуатационных затрат и результирующего технологического эффекта, который складывается из положительного и отрицательного технологических эффектов и, в отличие от общепринятых методик, позволяет учитывать качество технологических процессов.

Предлагаемые мероприятия по модернизации зерноочистительной технологии, включающей четыре авторегулируемых делителя потока зерна жалюзийного типа и два триерных блока ПТ-600, позволят обеспечить эффективное управление зерновыми потоками на всех перевалочных операциях, обеспечить регламентированную постоянную загрузку зерноочистительных машин, что даст возможность применения триерной очистки семенного материала в условиях хозяйства. Для сельхозпредприятия с площадью посевов зерновых культур

1000 га при урожайности 32,6 ц/г модернизация существующего зерноочистительного агрегата с целью получения собственного посевного материала взамен покупного обеспечит годовой экономический эффект в размере 2,119 млн. руб. при сроке окупаемости дополнительных капитальных вложениях 0,48 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Анализ современного уровня технологий послеуборочной подработки зерна в сельхозпредприятиях и особенностей их эксплуатации в многоканальных вариантах компоновки позволил установить, что основной причиной низкого уровня их использования является отсутствие эффективных средств управления массовыми потоками зерна. Это существенно ограничивает возможности эффективного использования воздушно-решетных машин и практически исключает работоспособность триерных блоков – до 90% выведено из эксплуатации. Анализом противоречий в условиях протекания последовательных операций в триерном блоке установлено, что основные резервы повышения качества триерной очистки зерна заключаются в сбалансировании качества работы овсюжного и кукольного триеров.

2. Сбалансированность качества процессов в овсюжном и кукольном цилиндрах может быть обеспечена: средствами опережения подачи зерносмеси в овсюжный цилиндр (патент РФ № 138337); средствами блокирования части рабочей поверхности овсюжного цилиндра по ее длине (патенты РФ №№ 2564883, 2567154); расширением технологических возможностей кукольного цилиндра (патент РФ № 2564872); снижением скоростного режима работы овсюжного цилиндра относительно кукольного до 30 об/мин; увеличением угла подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка до 70° в овсюжном цилиндре.

3. Управление массовыми потоками зерна в зерноочистительных технологиях осуществляется созданными авторегулируемыми делителями различных типоразмеров: в отечественных технологиях производительностью 20-40 т/ч – блоком двухканальных делителей с пружинной грузовоспринимающей системой при суммарной жесткости пружин $C=3000$ Н/м на каждом, диаметре отводов $D=0,1$ м и расходом $W=20$ т/ч; в технологиях фирм «Perry» и «Fortschritt» – двухканальным делителем с пружинной грузовоспринимающей системой и трехпозиционным управлением при $C=8000$ Н/м, $D=0,305$ м и расходом до $W=120$ т/ч, а также делителями жалюзийного типа с неподвижной стабилизирующей емкостью, шириной щелевых отводящих каналов $B=0,04$ м и расходом до $W=50$ т/ч; в технологии с тремя триерными приставками ПТ-600, разработанной ООО «Воронежсельмаш» совместно с институтом «Новосибирскзернопроект», - шестиканальным делителем наклонного исполнения с пружинной грузовоспринимающей системой при $C=4000$ Н/м, $D=0,1$ м и расходом до $W=25$ т/ч, обеспеченного распределителем перевалочного потока зерносмеси по ширине подвижной стабилизирующей емкости; в технологиях с сушилками карусельного типа двумя двухканальными делителями каскадного типа с расходом каждого до $W=20$ т/ч и шириной отводящих каналов $B=0,035$ м.

4. Для реализации выявленных резервов эффективности триерных блоков на уровне режимов работы и настроечных параметров необходима новая база

знаний о: динамике выделения компонентов из зерносмесей по длине ячеистых поверхностей; степени заполнения ячеек частицами зерносмесей; специфических физических эффектах, обусловленных меняющимися условиями протекания технологического процесса по параметрам сегмента и значительной разницей физико-механических свойств примесей. Указанные знания могут быть получены с использованием созданной экспериментальной базы, обеспечивающей непрерывный пространственный и временной контроль результатов технологического процесса: натурный стенд с интервальным контролем процесса на участках ячеистого цилиндра; модельный стенд циклического действия с непрерывным отводом выделенных частиц и интервально-временным контролем интенсивности процесса в сочетании с методом идентификации результатов стендовых исследований ячеистых поверхностей; специальные измерительные приборы.

5. Созданная экспериментальная база позволила установить, что с ростом скоростного режима работы от 30 до 45 об/мин интенсивность выделения зерновок пшеницы овсюжным цилиндром меняется по параболическому закону и сокращает продолжительность процесса в 3,3 раза. При $n < 35$ об/мин преобладает эффект динамического «выедания» зерновок пшеницы из ячеек контактирующим слоем в течение первых 20-60 с движения сегмента по овсюжному цилиндру и интенсивность процесса возрастает до момента, когда число циркулирующих слоев в сегменте составляет 5-6 шт., после чего интенсивность процесса резко падает. В диапазоне $n = 35-40$ об/мин эффект динамического «выедания» уравнивается эффектом инерционного удержания зерновок в ячейках и интенсивность процесса в начальном периоде сохраняется стабильной. С ростом n до 45 об/мин начинает преобладать эффект инерционного удержания зерновок, что обуславливает высокую степень заполнения ячеек – $C_3 > 4$ зерновок на ячею в месте загрузки овсюжного цилиндра, которая падает в его конце в 38 раз.

6. Интенсивность процесса выделения коротких примесей кукольным цилиндром зависит, в основном, от их физико-механических свойств. Семена сорго, проса, горчицы выделяются из смеси с пшеницей за 20-25 с движения циркулирующего сегмента по кукольному цилиндру независимо от их исходной концентрации ($Z_{и} = 1-3\%$). Высокая интенсивность выделения этих примесей объясняется тем, что вектор их динамической сегрегации в циркулирующих слоях сегмента направлен вниз (к ячеистой поверхности) из-за шарообразной формы и достаточно высокой насыпной плотности ($\rho = 761-816$ кг/м³). К четвертому контрольному интервалу времени по 5 с интенсивность выделения этих примесей увеличивается в 11,7 раза. Продолжительность процесса выделения семян гречишки вьюнковой увеличивается в 1,5-1,7 раза из-за сложной формы и более низкой насыпной плотности ($\rho = 467$ кг/м³). Вектор динамической сегрегации семян осота полевого, щавеля, частиц соломы направлен вверх (от ячеистой поверхности – «всплытие») частиц из-за плоской формы и низкой насыпной плотности ($\rho = 91-158$ кг/м³), поэтому время их выделения увеличивается многократно, а эквивалентная длина рабочей поверхности составляет 12-18 м.

7. В условиях согласованной величины подачи зерносмеси со скоростным режимом работы овсюжного цилиндра и настройкой угла поворота выводного лотка обеспечивается высокое качество выделения овсюга – до остаточной за-

соренности на уровне $Z_0=0,08\%$. При этом неизбежны технологические потери сходом на уровне 2,1-2,8%. Возможности исключения этих потерь за счет снижения загрузки связаны с риском роста Z_0 из-за появления свободных участков ячеистой поверхности, когда длинные примеси захватываются и направляются в выводной лоток с чистым зерном – величина остаточной засоренности возрастает в 3,6 раза при $Z_n = 2-3\%$. Кукольный цилиндр обеспечивает степень выделения семян сорго, проса, горчицы на уровне $C_B=99,7-100\%$ во всем диапазоне исходной засоренности $Z_n = 1-3\%$.

8. Погрешность деления перевалочных потоков зерна на технологические каналы триерной очистки при использовании двух, трех, четырех и шести - канальных авторегулируемых делителей с пружинной грузовоспринимающей системой не превышает 1,5%, что на 2 порядка ниже в сравнении с существующими флажковыми, призмными и тарельчатыми делителями, которые исключают работоспособность триерных блоков. Погрешность делителей жалюзийного типа при подаче зерносмеси в стабилизирующую емкость через центрирующую горловину не превышает 3% и снижается с ростом расходных характеристик. Качество работы делителей каскадного типа, позволяющих в 1,5-1,7 раза сократить вертикальные габариты в сравнении с жалюзийными обеспечивается на уровне погрешности в 2,85% при подаче потока зерносмеси к задней стенке стабилизирующей емкости и сопряжении ее боковых стенок со стенками отводного канала (при отсутствии «мертвых» зон).

9. Модернизация зерноочистительной технологии с включением жалюзийных делителей потока зерна и двух триерных блоков ПТ-600 позволит обеспечить эффективное применение триерной очистки в условиях хозяйства с целью получения собственного посевного материала взамен покупного. Для сельхозпредприятия с площадью посевов зерновых культур 1000 га при урожайности 32,6 ц/г указанная модернизация существующего зерноочистительного агрегата обеспечит годовой экономический эффект в размере 2,115 млн. руб. при сроке окупаемости дополнительных капитальных вложений 0,48 года.

Рекомендации производству.

Результаты исследований могут быть использованы при разработке новых и модернизации существующих зерноочистительных и семяочистительных технологий, при разработке новых конструкций триерных блоков. Прибор для разделения проб зерносмесей может быть включен в состав оборудования агролабораторий, может использоваться при контроле качества работы зерноочистительных машин, заключении коммерческих сделок по реализации зерна, в учебном процессе ВУЗов.

Перспективы дальнейшей разработки темы.

Разработка автоматизированной системы управления режимами работы и настроечными параметрами триерного блока на основе оперативного контроля величины загрузки и качества процессов триерной очистки зерносмеси от длинных и коротких примесей.

Разработка новых конструкций авторегулируемых делителей потока зерна с целью упрощения их конструкции, снижения вертикальных габаритов, расширяющих область применения, снижения затрат на изготовление и монтаж.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИСЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ***В изданиях, рекомендованных ВАК РФ:***

1. Анашкин А.В. Обоснование параметров стенда для исследования ячеистых поверхностей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.А. Растюшевский // Техника в сельском хозяйстве. – 2013. – № 2. – С. 18-21.
2. Анашкин А.В. Модернизация технологий подработки зерна на базе средств управления массовыми потоками / Н.П. Тишанинов А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2014. – № 2 (8). – С. 35-41.
3. Анашкин А.В. Теоретические предпосылки поиска резервов управления процессами триерной очистки зерносмесей / Н.П. Тишанинов А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2014. – № 6 (12). – С. 28-38.
4. Анашкин А.В. Средства управления опережением подачи зерносмеси в триерные блоки / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2015. – № 1(13). – С. 28-37.
5. Анашкин А.В. Теоретический анализ динамики выделения коротких примесей из зерносмесей ячеистой поверхностью / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2015. – № 1 (13). – С. 46-58.
6. Анашкин А.В. Повышение технологических возможностей кукольного цилиндра триерного блока / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2015. – № 1 (13). – С. 58-65.
7. Анашкин А.В. Теоретическое обоснование параметров делителя потока зерна с шибберным отводом / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.Н. Тишанинов // Наука в центральной России. – 2015. – № 2 (14). – С. 67-77.
8. Анашкин А.В. Распределение зернового слоя в триерном цилиндре / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2015. – № 3(15). – С. 44-51 (75-82).
9. Анашкин А.В. Многоканальные делители потока зерна / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Сельский механизатор. – № 8. – 2015. – С. 40.
10. Анашкин А.В. Обоснование параметров жалюзийных делителей потока зерна / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2015. – № 5 (17). – С. 70-78.
11. Анашкин А.В. Модернизация триерного блока / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Сельский механизатор. – 2015 – № 11. – С. 14-15
12. Анашкин А.В. Авторегулируемый делитель потока зерна жалюзийного типа / Н.П. Тишанинов А.В. Анашкин // Сельский механизатор. – 2016. – № 1. – С. 10-11.
13. Анашкин А.В. Влияние величины подачи зерна на работу овсюжного триера / А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2016. – № 1 (19). – С. 23-28.
14. Анашкин А.В. Обоснование режимов работы и параметров прибора для рассева проб зерносмесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, Х.Д.Д. Альшинаийин // Наука в центральной России. – 2016. – № 3 (21). – С. 74-80.
15. Анашкин А.В. Обоснование параметров стенда циклического действия для исследований ячеистых поверхностей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, Х.Д.Д. Альшинаийин // Наука в центральной России. – 2016. – № 4 (22). – С. 90-98.
16. Анашкин А.В. Результаты поисковых исследований прибора для разделения зерносмесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2016. – № 5 (23). – С. 37-44.
17. Анашкин А.В. Морфологический анализ устройств для управления массовыми потоками зерна / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.Н. Тишанинов // Наука в центральной России. – 2019. – № 1 (37). – С. 11-19.

18. Анашкин А.В. Модернизированный прибор для выделения примесей из зерносмесей – "ТИАН – 1" / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Сельский механизатор. – 2019. – № 1. – С. 4-5.
19. Анашкин А.В. Исследование параметров зернового сегмента в овсюжном триерном цилиндре / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2019. – № 2 (38). – С. 23-29.
20. Анашкин А.В. Оценка управляемости качеством триерной очистки зерна при настройке / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2019. – № 2 (38). – С. 29-34.
21. Анашкин А.В. Теоретическое обоснование технологических параметров каскадного делителя / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.Н. Тишанинов // Наука в центральной России. – 2019. – № 3 (39). – С. 56-60.
22. Анашкин А.В. Модернизация импортных зерноочистительных технологий / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2019. – № 4 (40). – С. 12-18.
23. Анашкин А.В. Влияние высоты зернового слоя в овсюжном триере на остаточное содержание длинных примесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2019. – № 4 (40). – С. 19-26.
24. Анашкин А.В. Исследования качества работы делителя сыпучего материала с горизонтальным размещением щелевых отверстий / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.Н. Тишанинов // Наука в Центральной России. – 2019. – № 5(41). – С. 5-10.
25. Анашкин А.В. Технологические потери в кукольном цилиндре триера / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в Центральной России. – 2019. – № 5(41). – С. 10-16.
26. Анашкин А.В. Исследование качества работы каскадного делителя потока сыпучего материала / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2019. – № 6(42). – С. 30-35.
27. Анашкин А.В. Улучшенная технология подборки зерна / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Сельский механизатор. – 2020. – № 4. – С. 24-25.
28. Анашкин А.В. Взаимосвязь качества триерной очистки с концентрацией длинной примеси / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2020. – № 3(45). – С. 60-67.

В рецензируемых научных изданиях

29. Анашкин А.В. Вариантный метод оценки эффективности использования технологий обработки зерна / Н.П. Тишанинов, В.А. Ветров, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2013. – № 1. – С. 24-30 (28-34).
30. Анашкин А.В. Новые делители потока сыпучих материалов / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.Н. Тишанинов // Наука в центральной России. – 2013. – № 1. – С. 30-36 (35-40).
31. Анашкин А.В. Классификация и анализ перспектив создания делителей потока сыпучих материалов / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2013. – № 5. – С. 75-83.
32. Анашкин А.В. Обоснование конструктивно-технологической схемы делителя потока сыпучих материалов с изменяемым соотношением расходов отводимых потоков / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.Н. Тишанинов // Наука в центральной России. – 2013. – № 6. – С. 15-21.

33. Анашкин А.В. Результаты исследований процесса триерной сепарации зерносмесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2013. – № 6. – С. 37-45.

34. Анашкин А.В. Обоснование оптимальных параметров и режимов работы прибора для разделения зерносмесей по длине частиц / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, Х.Д.Д. Альшина // Наука в центральной России. – 2017. – № 1 (25). – С. 10-19.

35. Анашкин А.В. Исследование динамической сегрегации примеси при выделении проса из пшеницы / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2017. – № 2 (26). – С. 69-77.

36. Анашкин А.В. Качество выделения семян горчицы и сорго из пшеницы ячеистыми поверхностями / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2017. – № 3 (27). – С. 42-48.

37. Анашкин А.В. Обоснование длины ячеистой поверхности для выделения легких примесей из зерносмесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2017. – № 4 (28). – С. 104-110.

38. Анашкин А.В. Анализ способов управления качеством триерной очистки зерносмесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2017. – № 4 (28). – С. 88 – 94.

39. Анашкин А.В. Закономерности выделения семян льна и гречишки вьюнковой из зерносмеси / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2017. – № 5 (29). – С. 5-12.

40. Анашкин А.В. Обоснование метода идентификации производительности триеров по результатам стендовых исследований / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2018. – № 1 (31). – С. 20-27.

41. Анашкин А.В. Анализ показателей работы триера по результатам стендовых исследований / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2018. – № 1 (31). – С. 27-35.

42. Анашкин А.В. Динамические параметры сегмента зерносмеси в триерных цилиндрах / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2018. – № 2 (32). – С. 20 – 28.

43. Анашкин А.В. Управление расходными характеристиками триера положением выводного лотка / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2018. – № 2 (32). – С. 28-34.

44. Анашкин А.В. Взаимосвязь производительности триера с режимами работы / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2018. – № 3 (33). – С. 12-20.

45. Анашкин А.В. Стенд для выделения длинных примесей из зерносмесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2018. – № 4 (34). – С. 12-24.

46. Анашкин А.В. Оценка взаимосвязи степени заполнения ячей триерного цилиндра с режимами работы и настроечными параметрами / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2018. – № 4 (34). – С. 24-33.

47. Анашкин А.В. Теоретическое обоснование конструктивных параметров делителя с горизонтальным размещением щелевых отверстий / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Вестник АПК Верхневолжья. – 2019. – №2 (46). – С. 62-66.

48. Анашкин А.В. Интенсивность выделения зерновок основной культуры из зерносмесей с длинными примесями / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Вестник АПК Верхневолжья. – 2019. – №3 (47). – С. 74-77.

Патенты

49. Патент РФ № 2247360 Прибор для определения коэффициента силы трения покоя / Амелянц А.Г., Тишанинов М. А., Анашкин А.В.; заявл. 31.03.2003, опубл. 27.02.2005, Бюл. № 6.
50. Патент РФ № 2492941 Стенд для испытаний ячеистых поверхностей / Тишанинов Н.П., Амелянц А.Г., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н., Растюшевский К.А.; заявл. 04.04.2012, опубл. 20.09.2013, Бюл. № 26.
51. Патент РФ № 2492940 Стенд для испытаний ячеистых поверхностей / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Амелянц А.Г., Тишанинов М.А., Растюшевский К.А.; заявл. 29.03.2012, опубл. 20.09.2013, Бюл. № 26.
52. Патент РФ № 2490863 Устройство для разделения потока сыпучих материалов / Тишанинов Н.П. Анашкин А.В., Тишанинов К.Н. Растюшевский К.А.; заявл. 04.04.2012, опубл. 27.08.2013, Бюл. № 24.
53. Патент РФ № 2488094 Прибор для определения коэффициента силы трения покоя / Тишанинов Н.П., Амелянц А.Г., Анашкин А.В., Растюшевский К.А.; заявл. 27.02.2012, опубл. 20.07.2013, Бюл. № 20.
54. Патент РФ на полезную модель № 138337 Питатель для триеров / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. – №2012125935; заявл. 21.06.2012, опубл. 10.03.2014, Бюл № 7.
55. Патент № 2511615 Прибор для определения коэффициента силы трения покоя / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Амелянц А.Г. – №2012145369/28; заявл. 24.10.2012, опубл. 10.04.2014, Бюл. №10.
56. Патент РФ № 2520341 Устройство для разделения потока сыпучих материалов / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н.; – №2012145368/13; заявл. 24.10.2012, опубл. 20.06.2014, Бюл. №17
57. Патент РФ № 2527285 Устройство для сушки семян и зерна / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. – №2013116288/13; заявл. 09.04.2013, опубл. 27.08.2014, Бюл. № 24.
58. Патент РФ № 2525728 Устройство для разделения потока сыпучих материалов / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н. – №2013109996/13; заявл. 05.03.2013, опубл. 20.08.2014, Бюл. № 23.
59. Патент РФ № 2540352 Устройство для разделения потока сыпучих материалов / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. – №2013120622/13; заявл. 06.05.2013, опубл. 10.02.2015, Бюл № 4.
60. Патент РФ № 2549284 Устройство для разделения потока сыпучих материалов / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н. – № 2013114867/13; заявл. 02.04.2013, опубл. 27.04.2015, Бюл. № 12
61. Патент РФ № 2557600 Прибор для измерения толщины слоя сыпучих материалов в технологических емкостях / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. – № 2014116696/28; заявл. 24.04.2014, опубл. 27.07.2015, Бюл. № 21.
62. Патент РФ № 2564872 Триер / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н. – № 2014124260/13; заявл. 16.06.2014, опубл. 10.10.2015, Бюл. № 28.
63. Патент РФ № 2564883 Триер / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н. – № 2014132318/13; заявл. 05.08.2014, опубл. 10.10.2015, Бюл. № 28.
64. Патент РФ № 2567154 Триер / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н. – № 2014142305/13; заявл. 20.10.2014, опубл. 10.11.2015, Бюл. № 31.
65. Патент РФ № 2578102 Устройство для разделения потока сыпучих материалов / Анашкин А.В. – № 2015111871/13; заявл. 01.04.2015, опубл. 20.03.2016, Бюл. № 8.
66. Патент РФ № 2616201 Стенд для испытаний ячеистых поверхностей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин. – № 2016108182; заявл. 09.03.2016, опубл. 13.04.2017, Бюл. № 11.

67. Патент РФ № 2647526 Прибор для выделения примесей из зерносмесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин. – № 2017114302; заявл. 24.04.2017, опубл. 16.03.2018, Бюл. № 8.

68. Патент РФ № 2706163 МПК А01F 12/46 Устройство для разделения потока сыпучих материалов / К.Н. Тишанинов, Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин. – № 2019112704; заявл. 25.04.2019, опубл. 14.11.2019, Бюл. № 32.

69. Патент РФ № 2714713 МПК А01F 12/46 Устройство для разделения потока сыпучих материалов / К.Н. Тишанинов, Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин. – № 2019116402; заявл. 28.05.2019, опубл. 19.02.2020, Бюл. № 5.

В материалах конференций

70. Анашкин А.В. Исследование коэффициента силы трения покоя с помощью новых приборов / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин / Повышение эффективности использования ресурсов при производстве с/х продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства. Сборник научных докладов XVI Международной научно-практической конференции (24-25 сентября 2013 г.). – Тамбов: Изд-во Першина Р.В. – С. 127-131.

71. Анашкин А.В. Новые резервы управления качеством очистки зерна / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин / Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. Материалы международной научно-технической конференции. – Минск. – 2013. – Том 1. – С. 266-272.

72. Анашкин А.В. Новые резервы модернизации зерноочистительных технологий / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин / Актуальные вопросы науки, технологии и производства: сборник научных статей по материалам VI Международной научно-практической конференции, 20-21 февраля 2015 г. – Санкт-Петербург. – С. 45-48.

73. Анашкин А.В. Делитель падающего потока зерна со стабилизацией отводимых потоков / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин / Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: сборник научных статей по материалам XI Международной научно-практической конференции, посвященной 65-летию факультета механизации сельского хозяйства, в рамках XVII Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал – 2015» (Ставрополь, 25-27 марта 2015 г.). – Ставрополь: АГРУС Ставропольского государственного аграрного университета. – 2015. – С. 44-48.

74. Анашкин А.В. Результаты экспериментальных исследований динамики выделения коротких примесей ячеистой поверхностью / Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии, и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: Сборник научных докладов XVIII Международной научно-практической конференции, 23-24 сентября 2015 г. – Тамбов: Из-во Першина Р.В. – 2015. – С. 92-96.

75. Анашкин, А.В. Взаимосвязь параметров зернового слоя в овсюжном цилиндре с подачей зерносмеси / А.В. Анашкин / Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии, и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: Сборник научных докладов XVIII Международной научно-практической конференции, 23-24 сентября 2015 г. – Тамбов: Из-во Першина Р.В., 2015. – С. 96-99.

76. Анашкин, А.В. Обоснование эквивалентной длины ячеистой поверхности для выделения семян борщевика из зерносмесей / А.В. Анашкин / Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства:

Сборник научных докладов XIX Международной научно-практической конференции, посвященной году экологии в России и 80-летию Тамбовской области, 27-28 сентября 2017 г. – Тамбов: Изд-во Першина Р.В., 2017. – С. 52-55.

77. Анашкин А.В. Перспективы развития делителей потока зерна в составе технологии послеуборочной очистки зерна / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.Н. Тишанинов // Импортзамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки с/х сырья. Материалы I Всероссийской конференции с международным участием. – Тамбов, 24-25 мая 2019 г. – С. 343-348.

78. Анашкин А.В. Методические особенности экспериментальных исследований процесса сегрегации зерносмесей при истечении из технологических емкостей / А.В. Анашкин // Сборник научных докладов XX Международной научно-практической конференции «Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для АПК». – Тамбов, 26-27 сентября 2019 г.. – С. 87-91.

79. Анашкин А.В. Теоретическое обоснование конструктивных параметров делителя со стационарной стабилизирующей емкостью / К.Н. Тишанинов, А.В. Анашкин // Инженерные технологии для устойчивого развития и интеграции науки, производства и образования. Материалы Международной научно-практической конференции, 29-31 мая 2019 г., в 4-х томах. – Изд. центр. ФГБОУ ВО ТГТУ. – 2020. – Том II. – С. 100-105.

80. Анашкин А.В. Результаты исследований коэффициента силы трения покоя зерновых материалов / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Инженерные технологии для устойчивого развития и интеграции науки, производства и образования. Материалы Международной научно-практической конференции, 29-31 мая 2019 г., в 4-х томах. – Изд. центр. ФГБОУ ВО ТГТУ. – 2020. – Том II. – С. 105-110.

Автор выражает благодарность научному консультанту: доктору технических наук, профессору, зав. лабораторией ФГБНУ ВНИИТиН Тишанинову Н.П. и с.н.с., к.т.н. Тишанинову К.Н. за оказанную помощь в проведении исследований и подготовке диссертации.

Отпечатано в издательско-полиграфическом центре
ФГБОУ ВО Мичуринский ГАУ
Подписано в печать 18.09.2020 г. Формат 60x84 ¹/₁₆,
Бумага офсетная № 1. Усл.печ.л. 2,4. Тираж 120 экз. Ризограф
Заказ № 20524

Издательско-полиграфический центр
Мичуринского государственного аграрного университета
393760, Тамбовская обл., г. Мичуринск, ул. Интернациональная, 101,
тел. +7 (47545) 3-88-34

