

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Всероссийский научно-исследовательский институт использования техники и  
нефтепродуктов в сельском хозяйстве (ФГБНУ ВНИИТиН)



*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

ДИССЕРТАЦИЯ  
на соискание ученой степени  
доктора технических наук

Научный консультант:  
доктор технических наук,  
профессор Тишанинов Н.П.

Тамбов 2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ.....	8
1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬ- НЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С ТРИЕРНОЙ ОЧИСТКОЙ.....	17
1.1 Современное состояние послеуборочной подработки зерна .....	17
1.2 Требования к качеству продовольственного зерна и семян зерновых культур.....	26
1.3 Обзор существующих триеров и триерных блоков.....	30
1.4 Состояние исследований процессов триерной очистки зерносмесей....	34
1.5 Классификация и анализ перспектив создания делителей потока сы- пучих материалов.....	60
1.6 Выводы, цель и задачи исследования.....	70
2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЗЕРВОВ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРИЕР- НЫХ БЛОКОВ.....	73
2.1 Анализ противоречий в конструкции триерных блоков и протекаю- щих в них процессах.....	74
2.2 Системный анализ вариантов повышения качества триерной очистки зерносмесей.....	76
2.3 Обоснование параметров стендового оборудования для исследований процессов разделения компонентов зерносмесей ячеистыми поверхно- стями.....	80
2.3.1 Обоснование технологической схемы и параметров натурального стенда для исследований ячеистых поверхностей.....	80
2.3.2 Обоснование параметров стенда циклического действия для ис- следований ячеистых поверхностей.....	85
2.3.3 Обоснование режимов работы и параметров прибора для разде- ления проб зерносмесей.....	91

2.3.4 Обоснование метода идентификации результатов стендовых исследований .....	98
2.4 Анализ процесса выделения зерновок основной культуры из зерносмеси.....	102
2.4.1 Взаимосвязь степени заполнения ячей с режимами работы и настроечными параметрами триера.....	102
2.4.2 Определение эквивалентной расходной характеристики триерного цилиндра в произвольном его сечении.....	107
2.4.3 Оценка степени использования длины ячеистой поверхности овсюжного триера по стендовым исследованиям.....	108
2.4.4 Оценка технологической надежности процесса выделения зерна основной культуры из зерносмеси.....	111
2.5 Анализ процесса выделения коротких примесей из зерносмесей.....	115
2.5.1 Динамика выделения примесей кукольным цилиндром.....	115
2.5.2 Алгоритм расчета эквивалентной длины ячеистой поверхности для выделения коротких примесей из зерносмесей.....	126
2.6 Обоснование параметров делителей потока сыпучих материалов.....	129
2.6.1 Обоснование параметров делителя потока зерна с шибберным отводом.....	129
2.6.2 Обоснование параметров жалюзийных делителей потока зерна....	139
Выводы по главе.....	147
3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.....	150
3.1 Программа экспериментальных исследований.....	150
3.2 Определение физико-механических свойств компонентов исследуемых зерносмесей.....	152

3.3	Методики исследований процессов выделения зерновок основной культуры из зерносмесей.....	160
3.3.1	Методика контроля профиля зерносмеси в ячеистом цилиндре....	160
3.3.2	Методика исследований процессов выделения частиц основной культуры с помощью стендов циклического действия.....	164
3.3.3	Методика исследований взаимосвязи параметров сегмента зерносмеси с режимами работы стенда.....	169
3.4	Методики исследований процессов выделения коротких примесей из зерносмесей.....	170
3.4.1.	Методика исследований динамики выделения примесных компонентов зерносмеси по длине ячеистой поверхности с помощью стендов циклического действия.....	170
3.4.2	Методика исследований процесса выделения коротких примесей с помощью натурального триера.....	173
3.4.3	Методика исследований процесса выделения коротких примесей с помощью циклического стенда на опорных роликах и прибора для разделения проб зерносмесей.....	177
3.5	Методики экспериментальных исследований процессов деления потока зерна авторегулируемыми делителями.....	183
3.5.1	Методика исследований процесса деления потока зерна делителем с неподвижной стабилизирующей емкостью и размещением щелевых отводящих каналов в вертикальной стенке.....	183
3.5.2	Методика экспериментальных исследований процесса деления потока зерна делителем с подвижной стабилизирующей емкостью, грузовоспринимающей системой и шиберным отводом.....	187
3.6	Выводы по главе.....	191
4	<b>РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ</b>	<b>193</b>
4.1	Результаты и анализ исследований процессов выделения основной культуры из зерносмеси стендами циклического действия.....	193

4.1.1	Взаимосвязь параметров сегмента со скоростным режимом работы и величиной загрузки станда.....	193
4.1.2	Взаимосвязь расходных характеристик с режимами работы и настроечными параметрами ячеистого цилиндра.....	206
4.1.2.1	Зависимость расходных характеристик от положения выводного лотка.....	207
4.1.2.2	Зависимость расходных характеристик от скоростного режима работы.....	214
4.1.2.3	Зависимость расходных характеристик от массы исходной навески зерносмеси в станде.....	219
4.1.3	Взаимосвязь степени заполнения ячеек с режимами работы и настроечными параметрами триера.....	222
4.1.4	Оценка управляемости качеством процесса триерной очистки зерносмеси за счет настройки регулировочных параметров.....	227
4.2	Результаты исследований качества процесса очистки зерносмесей от длинных примесей.....	231
4.2.1	Взаимосвязь формирования зернового клина и интенсивности захвата частиц основной культуры по длине овсюжного цилиндра.....	231
4.2.2	Влияние высоты зернового слоя в овсюжном цилиндре на остаточное содержание длинных примесей.....	235
4.2.3	Взаимосвязь качества триерной очистки пшеницы с концентрацией длинной примеси.....	242
4.3	Результаты исследований процессов выделения коротких примесей стандами циклического действия.....	249
4.3.1	Распределение выделенной короткой примеси по длине натурального ячеистого цилиндра.....	249
4.3.2	Динамика выделения коротких примесей по длине ячеистого цилиндра.....	253

4.3.3. Результаты исследований процесса выделения коротких приме- сей с помощью прибора для разделения проб зерносмесей.....	258
4.3.3.1 Результаты определения рациональных режимов работы, угла подъема верхней кромки передней стенки лотка и ее радиаль- ного зазора с ячеистой поверхностью.....	259
4.3.3.2 Результаты и анализ исследований динамики выделения проса из пшеницы.....	270
4.3.3.3 Результаты и анализ исследований динамики выделения семян сорго, горчицы, льна, гречишки вьюнковой, тысячелистни- ка, стеблей осота полевого, частиц соломы и семян борщевика из пшеницы .....	278
4.3.4 Результаты и анализ динамики выделения семян льна и щавеля из пшеницы.....	287
4.4 Результаты и анализ исследований процессов деления потока сыпучих материалов.....	291
4.4.1 Результаты и анализ исследований процессов деления жалюзий- ными делителями .....	291
4.4.2 Результаты и анализ исследований процессов деления делителем с грузовоспринимающей системой и шиберным отводом.....	298
4.4.3 Параметры авторегулируемых делителей потока зерна с грузо- воспринимающей системой.....	303
4.5 Выводы по главе.....	306
5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДО- ВАНИЙ И РАЗРАБОТОК.....	309
Выводы по главе.....	318
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	319
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	324
ПРИЛОЖЕНИЕ А Серийно выпускаемые триерные блоки.....	350

ПРИЛОЖЕНИЕ Б Вариантный метод оценки эффективности использования технологий подработки зерна.....	355
ПРИЛОЖЕНИЕ В Патенты на изобретения по теме работы.....	364
ПРИЛОЖЕНИЕ Г Акты внедрения.....	384

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность проблемы.** Российская Федерация является одной из крупнейших зернопроизводящих стран мира. В стране производится более 100 млн. тонн зерна в год, что позволяет удовлетворять потребности населения и перерабатывающей промышленности, обеспечивает существенное пополнение бюджета страны. Наиболее значимым этапом при производстве зерна является подработка зернового вороха, где ситуация остается довольно острой. Внутрихозяйственная подработка зерна обеспечивает лучшую его сохраняемость, повышение реализационной цены, экономию затрат в сравнении с оплатой услуг элеваторов. Важнейшей задачей послеуборочной обработки зерна является незамедлительное удаление из зернового вороха примесей, которые имеют высокую биологическую активность. Сорная примесь, имеющая повышенную влажность относительно основной культуры, при хранении увлажняет зерно. Кроме того, она является благоприятной средой для обитания и размножения вредных микроорганизмов, которые ухудшают качество зерна, особенно при длительном хранении неочищенного зерна.

В хозяйствах, в основном, применяют поточную технологию послеуборочной обработки произведенного зерна с использованием зерноочистительных агрегатов типа ЗАВ. Уровень использования зерноочистительных агрегатов остается крайне низким, многие из них выведены из эксплуатации. Загрузка по производительности составляет 30 – 70% от номинальной. Велики потери полноценного зерна в отходы: во фракциях фуража и неиспользуемых отходов его содержание достигает 25-67%. Высока степень остаточной засоренности очищенного зерна относительно современных требований к его качеству.

Настройка и регулировка технологического оборудования, подбор решет и размера ячеек триерных цилиндров, режимов аспирационных систем должно обеспечивать оптимальную загрузку зерноочистительного агрегата по производительности и достижение требуемого уровня качества очистки зерна. Однако, в реальных условиях получить высококачественное зерно и, особенно, семенной матери-



ал без очистки зернового вороха по всем трем указанным отличительным признакам компонентов зерносмесей невозможно. В наибольшей степени это относится к зерновому материалу, засоренному трудноотделимыми примесями, схожими с зерном основной культуры по размерам поперечных сечений и скоростям витания, которые можно отделить только ячеистыми поверхностями триерных цилиндров.

Существующие триерные блоки, представляющие собой последовательный технологический процесс с выделением зерновок основной культуры и коротких примесных компонентов из зерносмеси, не обеспечивают требуемого качества работы. При последовательном режиме использования триерных цилиндров, когда поочередно выделяются длинные и короткие примеси, необходимо обеспечить технологическое соответствие этих процессов, которые протекают по-разному. Оптимальная загрузка овсюжного триера, обусловленная гарантированным сходом длинных примесей и исключением потерь зерна основной культуры, не может соответствовать оптимальной загрузке кукольного цилиндра при различной исходной засоренности зерносмесей короткими примесями, их разнонаправленной сегрегации в слоях основной культуры, вариации требований к остаточной засоренности зерна.

Кроме того все технологии подработки зерна в хозяйствах реализуются по многоканальным схемам. При этом остается не решенным вопрос качественного управления массовыми потоками (деления и распределения потоков зерна по технологическим каналам) с переходом от меньшего числа каналов реализации процесса к большему. Из-за этого существенно снижается эффективность использования основного оборудования (качество процессов, производительность) или исключается работоспособность отдельных машин. В результате на зерноочистительных агрегатах применяется не более 7 % сохранившихся триерных блоков, и продолжается их дальнейший вывод из эксплуатации при реконструкции.

В сложившихся условиях актуальны исследования, направленные на совершенствование технологических процессов триерной очистки зерна на основе объективных закономерностей их протекания и создания научных основ управления

массовыми потоками зерна при многоканальной реализации зерноочистительных технологий.

**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. [96, 159, 29, 95, 45, 139, 199].

Повышению эффективности триерной очистки зерна за счет разработки новых форм ячеек триера посвящены работы Урханова Н.А., Цыренжипова Д.Д., Абидуева А.А., Озонова Г.Р., Бугжеева А.С., Рассадина А.А. [146, 136, 13, 7, 15].

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. [208, 210, 204, 41, 39, 63, 82, 107, 88, 74, 104].

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. [69, 117, 170, 137, 42].

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; интенсивностью 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 контакти-

рующем 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 ячеек 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 экспери-

ментальных 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.

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.

**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 наименование, 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 конструкционных 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».



# 1. СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ С ТРИЕРНОЙ ОЧИСТКОЙ

## 1.1. Современное состояние послеуборочной подработки зерна

Российская Федерация является одной из крупнейших зернопроизводящих стран мира. С 2014 г валовой сбор зерна после доработки ежегодно превышает 100 млн. тонн.

Одним из важнейших этапов зернового производства является его послеуборочная подработка в наиболее короткие сроки. Это обусловлено свойствами компонентов зернового вороха. В его состав кроме полноценного зерна основной культуры входят зерновые и сорные примеси. К зерновой примеси относятся неполноценные и поврежденные зерна основной культуры, а также семена других культурных растений. Сорная примесь, включающая семена сорных растений, испорченные зерна и минеральную примесь, как правило, имеет повышенную влажность и является благоприятной средой обитания микроорганизмов, что представляет серьезную угрозу для сохранности зерна.

В ходе послеуборочной обработки зернового вороха проводят предварительную очистку, первичную и вторичную очистку, сортирование, калибрование.

Целью предварительной очистки зерна является удаление из зернового вороха крупных, мелких и легких примесей, некоторое снижение влажности. При этом увеличивается устойчивость к самосогреванию и текучесть зерна, что важно для последующей очистки и сушки. Согласно агротехническим требованиям к очистке зерна [80, 224, 223, 198, 26] при предварительной очистке степень выделения сорной примеси должна быть не менее 50%, потери полноценного зерна в отходы не должны превышать 0,05%, дробление – 0,1%.

При первичной очистке выделяются легкие, мелкие и крупные примеси, дробленое и щуплое зерно с доведением продовольственного зерна до требуемых кондиций [53]. При этом получают три фракции: очищенное зерно, фураж, неис-

пользуемые отходы. Степень выделения сорной примеси должна быть не менее 60%, дробление не более 1%, потери полноценного зерна – не более 1,5%.

Вторичная очистка предназначена для очистки семенного материала от трудноотделимых семян сорняков, сходных по размерам и аэродинамическим свойствам с семенами основной культуры. При этом материал доводится до требований ГОСТа по показателям чистоты семян и содержания семян других растений, в том числе сорных [52]. Потери семян не должны превышать 7%, дробление – 8%.

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 (ранее и скребковых) 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. Кроме того, к недостаткам существующих зерноочистительных агрегатов следует отнести ограниченность технологической высоты и площади, что особенно сказывается при реконструкции и модернизации агрегатов с применением современных зерноочистительных машин.

Техническое состояние таких агрегатов не может обеспечить требования по качеству очистки зерна и семян, надежности технологического оборудования, поэтому они используются за границами экономической эффективности [190, 144, 157, 84]. Многие из них выведены из эксплуатации. Производители часто вынуждены реализовывать выращенный урожай «из-под комбайна» без послеуборочной

подработки на невыгодных для себя условиях, несут по этой причине значительные убытки.

К эксплуатационным причинам низкой эффективности использования зерноочистительных агрегатов можно отнести условия эксплуатации за границами экономической эффективности, определяемыми с помощью разработанного нами метода оценки эффективности использования зерноочистительных агрегатов [160]. Указанный метод основан на соизмерении результирующего технологического эффекта и текущих эксплуатационных затрат в единицу времени основной работы. Основным фактором, влияющим на значение границы эффективности агрегата, является годовая (сезонная) наработка агрегата, от которой зависит величина срока окупаемости годовых капитальных вложений. Кроме того на показатель границы эффективности использования ЗАВ влияют значения величины снижения сорной примеси, потери полноценного зерна в отходы при подработке, количество пропусков зернового вороха через агрегат, производительность основного технологического оборудования, квалификация оператора, сложившиеся цены на зерно и электроэнергию.

Обследование нами зерносеющих хозяйств одного из районов Тамбовской области в 2011 году показали, что 92% работающих зерноочистительных агрегатов эксплуатируются от 19 до 41 года. Из числа построенных агрегатов 21% выведено из эксплуатации по причине предельного износа технологического оборудования.

Триерная очистка зерна в хозяйствах стала применяться достаточно редко – используется только в 5% действующих зерноочистительных агрегатов, хотя сохранилось 74% триерных блоков в состоянии не требующих больших затрат для восстановления работоспособности. Основная причина этого заключается в отсутствии возможности эффективного управления массовыми потоками в многоканальных зерноочистительных технологиях. Нет возможности с достаточной точностью поделить падающий зерновой поток на две равные части для двух триерных блоков (в типовых проектах ЗАВ-20 и ЗАВ-40), а после этого каждый поделить еще пополам для двух параллельно работающих пар ячеистых цилиндров.

Высока доля (57,9%) зерноочистительных агрегатов ЗАВ-20, техническое состояние которых одинаковое – зерноочистительные машины не подлежат восстановлению. Вместе с тем эти агрегаты, как и ЗАВ-40, представляют собой хороший объект для реконструкции и модернизации.

Завальные ямы большинства агрегатов не рассчитаны на прием зернового вороха от большегрузных автомобилей. Ни один из автомобильных подъемников сегодня не работает. Часть зерна приходится разгружать на открытые площадки, что приводит к дополнительным потерям. Восстанавливать подъемники нецелесообразно. При реконструкции необходимо строительство новой ямы, рациональный объем которой составляет 40-60 м<sup>3</sup>. Тогда обеспечивается возможность разгрузки любого автотранспорта.

Для предотвращения попадания воды в завальную яму над ней должен быть построен навес, высота которого должна превышать высоту поднятого кузова грузовых автомобилей, имеющихся в хозяйстве. Размеры навеса в плане должны исключать возможность попадания атмосферных осадков в завальную яму.

При наличии воды, остатков зерна или мусора в шахте загрузочной норрии стенки нижней головки сильно подвержены коррозионному износу, а в ряде случаев имеют сквозные отверстия. Регулировочные винты натяжных барабанов неработоспособны. Очевидно, что нижняя головка норрии подлежит замене. При этом часть транспортерных лент, подверженная длительному воздействию влаги также нуждается в замене. Требуется ревизия и при необходимости замена транспортерных лент и ковшей промежуточной норрии (ЗАВ-40).

Зерноочистительные агрегаты большого срока эксплуатации имеют ограничения по высоте расположения выгрузных шиберов бункеров, что исключает возможность загрузки автомобилей большой грузоподъемности. В большей степени это относится к агрегатам ЗАВ-20.

Возможен вариант подъема агрегата на требуемую высоту с наращиванием опорных стоек. Возможно также снятие необходимого слоя грунта под бункерами для обеспечения проезда под ними автомобилей. Но этот вариант применять не-

целесообразно из-за риска скопления воды под агрегатом и ослабления фундаментов металлоконструкции.

В случае эксплуатации зерноочистительного агрегата более 15 лет возникает необходимость замены части зернопроводов или всего комплекта. Особое внимание следует уделять герметичности зернопроводов и их стыков при выходе из норий и в месте соединения зернопроводов с воздушно-решетными машинами. Количество универсальных колен должно быть минимальным. Соединения зернопроводов должны быть герметичными. При их монтаже нельзя допускать образования порогов на пути следования зерна.

При реконструкции ЗАВ-20 однозначной замене подлежат воздушно-решетные зерноочистительные машины ЗАВ-10.30.000 на другие, согласно выбранному варианту реконструкции. Наклонный скребковый транспортер демонтируется, а в случае наличия триерных блоков в новой технологии необходим монтаж промежуточной нории.

При реконструкции ЗАВ-40 демонтажу подлежат центробежные сепараторы, установленные над триерными блоками, в связи с крайне низкой их технологической надежностью. Практически всегда требуется замена промежуточного шнека ЗАВ-40.02.000 или его ремонт, направленный на увеличение жесткости кожуха.

В подавляющем большинстве вариантов реконструкции ЗАВ-40 воздушно-решетные машины ЗВС-20 (ЗВС-20А) заменяют на другие: МЗС-25М, БЦМ-50. Тогда необходимость промежуточного шнека отпадает, он демонтируется, но возникает необходимость смещения промежуточной нории и занижение ее нижней головки.

Применение фотосепараторов в зерноочистительных агрегатах нецелесообразно из-за высоких требований к микроклимату помещения, чистоте обрабатываемого материала и высоких потерь зерна основной культуры после первого пропуска через фотосепаратор.

В статье профессора Тарасенко А.П. и Мяснянкина К.В. [105] представлены результаты исследований фотосепаратора при очистке гречихи от примесей, ко-

торые представляют собой обрушенное зерно с включением других коротких примесей. Результаты исследований представлены в таблице 1.1.

Таблица 1.1 – Соотношение фракций в исходном ворохе

Номер исследуемого образца	Процентное соотношение фракций, %:			
	Очищенные семена	Первоотход	Очищенный первоотход	Фураж
1	78,7	21,30	15,80	5,50
2	85,10	14,90	13,17	1,73
3	77,28	22,72	16,67	6,05
4	91,87	8,13	6,13	2,00
5	77,88	22,12	18,87	3,25
6	91,9	8,10	6,44	1,66
7	74,80	25,20	14,99	10,21
8	89,53	10,47	9,23	1,24
9	83,59	16,41	12,52	3,89
Среднее по образцам	83,41	16,59	12,65	3,95

Из таблицы 1.1 видно, что средний уровень потерь по всем образцам составляет в первом проходе 16,59%. Это неприемлемо высокий уровень потерь, если сравнивать результаты разделения зерносмесей с традиционной триерной технологией. На оптимальных режимах работы и настроечных параметрах в триерных цилиндрах возможно получить 100%-е выделение примесных компонентов и обеспечить потери полноценного зерна на уровне сотых долей процента, что на два порядка ниже чем в фотосепараторе.

Нужно отметить, что в исследованиях, проведенных авторами Тарасенко А.П. и Мяснянкиным К.В., в качестве исходной рабочей среды использовалась зерносмесь, содержащая 0,36% примесей. В реальном зерновом ворохе засоренность может достигать нескольких десятков процентов. Поэтому и уровень потерь полноценных зерновок при очистке зернового вороха фотосепаратором будет кратно выше. Вынос примесных частиц в фотосепараторе пульсирующим потоком воздуха всегда связан с сопутствующими потерями полноценных зерновок. Увеличение примесных частиц в зерносмеси будет умножать потери зерновок основной культуры.

Дополнительно необходимо отметить, что авторы исследовали очистку зернового вороха гречихи от примесей с незначительным содержанием примесей,

которые укладывается в требования к первому сорту (оно не превышает 0,36%),  
таблица 1.2.

Таблица 1.2 – Состав фуража

Номер исследуемого образца	Процентное соотношение от исходно вороха, %		
	полноценное зерно	поврежденное зерно	засорители
1	5,21	0,17	0,12
2	1,57	0,07	0,08
3	5,15	0,63	0,27
4	2,36	0,42	1,41
5	0,91	0,99	0,10
6	2,97	0,09	0,19
Среднее по образцам	3,03	0,39	0,36

При этом получили состав фуража, в котором после второго пропуска зерновки основной культуры составляют 80,2%.

Невозможность управления массовыми потоками зерна в существующих технологиях [170, 42, 181, 177, 182, 180, 179], является причиной некачественной регулировки и настройки зерноочистительных машин. До 30% полноценного зерна теряется в отходы и фураж, загрузка по производительности составляет 30-70% от номинальной.

Все технологии подработки зерна в условиях сельхозпредприятий реализованы по многоканальной схеме работы. Одновременно работает две или более линии зерноочистительных машин. В типовых проектах ЗАВ-20 и ЗАВ-40 в состав оборудования входит по две воздушно-решетные машины и два триерных блока. Загрузка машин осуществляется норями в одноканальном режиме. При этом для подачи зерна на воздушно-решетные машины поток необходимо разделить на две равные части.

Триерные блоки ЗАВ 10.90.000 и БТ-5 в рассматриваемых агрегатах при параллельной схеме работы можно рассматривать как двуканальную реализацию триерной очистки. Таким образом, поток, подаваемый на триера промежуточной норией должен быть разделен на четыре равные части. Это осуществляется в два этапа: 1 – тройником на выходе из нории; 2 – делительным устройством флажко-

вого или призмического типа на входе в триерный блок. Исследованиями автора [170] установлено, что неравномерность деления потока этими устройствами может достигать 150-600%.

Современное перевалочное оборудование (в частности нории НПК-25, НПК-50) не решает указанной проблемы. Они поставляют с делителями тарельчатого типа, рисунок 1.1, дополнительным недостатком которого является заниженная расходная характеристика за счет перекрытия существенной части живого сечения отводов разделяющим элементом, что особенно сказывается при транспортировании легкого зернового материала повышенной влажности, в частности подсолнечника.



Рисунок 1.1 – Делитель нории НПК-50.

Для обеспечения возможности качественной работы зерноочистительных машин в многоканальных технологиях необходимо устанавливать средства управления массовыми потоками (авторегулируемые делители) в необходимом количестве в зависимости от варианта технологии подработка зерна.

При реконструкции и модернизации зерноочистительных агрегатов целесообразно максимально полно использовать имеющиеся базовые элементы конструкции агрегата: завальную яму, металлоконструкцию здания, бункера. При этом процесс модернизации, связанный с перекомпоновкой технологического оборудования и включением в технологическую схему новых технических средств (в частности делителей потока зерна), имеет жесткие ограничения в усло-



виях существующих объемно-планировочных решений. Решающее значение здесь имеет ограничение технологической высоты. При выполнении общепринятого условия размещения зернопроводов с углами наклона к горизонту не меньше  $45^\circ$  не всегда имеется возможность размещения делителей потока.

В последнее время сельхозтоваропроизводители, осознавая большие объемы упущенной выгоды при реализации зерна «из-под комбайна», стремятся совершенствовать имеющиеся средства для послеуборочной подработки зерна, а в случае их отсутствия организовать строительство новых зерноочистительных агрегатов с сопутствующей инфраструктурой. Для этой цели на рынке представлено многообразие марочного состава зерноочистительных машин для предварительной, первичной, вторичной очистки зерна российского и зарубежного производства. Множество фирм предлагают услуги по строительству зерноочистительных агрегатов и комплексов производительностью от 25 до 150 т/ч с составом зерноочистительных машин и оборудования по выбору заказчика. Однако и в новых технологиях остается нерешенным вопрос управления массовыми потоками зерна с целью его разделения на нужное количество равных частей, соответствующее числу каналов реализации рассматриваемой технологии. При этом снижается эффективность использования зерноочистительных машин, а в ряде случаев исключается их работоспособность. В частности при неравном разделении потока перед параллельно работающими воздушно-решетными машинами одна из них оказывается недогружена, задействована не вся площадь поверхности решет, снижается производительность машины без ущерба качеству очистки. На вторую машину подается поток, превышающий по расходу ее номинальную производительность. По поверхности решет движется слишком толстый слой зернового материала, что исключает высокое качество выделения примесных компонентов. Кроме того, возникает вероятность потерь полноценного зерна сходом с колосового решета в бункер неиспользуемых отходов.

Очищенное зерно с обеих машин собирается в общий бункер или подается в промежуточную норию для подачи на дальнейшую очистку. С учетом вероятных потерь снижение эффективности очистки может быть существенной.

## 1.2 Требования к качеству продовольственного зерна и семян зерновых культур

После уборки зернового вороха первоочередной задачей является доведение его до кондиций, обеспечивающих длительное хранение без существенных потерь потребительских и посевных качеств. Свежеубранное зерно практически всегда имеет повышенную влажность и может достигать 25-30% для зерна озимых сортов, 30-40% - для яровых. Влажность органических и сорных примесей достигает 40-70%.

Содержание полноценного зерна основной культуры в зерновом ворохе зависит от уровня засоренности полей, влажности зерна и соломы, режимов работы и настроечных параметров комбайна при уборке, и может составлять по данным разных авторов [23, 30, 31, 44, 60, 71, 79] от 70 до 98%. В составе сорной примеси зернового вороха перед подработкой 56 – 63% составляют семена сорных растений [143].

Качественные показатели урожая зерновых культур, его количество и засоренность во многом определяются качеством семенного материала. По данным Дринча В.М. доля семян первого и второго классов использованных в нашей стране в конце 20-го века составляет около 48%. Доля площадей зерновых культур, засеянных неклассными семенами составляла до 20%. Несоответствие семян требованиям ГОСТ в большинстве случаев заключается в повышенном содержании трудноотделимых примесных компонентов [61]. Согласно исследованиям Тарасенко А.П. [156] в 2003 – 2008 гг. в России высевалось высококлассных семян не более 20%, а 34,9% – некондиционных.

По данным филиала ФГБУ «Россельхозцентр» по Тамбовской области [229] в 2018 году 97,5% семян в хозяйствах Тамбовской области соответствовали требованиям ГОСТ. Около 2,4% семян не соответствуют по показателю засоренности и 0,1% по влажности. При этом доля семян высших репродукций (оригинальные и элитные) составляет только 2,4% от их общего количества. В 2017 году величина этого показателя составила соответственно 7,0% для озимых культур и 4,4% для

яровых.

Качество зерна пшеницы регламентирует ГОСТ 9353-2016 [53], сортовые и посевные качества семян сельскохозяйственных растений определяются ГОСТ 52325-2005 [51].

В зависимости от цвета зерна и показателя стекловидности зерно пшеницы подразделяют на типы и подтипы. Всего предусмотрено 6 типов пшеницы: мягкая яровая краснозерная, твердая яровая, мягкая яровая белозерная, мягкая озимая краснозерная, мягкая озимая белозерная, твердая озимая. Для каждого типа оговаривается допустимое содержание зерен пшеницы других типов, при повышении которого говорят о «смеси типов» с указанием состава в процентах.

В зависимости от значений ряда качественных показателей – зерно пшеницы подразделяют на 5 классов. При этом показатели для мягких и твердых типов пшеницы имеют некоторые различия.

Общими при определении класса пшеницы для всех типов являются показатели: содержание зерна других типов, состояние, цвет, запах, содержание белка и клейковины, число падения, стекловидность, натура, влажность, содержание сорной и зерновой примеси. Для мягкой пшеницы допускается содержание трудноотделимых примесей в составе сорной примеси: 0,5% куколя, содержание овсюга и татарской гречихи в пределах общего содержания сорной примеси, таблица 1.3.

К посевному материалу предъявляются более высокие требования. Семена перед посевом должны быть проверены на соответствие сортовым и посевным качествам с оформлением соответствующих документов.

В зависимости от сортовых и посевных качеств семян их относят к одной из категорий: ОС – оригинальные, ЭС – элитные, РС – репродукционные для семенных целей и РСт–репродукционные для товарных целей. В таблице 1.4 представлены сортовые и посевные качества семян некоторых зерновых культур в соответствии с ГОСТ [51].

В оригинальных и элитных категориях семян пшеницы, ржи, ячменя, тритикале и проса не допускается наличие семян овсюга.

Таблица 1.3 – Показатели, характеризующие качественный состав зерна пшеницы

Показатель	Ограничительная норма для класса									
	Мягкой пшеницы					Твердой пшеницы				
	1 кл.	2 кл.	3 кл.	4 кл.	5 кл.	1 кл.	2 кл.	3 кл.	4 кл.	5 кл.
Натура, г/л, не менее	750	750	730	710	Не огр.	770	745	745	710	Не огр.
Влажность, % не более	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Сорная примесь, %, не более	2,0	2,0	2,0	2,0	5,0	2,0	2,0	2,0	2,0	5,0
в том числе: минеральные примеси	0,3	0,3	0,3	0,3	1,0	0,3	0,3	0,3	0,3	1,0
в числе минеральной примеси: галька	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
испорченные зерна	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
куколь	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	-	-	-	-	-
трудноотделимая примесь (овсюг, татарская гречи- ха)	2,0	2,0	2,0	2,0	5,0	-	-	-	-	-
Зерновая примесь, %, не более	5,0	5,0	5,0	5,0	15,0	5,0	5,0	5,0	5,0	15,0

Таблица 1.4 – Сортовые и посевные качества зерновых культур

Категория семян	Сортовая чистота, %, не ме- нее	Поражение посева го- ловней, %, не более	Чистота семян, %, не менее	Содержание семян других растений, шт./кг, не более		Примесь, %, не более		Всхо- жесть, %, не менее
				всего	в т.ч. сорных	головне- вых обра- зований	склероций спорыньи	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Пшеница* и полба								
ОС	99,7	0/0	99,0	8	3	0	0	92
ЭС	99,7	0,1/0	99,0	10	5	0	0,01	92
РС	98,0	0,3/0,1	98,0	40	20	0,002	0,03	92
РСт	95,0	0,5/0,3	97,0	200	70	0,002	0,05	87
Рожь								
ОС	-	0	99,0	8	3	0	0	92
ЭС	-	0	99,0	10	5	0	0,03	92
РС	-	0,3	98,0	60	30	0,002	0,05	92
РСт	-	0,5	97,0	200	70	0,002	0,07	87
Овес								
ОС	99,7	0	99,0	8	3	0	0	92
ЭС	99,7	0,1	99,0	10	5	0	0,01	92
РС	98,0	0,3	98,0	80	20	0,002	0,03	92
РСт	95,0	0,5	97,0	300	70	0,002	0,05	87

## Окончание таблицы 1.4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ячмень								
ОС	99,7	0/0	99,0	8	3	0	0	92
ЭС	99,7	0,1/0	99,0	10	5	0	0,01	92
РС	98,0	0,3/0,3	98,0	80	20	0,002	0,03	92
РСт	95,0	0,5/0,5	97,0	300	70	0,002	0,05	87

\* Всхожесть семян твердой пшеницы на 2 % ниже.

Влажность семян всех категории нормируется в соответствии с зональными требованиями и для семян пшеницы, ржи, ячменя, тритикале овса должна быть не более 14,0 – 16%. Для Тамбовской области (2-я зона) – 15%. При посеве семян озимых культур в год уборки допускается влажность до 16% для всех зон. При длительном хранении семян (более года) влажность не должна превышать 14%.

Запрещено использовать для посева семена, содержащие семена карантинных сорняков, живых вредителей и их личинок, семена ядовитых растений.

При установлении несоответствия семян заявленной категории по показателям сортовых и посевных качеств их переводят в низшую категорию при условии, что невозможно добиться повышения качества дополнительной подработкой семян.

Жесткие требования к качеству семян по показателю содержания семян сорных растений обусловлены значительными потерями урожайности сельскохозяйственных культур при засоренности полей. Так при засоренности паразитным сорняком повиликой, урожайность свеклы снижается на 80%, лука и моркови – на 85%, семян люцерны – на 95% [67]. При заражении полей горчаком ползучим в количестве 15 растений на 1 м<sup>2</sup> урожайность зерновых снижается на 80%, а при большем количестве культурные растения полностью погибают [81].

Циклахена дурнишникolistная сильно истощает и сушит почву. Снижая урожайность подсолнечника, кукурузы, сорго на 40 – 60% [83].

Засоренность посевов оказывает влияние на количество и массу 1000 семян сои [89]. Многолетние сорные растения снижают количество бобов сои на 54,2 – 69,1%, однолетние – на 26,3 – 54,7%. Засоренность полынью обыкновенной снижает массу 1000 семян на 9,4 – 15,2 %, пыреем ползучим – на 3,1 – 3,4 %, осотом

розовым – на 3,8 – 4,7 %. На всхожесть получаемых семян засоренность влияет незначительно.

Кроме снижения урожайности некоторые сорные растения могут наносить вред сортовым качествам семян культурных растений за счет перекрестного опыления [89]. У засоренного овса с 25 до 30% повышается пленчатость, у яровой пшеницы уменьшается содержание протеина в зерне на 0,5 – 1,8%, повышается на 4 % масса семенной оболочки у озимой ржи [154].

Хвощ полевой использует в 5 – 7 раз больше питательных веществ из почвы, чем озимая пшеница [148]. По данным того же автора из-за сорных растений снижается на 90% урожайность кукурузы, проса – на 84%, картофеля – на 44%, пшеницы – на 32%.

Засоренность посевов кукурузы амброзией полыннолистной в количестве 5 и более растений на 1 м<sup>2</sup> снижает урожайность на 20 – 35% [196].

### 1.3 Обзор существующих триеров и триерных блоков

Сегодня на рынке доступно большое количество серийно выпускаемых триеров и триерных блоков как отечественного, так и иностранного производства, приложение А. Потребитель может подобрать себе нужное оборудование из многообразия представленных технических характеристик триерных блоков.

Отечественные производители зерноочистительной техники, предлагающие триерные машины, представлены семью предприятиями, четыре из которых расположены в Воронежской области. ООО «Техника-Сервис» предлагает как отдельно кукольный (ТК-800-8) или овсюжный (ТО-800-8) триеры, так и триерные блоки БТМ-800-8 и БТО-800-16. Отличительными особенностями этих триерных блоков является модульный принцип компоновки, разъемные триерные поверхности, состоящие из двух сегментов, обеспечивающие их быструю замену и очистку. Угол наклона оси цилиндра к горизонту составляет 2°, диаметр их цилиндров составляет 800 мм, длина 2300 мм, коэффициент кинематического режима  $K = 0,72$  при скорости вращения ячеистого цилиндра 40 об/мин.

К продукции ООО «Воронежсельмаш» относятся триерные блоки ПТ-600, СТ-8 производительностью 8 т/ч и триерный блок СТ-12 производительностью 12,5 т/ч. Скорость вращения цилиндров ПТ-600 составляет 42,5 об/мин, коэффициент кинематического режима  $K = 0,61$ .

ГСКБ «Зерноочистка» предлагает триеры ТЦК-700, ТЦО-700 и триерный блок БТЦ-700 производительностью 6 т/ч. Диаметр цилиндров составляет 700 мм, длина 3040 мм, скорость вращения 38 об/мин. Особенностью этих триеров является система плавного пуска привода, благодаря которой исключается заброс в лоток длинных фракций при пуске мотор-редуктора. Ячеистые цилиндры состоят из отдельных сегментов, что существенно снижает трудоемкость перехода на другой размер ячей.

ООО «Промконструктор» (г. Семилуки Воронежской обл.) выпускает триерный блок ЗАВ 10.90.000А, который входил в состав зерноочистительного агрегата ЗАВ-40. К его недостаткам можно отнести морально устаревшую конструкцию, высокую трудоемкость замены ячеистых цилиндров при переходе на другую культуру, низкую технологическую надежность. Однако он имеет и преимущества: возможность регулировки скорости вращения ячеистых цилиндров на четырех уровнях (30; 35; 39; 45 об/мин) за счет сменных звездочек в цепном приводе; возможность перехода от последовательной схемы работы, когда происходит очистка и от коротких, и от длинных примесей, к параллельной схеме, когда происходит выделение всеми цилиндрами либо коротких, либо длинных примесей, а соответственно удваивается производительность триерного блока.

ПАО «Мельинвест» (г. Нижний Новгород) выпускает триеры собственной разработки: кукольный Р1-ББК-700-8 и овсюжный Р1-ББО-700-8. На их основе предлагаются триерный блок Р1-ББТ-700-8, имеющий два ячеистых цилиндра и рассчитанный на производительность 8 т/ч, и триерный блок Р1-ББТ-700-16 производительностью 16 т/ч, имеющий 4 ячеистых цилиндра. Диаметр цилиндра равен 700 мм, длина 3040 мм, скорость вращения 38 об/мин. В триерных блоках реализована последовательная схема очистки. Цилиндры расположены друг над другом. Каждый триер имеет индивидуальный привод от мотор-редуктора, обес-

печивается быстрая смена триерных полотен, состоящих из четырех сегментов. Ось ячеистого цилиндра наклонена к горизонту под углом  $1^\circ$ .

Саратовский машиностроительный завод «Элеватормельмаш» разработал триерный блок ТБЦ-6-1, состоящий из кукольного ТК-6 и овсюжного ТО-6 триеров, которые могут применяться самостоятельно. Ячеистый цилиндр диаметром 630 мм и длиной 3200 мм неразборный. Привод (мотор-редуктор) индивидуальный для каждого цилиндра. В этом триере реализована бесчерпаковая система выведения сходовой фракции из цилиндра, а также обеспечен визуальный контроль настройки положения выводного лотка.

Белорусская компания ОАО «Борисовский завод «Металлист» предлагает триеры БТ-7/1 и БТ-9/1 и триерные блоки на их основе, состоящие из 2-х или 3-х триеров. Цилиндры диаметром 750 или 900 мм, длиной 3000 мм имеют индивидуальный привод, состоят из сегментов, которые можно легко заменить под нужную культуру.

Крупные иностранные фирмы – производители зерноочистительной техники предлагают широкий типоразмерный ряд машин для очистки, сушки, хранения и обработки зерна, в том числе триеров и триерных блоков.

Компания «Cimbria», основанная в Дании в 1947 г. предлагает триеры с десятью различными размерами цилиндров производительностью от 1 до 30 т/ч. Все они выполнены в блочном исполнении с возможностью получения триерных блоков, содержащих 2; 3; 4 и более рабочих цилиндров. Диаметр ячеистых цилиндров в триерах «Cimbria» модельного ряда HSR изменяется от 400 до 900 мм, длина цилиндра – от 1000 до 4000 мм. Мощность привода находится в пределах 0,37-4 кВт. При этом для всех вариантов исполнения показатель кинематического режима достаточно высок и составляет 0,65-0,73 кВт.

В триерах «Cimbria» реализованы ряд новых решений, способствующих повышению качества триерной очистки зерна и подчеркивающие высокий уровень производства техники. Поверхность ячеистого цилиндра разделена на несколько сегментов, оснащенных быстродействующими затворами. По желанию заказчика сегменты могут быть оснащены дверью для очистки цилиндра. Триеры оснащены



уплотнителями между желобом и внутренней поверхностью цилиндра. В качестве привода для каждого цилиндра применяются мотор-редукторы. По заказу потребителя триер может быть оснащен устройством для пневматической очистки ячеек цилиндра. Для повышения безопасности эксплуатации триер снабжен предохранительным выключателем, который отключает привод при открытии защитного кожуха. Для контроля качества процесса очистки триер оснащен двумя смотровыми окнами в зоне выгрузки продукта, через которые возможен безопасный отбор короткой и длинной фракций во время работы триера. Для малосыпучих сред разработчики рекомендуют устанавливать внутри цилиндра в зоне формирования зернового клина «подающий ролик» для интенсификации процесса. Кроме того, есть возможность комплектования триера устройством регулировки наклона в пределах  $0-3^{\circ}$ ; мотор-редуктором с механической или электронной регулировкой скорости вращения; двигателем для регулировки положения желоба.

Другой крупный производитель зерноочистительной техники – фирма PETHKUS (Германия) также предлагает большой ряд триеров и триерных блоков с широкими диапазонами технических характеристик. Представлены триеры производительностью от 0,15 т/ч для подготовки семян кормовых трав до 25 т/ч по пшенице с цилиндрами, имеющими диаметр 600; 700; 800 и 900 мм, длину 1500; 2500; 2650; 3000 мм. Величина коэффициента кинематического режима находится в пределах 0,55-0,65.

Для современных конструкций триеров PETHKUS характерно наличие индивидуального привода для каждого цилиндра; облицовка, скрывающая все вращающиеся части машины; закрытая конструкция с возможностью подключения к системе аспирации, исключающая попадание пыли в атмосферу рабочей зоны; сегментное исполнение ячеистых цилиндров, обеспечивающее быстрый переход на очистку другой культуры; наличие пробоотборников для каждого потока.

Датская компания «Westrup» предлагает триеры H-500x1000; H-500x1500; H-1500x1900/2500; TR-620/625/630; TR-725/730; TR-1240/1250. Датская компания «DAMAS» предлагает триеры HОTYP520/730/930/940 производительностью от 5 до 20 т/ч. Испанская фирма «JUBUS» выпускает триеры T-JS в шести размерных

исполнениях, обеспечивающие производительность 8-15 т/ч. Принципиальных конструктивных отличий от описанных выше триеров они не имеют.

#### **1.4 Состояние исследований процессов триерной очистки зерносмесей**

На протяжении всего периода использования цилиндрических триеров в сельском хозяйстве (с начала XX века) основной их недостаток связан с меньшей производительностью в сравнении с другими зерноочистительными машинами, что усложняет их применение в поточных технологиях очистки зерна. Это обусловило основное направление усилий исследователей процесса триерной очистки зерносмесей.

В 1922 г. был создан быстроходный триер, имеющий до 43 об/мин и размещение оси выводного лотка на уровне оси ячеистого цилиндра, конструкция которого без существенных изменений дошла до наших дней.

Основоположниками классической теории триеров считаются Полетаев С.В. [139, 138], Летошнев М.Н. [96, 91, 95], Блох З.Ш. [29]. Ими теоретически описаны процессы движения зерна внутри триерного цилиндра, его движения в ячейке и выпадения из нее, движения частиц после отрыва от ячейки, движения зерна в слое.

Горячкиным В.П. сформулировано условие устойчивого западания зерна в ячейку триера [45].

Дальнейшее развитие теория триеров получила в работах Терскова Г.Д. [159, 158], Евдокимова В.Ф. [62, 64], Ивлиевой Н.М. [73, 74, 75, 76], Урханова Н.А. [205, 210, 207, 216, 200], Кубышева В.А. [86] и других ученых.

Одним из первых к экспериментальным исследованиям процесса разделения компонентов зерносмесей с помощью цилиндрических триеров обратился Павловский Г.Т. [110, 112, 109]. Он исследовал влияние кинематических режимов, размеров ячеистого цилиндра и состава обрабатываемой зерносмеси на технологический процесс триерной очистки. Им установлено, что коэффициент использования ячеистой поверхности характеризует эффективность работы ячей и

определяется отношением фактически вынесенными в лоток частицами к их теоретически возможному количеству.

Вызывают сомнения закономерности изменения расходных характеристик, полученные Павловским Г.Т. [110]. При заданном скоростном режиме и всех диаметрах ячеистого цилиндра они имеют линейную взаимосвязь с длиной ячеистой поверхности, рисунок 1.2.

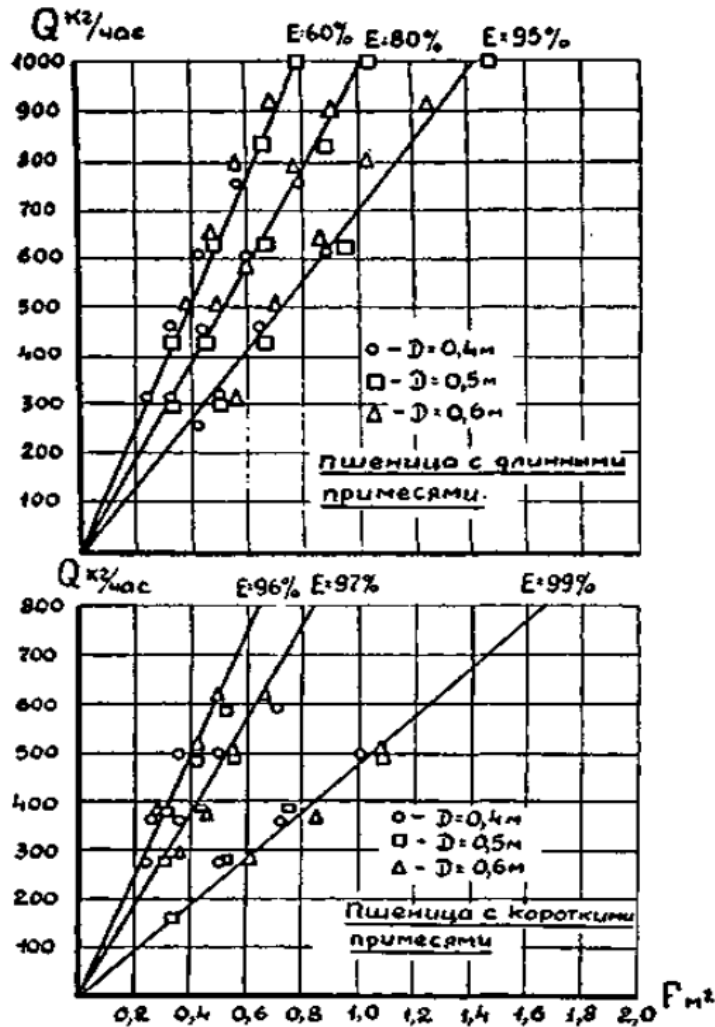


Рисунок 1.2 – Зависимость производительности от площади цилиндра

При обеспечении условий сопоставимости протекания процессов по величине схода ( $W_{cx} = 0$ ) и сохранении материального баланса на короткие ячеистые цилиндры нужно будет давать меньшую подачу, а на более длинные ячеистые поверхности – большие подачи.

При равных скоростях в этих случаях будут циркулировать сегменты зерносмеси с разным числом слоев (разной толщины). На минимальной подаче и, со-

ответственно, минимальном числе слоев циркулирующих в сегменте, будет наблюдаться эффект динамического взаимодействия кромок ячеек с контактирующим слоем, а гравитационное и инерционное воздействие на контактирующий слой вышележащих слоев не подавляет эту динамику. Поэтому характер заполнения ячеек становится вероятностным.

При больших значениях подачи циркулирующий сегмент имеет максимальное число циркулирующих слоев, что усиливает гравитационное и инерционное воздействие на процесс заполнения ячеек зерновками. В этом случае будет наблюдаться эффект повышенного «выедания» зерновок из ячеек контактирующим слоем. Для некоторых срединных значений подач эффект выедания будет уравниваться инерционным удержанием.

Эти эффекты автором не учитывались, но они оказывают существенное влияние на степень заполнения ячеек зерновками. Следовательно, с учетом воздействия на процесс вышеназванных эффектов ожидание идентичности заполнения ячеек зерновками по всей длине цилиндра представляется ошибочным.

Отсутствие объективных знаний по расходным характеристикам в зависимости от режимов работы и параметров триеров не позволяет обоснованно проектировать триерные системы. Кроме того не представляется возможным решать задачи управления технологическим процессом. Очевидно поэтому, в нормативной документации отсутствует регламент использования триерных блоков, как в отечественной, так и зарубежной практике.

Павловский Г.Т. исследовал взаимосвязь степени выделения примесных компонентов в зависимости от скоростного режима работы триера, которые он оценивал центростремительным ускорением. Для различных диаметров цилиндров (от 0,4 до 0,6 м) он получил оптимальную зону величин центростремительных ускорений, обеспечивающих степень выделения примесных компонентов выше 99%, рисунок 1.3. Этому диапазону центростремительных ускорений соответствует диапазон коэффициента кинематического режима – 0,255 -0,56.

Однако автор рассматривал полученные результаты исследований без учета величин угла подъема рабочей кромки выводного лотка, что затрудняет возмож-

ность практического использования результатов. Кроме того исследования проводились только для минимального зазора между рабочей кромкой выводного лотка и ячеистой поверхностью ( $<10$  мм).

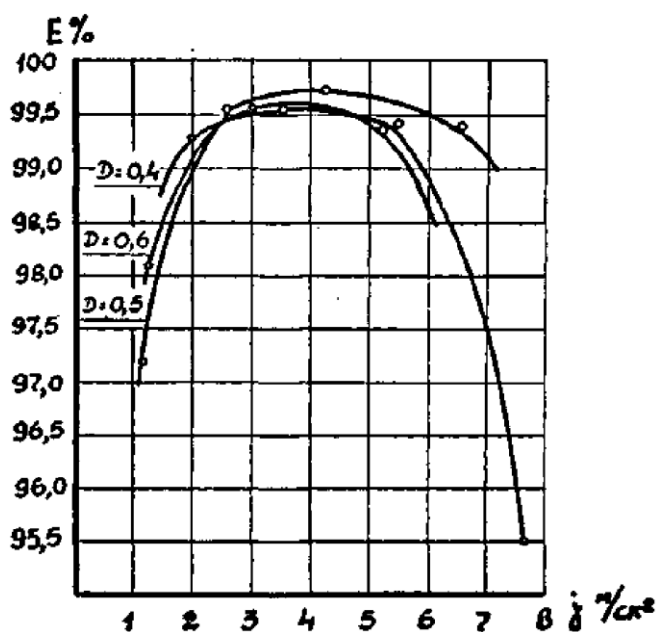


Рисунок 1.3 – Зависимость эффективности разделения от центробежного ускорения ячеистой поверхности

При верхней границе коэффициента кинематического режима и минимальном зазоре между кромкой ячеистого цилиндра возможно получить указанную степень выделения примесных частиц. Однако, увеличение зазора и необходимое понижение угла подъема выводного лотка при снижении коэффициента кинематического режима многократно увеличивает потери основной культуры. Поэтому, взаимосвязь кинематического режима, радиального зазора и угла подъема передней стенки выводного лотка требует дополнительных широких исследований.

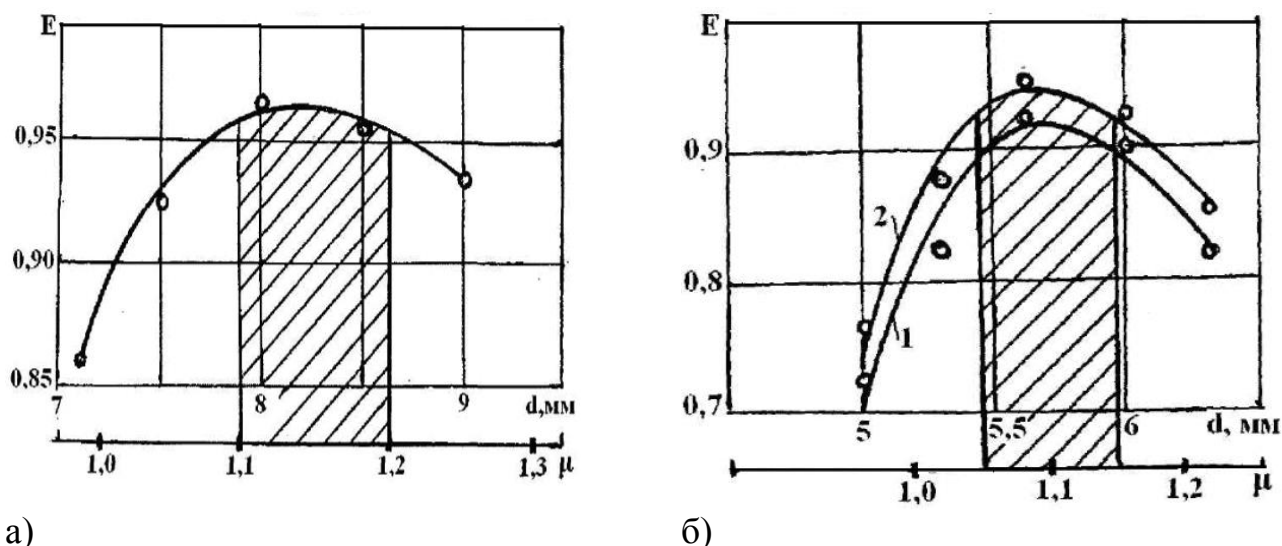
Ряд ученых при исследовании процесса триерной очистки зерна отмечают, что показатели работы триера во многом зависят от величины загрузки машины [111, 109, 77, 92, 93, 227, 230, 231]. Летошнев М.Н. [92, 93] и Павловский Г.Т. [111, 109] в своих работах отмечают, что с увеличением скорости вращения триерного цилиндра улучшается и полнота выделения примесей. Тоже самое происходит при уменьшении подачи зерносмеси в цилиндр.

Урханов Н.А., Абидуев А.А., Бугжеев А.С. описывают сепаратор [215, 205] с ячейми, которые обеспечивают одновременный вынос зерновок овсюга и куко-

ля. При этом два триера (кукольный и овсюжный) могут быть заменены одним сепаратором. Авторы установили, что зерно ориентируется длинной осью в направлении перемещения, на основе чего обоснована продолговатая форма ячейки, позволяющая захватывать частицы овсюга и выносить их в приемный лоток. Однако не ясно, почему при выносе куколя и овсюга продолговатыми отверстиями не захватываются частицы основной культуры (пшеницы).

По результатам исследований ориентации продолговатых частиц внутри ячеистого цилиндра [208, 210, 209] Урхановым Н.А. разработаны и запатентованы рабочие органы триеров [7, 13, 136], созданы высокопроизводительные ячеистые сепараторы [4, 5, 6, 9, 10, 11, 1, 3]. Совершенствование конструкции триера обеспечивает «...повышение производительности цилиндрического сепаратора соответственно в 1,8 и 3 раза при работе по существующей и поточной технологии очистки материала, овсюжного и кукольного дисковых в 1,4 и 1,5 раза при существующей скорости и в 1,6 и 2,4 раза соответственно при увеличении частоты вращения дисков до 1,0 и 1,25 об/с в сравнении с существующими сепараторами.» [208].

Абидуев А.А. установил, что традиционный выбор диаметра ячеек триерного цилиндра в соответствии с максимальной длиной частиц короткого компонента зерносмеси не обеспечивает лучшего качества триерной очистки [19]. Путем экспериментальных исследований процесса очистки пшеницы с помощью лабораторного триера К-292 авторы определяли полноту выделения овсюга в овсюжном цилиндре с ячейками диаметром 7,1-9,0 мм и татарской гречихи в кукольном цилиндре с ячейками диаметром 5,0-6,3 мм, рисунок 1.4. Максимальная длина частиц пшеницы в эксперименте составляла 7,2 мм, максимальная длина короткой примеси (татарской гречихи) составляла 5,2 мм, длина частиц длинной примеси (овсюга) составляла 8,0-13,6 мм. На основе проведенных исследований авторы рекомендуют выбирать для овсюжного цилиндра диаметр ячеек, составляющий 1,1-1,2 мм максимальной длины частиц основной культуры, для кукольного цилиндра - 1,05-1,15 мм максимальной длины частиц коротких примесей [14, 15, 19, 18, 16].



а) б)  
Рисунок 1.4 – Изменение полноты выделения овсюга (а) и татарской гречихи (б) в зависимости от размера ячеей.

Однако не приводятся режимные параметры работы лабораторного триера в опытах и угловое положение выводного лотка, что оказывает существенное влияние на степень выделения основной культуры и примесных компонентов. Кроме того вызывает сомнение уменьшение на 8% полноты выделения короткой примеси при увеличении диаметра ячеей кукольного цилиндра от 5,6 до 6,3 мм, а так же снижение полноты выделения длинной примеси овсюжным цилиндром с диаметром ячеей 7,1 мм в сравнении с ячейями диаметром 8 и 8,5 мм. Авторы не приводят этому логического объяснения.

В других своих работах [17, 22, 21] Абидуев А.А. исследует процесс выпадения частиц из ячеей триерного цилиндра. Предложено определять значение угла ( $\alpha_{в}$ ) выпадения зерновки из ячейки по формуле:

$$\alpha_{в} = \alpha_{но} + \alpha_{т}, \quad (1.1)$$

где  $\alpha_{но}$  – условие равновесия частицы в ячеее, соответствующее углу начала опрокидывания зерновки вокруг своей нижней точки опоры, град;

$\alpha_{т}$  – угол поворота цилиндра до момента опрокидывания зерновки, град.

Для определения значений  $\alpha_{но}$  и  $\alpha_{т}$  предложены номограммы с учетом диаметра цилиндра ( $D$ ), скорости его вращения ( $n$ ), угла наклона продольной оси частицы к дну ячеей ( $\gamma_0$ ), длины частицы ( $l$ ), рисунок 1.5.

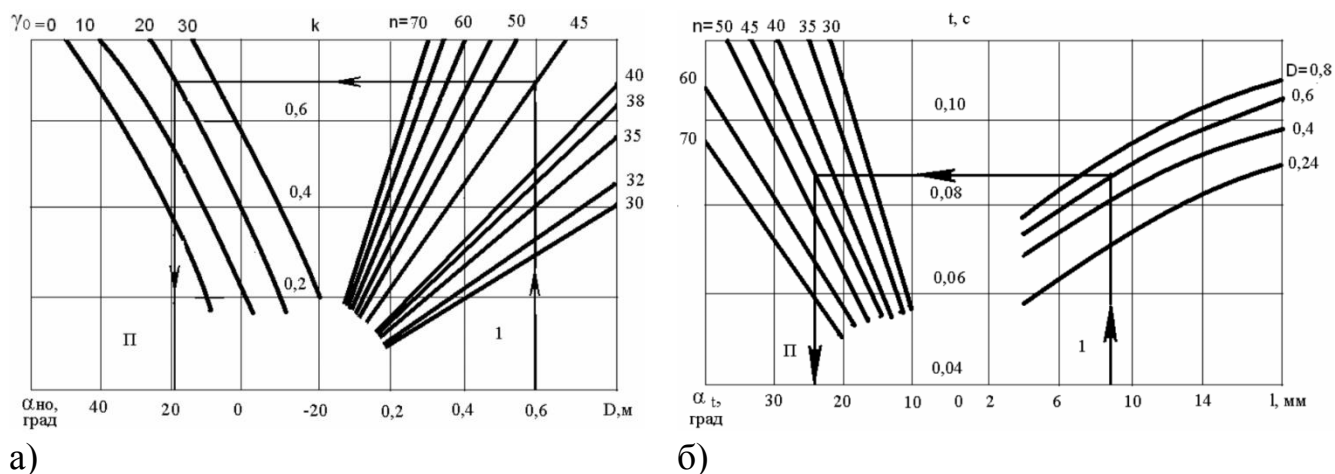


Рисунок 1.5 – Номограммы определения  $\alpha_{н0}$  (а) и  $\alpha_t$  (б)

На основе анализа траекторий полета частиц после отрыва от ячеек автор рекомендует для триерных блоков ЗАВ-10 90000А и БТЦ-700 при очистке пшеницы выводной лоток кукольного цилиндра с диаметром ячеек 5,6 мм устанавливать под углом  $50-55^{\circ}$  (для скоростного режима  $n = 45$  об/мин), лоток овсюжного цилиндра с ячейками 8,5 мм –  $55-60^{\circ}$ . Для ячменя диаметр ячеек должен быть соответственно 6,3 и 11,2 мм, угловое положение выводного лотка кукольного цилиндра составляет  $52-57^{\circ}$ , овсюжного –  $60-65^{\circ}$ .

Однако для практического применения разработанных номограмм при определении оптимального углового положения выводного лотка имеется ряд ограничений. При определении угла начала выпадения зерновки  $\alpha_{н0}$  не учитывается длина и форма частицы. Угловое положение зерновки относительно ячейки  $\gamma_0$  не в полной мере компенсирует этот недостаток. Кроме того разброс линейных размеров частиц как основной культуры, так и примесных компонентов в зерно-меси всегда достаточно велик. Поэтому и значения углов выпадения для них будут различаться. Так для семян пшеницы с длиной частиц от 4,0 до 7,2 мм [19] и  $\gamma_0 = 0-30^{\circ}$  при  $n = 45$  об/мин и диаметре цилиндра  $D = 0,6$  м угол  $\alpha_{н0}$ , соответствующий условию равновесия зерновки в ячейке (определенный по предложенной номограмме), будет находиться в диапазоне от  $8^{\circ}$  до  $42^{\circ}$ . Угол  $\alpha_t$  поворота цилиндра за время опрокидывания зерновки составит  $20-24^{\circ}$ . Таким образом угол выпадения зерновок из ячеек  $\alpha_e$  будет находиться в пределах  $28-66^{\circ}$ . Поэтому вывод об оптимальном положении выводного лотка без проведения экспериментальных иссле-



дований сделать невозможно. Кроме того представленный способ определения угла выпадения частиц из ячеек учитывает только вариант выпадения частиц опрокидыванием и оставляет без внимания возможность выпадения частиц из ячеек со скольжением.

При обосновании технологии очистки семян от трудноотделимых примесей [20, 210] коллектив авторов проанализировал приведенные показатели полноты выделения примесных компонентов на всех этапах очистки семян, а так же вероятные потери семян в отходы. Установлено, что наибольший вклад в выделение трудноотделимых примесей при подготовке семян категорий «репродукционные», «элитные» и «оригинальные» вносит процесс триерования – до 50,4%. Разработана номограмма позволяющая принимать решение о составе технологических операций при очистке семян от трудноотделимых примесей в зависимости от требуемой категории семян на выходе с учетом исходной засоренности.

При исследовании положений выводного лотка с помощью лабораторного триера К-292 с овсюжным цилиндром диаметром 0,24 м при скорости вращения  $n = 68$  об/мин ( $K = 0,62$ ) Абидуев А.А. установил [20] взаимосвязи угловой скорости опрокидывания зерновки при ее выпадении из ячеек с ее длиной и начальным положением. Получил уравнение траектории полета частицы после отрыва от ячейки:

$$y = xtq\beta - \frac{gx^2}{2V_a^2 \cos^2 \beta}, \quad (1.2)$$

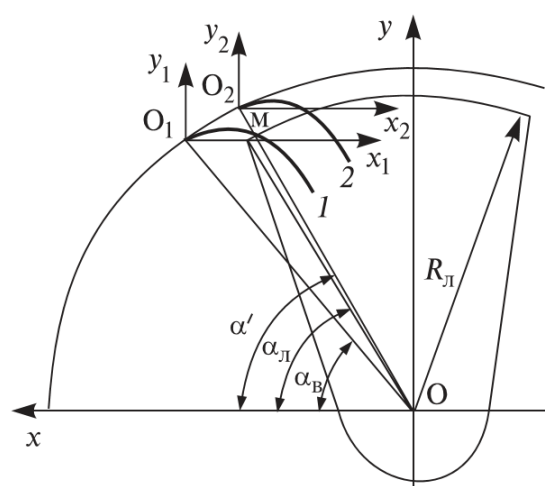
где  $x, y$  – координаты частицы по осям абсцисс и ординат;

$\beta$  – угол наклона к горизонту вектора абсолютной скорости зерновки, град;

$V_a$  – абсолютная скорость зерновки в момент отрыва от ячеек;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

По полученному уравнению определены траектории полета мелких (длиной 4 мм) и крупных (длиной 8 мм) семян пшеницы, рисунок 1.6.



а)



б)

1 – крупные; 2 – мелкие.

а) – Расчетные [20]; б) – Фактические ( $k = 0,53$ )

Рисунок 1.6 – Траектории полета частиц пшеницы

Угол выпадения мелких частиц составляет  $60^{\circ}$ , крупных –  $51^{\circ}$ . Однако в реальном процессе диапазон углов выпадения зерновок пшеницы существенно выше даже при меньшем значении показателя кинематического режима  $K = 0,53$ , что соответствует скорости вращения ячеистого цилиндра диаметром 0,6 м  $n = 40$  об/мин, рисунок 1.6 б.

Большое внимание изучению процесса триерной очистки зерносмесей в цилиндрических и дисковых триерах посветил Урханов Н.А. [210, 207].

При теоретических исследованиях ориентации зерновки на внутренней поверхности вращающегося цилиндра [216, 220, 219, 201, 206, 204] автором получено уравнение движения зерновки при относительном движении по поверхности, при решении которого определена закономерность изменения угла ориентации зерновки:

$$\theta = A \sin \left( \sqrt{\frac{gMX}{J_A} + \varepsilon} \right), \quad (1.3)$$

где  $A$  – амплитуда колебаний;

$\varepsilon$  – начальная фаза;

$J_A$  – момент инерции зерна.

На основе этого автор считает, что изменение углового положения зерновки на внутренней поверхности вращающегося цилиндра подчиняется закону колебаний физического маятника [207], что представляется нереалистичным.

Особенность исследований процесса западания зерна в ячейку и его выпадения Урхановым Н.А. заключается в том, что процесс захвата зерновок ячейками он рассматривает начиная с 1-го квадранта (нижней правой четверти при вращении по часовой стрелке) окружности цилиндра. Он установил, что процесс заполнения ячеек начинается именно здесь, так как часть зернового слоя находится в этом квадранте [200, 211, 210]. Автором получены уравнения для определения условия захвата ячейками зерновки продолговатой и шаровидной формы, уравнения для определения критической скорости зерновки и зон его западания в ячейку определенного размера [207]. Однако, применение указанных уравнений имеет ограничения, связанные с принятыми допущениями при их получении: у зерна шарообразной формы центр тяжести совпадает с его геометрическим центром; продолговатое зерно западает в ячейку, ориентируясь продольной осью вдоль движения цилиндра.

Автором рассмотрены варианты выпадения зерна из ячейки при движении со скольжением, опрокидыванием и смешанного вида. Установлено, что наибольший угол выпадения зерновок из ячеек соответствует случаю, когда зерновка продолговатой формы располагается в стандартной ячейке (круглой формы), ориентируясь продольной осью в направлении движения [202, 222, 217]. Определены углы выпадения в зависимости от скоростного режима, рисунок 1.7.

Установлены выражения для определения времени движения зерна по задней стенке ячейки со скольжением, угловое расстояние, пройденное ячейкой за время выпадения зерновки из нее. Определены условия выпадения зерновок из ячеек опрокидыванием, выражение для определения угла отрыва частицы от ячейки.

Урхановым Н.А. рассмотрены возможности повышения интенсивности триерной очистки зерна [207, 218, 213, 203]. Возможности повышения производительности триеров он связывает в основном с увеличением длины участка загрузки и уменьшения длины обеднения зерна в цилиндре, а так же с разработкой ра-

циональной формы ячеек. При исследовании разработанных продолговатых ячеек [212, 214] автор установил, что в отличие от стандартных ячеек круглой формы, здесь отсутствует зона перекрытия углов выпадения коротких и длинных частиц, рисунок 1.8.

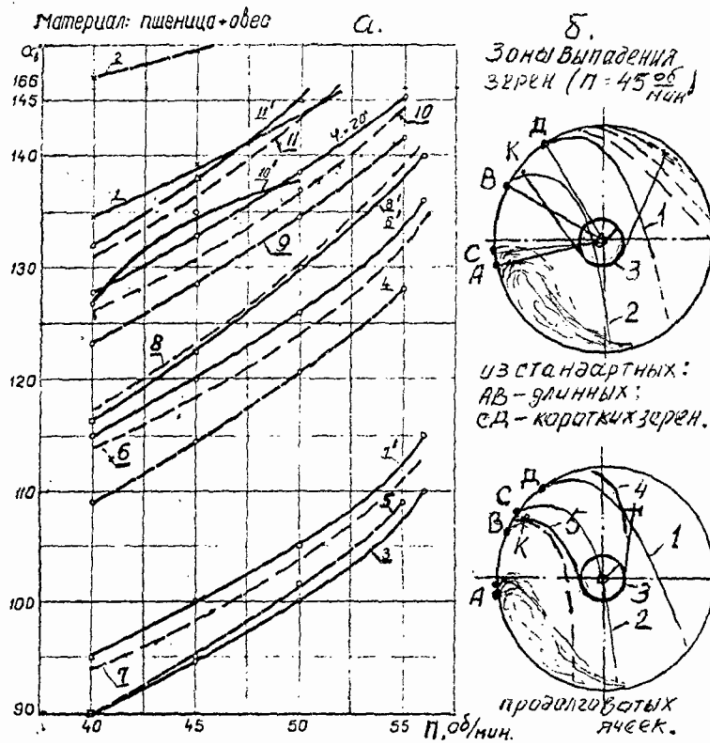
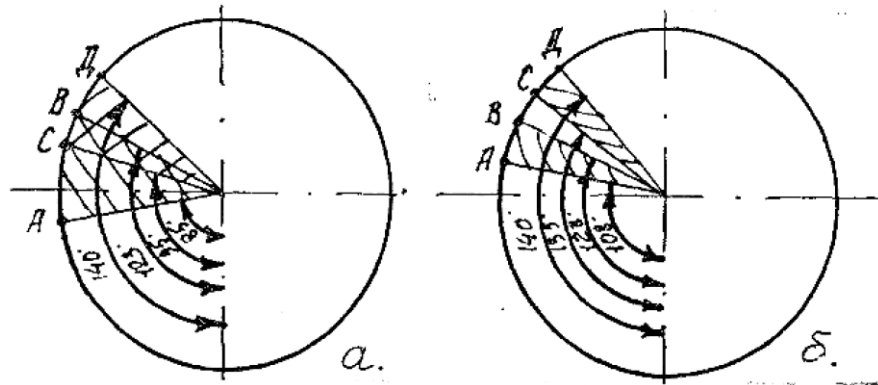


Рисунок 1.7 – Зависимости углов выпадения частиц от скорости вращения цилиндра (а) и зоны выпадения (б)



АВ – длинные зерна; СД – короткие зерна

Рисунок 1.8 – Зоны выпадения частиц из круглых (а) и продолговатых ячеек (б) при  $n = 45$  об/мин.

Такая «четкость» процесса, по мнению автора, позволяет проводить триерную очистку с одновременным выделением в разные секции выводного лотка и

длинных и коротких частиц. Однако вызывает сомнения возможность достигнуть при этом высокого качества разделения компонентов зерносмеси.

Н.Н. Сорокин проводил исследования качества очистки зерна с помощью триерного блока PETRUSK-236A, входящего в семяочистительную линию [152, 153]. Состав компонентов зернового вороха до и после триерного блока представлен в таблице 1.5.

Таблица 1.5 – Состав зерносмеси до и после очистки на триерном блоке PETKUS-236A

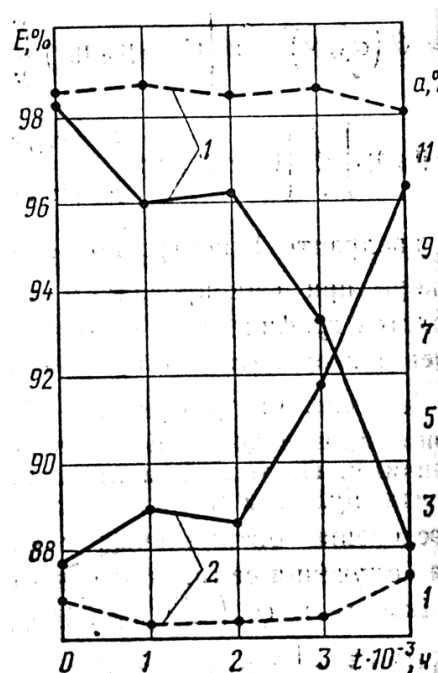
Состояние вороха	Состав компонентов, %				Масса 1000 зерен, г
	Целое Зерно	Дробленое Зерно	Зерно в оболочке	Засорители	
До триерной очистки	95,5	3,62	0,75	0,13	43,7
После триерной очистки	95,76	3,79	0,36	0,08	42,61

Автор рекомендует при подготовке семян исключать триерный блок из состава технологического оборудования семяочистительной линии и после воздушно-решетной очистки зерно (семенной материал) подавать на пневмосортировальный стол. Он связывает это с некоторым ухудшением качества семян по показателям содержания дробленого зерна и массы 1000 зерен. При этом отмечает, что по показателю засоренности зерновой материал, поступающий на триерный блок, отвечает требованиям ГОСТ. Однако, из анализа таблицы 1.5 следует, что степень выделения сорной примеси триерным блоком составляет всего 61,5%, а содержание дробленого зерна даже увеличилось. Автор не приводит режимы работы и настроечные параметры триерного блока – очевидно, что они далеки от оптимальных.

В.В. Кузнецов исследовал качественные показатели работы триера в зависимости от степени износа ячеек триера [87]. Исследования проводились на пшенице с использованием серийных триерных цилиндров диаметром 0,6 м и ячейками диаметром 8,5 и 9,5 мм при скорости вращения 45 об/мин. Данные о размерных характеристиках ячей фиксировались с интервалом наработки 1000 ч.

Автором установлено, что износ ячеей, характеризуемый уменьшением их глубины, имеет близкую к линейной зависимость от наработки. Износ ячеей составляет 0,1-0,16 мм за 1000 ч.

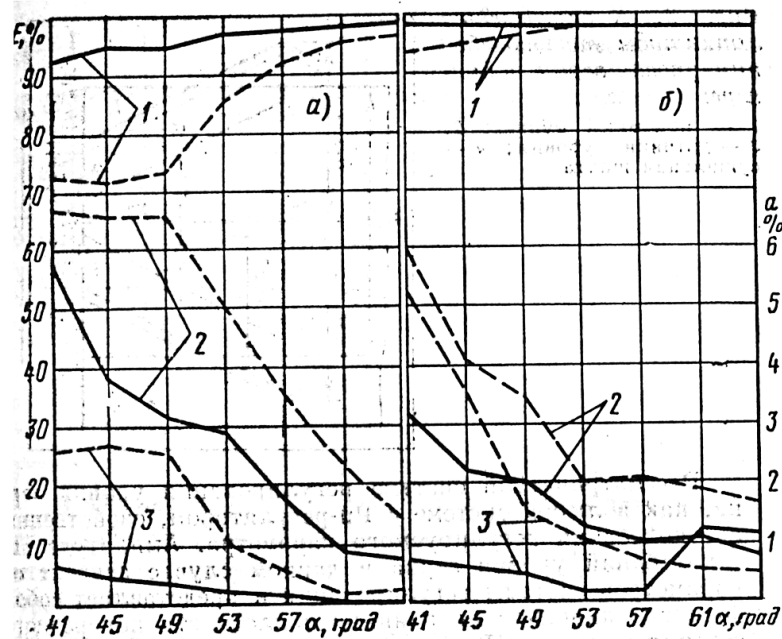
Кроме того Кузнецов В.В. установил зависимости изменения качественных показателей очистки от наработки, рисунок 1.9.



1 – эффективность  $E$  выделения пшеницы; 2 – потери;  
сплошные линии – ячейки  $d = 8,5$  мм; пунктирные –  $d = 9,5$  мм

Рисунок 1.9 – Изменение качества триерной очистки от наработки

В этих опытах использовалась зерносмесь, состоящая из 97% пшеницы с длиной частиц 5,5-7,2 мм, и 3% овса с длиной частиц 9-15 мм. Как видно из рисунка, для ячеей диаметром  $d = 8,5$  мм уже после наработки 2000 ч происходит существенное снижение эффективности выделения пшеницы, а к наработке 4000 ч потери достигают 12%. Для ячеей диаметром  $d = 9,5$  мм такой резкой картины не наблюдается. Очевидно, это связано с лучшими условиями западания частиц в ячеей. Вместе с тем при  $d = 9,5$  мм повышается вероятность захвата частиц овса, что подтверждается исследованиями автора качества процесса при изменении углового положения лотка, рисунок 1.10.



1 – эффективность выделения пшеницы; 2 – эффективность выделения овса; 3 – потери;  
 а – для ячеей  $d = 8,5$  мм; б – для ячеей  $d = 9,5$  мм; сплошные линии – для наработки 1000 г;  
 пунктирные – 4000 г

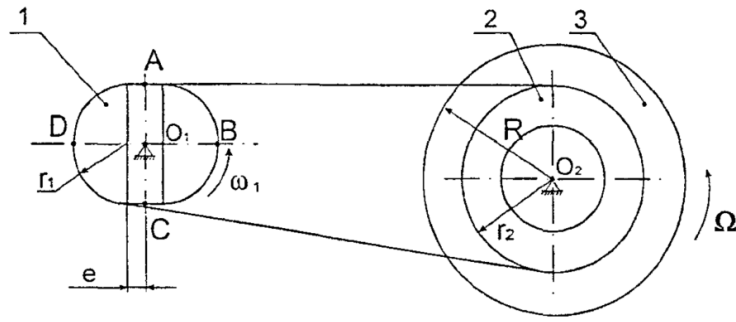
Рисунок 1.10 – Качество процесса при изменении угла  $\alpha$  поворота выводного лотка

Из рисунка видно, что для  $d = 9,5$  мм эффективность выделения овса из зерносмеси существенно ниже, чем при  $d = 8,5$  мм – до 25% при  $\alpha = 41^\circ$ .

Вместе с тем не поддается логическому объяснению характер полученных зависимостей. С увеличением угла подъема лотка  $\alpha$  полнота выделения частиц основной культуры вырастает, а потери снижаются. Хотя при увеличении  $\alpha$  отсекается часть факела выпадающих из ячеей частиц, что снижает степень выделения пшеницы и увеличивает ее потери. По той же причине должна увеличиваться полнота выделения длинной примеси – в лоток ее будет попадать меньше. На рисунке 1.10 мы видим обратное явление.

Колебания в осевом направлении или переменная скорость вращения ячеистого цилиндра триера способствует активизации движения зернового слоя, повышая коэффициент использования ячеистой поверхности [35, 62, 63].

О.П. Васильева исследовала работу цилиндрического триера с переменной скоростью вращения ячеистого цилиндра [35], которая обеспечивалась клиноременной передачей с раздвижным шкивом, рисунок 1.11.



1 – ведущий шкив; 2 – ведомый шкив; 3 – ячеистый цилиндр

Рисунок 1.11 – Привод триера с переменной скоростью вращения

В результате экспериментальных исследований процесса автором установлены зависимости эффективности ( $E$ ) разделения от нагрузки ( $q$ ) (рисунок 1.12а) и частоты колебаний ( $\nu$ ) угловой скорости (рисунок 1.12б), а так же зависимость чистоты ( $\text{Ч}$ ) полученной пшеницы (рисунок 1.12в) и потери ее в отход ( $O$ ) (рисунок 1.12г) с учетом смещения полушкивов ( $e$ ) и исходной засоренности ( $3$ ).

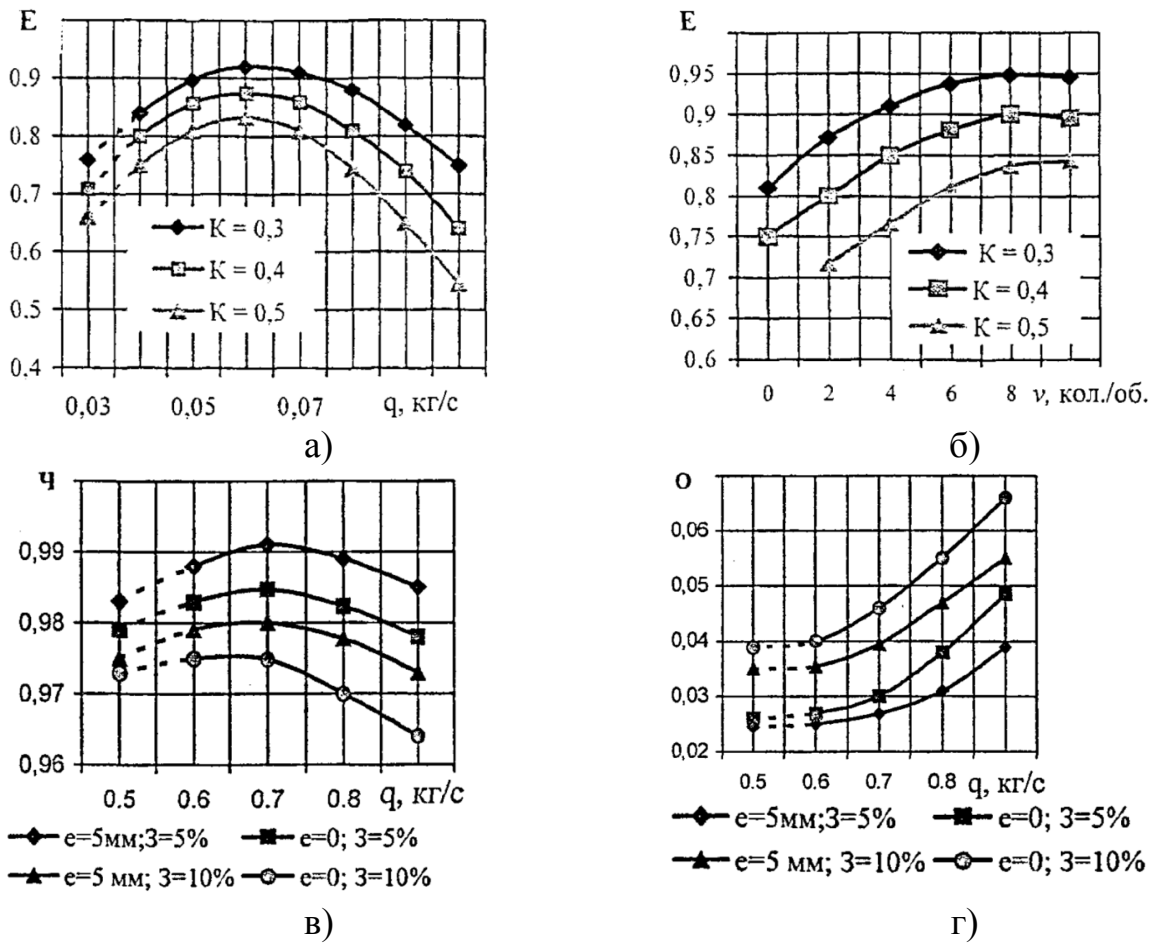


Рисунок 1.12 – Качественные показатели процесса разделения компонентов зерносмеси триером с переменной скоростью вращения цилиндра



Эффективность разделения компонентов зерносмеси определялась по формуле:

$$E = \frac{a_1 - \varphi_{12}}{\varphi_{11} - \varphi_{12}} \cdot \frac{\varphi_{11} - a_1}{a_1(1 - a_1)}, \quad (1.4)$$

где  $a_1$  – содержание основной культуры в зерносмеси до обработки;

$\varphi_{11}$  – содержание основной культуры в очищенном зерне;

$\varphi_{12}$  – содержание полноценных частиц основной культуры в отходах.

Лабораторная установка содержала ячеистый цилиндр диаметром 0,26 м и длиной 0,6 м, диаметр ячеей  $d = 8,5$  мм. Зерносмесь состояла на 90% из пшеницы и 10% семян овсяга.

Автор не приводит объяснения наличия на графиках (рисунок 1.12 а, б, в) экстремальных значений. Кроме того вызывает сомнение достоверность данных графиков рисунка 1.12 б. Учитывая конструкцию привода ячеистого цилиндра с раздвижным шкивом, возможно получить только два колебания угловой скорости за один оборот ведущего шкива. Тогда для получения частоты колебаний цилиндра  $\nu = 2$  кол/об передаточное отношение привода должно быть  $i = 1$ . Для получения частоты колебаний цилиндра  $\nu = 4$  кол/об можно вдвое увеличить скорость вращения ведущего шкива, но тогда изменится скорость вращения цилиндра и соответственно показатель кинематического режима  $k$ . Поэтому добиться увеличения  $\nu$  можно только изменением передаточного отношения привода. Для получения данных графиков рисунка 1.12 б необходимо 17 разных вариантов передаточного отношения, тогда как автор указывает, что ее экспериментальная установка на раздвижном и ведомом шкивах имеет по два ручья, что обеспечивает только 4 варианта передаточного отношения.

Кроме того для всех результатов исследований не приводятся значения углов положения выводного лотка, что оказывает существенное влияние на степень выделения основной культуры и ее остаточную засоренность длинной примесью.

И.А. Сидоров исследовал процесс триерной очистки зерна с принудительным удалением частиц из ячеей [150] с целью существенного увеличения производительности триера без увеличения его габаритов. Для исследований автором был

создан лабораторный стенд триера [2] с принудительным удалением частиц из ячеек, рисунок 1.13.

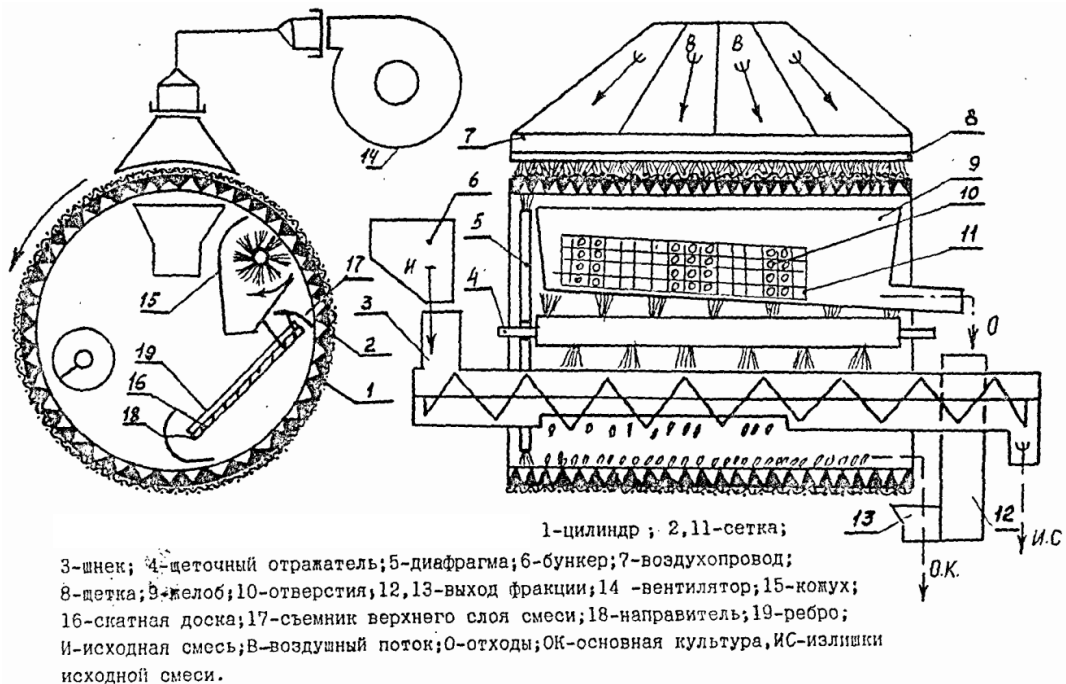


Рисунок 1.13 – Лабораторный стенд с принудительным удалением частиц

Особенностью данной конструкции является подача зерносмеси в ячеистый цилиндр шнеком, имеющим отверстия в кожухе. При этом зерносмесь распределяется по длине цилиндра, что обеспечивает повышение степени использования ячеистой поверхности до 2,5 раз. Показатель кинематического режима при работе этого триера  $k > 1$ , поэтому короткие частицы удаляются из ячеек, имеющих отверстия, с помощью воздушного потока. Слой длинных частиц, поднимающийся за счет сил трения в направлении вращения цилиндра, удаляется съемником верхнего слоя смеси и по скатной доске возвращается на ячеистую поверхность. Оставшиеся длинные частицы подходят к щетке и отбрасываются ей на скатную доску. Очевидно, что при работе щетки невозможно обеспечить условия, чтобы она удаляла только длинные частицы, не затрагивая коротких, расположенных в ячейках. Либо часть длинных частиц будет проходить мимо щетки и вместе с короткими попадать в желоб, либо щетка будет удалять вместе с длинными зернами и часть коротких. Поэтому добиться высокого качества разделения зерносмесей триером данной конструкции невозможно. Вместе с тем автор отмечает, что при

производственных испытаниях триера достигнутая удельная производительность в 5-6 раз превышает оптимальную для серийных триеров при чистоте получаемого зерна 99,6-99,8%.

Автором установлены зависимости качества очистки от загрузки и частоты вращения цилиндра, рисунок 1.14.

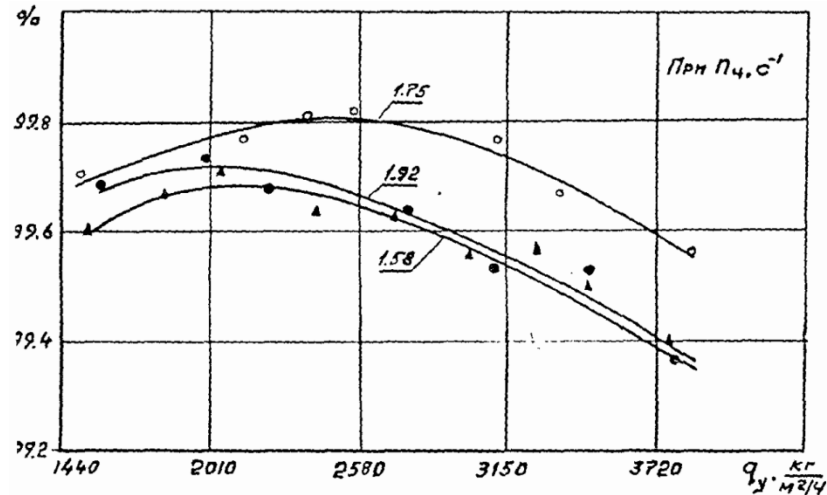
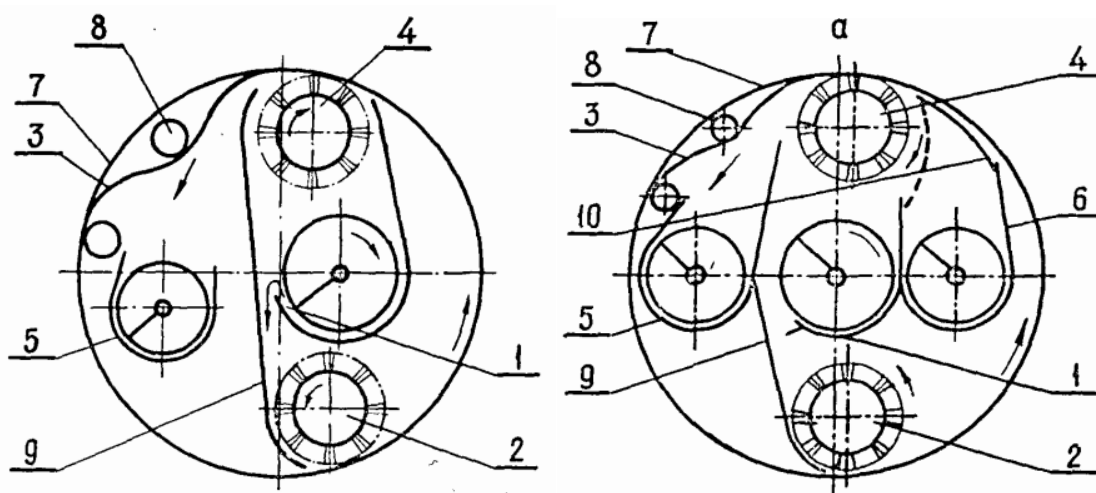


Рисунок 1.14 – Чистота основной культуры в зависимости от удельной производительности ( $q$ ) и частоты вращения ( $n_{ц}$ ) цилиндра

Данные рисунка 1.14 получены при очистке ячменя, содержащего 2,5% колотых зерен и сорной примеси.

М.В. Туаев исследовал процесс очистки зерносмесей с помощью триерных машин с гибкими рабочими органами [199, 88]. По результатам исследований автором обоснована новая ячейка, имеющая в плане форму эллипса. Определены оптимальные размеры ячеей для овсюжной поверхности: длина эллипса 8,6 мм, коэффициент его сжатия 0,63, глубина ячейки 5,86 мм; для кукольной поверхности соответственно – 5,2 мм; 0,9; 3,5 мм. При движении, когда воздействие инерционных сил на частицу многократно превышает ее вес, интенсивность западания в такие ячейки коротких частиц в 10 и более раз превышает интенсивность западания длинных частиц.

Работоспособность триера при высоких скоростных режимах ( $k \gg 1$ :  $n = 2,46-3,1$   $с^{-1}$  при  $\alpha = 580$  мм обусловлена применением гибкой цилиндрической ячеистой поверхности, имеющей участок обратной кривизны, рисунок 1.15.



1 – распределитель потока входной зерносмеси; 2 – ускоритель потока; 3 – гибкий ячеистый цилиндр; 4 – щеточный отражатель; 5 – желоб шнека короткой фракции; 6 – желоб шнека длинной фракции; 7 – ведущий барабан; 8 – нажимной валик; 9 – диафрагма; 10 – направитель длинной фракции; а, б – многоцикловая схема; в, г – одноцикловая схема

Рисунок 1.15 – Скоростной триер с гибкой ячеистой поверхностью

Автором установлено, что наилучшие условия очистки достигаются при подаче зерносмеси на ячеистую поверхность равномерным потоком «элементарной толщины» со скоростью, превышающей окружную скорость цилиндра на 4-8%. Для этого предложены клапанно-щелевой распределитель и щеточный ускоритель.

При очистке пшеницы от овсюга (засоренность 1,4-2%) с помощью разработанного триера автором достигнута полнота выделения основной культуры 0,98 при содержании в очищенном зерне 8-10 частиц овсюга на кг. При этом удельная производительность овсюжного триера составила  $5,1 \text{ т}/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$ , что в 16,3 раза больше удельной производительности (паспортной) стандартного цилиндрического триера.

При очистке пшеницы от коротких примесей (засоренностью 3,4%) получена полнота выделения основного компонента 0,97, чистота полученного продукта 99%. Удельная производительность кукольного триера при этом составила  $6 \text{ т}/(\text{ч}\cdot\text{м}^2)$ , что в 19,2 раза больше, чем у стандартного триера.

Однако автор не приводит данных о технологической надежности триера, о ресурсе гибкого ячеистого цилиндра, щеточных отражателя и ускорителя, а также изменении качества очистки в процессе их износа. Кроме того, к недостаткам

можно отнести сложность конструкции, высокие требования к точности изготовления и сборки элементов конструкции триера.

Н.Н. Викторова проводила исследования, направленные на поиск возможностей увеличения производительности цилиндрического триера и определения его оптимальных параметров [41, 39, 37, 40, 38]. При теоретическом рассмотрении процесса работы триера автор предлагает выражение для определения вычерпываемости коротких частиц ячеистой поверхностью при полной загрузке равной оптимальной или превышающей:

$$P_{max} = \omega RLp_{max}, \quad (1.5)$$

где  $\omega$ ,  $R$ ,  $L$  – соответственно частота вращения цилиндра, его радиус и длина;

$p_{max}$  – максимальная удельная вычерпываемость (при оптимальной нагрузке).

Однако автор делает ошибочный вывод, что «...максимальная удельная вычерпываемость при увеличении нагрузки сверхоптимальной, должна оставаться неизменной, так как материал, поступающий сверх оптимальной нагрузки, располагается во втором, третьем и т.д. слоях и не имеет доступа к ячейкам» [41]. При этом она не учитывает эффект «выедания» частиц из ячеек, который оказывает влияние на производительность ячеистой поверхности и зависит от толщины слоя зерносмеси в цилиндре [172, 195].

Автором установлено, что скорость осевого движения зерна внутри цилиндра увеличивается при увеличении начальной нагрузки, диаметра цилиндра, угла его наклона и скорости вращения. Угол, характеризующий размеры зернового слоя возрастает при увеличении скорости вращения цилиндра, его радиуса и количества зерна. Предложен режим работы триера при полной нагрузке (когда сход полноценного зерна достигает 30-40%) и повторной обработке сходовой части на режиме наибольшей полноты выделения. При этом достигается увеличение производительность триера до 30-40%. При установке в овсюжном цилиндре подпорного кольца шириной 45-60 мм увеличивается эффективность использования ячеистой поверхности за счет создания условий полной загрузки рабочей поверхности, возрастает производительность на 30-35%. «В условиях полных загрузок увеличение скорости вращения на 10 об/мин повышает вычерпываемость на 30-

35%, а увеличение диаметра цилиндра на 0,1 м повышает вычерпываемость на 7-8%» [41]. Оптимальная скорость вращения цилиндра, согласно исследованиям автора, оказалась при показателе кинематического режима  $k = 0,77$ . При максимальной вычерпываемости ячейкой захватывается в среднем 1,6 зерновки пшеницы, при работе триера на практике этот показатель составляет 0,5-1,0. Рекомендуемый угол наклона цилиндра к горизонту составляет  $3,5-4,0^{\circ}$  для тихоходных триеров и  $1,0-1,5^{\circ}$  для быстроходных. Разработана номограмма для определения параметров цилиндрических триеров. Однако она имеет ограничения по применению: возможно определять параметры триера только в диапазоне  $k = 0,68-0,77$  при условии максимальной нагрузке, что редко соответствует реальным условиям эксплуатации.

В.Ф. Евдокимов исследовал работу цилиндрического триера с осевыми колебаниями [62, 63]. Исследования проводились на триерных цилиндрах диаметром 400 мм с ячейками диаметром 8,5 и 4,75 мм, скорость вращения цилиндра изменялась от 30 до 60 об/мин, число колебаний от 100 до 1100 кол/мин, амплитуда – от 0 до 30 мм, зерносмесь: пшеница 80% + овес 10% + ячмень 10% (пшеница – 98%, овес – 2%).

В ходе проведения экспериментальных исследований он установил возможность захвата ячейками длинных частиц. В опыте с ячменем, когда длина всех частиц превышала диаметр ячеек, через некоторое время все частицы были захвачены ячейками и выброшены в выводной желоб. С помощью скоростной киносъемки автором установлено, что нет «затаскивания» зерен поверхностью цилиндра, а все частицы попадают в желоб из ячеек. При этом длинные частицы устойчиво захватываются ячейками и выпадают из них с опрокидыванием. При наличии колебаний ячейки цилиндра в осевом направлении устойчивость длинных частиц в ячейке нарушается, и их выпадение происходит при значительно меньших углах подъема.

На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований автор делает выводы, что колебательные движения цилиндра при работе триера способствует более интенсивному перемешиванию зерносмеси в цилиндре, по-

вышая качество разделения компонентов в сравнении с обычным цилиндрическим триером при прочих равных условиях. При наибольшей производительности триера с осевыми колебаниями степень заполнения ячей составила 0,76-0,78.

Ю.И. Ермольев, М.Ю. Кочкин при изучении различных схем работы зерноочистительного агрегата [66, 85], включающего воздушно-решетную зерноочистительную машину «Пектус-гигант» К-531А и переоборудованный триерный блок «Пектус» К-553А установили, что наибольший эффект наблюдается при фракционной очистке зерна на воздушно-решетной машине с отдельной очисткой полученных фракций на триерах: мелкой фракции в кукольном триере с ячейками диаметром 4,0 мм, крупной фракции – в овсюжном триере с ячейками диаметром 8,5 мм. Наклон цилиндров составлял  $1^{\circ} 30'$ , скорость вращения цилиндров 33 об/мин, диаметр 475 мм,  $K = 0,29$ , длина 1290 мм.

Раздельное использование кукольного и овсюжного триеров при фракционной схеме работы зерноочистительного агрегата обеспечивает чистоту очистки мелкой фракции зерна на уровне 98,5%, крупной фракции – 99,05%. Совокупная чистота зерна на выходе при фракционной технологии очистки на 1,53% выше чистоты зерна, полученного очисткой по традиционной схеме.

Однако авторами не приводится состав исходной зерносмеси, а высокие показатели качества очистки зерна (по показателю чистоты полученного зерна) получены авторами лишь в диапазоне производительности 0,3-1,0 т/ч. При увеличении производительности до 3-х т/ч (паспортная производительность «Пектус» К-531А составляет 2,5 т/ч) чистота получаемого продукта снижается до 93,7-96,5%. Необходимо отметить, что триерный блок «Пектус» К-553 предназначен для очистки мелкосеменных культур, а машина «Пектус-гигант» К-531А содержит два триерных цилиндра. Поэтому цели переоборудования машин до конца не ясны.

Д.Н. Мироненко исследовал процесс очистки пшеницы от трудноотделимых примесей и неполноценных зерновок с помощью фрикционного триера [104, 103]. Суть его работы сводится к замене овсюжного цилиндра в триерном блоке на фрикционный, оклеенный изнутри войлоком.

При вращении фрикционного триера частицы, имеющие больший коэффициент трения (овсюг, зерно в пленке, биологически неполноценное зерно) поднимаются по поверхности цилиндра, выбрасываются в лоток и выводятся шнеком в бункер отходов, а зерно основной культуры сходом выводится из триера.

При анализе недостатков овсюжного триера Мироненко Д.Н. указывает на существенное травмирование зерна шнеком выводного желоба (до 2,56%), а также захват наиболее крупных зерновок основной культуры, которые обладают высокими посевными качествами: высокой массой 1000 семян (до 52,9 г) и лабораторной всхожестью (до 97,3%).

В ходе изучения физико-механических свойств исследуемых компонентов автор установил, что у частиц овсюга наблюдалось сцепление с войлоком. В этом случае непонятно, как происходит отрыв овсюга от фрикционной поверхности и выпадение его в лоток. При работе фрикционного триера с углом установки выводного лотка, равным  $120^{\circ}$ , полностью выделены такие трудноотделяемые примеси, как овсюг, зерновки в пленке и дробленое зерно. Вместе с тем, во фракцию отходов попало 26,75% зерна основной культуры с низкими посевными качествами: масса 1000 семян – 33 г, плотность зерновок –  $1,36 \text{ г/см}^3$ , всхожесть – 88%. Однако при триерной очистке продовольственного зерна такая величина потерь основной культуры недопустима.

Кроме того, автором в ходе экспериментальных исследований установлены взаимосвязи коэффициента трения зерновок по войлоку с лабораторной всхожестью, величиной массы 1000 семян и удельной массы зерновок.

Недостатком работы является ограниченность области применения фрикционного триера очисткой зернового вороха только на семенные цели с учетом высоких потерь зерна основной культуры в отходы и невысокий срок службы войлока, применяемого в качестве фрикционной поверхности.

Д.В. Одинцов и А.И. Бурков исследовали работу цилиндрического триера с полимерной ячеистой поверхностью [106, 32, 34, 33, 107]. Обечайка предложенного триера выполнена из металлического листа, а рабочая поверхность изготовлена из полимерного материала. Ячейки имеют продолговатую форму и направ-



ляющие реборды, что помогает ориентировать частицы при работе триера перпендикулярно образующей цилиндра. Это позволяет повысить четкость разделения длинных и коротких частиц.

В результате теоретических исследований авторы установили зависимости углов выпадения ( $\alpha^B$ ) частиц в овсюжном цилиндре от формы ячейки, рисунок 1.16. Однако экспериментальных подтверждений этих данных в работах авторов не приводится.

В ходе экспериментальных исследований установлены оптимальная частота вращения цилиндров (диаметр цилиндра равен 0,8 м, длина – 2,65 м, диаметры ячеек 5,0 и 9,0 мм, подача материала 9,0 т/ч): для кукольного цилиндра она составляет 38,5 об/мин при очистке яровой пшеницы и озимой ржи; для овсюжного – 43,5 об/мин при очистке пшеницы и 42,5 об/мин при очистке ржи. Однако положение выводного лотка при определении оптимальной скорости вращения не оговаривается.



Рисунок 1.16 – Параметры выпадения частиц из ячеек в зависимости от угла  $\delta$  наклона задней стенки ячейки:  $n = 42$  об/мин;  $f = 0,2$ ;  $d_{я} = 9$  мм;  $h_{я} = 3,9$  мм

При исследовании влияния угла наклона цилиндров установлено, что наибольшая эффективность выделения и длинных, и коротких примесей достигается при их горизонтальном расположении.

Авторами предпринята попытка снизить вынос в лоток частиц длинных примесей за счет надставки лотка овсюжного цилиндра, имеющего форму трапеции. Обоснованы его оптимальные размеры: для  $n = 43$  об/мин длина 1,49 м, высо-

та на выходе 0,19 м, высота на входе – 0,12 м. Однако неясно, для какой цели надставка имеет переменную высоту. Чем меньше зазор между рабочей кромкой выводного лотка и ячеистой поверхностью, тем менее вероятен вынос длинных примесей в лоток. На вынос короткой фракции величина зазора влияет незначительно: при изменении указанного зазора от 10 до 28 мм производительность овсюжного цилиндра увеличивается только на 3,2-4% [171].

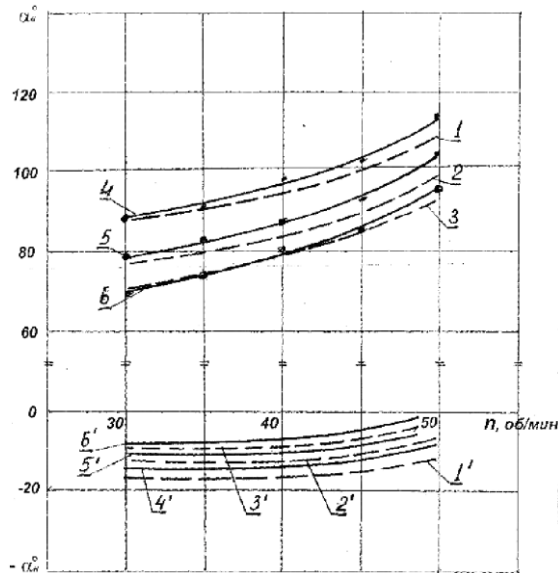
Д.А. Козлов исследовал процесс очистки зерна в цилиндрическом овсюжном триере [82]. В ходе теоретического исследования выпадения частиц из ячеек скольжением автор приходит к выводу, что при использовании мелкой ячейки продолговатой формы частицы овсюга, захваченные ячейкой опираются на ее заднюю стенку, высота которой составляет 1,5 мм, и выпадает с опрокидыванием при большем угле, чем короткие частицы основной культуры. Это утверждение противоречит результатам исследований продолговатых ячеек, полученных Урхановым Н.А. [212, 214], Бурковым А.И. и Одинцовым Д.В. [106, 32].

В ходе экспериментальных исследований расположения зернового слоя в цилиндре и параметров его движения Козловым Д.А. установлены зависимости изменения углов верхней и нижней границ зернового слоя от массы зерна в цилиндре, его радиуса и скорости вращения. На рисунке 1.17 представлены результаты определения параметров зернового слоя при изменении скорости вращения цилиндра.

При изменении скорости вращения цилиндра в диапазоне 30-50 об/мин угол верхней границы слоя изменяется от 86 до 118° для цилиндра диаметром 0,4 м и от 64 до 98° для цилиндра диаметром 0,8 м. Угловое положение нижней границы изменялось незначительно – от – 20 до – 4°.

По результатам исследований траекторий полета частиц после отрыва от ячеек автор отмечает, что при скорости вращения  $n = 45$  об/мин в цилиндре диаметром 0,8 м траектория движения частиц проходит близко к поверхности цилиндра. Нарушается процесс разделения компонентов зерносмеси. Для цилиндров диаметром 0,4 м процесс выпадения зерновок нарушается при  $n = 50$  об/мин. Это утверждение вызывает сомнения, т.к. в первом случае значение показателя кине-

матического режима  $K = 0,91$ , что действительно близко к критической скорости, тогда как для цилиндра диаметром 0,4 м и скорости его вращения  $n = 50$  об/мин  $K = 0,55$ , что соответствует диапазону скоростей, рекомендованных многими исследователями и производителями триерных блоков [41, 172, 184, 188].



1 и 1'; 2 и 2'; 3 и 3' – экспериментальные кривые соответственно  $\alpha_v$  и  $\alpha_n$  для цилиндров радиусом  $R = 0,2; 0,3; 0,4$  м;

4 и 4'; 5 и 5'; 6 и 6' – теоретические кривые соответственно  $\alpha_v$  и  $\alpha_n$  для  $R = 0,2; 0,3; 0,4$  м

Рисунок 1.17 – Зависимости изменения углов верхней ( $\alpha_v$ ) и нижней ( $\alpha_n$ ) границ слоя в цилиндре от скорости вращения при средней толщине слоя 0,098 м

По результатам исследований автором разработана новая конструкция ячейки овсюжного триера в соответствии с размерами частиц овсюга, обеспечивающая их устойчивый захват и четкое выпадение в лоток, рисунок 1.18.

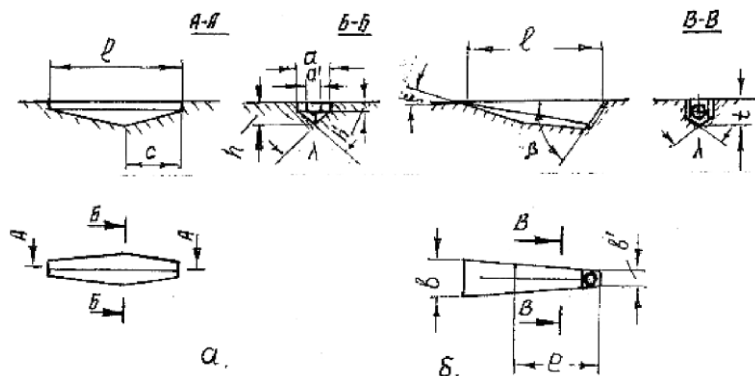


Рисунок 1.18 – Продолговатая «мелкая» ячейка овсюжного цилиндра конструкции Козлова Д.А.

Триер с указанной ячеистой поверхностью позволяет проводить процесс очистки пшеницы от овсюга по новой технологической схеме – вынос овсюга в выводной лоток, а пшеницы сходом из овсюжного цилиндра или выделением в отдельный (нижний) лоток, что позволяет повысить производительность в 2,5 раза в сравнении со стандартным овсюжным триером. Однако, следует отметить, что существенным недостатком предложенной конструкции является невозможность отделения длинных примесей, отличающихся по форме от овсюга. Кроме того автор не приводит качественных показателей процесса очистки пшеницы от длинных примесей.

### **1.5 Классификация и анализ перспектив создания делителей потока сыпучих материалов**

Опыт создания авторегулируемых делителей потока сыпучих материалов в ФГБНУ ВНИИТиН [122, 121, 120, 118, 117] позволяет систематизировать направления разработки этого нового класса технических средств. Объективную оценку перспектив их разработки необходимо и возможно дать при систематизации технических решений по пяти базовым классифицирующим признакам: способу реализации процесса деления; принципу действия; способу авторегулирования процесса; конструктивному исполнению; по наличию грузовоспринимающей системы – рисунок 1.19.

По способу реализации процесса деления потока сыпучих материалов существующие технические средства можно разделить на три группы, где осуществляется: отведение незаполненных потоков; отведение прерывистых потоков; отведение сплошных потоков. Этот классифицирующий признак указывает на принципиально разные возможности достижения качества процесса при реализации указанных способов.

Отведение незаполненных потоков характерно, в частности, для существующих зерноочистительных технологий, где используются флажковые и призмные делители, которые не могут обеспечить качество процесса из-за того, что па-

дающий поток сыпучих материалов меняет геометрию сечения и расходные характеристики на разных участках сечения.

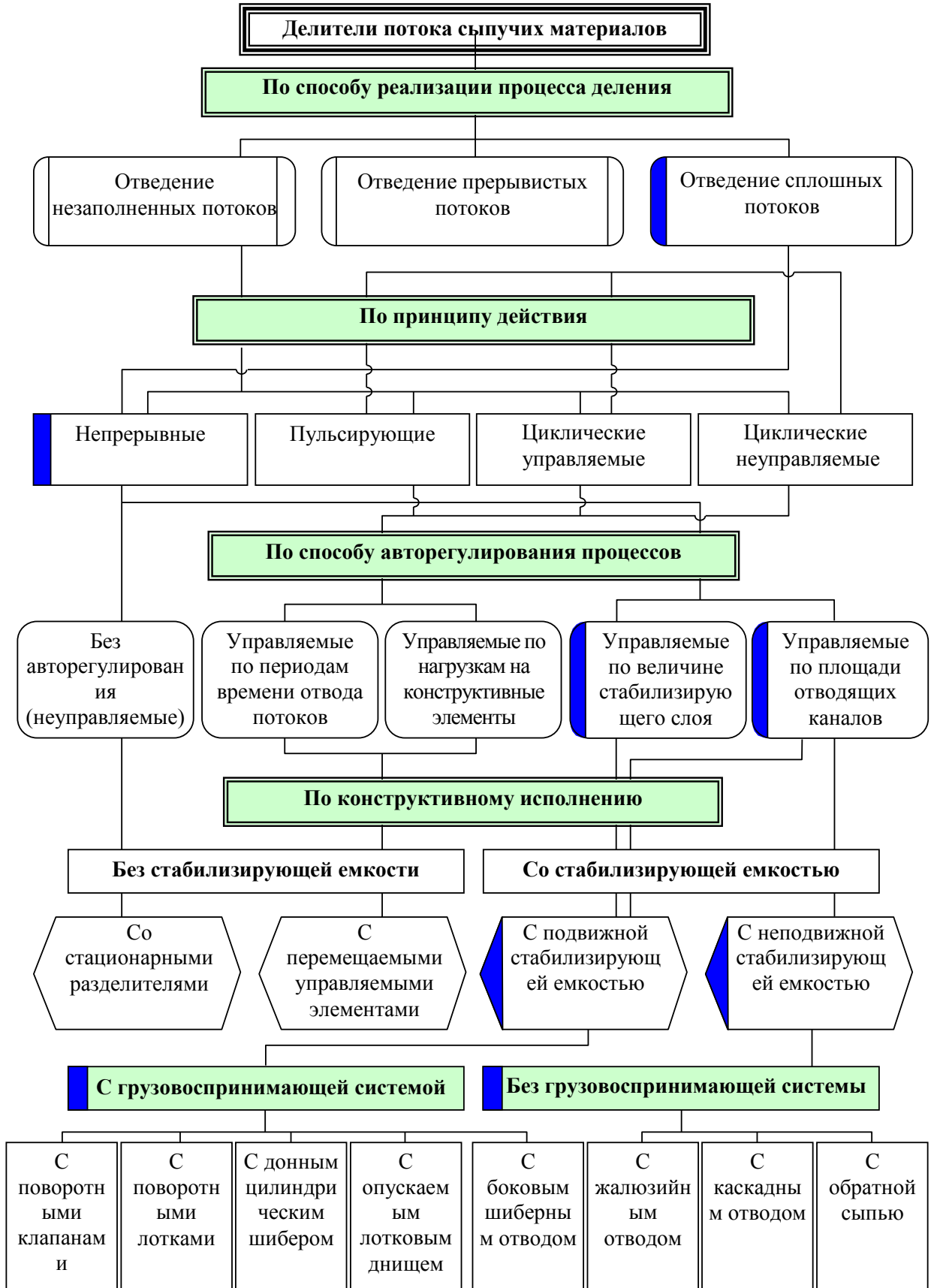


Рисунок 1.19 – Классификация делителей потока сыпучих материалов

При таких условиях подачи зерна полностью исключается работоспособность триерных блоков, снижается эффективность работы аспирационной системы и решетных машин по показателям производительности, качеству и надежности технологического процесса.

Попытки сжать незаполненный поток при выходе из зернопровода с целью обеспечения его сплошности и последующего качественного разделения не обеспечили технологической надежности процесса из-за забивания частицами разделяемой среды элементов конструкции [12]. Кроме того, в динамическом процессе разделения потока сыпучих материалов с применением этого устройства вероятность сохранения симметрии и плотности потока по сечению крайне мала.

В большой группе технических решений [113, 59, 65] используется способ отведения прерывистых потоков сыпучих материалов. Однако, все пульсирующие потоки ухудшают условия протекания основного технологического процесса. Причем в первом из указанных вариантов не обеспечивается технологическая надежность из-за того, что в ограниченном объеме зернопровода перемещаются конструктивные элементы – качающиеся призмы с забивающимися зазорами.

Третий способ реализации процесса, заключающийся в отведении сплошных потоков, имеет перспективу качественного разделения, но требует специальных решений по расширению зоны авторегулирования и обеспечения технологической надежности из-за рисков сводообразования.

По принципу действия делители разделяются на непрерывные, пульсирующие, циклические управляемые, циклические неуправляемые.

Делители непрерывного действия при условии отведения сплошных потоков создают перспективу создания технических средств, обеспечивающих качество деления потоков сыпучих материалов.

Пульсирующие делители [59, 65] позволяют обеспечить примерно равные расходные характеристики через различное число каналов. Качество протекания процесса разделения зависит от стабильности исходного разделяемого потока, равномерности движения распределительного устройства, точности размещения приемных горловин отводимых каналов в пространстве и других факторов. Кроме

того, пульсирующие потоки в каждом отводимом канале требуют последующей стабилизации для того, чтобы обеспечивать заданный режим подачи сыпучих материалов в технологическую машину. Пульсирующие делители представляют собой сложную, габаритную и материалоемкую конструкцию, в которой используются привод, редуктор, рама, распределительные устройства, приемные горловины, отводящие каналы. Это ограничивает их применение при модернизации зерноочистительных агрегатов, где имеются существенные ограничения их размещения в технологической цепочке.

Циклические управляемые делители [116, 119] предполагают использование специальных датчиков, блоков управления, приводов, исполнительных механизмов. Они предназначены для корректировки деления незаполненных потоков на основе динамического воздействия падающих масс на контрольные элементы конструкции, в которые встроены датчики – очень сложны по конструкции. В сравнении с делителями пульсирующего действия, они обеспечивают непрерывность отводимых потоков, но в качестве разделения они уступают им. Отклонения отводимых потоков составляют 10-67 %. Из-за частого переключения привода (через 3-8 с) снижается техническая надежность делителя.

Циклические неуправляемые делители [113] предполагают размещение в разделяемом потоке колебательных элементов с силовым воздействием на них накапливаемых масс, направляемых поочередно в первый или второй канал при отклонении колебательного элемента. Эти делители, как и циклические управляемые, обеспечивают лишь двухканальное деление потока сыпучих материалов. Размещение колебательных элементов в потоке сыпучих материалов в значительной мере снижает его технологическую надежность, при этом качество разделения потоков из-за нерегулярности срабатывания колебательного элемента остается низким.

По способу авторегулирования процесса все делители отличаются по следующим признакам: без авторегулирования (неуправляемые); управляемые по периодам времени отвода потоков; управляемые по нагрузкам на конструктивные

элементы; управляемые по величине стабилизирующего слоя; управляемые по площади отводящих каналов.

С первым отличительным признаком делители используются в условиях подачи незаполненных потоков сыпучих материалов. Они не обеспечивают качество процесса деления по причинам, указанным выше. Делители с управлением процесса по второму и третьему отличительным признакам сложны по конструкции, не обладают достаточной технологической надежностью и не обеспечивают требуемого качества процесса деления. Причем делители с управлением процесса по третьему отличительному признаку используются лишь для двухканального деления потока сыпучих материалов.

Делители с управлением процесса по четвертому и пятому отличительным признакам обладают возможностью кардинального упрощения конструкции, обеспечения высокой технологической надежности и качества деления потока сыпучих материалов. В этих делителях обеспечивается сплошность отводимых потоков, они обладают практически неограниченной зоной авторегулирования, для них характерно минимальное количество источников погрешности деления потока сыпучих материалов – только погрешности геометрических параметров отводящих каналов.

По конструктивному исполнению делители потока сыпучих материалов можно объединить в две большие группы: без стабилизирующей емкости; со стабилизирующей емкостью. Для первой группы характерны все недостатки, о которых сказано выше, они не находят практического применения или являются причиной неработоспособности зерноочистительных и других технологических линий. Вторая группа разделяется на делители с подвижной стабилизирующей емкостью и делители с неподвижной стабилизирующей емкостью. Эти два варианта конструктивного исполнения обусловлены двумя различными способами предотвращения сводообразования в стабилизирующих емкостях.

В делителях с подвижной стабилизирующей емкостью ограничивается высота стабилизирующего слоя сыпучего материала – с одной стороны, а с другой – обеспечивается сплошность и непрерывность отводимых потоков сыпучего мате-



риала через отводы из стабилизирующей емкости. При стабильной подаче исходного потока стабилизирующий слой сохраняет свою высоту, а подвижная стабилизирующая емкость сохраняет свое положение. При колебаниях подачи исходного потока стабилизирующая емкость, опирающаяся на грузовоспринимающую систему, увеличивает или уменьшает отвод в авторегулируемом режиме. Делители с подвижной регулирующей емкостью практически не имеют ограничений зоны авторегулирования.

В делителях с неподвижной стабилизирующей емкостью используется второй способ предотвращения сводообразования – отвод сыпучего материала производится через стенку с вероятной опорой свода на ней. Недостатком этой группы делителей является ограничение канальности деления потока сыпучих материалов – их только два. Увеличение числа отводимых каналов в делителях с неподвижной стабилизирующей емкостью будет являться причиной увеличения погрешности деления, так как в их конструкции используется принцип геометрической симметрии, который двоичен.

На более детальном уровне конструктивные признаки делителей с подвижной стабилизирующей емкостью разделяются на варианты: с пружинной грузовоспринимающей системой; с противовесной грузовоспринимающей системой; наклонного или вертикального исполнения; двухканальные или многоканальные; с изменяемым соотношением расходов через отводы сыпучих материалов; с равным соотношением расходов. К ним относятся делители: с поворотными клапанами в отводах; с поворотными лотками; с донным цилиндрическим шибером; с опускаемым лотковым днищем; с боковым шиберным отводом.

Из пяти видов управляемых исполнительных рабочих органов наиболее предпочтительным является первый. Он обеспечивает многоканальное деление потока и надежность технологического процесса при гарантированном и достаточном зазоре между клапанами и стенками отводов. Второй вид снижает качество процесса деления при погрешности в установке поворотных лотков и их геометрических параметров. Четвертый вид обеспечивает изменение соотношения отводимых потоков. Пятый позволяет сократить вертикальные габариты.

Для делителей с неподвижной стабилизирующей емкостью характерно меньшее количество отличительных признаков: с отводом сыпучих материалов через жалюзийную вертикальную стенку; с каскадным отводом сыпучих материалов; с перепуском избыточного потока сыпучего материала при однозначно определенной высоте стабилизирующего слоя, исключающего сводообразование. Эти делители максимально упрощают конструкцию, но ограничивают число каналов до 2-х. Они чувствительны к асимметрии подаваемого потока в стабилизирующую емкость. При минимизации симметрии они не уступают делителям с грузовоспринимающей системой по качеству процесса деления.

Преимущества делителей со стабилизирующей емкостью подтверждается результатами их исследований по качественным показателям, когда отклонения расходов от средней величины не превышают 0,5-2,5 %. В систематизированном виде источники погрешностей качества деления потоков для характерных групп делителей представлены в таблице 1.6.

Таблица 1.6 – Характеристики делителей потока сыпучих материалов

№ п/п	Идентификация делителей по списку литературы и производителям	Конструктивные признаки	Источники погрешностей деления ( $\Delta_{\Sigma}$ )	Область применения, недостатки, преимущества
1	2	3	4	5
1	ООО «Воронежсельмаш»	Флажковые или призмные делители	$\Delta_{\Sigma 1} = f_1(q_S, X_{II}, Y_{II}, Q_{II})$	Используется в существующих технологиях. Обеспечивает непрерывность. Погрешность деления составляет 150-600 %. Является причиной неработоспособности триеров
2	ОАО ГСКБ «Зерноочистка»	Флажок с приводом и кинематически сложным устройством для периодического направления потока в отводимые каналы	$\Delta_{\Sigma 2} = f_2(q_S, X_{II}, Y_{II}, Q_{II})$	Не обеспечивает непрерывности отводимых потоков. Не обеспечивает качества деления. Сложная, дорогая и ненадежная конструкция

Окончание таблицы 1.6

1	2	3	4	5
3	[113, 59, 65]	Шестиканальный делительный аппарат с вращающимся лотком	$\Delta_{\Sigma 3} = f_3(Q_{II}, \omega, L)$	Используется на элеваторах. Сложная, дорогостоящая, габаритная конструкция. Избыточная прерывистость потока, т.к. устройство является распределителем
4	[116, 119]	Содержит привод, датчики, управляющую систему, подвод через гофрированный шланг на винтовой паре	$\Delta_{\Sigma 4} = f_4\left(\begin{matrix} q_s, Q_{II}, Z_d, X_{II} \\ Y_{II}, P, t_c \end{matrix}\right)$	Смешанные функции делителя и распределителя. Слишком большой перечень факторов, определяющих качество деления. Сложная, дорогая и ненадежная конструкция. Неприемлемый режим работы привода. Низкое качество процесса
5	ФГБНУ ВНИИ-ТиН [117]	Содержит пружинную грузовоспринимающую систему и подвижную регулируемую емкость. Исключает сводообразование путем ограничения высоты стабилизирующего слоя	$\Delta_{\Sigma 5} = f_5(L)$	Используется во всех зерноочистительных технологиях. Обеспечивает сплошность отводимых потоков и их непрерывность. Обеспечивает многоканальное деление. Обладает минимальным числом факторов, определяющих погрешность деления, которая не превышает 1,5 %
6	ФГБНУ ВНИИ-ТиН [122]	Неподвижная стабилизирующая емкость с жалюзийным отводом. Исключает сводообразование отводом материала через стенку-опору вероятного свода	$\Delta_{\Sigma 6} = f_6(L, \gamma, X_0/n)$	Используется при двухканальном делении. Обеспечивает сплошность и непрерывность потока. Погрешность не превышает 2%. Ограничена канальность – два канала. Максимальная простота конструкции

Факторы, определяющие погрешность деления:

$q_s$  - плотность истечения массового потока,  $\text{кг/м}^2$ ;  $X_{II}$ ,  $Y_{II}$  - координаты центра тяжести сечения потока, м;  $Q_{II}$  - подача сыпучего материала,  $\text{кг/с}$ ;  $\omega$  - частота вращения,  $\text{с}^{-1}$ ;  $L$  - линейный размер горловины (отводов), м;  $X_{II}$ ,  $Y_{II}$  - координаты

потока относительно датчиков, м;  $Z_d$  – погрешность размещения датчиков относительно центра потока, м;  $P$  – изменчивость динамического давления материала на датчики, Па;  $t_c$  – погрешность срабатывания управляющей системы;  $c$ ;  $X_0$  – координаты центра тяжести потока через верхнее отверстие, м;  $n$  – число отверстий в стенке, шт.;  $\gamma$  – коэффициент полноты истечения через верхнее отверстие ( $\gamma < 1$ ).

Использование разработанной классификации делителей потока сыпучих материалов позволит на предпроектном этапе объективно оценивать возможности предлагаемых технических решений, целенаправленно выбирать направления создания новых делителей с заданными потребительскими свойствами. Решение задачи управления массовыми потоками в технологических комплексах разноканального исполнения позволит вернуть в эффективную эксплуатацию выведенные средства производства.

Если принять во внимание, что многоканальные технологии существуют во многих отраслях промышленности, а важнейшие средства управления ими с необходимым уровнем потребительских свойств отсутствуют, то проблему создания нового класса техники (авторегулируемых делителей потока сыпучих материалов) вполне можно отнести к многоотраслевой перспективе.

Поэтому необходим глубокий анализ этой перспективы по совокупности изменчивых признаков на системной основе. Существующие технические решения являются распределителями потока, а не делителями. Они не обеспечивают непрерывность и равенство отводимых потоков.

Анализ необходим для того, чтобы: выявить масштабы исследований и разработок; оценить объем и возможные источники необходимых ресурсов; конкретизировать и рационализировать поиск решений с учетом совокупности требований к делителям и множественности областей их применения; выявить возможности модернизации существующих технологий с применением нового класса технических средств. В таблице 1.7 приведены признаки делителей потока сыпучих материалов.

Таблица 1.7 – Перечень изменчивых признаков авторегулируемых делителей потока сыпучих материалов

№ п/п	Наименование признака	Условное обозначение
1	Размерные (расходные) характеристики	<i>a</i>
2	Число отводимых каналов	<i>b</i>
3	Конструктивные особенности, определяющие разные способы предотвращения процесса сводообразования	<i>c</i>
4	Варианты размещения в пространстве	<i>d</i>
5	Виды и свойства разделяемых сыпучих материалов	<i>e</i>
6	Условия компоновки и привязки делителей к основному технологическому оборудованию	<i>f</i>
7	Области применения	<i>g</i>
8	Конструктивные особенности, определяющие технологии изготовления и виды используемых материалов (комплектующих)	<i>h</i>

По совокупности изменчивых признаков необходимо дать следующие уточняющие пояснения с примерами, которые позволят оценить количественно варианты решений и масштабы задач по созданию нового класса технических средств:

по первому – только для зерноочистительных агрегатов диапазон востребованных расходных характеристик составляет 2-120 т/ч. Этот диапазон может включать более десяти конкретных расходных характеристик авторегулируемых делителей по требованиям потребителей (заказчиков);

по второму – потребности элеваторов и технологических комплексов подработки зерна предполагают создание 2-х, 3-х, 4-х и 6-ти канальных авторегулируемых делителей потока зерна;

по третьему – на сегодняшний день в ФГБНУ ВНИИТиН отработаны два способа предотвращения процесса сводообразования в регулирующих емкостях, гарантирующих непрерывность и сплошность отводимых потоков – ликвидация одной из опор свода на критических плоскостях, ограничение роста стабилизирующего слоя;

по четвертому – по требованиям заказчиков и технологическим причинам авторегулируемые делители могут быть размещены вертикально и наклонно. Причем угол наклона может быть различным из-за ограничений компоновки оборудования по высоте и конкретным условиям монтажа;

по пятому – число видов и свойств разделяемых сыпучих материалов чрез-

вычайно большое. Частично вариативность технических решений может быть сокращена за счет их универсальности. Однако, она (вариативность) должна быть обеспечена при наличии граничных свойств сыпучих материалов (повышенная влажность, ограниченная текучесть, предельное содержание инородных примесей) и требований «вето» (недопущение утечек мелкой фракции – обеспечение герметичности, предотвращение запыленности производственных помещений и др.);

по шестому – при наличии симметрии одноименных процессов в технологических комплексах делители могут быть размещены на одной рамной конструкции. В иных случаях могут быть закреплены отдельно на каркасе технологического комплекса или раме машины. В этот признак входят различные варианты ввода материалов в регулируемую емкость и отвода разделенных потоков;

по седьмому – авторегулируемые делители могут использоваться в сельскохозяйственных предприятиях, на элеваторах, мукомольной, строительной, угольной, горнодобывающей отраслях, в технологиях загрузки и разгрузки водного и железнодорожного транспорта;

по восьмому – совершенствование технологии производства, применение новых перспективных материалов определяет самый изменчивый признак любого технического средства. Разработчику приходится постоянно корректировать или существенно перерабатывать конструкторскую документацию.

С учетом вышеизложенного, перспективу создания авторегулируемых делителей потока сыпучих материалов можно оценить множеством вариантов:

$$n = a \cdot b \cdot c \cdot d \cdot e \cdot f \cdot g \cdot h.$$

Вариативность делителей по вышеуказанным изменчивым признакам определяет факторное пространство, которое необходимо учитывать при разработке.

## 1.6 Выводы, цель и задачи исследования

1. Эффективность использования зерноочистительных технологий в условиях сельхозтоваропроизводителя остается низкой. Около 21% зерноочиститель-

ных агрегатов, построенных в прошлом столетии, выведены из эксплуатации. Триерная очистка применяется только в 7% агрегатов, имеющих в составе триерные блоки.

2. В зерноочистительных агрегатах, представляющих собой многоканальные технологические линии, отсутствуют эффективные средства деления потока зерна. В связи с этим невозможно обеспечить высокое качество работы основного технологического оборудования, которое требует постоянной регламентированной подачи зерна. Загрузка агрегатов по производительности составляет 30-70%, потери зерна в отходы и фураж достигают 30%.

3. Серийные триерные блоки не согласованы по оптимальной производительности кукольных и овсюжных цилиндров. При настройке триерного блока на оптимальную подачу овсюжного цилиндра, как рекомендуют производители, остаточная засоренность короткой примесью остается высокой. При уменьшении подачи зерна для полноты выделения короткой примеси происходит заброс частиц длинных примесей со свободной поверхности овсюжного цилиндра.

4. Современные производители сельскохозяйственной техники и оборудования, как российские, так и иностранные предлагают широкий выбор триеров и триерных блоков, технические характеристики которых варьируют в широких диапазонах. Диаметр ячеистых цилиндров находится в пределах 400-930 мм, длина цилиндра – от 1000 до 4000 мм, величина показателя кинематического режима – от 0,51 до 0,73.

5. Существующая база знаний о процессе разделения компонентов зерносмеси ячеистыми поверхностями недостаточна для модернизации триерных блоков за счет управляемости режимами загрузки овсюжного цилиндра и расширения технологических возможностей кукольного цилиндра. Отсутствуют исследования согласованности кукольного и овсюжного цилиндров, нет исследований динамики выделения из зерносмеси коротких примесей и частиц основной культуры. Нет исследований по определению параметров сегмента зерносмеси внутри ячеистого цилиндра. Недостаточно результатов экспериментальных исследований

вследствие недостатка экспериментального оборудования, обеспечивающего высокую управляемость экспериментом.

6. На основе классификации делителей потока сыпучих материалов определены перспективные направления совершенствования их конструкции. Им соответствуют делители непрерывного действия со стабилизирующей емкостью с грузовоспринимающей системой или без подвижных рабочих органов.

**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 ячеек 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.



## 2 ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РЕЗЕРВОВ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРИЕРНЫХ БЛОКОВ

С целью обеспечения возможности сравнительной оценки уровня использования зерноочистительных технологий с учетом разных вариантов их использования нами разработан метод оценки эффективности использования технологий подработки зерна [160] (приложение Б). Он основан на сравнении технологического эффекта с часовыми эксплуатационными затратами и позволяет учесть качественные показатели технологических процессов.

Обеспечить высокое качество работы триерного блока в составе многоканальной зерноочистительной технологии возможно только при регламентированной и согласованной между технологическими каналами подаче зерносмеси, чего можно достичь с помощью авторегулируемых делителей потока сыпучих материалов [173, 120, 118, 122, 121, 175, 124, 177, 181, 183, 180]. Однако, даже при выполнении этого условия невозможно добиться оптимальной загрузки последовательно работающих овсюжного и кукольного триерных цилиндров, т.к. процессы очистки зерна в них протекают по-разному. Оптимальная величина подачи зерна в овсюжный цилиндр определяется условиями заполнения максимальной длины рабочей поверхности ячеистого цилиндра зерносмесью, при исключении потерь полноценного зерна сходом вместе с длинными примесями. Для кукольного цилиндра нет регламента установления оптимальной подачи, т.к. она зависит от содержания короткой сорной примеси, ее компонентного состава, характера осаждения в циркулирующем сегменте и самое главное от принятой величины допустимого содержания коротких примесей в очищенном зерне.

Многочисленные исследования процессов триерной очистки зерна [103, 96, 94, 91, 95, 97, 99] не позволяют прийти к решению указанного противоречия. Многие авторы [113, 116, 97, 99] предлагают при расчете расходных характеристик триера опираться на удельную нагрузку единицы площади ячеистого цилиндра. При таком подходе не может быть учтена взаимосвязь расходных характеристик триера со скоростью вращения цилиндра и угловым положением выводного

лотка, невозможна оценка качества протекания процесса триерной очистки.

Исходя из вышеуказанного очевидно, что необходимы новые подходы к поиску резервов повышения эффективности триерной очистки зерна. Необходимы теоретические и экспериментальные исследования процессов, протекающих в овсюжном и кукольном цилиндре на основе динамики выделения зерновок основной культуры и короткой примеси. Необходимы исследования взаимосвязей качественных показателей триерной очистки с режимами работы и настроечными параметрами триера.

## 2.1 Анализ противоречий в конструкции триерных блоков и протекающих в них процессах

Если принять допущение, что зерновка основной культуры, захваченная ячейей овсюжного цилиндра, не «выедается» из ячеей вышерасположенными слоями зерносмеси, то производительность овсюжного триера можно рассчитать.

Для цилиндра с ячейями диаметром 9 мм шаг расположения ячеей в осевом направлении цилиндра составляет 9,9 мм, шаг расположения ячеей по окружности равен 11,0 мм. Отсюда на 1 п.м. овсюжного цилиндра содержится  $n_{яо}=16666$  ячеей. Тогда производительность триера с учетом принятых допущений можно определить по формуле (2.1).

$$W = K_{III} \frac{n_{яо} \cdot m_{1000} \cdot \omega \cdot L}{2\pi \cdot 1000} \approx 0,887 \text{ кг / с} \approx 3,2 \text{ т / ч}, \quad (2.1)$$

где  $K_{III} = 0,95$  - коэффициент полезной площади;

$m_{1000}$  - масса 1000 зерен основной культуры, кг;

$\omega$  - частота вращения ячеистого цилиндра,  $\text{с}^{-1}$ ;

$L$  - длина цилиндра, пм.

Полученное значение производительности  $W=3,2$  т/ч рассчитано для частоты вращения цилиндра  $\omega=4 \text{ с}^{-1}$ , и оказалось существенно ниже паспортной производительности триера ЗАВ 10.90.000, входящего в типовой проект зерноочистительного агрегата ЗАВ-40. Если принимать во внимание рекомендуемое опти-

мальное значение  $\omega=3,651 \text{ с}^{-1}$  [99], то рассчитанная производительность составит  $W=2,9 \text{ т/ч}$ . Многие авторы [97, 99] рассчитывают производительность овсюжного триера по формуле, не имеющей связи со скоростным режимом его работы:

$$W = 2\pi\varepsilon q_0 r l, \quad (2.2)$$

где  $\varepsilon$  - коэффициент, характеризующий культуру (для пшеницы  $\varepsilon = 1$ );

$q_0$  – удельная нагрузка на единицу площади ячеистой поверхности (для пшеницы  $q_0 = 0,16-0,18$ ),  $\text{кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ ;

$r, l$  – радиус и длина ячеистого цилиндра, м.

В этом случае расчетная производительность цилиндра равна  $W=2,7 \text{ т/ч}$ .

По данным исследований Соколова А.Я. [151], производительность триерного блока БТ-10 составила  $5 \text{ т/ч}$  при  $\omega=4,5 \text{ с}^{-1}$  и  $q_0 = 0,16 \text{ кг}/(\text{с}\cdot\text{м}^2)$ .

Таким образом, расчетные по формуле (2.2) значения производительности в 1,85 раза ниже реальной производительности. Одной из причин этого несоответствия является отсутствие в формуле (2.2) взаимосвязи производительности триера с кинематическим режимом его работы, который может изменяться в широких пределах: от  $K=0,35$  до  $K=0,55$  [99]. Этот факт подтверждает, что предложенная нами формула (2.1) является более универсальной, хотя в ней тоже не учитываются процессы захвата и «выедания» выделяемых частиц. Эти процессы требуют дополнительных экспериментальных исследований.

Для выявления других резервов совершенствования триерной очистки зерносмесей в составе зерноочистительных агрегатов необходимо проанализировать противоречия в конструкции триерных блоков и процессах, протекающих в них при очистке зерна от длинных и коротких примесей, рисунок 2.1.

Наиболее информативно второе противоречие. Оно устанавливает несоответствие рабочих процессов кукольного и триерных цилиндров. При его анализе установлены новые направления модернизации триерных блоков: исключение из работы части ячеистой поверхности овсюжного цилиндра за счет средств опережения подачи зерносмеси; повышение технологических возможностей кукольного цилиндра, что позволит добиться эффективного использования овсюжного цилиндра при его полной загрузке.

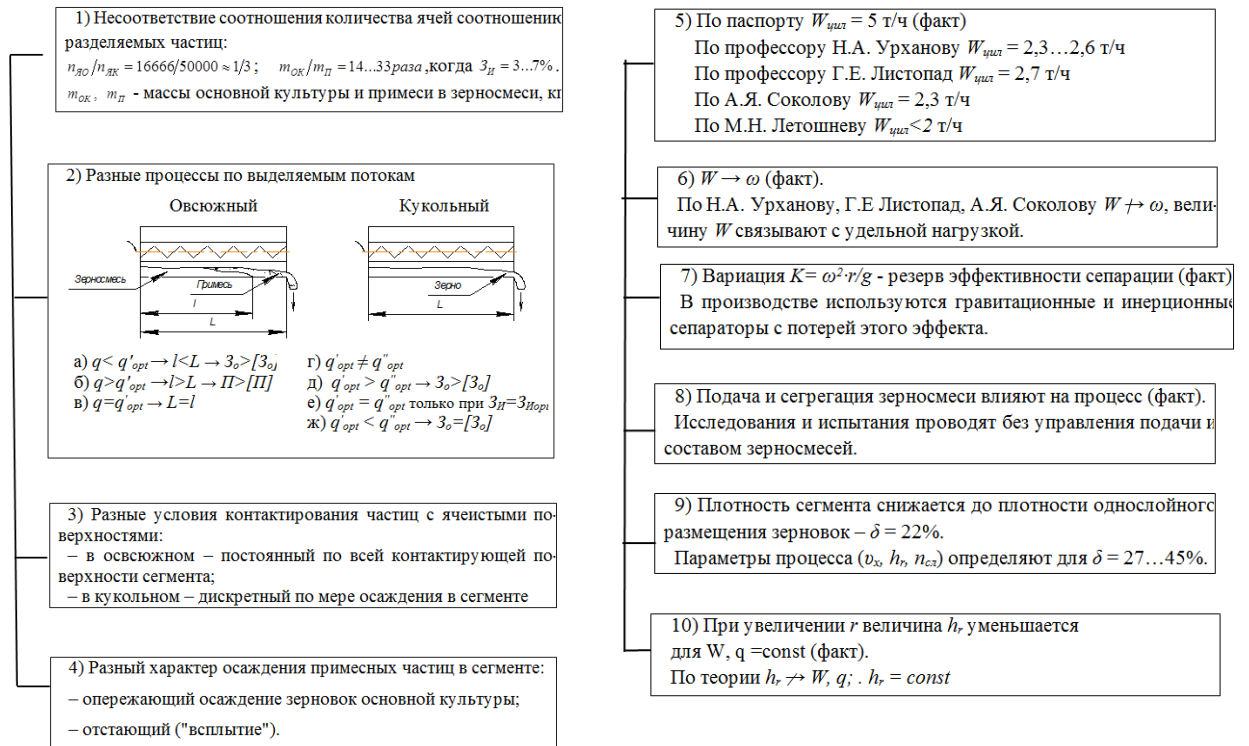


Рисунок 2.1 – Противоречия в конструктивном исполнении существующих триерных блоков и протекающих в них процессах

Анализ остальных противоречий позволяет установить необходимость интенсификации процесса контактирования частиц короткого примесного компонента с ячеями и снижения эффекта их «выедания».

## 2.2 Системный анализ вариантов повышения качества триерной очистки зерносмесей

При очистке зерна в существующих триерных блоках возникает технологическое несоответствие качества процесса выделения коротких примесей в кукольном цилиндре и процесса очистки зерна основной культуры от длинных примесей в овсяжном триере.

Выделение коротких примесей является более сложным процессом ввиду неблагоприятных условий захвата частиц ячеями по сравнению с овсяжным цилиндром, где все зерновки основной культуры контактирующего слоя взаимодействуют с ячеями. Поэтому в кукольном цилиндре не может быть обеспечено качество очистки, соответствующее овсяжному цилиндру.

Проанализируем способы управления качеством процессов триерной очистки и средства для их реализации, рисунок 2.2.



Рисунок 2.2 – Способы и средства управления процессами триерной очистки зерносмесей

При выборе перспективных решений управления качеством процессов триерной очистки необходимо ориентироваться на выполнение целевых функций. Потери культуры необходимо снижать:  $P_{ок} \rightarrow \min$ ; необходимо добиваться снижения остаточной засоренности зерносмеси  $Z_{од} \rightarrow \min$ ; повышать степень выделения коротких примесных компонентов  $C_{вк} \rightarrow \max$ ; повышать производительность триерного блока  $W \rightarrow \max$ . При этом необходимо снижать затраты на модернизацию  $Z_{м} \rightarrow \min$ .

Варианты решения отмеченного противоречия представлены 5-ю блоками известных и новых решений, каждый из которых по своему отражается на выполнении целевых функций.

На рисунке 2.2 представлен вариант согласования технологических процессов в триерном блоке за счет снижения величины подачи зерносмеси в овсюжный цилиндр. Во-первых, при этом ухудшаются эксплуатационные характеристики процесса – снижается производительность триерного блока. Во-вторых, снижается качество очистки зерносмеси от длинных примесей. При недостаточной загрузке некоторая поверхность ячеистого цилиндра остается свободной от зерносмеси, что многократно увеличивает вероятность захвата частиц длинных примесей и их вынос в лоток с чистым зерном.

Вариант сбалансирования процессов в кукольном и овсюжном цилиндрах путем сокращения рабочей длины овсюжного цилиндра может быть реализован за счет применения внутри овсюжного цилиндра гладких вставок или путем реализации опережения подачи зерносмеси в овсюжный цилиндр. Все эти мероприятия имеют существенные ограничения: значительное усложнение конструкции и эксплуатации триерного блока, повышается трудоемкость его настройки и регулировки, снижается производительность. Применение питателей и транспортеров для опережения подачи зерносмеси внутри овсюжного ячеистого цилиндра кроме отмеченных недостатков существенно увеличит габариты триерного блока, что практически исключает их применение при модернизации существующих зерноочистительных агрегатов.

Другим возможным вариантом согласования оптимальной загрузки триерных цилиндров может быть блокирование доступа зерна в выводной желоб на некоторой части овсюжного цилиндра. Технически может быть реализовано четырьмя способами. Сменные крышки лотка и сменные козырьки на передней стенке лотка при смене культуры или условий работы требуют существенных затрат труда при замене элементов. Раздвижные крышки и раздвижные козырьки могут быть более удобными в обслуживании, но имеют ограниченный диапазон

управления. При реализации указанного варианта также неизбежно снижение производительности триерного блока.

Реализация настройки триерного блока на снижение производительности овсюжного цилиндра при условии исключения образования свободной ячеистой поверхности возможна за счет снижения скорости вращения цилиндра, увеличения угла установки выводного лотка, увеличения угла наклона овсюжного цилиндра по направлению осевого движения зерносмеси.

Заведомо заниженная скорость вращения цилиндра и завышенная установка выводного лотка исключают работу овсюжного триера на режимах, близких к оптимальным, что негативно отражается на качестве процесса очистки зерна от длинных примесей и может привести к потерям полноценного зерна в отходы.

Увеличение угла наклона овсюжного цилиндра является наиболее перспективным вариантом снижения производительности с сохранением высокого качества очистки зерна от длинных примесей за счет возможности применения рациональных режимов работы и настроечных параметров. Исключение образования свободной ячеистой поверхности достигается за счет снижения толщины зернового клина на всей длине цилиндра (в большей степени в зоне загрузки зерносмеси). Однако, в этом случае возникают существенные трудности с приводом овсюжного цилиндра: необходима карданная передача, либо отдельный привод на каждый триерный цилиндр. Поэтому рассмотренный вариант можно рекомендовать к реализации при проектировании новых триерных блоков.

Наиболее перспективным представляется вариант относительного увеличения ячеистой поверхности кукольного цилиндра, который может быть реализован за счет увеличения диаметра цилиндра или его длины; за счет увеличения количества кукольных цилиндров без изменения количества овсюжных цилиндров в триерном блоке.

При вращении кукольного цилиндра число ячеек, проходящих под циркулирующим сегментом зерносмеси, многократно превышает количество частиц коротких примесных компонентов в этом сегменте. Поэтому увеличение диаметра кукольного цилиндра не приведет к повышению интенсивности выделения корот-

кой примеси. Увеличение длины кукольного цилиндра повысит вероятность контактирования примесных частиц с ячейками, однако существенно увеличит габариты триерного блока, исключая его применимость в существующих зерноочистительных агрегатах. Более реалистичным является вариант увеличения кукольной ячейистой поверхности путем увеличения числа кукольных цилиндров в триерном блоке.

Для обоснования рационального соотношения рабочих длин ячейистых поверхностей, предназначенных для выделения длинных и коротких примесных частиц, необходимы исследования динамики выделения коротких примесей в широком диапазоне физико-механических свойств примесных частиц и составов зерносмесей. С этой целью необходима разработка специального приборного и стендового оборудования, обеспечивающего исследования динамики рабочего процесса инвариантно относительно длин ячейистых поверхностей.

## **2.3 Обоснование параметров стендового оборудования для исследований процессов разделения компонентов зерносмесей ячейистыми поверхностями**

### **2.3.1 Обоснование технологической схемы и параметров натурального стенда для исследований ячейистых поверхностей**

Существующие стенды для испытаний ячейистых поверхностей включают питающий бункер с отводом, привод, исследуемую ячейистую поверхность, желоб с выгрузным устройством, приемные емкости [55, 115].

Традиционными методиками исследований предусматривается, в частности, приготовление рабочей среды (зерносмеси) с заданным массовым соотношением компонентов, которая загружается в питающий бункер и в течение времени опыта по отводу подается внутрь исследуемой ячейистой поверхности. Однако, зерносмесь, состоящая из разделяемых компонентов с различными физико-механическими свойствами, подвергается сегрегации по мере ее истечения из питающего бункера, что исключает сохранение заданных условий эксперимента.



При исследовании процесса сегрегации зерносмесей при истечении из бункера нами установлено, что легкие примеси по мере истечения «всплывают» вверх, а тяжелые опускаются вниз [108]. Начальная засоренность ( $Z = 0,5\%$ ) пшеницы овсом изменяется с ростом отбираемой массы ( $M$ ) зерносмеси из питающего бункера в 2,3 раза.

В случае, когда основная культура (пшеница) содержит 1 % гороха, засоренность зерносмеси при разгрузке питающего бункера на 90 % изменяется в 4 раза. Очевидно, что в этом случае существенное влияние на сегрегацию компонентов зерносмеси оказывает форма и шероховатость поверхности частиц примеси (гороха).

Исследования расширенных диапазонов концентрации примесей ( $K_n$ ) в зерносмесях подтвердили идентичный характер их сегрегации.

Из приведенного выше следует, что сохранение условий опытов при использовании питающих бункеров невозможно, необходима отдельная нормированная подача компонентов зерносмеси на ячеистую поверхность.

Вторая причина, исключая объективную оценку качества разделения зерносмесей ячеистыми поверхностями, заключается в изменяемых соотношениях разделяемых компонентов и подачи зерносмеси по длине ячеистого цилиндра. Изменчивость этих показателей не позволяет обосновать величину опережения подачи зерносмеси и оптимальные параметры ячей. Значения показателей, характерных для  $k$ -го участка длины ячеистой поверхности описываются уравнениями:

$$Q_k = Q_u \left( 1 - \sum_1^k m_i / Q_u t \right); \quad (2.3)$$

$$Z_k = \left[ m_{np} / \left( M_0 + m_{np} - \sum_1^{(k-1)} m_k \right) \right] \cdot 100\%, \quad (2.4)$$

где  $Q_k$  – подача зерносмеси (переменная по длине триерной поверхности), соответствующая расположению  $k$ -го по счету участку, кг/с;

$Q_u$  – исходная подача зерносмеси, кг/с;

$m_k$  – масса выделенных частиц на  $k$ -ом участке, кг;

$t_{on}$  – продолжительность опыта, с;

$Z_k$  – засоренность зерносмеси на  $k$ -ом участке ячеистой поверхности, %;

$m_{np}$  – масса примесей в исходной навеске зерносмеси, кг;

$M_0$  – масса зерна основной культуры в исходной навеске, кг;

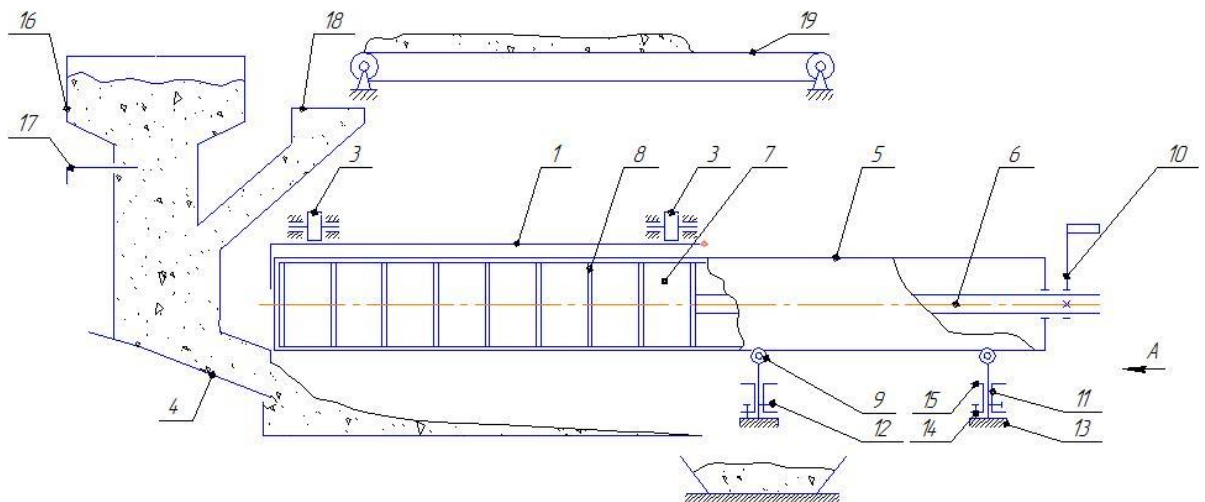
$k = 1, 2, 3 \dots$

Формула (2.4) справедлива для случая выноса из зерносмеси зерна основной культуры. При выделении примесного компонента распределение засоренности ( $Z'_k$ ) по длине ячеистой поверхности будет определяться формулой:

$$Z'_k = \left\{ \left( m_{np} - \sum_1^{(k-1)} m_k \right) / \left[ M_0 + \left( m_{np} - \sum_1^{(k-1)} m_k \right) \right] \right\} \cdot 100\%. \quad (2.5)$$

Только по установленным значениям  $Q_k$ ,  $Z_k$ ,  $Z'_k$  можно определить взаимосвязи  $Z_k = f_1(Q_k) \cdot Z'_k = f_2(Q_k)$ , которые являются основой для определения рациональных параметров и режимов работы ячеистых поверхностей.

Для обеспечения сохраняемости условий опытов нами разработан натурный стенд для исследований ячеистых поверхностей (рисунки 2.3, 2.4) принципиальными отличиями которого являются: отдельная подача компонентов зерносмеси на ячеистую поверхность; отбор проб выделенных частиц отдельными участками ячеистой поверхности в период стабилизации рабочего процесса. Конструкция стенда защищена патентами РФ на изобретения [125, 126].



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.

Рисунок 2.3 – Натурный стенд для исследований ячеистых поверхностей

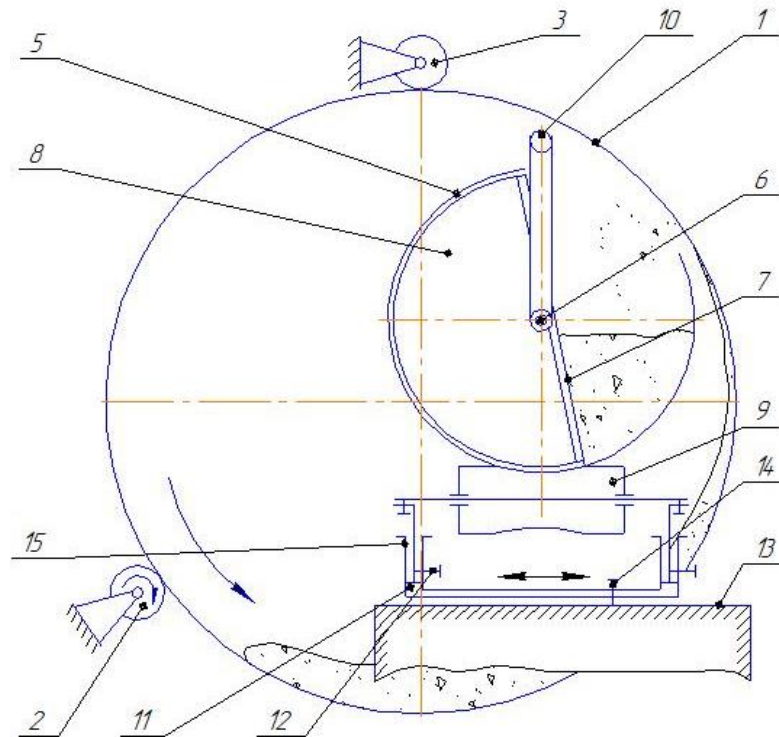


Рисунок 2.4 – Вид А на рисунке 2.3

Отборник представляет собой цилиндрическую трубу с продольным загрузочным окном. Внутри трубы размещена поворотная на две позиции стенка с разделяющими сегментами, образующими 10 равных контрольных объемов по длине ячеистой поверхности.

Задача обоснования режимов работы и параметров стенда сводится к выявлению связей производительности с размерными характеристиками отборника, транспортера подачи примесей бункера основной культуры и временем отбора проб. Для установления этих связей приняты исходные данные из условий: реальной загрузки существующих триерных блоков, необходимости исключения указанных выше погрешностей, конструктивных соображений. Исходные данные сведены в таблицу 2.1.

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

$$V_{я} = \pi d_B L / 16 n_0 = \pi d_B \ell / 16. \quad (2.6)$$

В формуле (2.6) учтено, что контрольные пробы выделенных частиц заполняют четверть сечения отборника.

Таблица 2.1 – Исходные данные для определения режимов работы и параметров стенда

№ п/п	Наименование параметра	Размерность	Обозначение	Величина (количество)
1	Внутренний диаметр отборника	м	$d_B$	0,3
2	Длина триерного цилиндра	м	$L$	2,0
3	Число объемов для проб	шт.	$n_0$	10
4	Коэффициент заполнения объема	-	$K_3$	0,5
5	Максимальная подача зерносмеси	т/ч (кг/с)	$Q_{max}$	5,0 (1,4)
6	Насыпная плотность зерносмеси	кг/м <sup>3</sup>	$\rho$	500
7	Длина ячейки отборника	м	$\ell$	0,2
8	Время стабилизации процесса	с	$t_c$	5

Масса выделенных частиц во всем отборнике будет:

$$M_0 = \pi d_B L \rho / 16 = 3,14 \cdot 0,3^2 \cdot 2,0 \cdot 500 / 16 = 17,7 \text{ кг.} \quad (2.7)$$

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

$$t_0 = M_0 / Q_{max} = 17,7 / 1,4 \approx 12,6 \text{ с.} \quad (2.8)$$

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:

$$M_B = M_0 + M_{ст} + Q_{max} t_c = 17,7 + 15 + 1,4 \cdot 5 \approx 40 \text{ кг.} \quad (2.9)$$

Емкость бункера основной культуры ( $V_B$ ) с учетом рационального коэффициента его заполнения ( $K_{3B} = 0,7$ ) будет:

$$V_B = M_0 / \rho K_{3B} = 40 / 500 \cdot 0,7 = 0,114 \text{ м}^3. \quad (2.10)$$

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

$$V_l = \frac{3 Q_{max}}{100 h_{сл} B_k \rho_{пр} K_k}, \quad (2.11)$$

где  $h_{сл}$  – высота слоя примеси в разделенном коробе, который используется для равномерного распределения примесей по ленте, м;

$\rho_{np}$  – насыпная плотность примеси, кг/м<sup>3</sup>;

$K_k$  – коэффициент заполнения короба (разный при различной высоте заполнения).

Из уравнения (2.11) видно, что при известной величине  $V_{Л}$  (не изменяемой в опытах) величину  $Z$  можно варьировать за счет изменения  $h_{cn}$ . Учитывая нелинейную взаимосвязь  $K_k = f(h_{cn})$  из-за сложной формы перегородок короба, скорость ленточного транспортера целесообразно определять по величине погонной массы ( $q_n$ ) примеси, распределенной по ленте транспортера:

$$V_{Л} = 3Q_{max}/100q_n. \quad (2.12)$$

Величина погонной массы, примесного компонента составит:

$$q_n = 3Q_{max}/100V_{Л}. \quad (2.13)$$

По величине  $q_n$  можно подбирать параметры короба, учитывая выражение:

$$q_n = K_k h_{cn} B_k \rho_{np}. \quad (2.14)$$

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

$$B_k \leq 0,3 \dots 0,35 B_{л}, \quad (2.15)$$

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

Для принятых условий ( $B_k = 0,15$  м;  $h_{cn} = 0,1$ ;  $\rho_{np} = 300$  кг/м<sup>3</sup>;  $K_k = 0,7$ ) 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:

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

### 2.3.2 Обоснование параметров стенда циклического действия для исследований ячеистых поверхностей

Разработанный нами натурный стенд для исследований ячеистых поверхностей [125, 126, 186], содержащий полноразмерный триерный цилиндр и много-секционный отборник примесного компонента имеет ряд ограничений в исполь-

зовании. Основными из них являются ограничение расходных характеристик и диапазона углов отбора выделяемых частиц. Предпосылки устранения этих недостатков содержатся в подходе толкования процесса разделения компонентов зерносмесей ячеистыми поверхностями в теории триеров [95, 103], заключающемся в рассмотрении условного сегмента зерносмеси. Во время протекания процесса сегмент перемещается в осевом направлении в сторону от места загрузки с равной скоростью. При этом постоянно снижается содержание выделяемого компонента.

Анализ отмеченных положений привел к созданию стенда циклического действия с непрерывным отводом из него выделяемого компонента, рисунки 2.5 и 2.6. Конструкция стенда защищена патентом РФ на изобретение [134].



а)

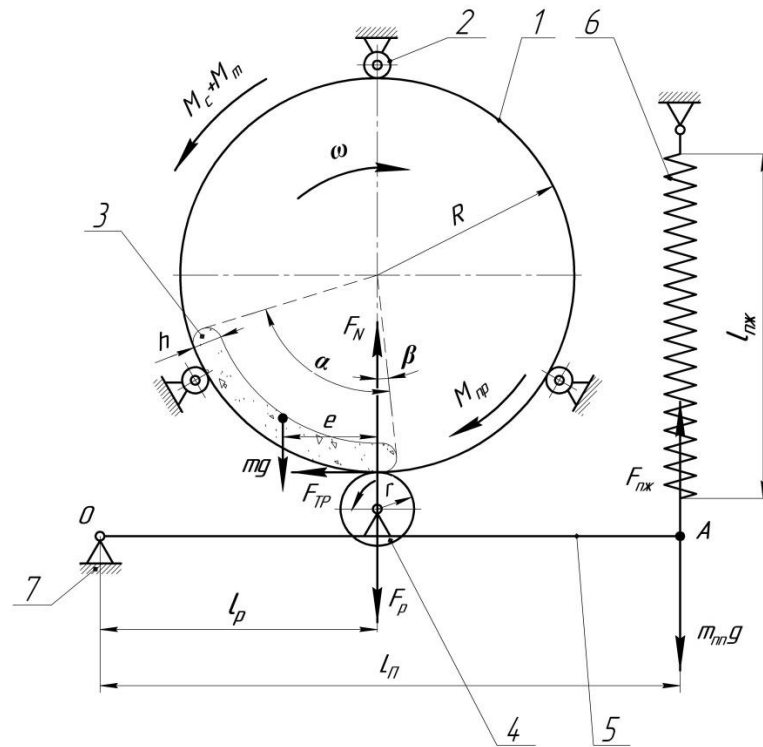


б)

- а) – в рабочем положении с отводом примеси;  
 б) – выгрузка основной культуры с опрокидыванием при снятом блокирующем кольце

Рисунок 2.5 – Общий вид стенда циклического действия

Стенд состоит из ячеистого цилиндра, размещенного на опорных роликах, подпружиненной платформы с приводным фрикционным роликом, соединенного с электродвигателем посредством ременной передачи. При вращении ячеистого цилиндра навеска исследуемой зерносмеси формируется в виде циркулирующего сегмента с углом охвата  $\alpha$ , и смещением относительно вертикали на угол  $\beta$ .



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

Рисунок 2.6 – Расчетная схема для определения мощности привода ячеистого цилиндра

Высота слоя циркулирующего сегмента определяется согласно известным соотношениям [125, 126] и взаимосвязана с массой зерносмеси в цилиндре. Для случая выделения коротких примесей принимаем допущение о постоянстве массы зерносмеси в цилиндре из-за малых величин засоренности исследуемых зерносмесей.

Число циклов выделения ( $n_{ц}$ ) инвариантно относительно ширины и числа условных сегментов (длины ячеистого цилиндра стенда), так как остаточная засоренность и степень выделения примесного компонента из зерносмеси измеряются в относительных величинах – в %.

Смещение центра тяжести циркулирующего сегмента относительно вертикали определим по формуле:

$$e = (R - h) \sin\left(\frac{\alpha}{2} - \beta\right). \quad (2.16)$$

где  $R$  – радиус ячеистого цилиндра, м;

$h$  – высота слоя сегмента, м.

При работе станда приводной момент  $M_{пр}$  уравновешивается моментом сопротивления вращению на холостом ходу  $M_c$  и моментом сопротивления сил трения  $M_{тр}$  зерна о ячеистую поверхность. Момент сопротивления сил трения можно определить по формуле:

$$M_{mp} = M_m = mg[(R - h)\sin(\alpha/2 - \beta)]. \quad (2.17)$$

Тогда:

$$M_{np} = M_c + mg[(R - h)\sin(\alpha/2 - \beta)]. \quad (2.18)$$

Величину момента  $M_c$  определяли экспериментально с интервалом положения ячеистого цилиндра  $45^\circ$  для вариантов с присоединенным и отсоединенным приводом.

Результаты замеров представлены в таблице 2.2.

Таблица 2.2 – Вариация момента сопротивления  $M_{c1}$  с приводом и  $M_{c2}$  без привода

Угол поворота, град.	0	45	90	135	180	225	270	315	360
Касательное усилие ( $F_{к1}$ ), кгс	3,43	2,86	3,40	3,6	7,8	3,8	3,4	2,7	3,43
Момент сопротивления ( $M_{c1}$ ), Н·м	10,3	8,6	10,2	10,8	23,4	11,4	10,2	8,1	10,3
Угол поворота, град.	0	45	90	135	180	225	270	315	360
Касательное усилие ( $F_{к2}$ ), кгс	2,2	2,0	3,1	3,7	4,0	2,6	3,2	2,2	2,2
Момент сопротивления ( $M_{c2}$ ), Н·м	6,6	6,0	9,3	11,1	12,0	7,8	9,6	6,6	6,6

Из таблицы 2.2 видно, что результаты измерений имеют некоторую вариацию, что объясняется погрешностью формы ячеистого цилиндра, наличием стыкового шва (его прохождение через опорный ролик совпало с углом  $180^\circ$ ), меняющимися условиями контакта цилиндра с опорными роликами.

В дальнейших расчетах будем использовать усредненные значения моментов:

$$\overline{M}_{c1} = 11,5 \text{ Н} \cdot \text{м}, \quad \overline{M}_{c2} = 8,4 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Величину  $t$  можно определить по формуле:



$$m = S_c l_y \rho K_y, \quad (2.19)$$

где  $S_c$  – площадь сегмента, м<sup>2</sup>;

$l_y$  – длина ячеистого цилиндра, м;

$\rho$  – насыпная плотность зерносмеси, кг/м<sup>3</sup>;

$K_y$  – коэффициент, учитывающий снижение плотности сегмента при циркуляции слоев (для пшеницы  $K_y = 0,78$ ) [193].

Площадь сегмента будет:

$$S_c = \frac{\alpha}{2\pi} \pi [R^2 - (R - h)^2]. \quad (2.20)$$

С учетом уравнений (2.19) и (2.20) получим:

$$m = \alpha L_y \rho K_y [R^2 - (R - h)^2] / 2. \quad (2.21)$$

При  $\omega = 4,2 \text{ с}^{-1}$  величина  $\alpha = 1,57$  рад, а при загрузке близкой к максимально возможной при выделении коротких примесей из зерносмесей  $h = 0,05$  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 (2.17):

$$M_{mp} = 13 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.22)$$

Суммарный момент сопротивления:

$$M_{\Sigma} = \bar{M}_{c_1} + M_m = 11,5 + 13 = 24,5 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (2.23)$$

Для определения момента силы трения фрикционного ролика составим уравнение равновесия моментов, действующих на платформу 5, относительно точки 0:

$$F_p l_p = (F_{нж} - m_{nn} g) L_n, \quad (2.24)$$

где  $F_p$  – реактивная сила от силы нормального давления ( $F_n$ ), Н;

$l_p$  – расстояние от точки 0 до фрикционного ролика, м;

$F_{нж}$  – усилие растянутой пружины, Н;

$m_{nn}$  – масса привода приведенная к точке А, кг;

$g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$L_n$  – длина платформы.

Для установления расчетных значений жесткости предварительно напряженной пружины ( $C_p$ ) ее нагружали растягивающими усилиями в диапазоне 30...117 Н.

Результаты динамометрирования представлены на рисунке 2.7.

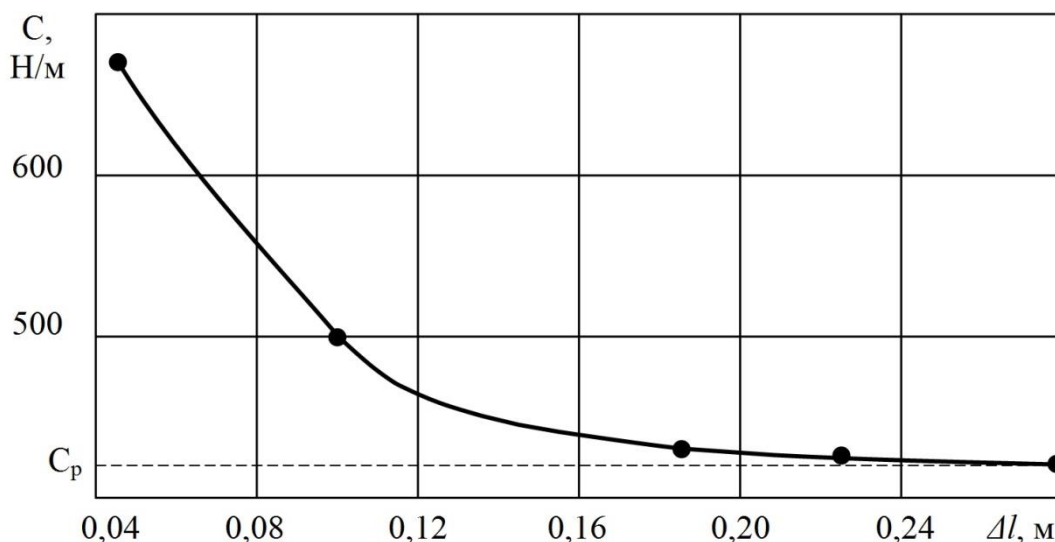


Рисунок 2.7 – Зависимость изменения жесткости ( $C_p$ ) пружины от ее растяжения ( $\Delta l$ )

При  $\Delta l = 0,255$  м величина  $C = 420$  Н/м. Тогда с учетом  $l_p = 0,29$  м;  $L_n = 0,7$  м;  $m_{nn} = 5,4$  кг, получим:

$$F_p = F_N = (\Delta l c - m_{nn} g) L_n / l_p = 130,8 \text{ Н.} \quad (2.25)$$

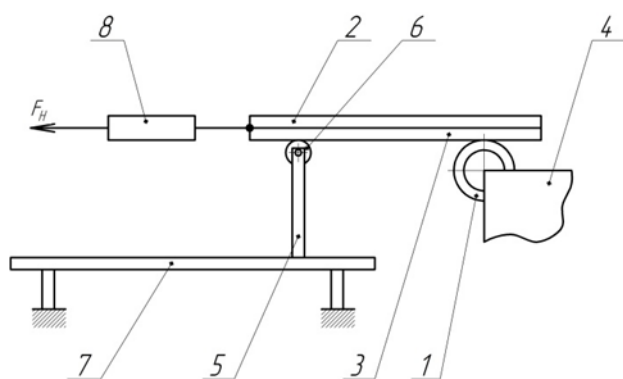
Момент трения составит:

$$M_{mp} = F_N f_{mp}, \quad (2.26)$$

где  $f_{mp}$  – коэффициент силы трения покоя фрикционного ролика по опорной (прорезиненной) поверхности ячеистого цилиндра.

Для определения  $f_{mp}$  нами разработан специальный прибор, схема и общий вид которого представлен на рисунке 2.8.

С помощью указанного прибора определена величина коэффициента силы трения покоя приводного ролика  $f_{mp} = 0,75$ . Тогда  $M_{mp} = 130,8 \cdot 0,75 = 98,1 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , что в 4 раза больше  $M_{\Sigma}$ . Таким образом, обеспечена работа привода в заданных режимах без пробуксовки фрикционного ролика.



1 – фрикционный ролик; 2 – планка; 3 – резиновая накладка; 4 – зажим; 5 – стойка;  
6 – подшипник качения; 7 – платформа; 8 – электронный динамометр

Рисунок 2.8 – Прибор для определения коэффициента силы трения покоя фрикционного ролика

Потребляемая мощность составит:

$$N_{\text{п}} = M_{\Sigma} \omega = 24,5 \times 4,2 = 103 \text{ Вт.} \quad (2.27)$$

Для обеспечения надежной работы станда выбран электродвигатель мощностью 380 Вт. С целью исключения потерь зерносмеси пересыпанием через торец ячеистого цилиндра необходимо наличие блокирующего кольца. Для условий загрузки станда зерносмесью массой 7,6 кг толщина циркулирующего слоя составляет 0,05 м. Принимаем разницу внешнего и внутреннего диаметров блокирующего кольца, равной 0,07 м.

### 2.3.3 Обоснование режимов работы и параметров прибора для разделения проб зерносмесей

На завершающих этапах производства зерна многократно возникает необходимость определения качества зернового материала, в том числе по содержанию примесных компонентов. Это необходимое условие при реализации продукции сельхозпредприятиями по различным каналам сбыта, при контроле качества работы зерноочистительных машин при подработке зернового вороха. Контроль качества зерна может проводиться в специализированных агролабораториях или силами с/х товаропроизводителя.

Рассев проб традиционно выполняется на решетных классификаторах, которые позволяют разделить компоненты зерносмеси по признакам толщины и ширины зерновок. При этом с помощью решет невозможно разделить частицы сопоставимые по поперечным размерам, но различающиеся по длине. Такие примеси обычно выделяются из навески вручную, что существенно повышает трудоемкость проведения анализа проб зерносмесей. Разделить компоненты по длине частиц можно с помощью ячеистых поверхностей. Однако простых приборов для этой цели не существует. Зарубежные лабораторные триеры имеют стоимость от 9 до 14 тыс. долларов, что исключает возможность их применения в условиях российского сельскохозяйственного производства.

Потребность создания такого прибора очевидна, что обуславливает высокую актуальность этой работы. Анализ потенциальных потребителей прибора для разделения проб зерносмесей и вероятных эффектов от его использования представлен в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Области применения прибора для разделения проб зерносмесей

№ п/п	Потребители	Содержание решаемых задач с использованием прибора	Ожидаемые эффекты
1	2	3	4
1.	Сельскохозяйственные предприятия	Контроль качества работы зерноочистительных агрегатов – настройка, замена оборудования, реконструкция.	Повышение эффективности технологии. Снижение затрат на технологическое обслуживание.
		Контроль качества реализуемой продукции.	Разрешение коммерческих споров – повышение выгоды от сделок.
		Контроль качества зернового вороха, направляемого на элеваторы.	Снижение скидок к зачетной массе зерна.
2.	Элеваторы	Контроль качества работы оборудования – настройка, замена, реконструкция.	Повышение эффективности технологии. Снижение затрат на технологическое обслуживание.
		Прием неочищенного зерна и отпуск готовой продукции.	Повышение репутации. Расширение объемов работ за счет повышения доверия клиентов.

## Окончание таблицы 2.3.

1	2	3	4
3.	Заводские и государственные испытательные центры	Оценка качества новых технологических процессов.	Повышение достоверности оценок засоренности. Снижение трудоемкости работ.
4.	Районные агролаборатории	Рассев проб зерносмесей от товаропроизводителей.	Повышение достоверности оценок засоренности. Снижение трудоемкости работ.
5.	НИИ и ВУЗы	Исследование динамики выделения примесей из зерносмесей зерноочистительным оборудованием	Многokратное снижение затрат. Обеспечение достоверности результатов.
		Рассев проб зерносмесей при исследовании посевных и зерноочистительных машин	Повышение достоверности оценок засоренности. Снижение трудоемкости работ.

Ввиду того, что прибор для разделения проб зерносмесей должен быть компактным и простым в использовании, мы приняли диаметр ячеистого цилиндра равным 0,3 м, длину цилиндра равную 0,3 м. При этих размерах есть возможность использовать вместо активного рабочего органа для отвода выделяемого компонента самотечный лоток с углом наклона днища, равным 30°. Такой наклон скатной поверхности достаточен для надежного отвода потока примесного компонента. Для обоснования регламента работы прибора необходимо установить динамику выделения примеси при различных значениях массы пробы, засоренности и заданной погрешности измерений.

На основе принятых размерных параметров нами создан прибор, общий вид которого представлен на рисунке 2.9, схема – на рисунке 2.10. Конструкция прибора защищена патентом РФ на изобретение [135].

Порядок работы прибора подробно рассмотрен в главе 3 диссертации.

Для обоснования режимов работы прибора необходимо выполнить условие кинематического подобия процесса [95, 103]:

$$K_p = \omega^2 R/g = const, \quad (2.28)$$

где  $K_p$  – коэффициент кинематического режима;  $\omega$  – угловая скорость ячеистого цилиндра, рад/с;  $R$  – радиус цилиндра, м;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>.

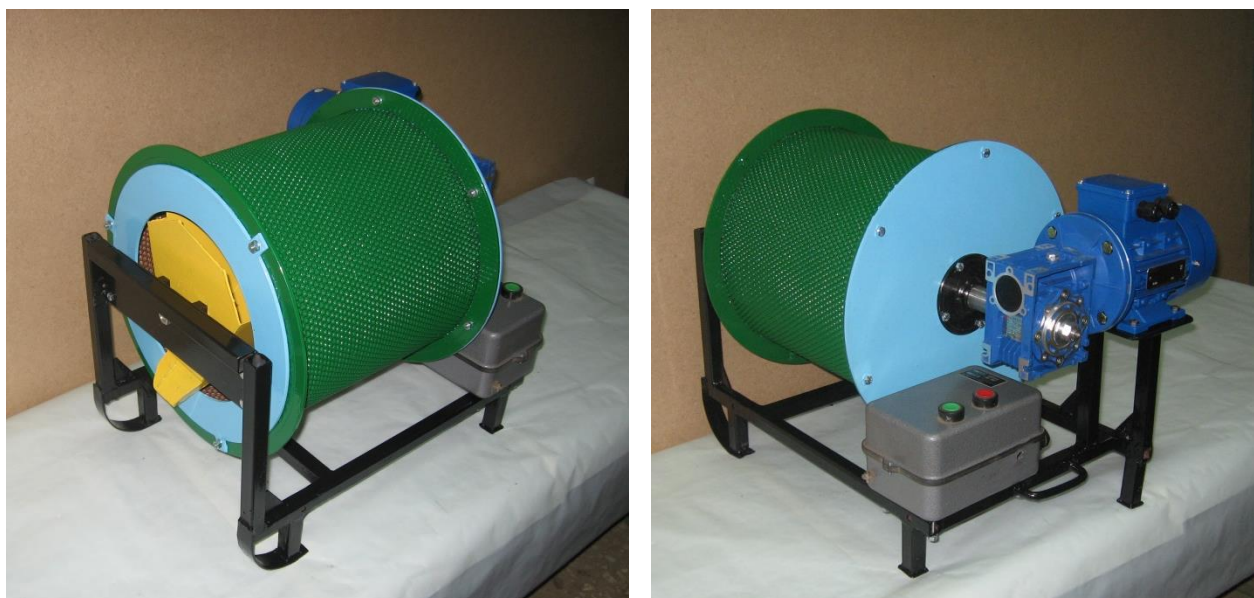
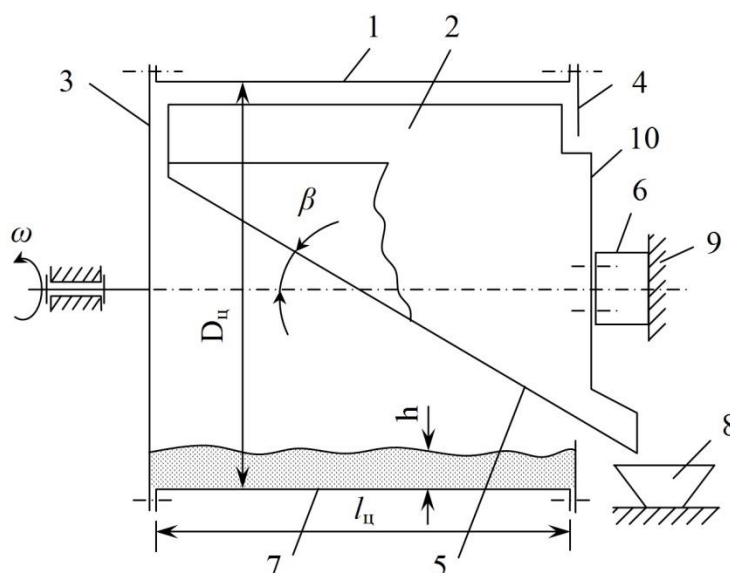


Рисунок 2.9 – Общий вид прибора для разделения проб зерносмесей



1 – ячеистый цилиндр; 2- лоток; 3 – приводной диск; 4 – блокирующее кольцо; 5 - наклонное днище лотка; 6 – кронштейн; 7 – зерносмесь; 8 – емкость; 9 – рама; 10 - торцевая стенка лотка

Рисунок 2.10 – Схема прибора для разделения проб зерносмесей

Для обеспечения сопоставимой эффективности работы стандартного цилиндра триерного блока диаметром 0,6 м при скорости вращения 40 об/мин ( $K_p = 0,73$ ) для прибора с диаметром цилиндра, равным 0,3 м необходимо обеспечить скорость вращения на уровне 56 об/мин.

Высоту сегмента определим по выражению:

$$h = m_n / \alpha R_{ц} l_{ц} \rho K_{рс}, \quad (2.29)$$

При определении высоты сегмента по формуле (2.29) для случаев проб зер-

носмеси массой 1; 1,5; 2 кг получены значения высоты сегмента соответственно равные 24,2 мм; 36,3 мм; 48,4 мм. Исходя из полученных данных выбрано блокирующее кольцо с внутренним диаметром, равным  $d_{кв}=0,18$  м, что обеспечивает отсутствие случайного истечения зерносмеси через торец ячеистого цилиндра.

Для оценки динамики выделения короткой примеси принята зерносмесь пшеницы и проса засоренностью от 1 до 3%. Масса тысячи зерновок проса составляет 0,007 кг. Диапазон засоренности обусловлен результатами исследований [193], показывающими, что при большей засоренности существующий триерный блок обеспечивает очистку пшеницы до содержания примеси менее 0,5%.

Тогда для принятых навесок число слоев в сегментах составит  $n_{сл}=h/v$  ( $v=3,07$  – средний поперечный размер частиц пшеницы):

$$\begin{cases} m_{П1} = 1 \text{ кг}; h_1 = 24,2 \text{ мм}; n_{сл1} = 7,9 \text{ шт}; \\ m_{П2} = 1,5 \text{ кг}; h_2 = 36,3 \text{ мм}; n_{сл2} = 11,8 \text{ шт}; \\ m_{П3} = 2 \text{ кг}; h_3 = 48,4 \text{ мм}; n_{сл3} = 15,8 \text{ шт}. \end{cases} \quad (2.30)$$

Число зерновок основной культуры в контактирующих слоях:

$$n_{сл} = S_c \cdot n_{зпш} = \alpha \cdot R_{ц} \cdot l_{ц} \cdot n_{зпш} = 3168 \text{ шт}, \quad (2.31)$$

где  $S_c$  - площадь контактирующего слоя,  $\text{м}^2$ ;

$n_{зпш}$  - число зерновок пшеницы, приходящихся на  $1 \text{ м}^2$  (согласно исследованиям [193]  $n_{зпш} = 44840 \text{ шт/м}^2$ ),  $\text{шт/м}^2$ .

Масса контактирующего слоя:

$$m_{сл} = n_{сл} \cdot m_{1000пш} / 1000 = 126,7 \text{ г}, \quad (2.32)$$

где  $m_{1000пш}$  - масса 1000 зерновок пшеницы (40 г), г.

Тогда масса ( $m_{пр}$ ) и число примесных частиц ( $n_{пр}$ ) в контактирующих слоях при различных значениях  $Z_{И}$  будут:

$$\begin{cases} Z_{И1} = 1\%; m_{пр1} = 1,27 \text{ г}; n_{пр1} = 181 \text{ шт}; \\ Z_{И2} = 2\%; m_{пр2} = 2,54 \text{ г}; n_{пр2} = 362 \text{ шт}; \\ Z_{И3} = 3\%; m_{пр3} = 3,81 \text{ г}; n_{пр3} = 543 \text{ шт}. \end{cases} \quad (2.33)$$

Число ячеек, взаимодействующих с контактирующим слоем, определяется по уравнению:

$$n_{яц} = S_{ц} \cdot n_{цн} = \pi D_{ц} l_{ц} n_{цн} = 6840 \text{ шт}, \quad (2.34)$$

где  $n_{цн}$  - плотность размещения ячеек на цилиндре, шт/м<sup>2</sup>.

Сравнение  $n_{яц}$  с  $n_{np_{max}}$  позволяет утверждать, что кривая интенсивности выделения примесных частиц будет непрерывно убывающей.

Расчеты взаимосвязей текущей остаточной засоренности с числом циклов выделения ( $N_{ц}$ ) и временным регламентом использования прибора ( $t_p$ ) для отсева проб зерносмесей проводили по разработанному нами алгоритму и уравнению (2.35):

$$Z_{i+1} = Z_{II} \left( 1 - \sum_1^{i+1} n_{np_i} / P \right), \quad (2.35)$$

где  $Z_{i+1}$  - засоренность зерносмеси после (i+1)-го цикла, %;

$n_{np_i}$  - число примесных частиц, выделенных в i-ом цикле, шт;

$P$  - исходное число частиц в сегменте, шт.

В качестве примера выполним расчеты интенсивности выделения примесных частиц для исходных условий -  $m_n = 1 \text{ кг}$ ;  $Z_{II} = 3\%$ ;  $P = n_{np_3} \cdot n_{цл} = 4290 \text{ шт}$ . Результаты расчетов представлены в таблице 2.4.

В таблице 2.4 представлены расчеты динамики выделения примесного компонента из зерносмеси за 40 циклов, что сопоставимо с условиями работы стандартных триерных блоков при осевом смещении условного сегмента на 53...63 мм за цикл (за один оборот ячеистого цилиндра) [193].

Сорок циклов выделения предложенный прибор осуществляет за время  $t_p = 40/56 = 0,71 \text{ мин} = 43 \text{ с}$ . При этом остаточная засоренность составляет 0,013%. Следовательно, относительная погрешность измерений в рассмотренном примере составит  $\Delta = Z_{040}/Z_{II} \cdot 100 = 0,013/3 \cdot 100 = 0,43 \%$ . Это очень высокая достоверность оценки засоренности проб зерносмесей предложенным прибором с приемлемым регламентом использования -  $t_p = 43 \text{ с}$ .

Из таблицы 2.4 видно, что погрешность измерений  $\Delta \approx 1\%$  при 34-х циклах выделения, когда  $t_p = 34/56 = 0,607 \text{ мин} = 36 \text{ с}$ . Поэтому сокращать  $t_p$  нет смысла.



Таблица 2.4 – Динамика выделения коротких примесей из зерносмесей

Кратность выделения из сегмента, ( $N_{ц}$ )	Число слоев $n_{ск} = 7,9$ Исходная засоренность зерносмеси $Z_{и} = 3\%$ . Число примесных частиц в сегменте $P = 4290$			
	$n_{прі},$ шт	$Z_i,$ %	$P_i,$ шт	$\sum_1^i n_{прі}$
1	543	2,62	3747	543
2	471	2,29	3273	1017
3	414	2,0	2859	1431
4	362	1,75	2497	1793
5	316	1,53	2181	2109
6	276	1,33	1905	2385
7	241	1,16	1664	2626
8	211	1,02	1453	2837
9	184	0,89	1269	3021
10	161	0,78	1108	3182
11	140	0,68	968	3322
12	123	0,59	845	3445
13	107	0,52	738	3552
14	93	0,45	645	3645
15	82	0,39	563	3727
16	71	0,34	492	3798
17	62	0,30	430	3860
18	54	0,26	376	3914
19	48	0,23	328	3962
20	42	0,20	286	4004
21	36	0,175	250	4040
22	32	0,15	218	4072
23	28	0,13	190	4100
24	24	0,12	166	4124
25	21	0,10	145	4145
26	18	0,009	127	4163
27	16	0,078	111	4179
28	14	0,068	97	4193
29	12	0,059	85	4205
30	11	0,052	74	4216
31	9	0,045	65	4225
32	8	0,040	57	4233
33	7	0,035	50	4240
34	6	0,031	44	4246
35	6	0,027	38	4252
36	5	0,023	33	4257
37	4	0,020	29	4261
38	4	0,018	25	4265
39	3	0,015	22	4268
40	3	0,013	19	4271

### 2.3.4 Обоснование метода идентификации результатов стендовых исследований

Преимущества стендов циклического действия при исследовании ячеистых поверхностей заключаются в следующем: компактность конструкции и снижение затрат на изготовление; снижение трудоемкости экспериментальных работ; повышение достоверности результатов исследований за счет улучшения воспроизводимости условий опытов и управляемости экспериментом; обеспечение инвариантности результатов относительно длины исследуемой ячеистой поверхности; отсутствие ограничений по исследуемым диапазонам исходной и остаточной засоренности зерносмеси, углам выброса частиц из ячеек, углам охвата факела выброса частиц кромками приемных емкостей, зазорам между кромками приемных емкостей и внутренней поверхностью ячеистого цилиндра в сравнении с ранее разработанными нами натурными стендами.

При выделении коротких примесей из зерносмеси стенд циклического действия обеспечивает прямое измерение резульативного показателя (остаточную засоренность) в произвольный момент времени и любую, наперед заданную, степень выделения примесного компонента, так как продолжительность опыта не ограничена, а условия опыта сохраняются – масса зерновок основной культуры не убывает.

Выделение зерновок основной культуры из зерносмеси стендом циклического действия с укороченной длиной ячеистой поверхности, воспроизводящего реальный процесс по времени ( $t$ ) идентично реальному процессу, так как весь процесс можно представить уменьшением толщины (высоты) сегмента зерносмеси от начального значения ( $h$ ) до нулевого. То есть инвариантность продолжительности процесса выделения зерновок основной культуры из зерносмеси относительно длины ячеистой поверхности обеспечивается при заданных режимах работы и настроечных параметрах – чем выше подача ( $W_n$ ) зерносмеси в ячеистый цилиндр, тем выше высота ( $h$ ) сегмента и продолжительность процесса.

Однако расходная характеристика (производительность) не инвариантна от-

носителем длины ячеистой поверхности и нелинейно связана с ней, так как при  $h \rightarrow 0$  контактирующая с ячейками поверхность зернового слоя уменьшается, а условия захвата зерновок ячейками становятся менее вероятными. Учитывая, что производительность триерных блоков является определяющим показателем при проектировании зерноочистительных комплексов и организации их использования, необходим метод идентификации ее величины применительно к реальным условиям по результатам стендовых исследований.

Предпосылки для разработки этого метода имеются, и они заключаются в следующем: продолжительность реального процесса стендом воспроизводится; динамика уменьшения  $h$  от начального значения до 0 при заданных режимах работы и настроечных параметрах идентична в реальных и стендовых условиях; взаимосвязь скорости осевого смещения зернового сегмента с величиной подачи зерносмеси в ячеистый цилиндр установлена профессором Летошневым М.Н. и другими учеными [103, 96, 94, 91, 95, 97, 99, 151, 155].

С учетом изложенных предпосылок для разработки метода представляется логичной и обоснованной последовательность действий: по взаимосвязи средней скорости осевого смещения ( $v$ ) зернового сегмента в ячеистом цилиндре с величиной подачи ( $W_n$ ) зерносмеси в него определить время ( $t_w$ ), за которое сегмент смещается на величину ( $l_p$ ), равную рабочей длине ячеистого цилиндра в стенде; по шкале времени для каждой выявленной функции интенсивности выделения  $q_i = f_i(t)$  при заданных режимах работы и настроечных параметрах стенда определить число интервалов времени ( $t_w$ ) от начала до окончания процесса выделения зерновок основной культуры из зерносмеси; проинтегрировать функцию  $q_i = f_i(t)$  в пределах каждого интервала и определить среднее интервальное значение интенсивности выделения ( $q_i$ ); сложить полученные значения.

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

$$W_{\epsilon} = \sum_{i=1}^{i=n_k} \left[ \int_{t_i}^{t_{i+1}} q_i(t) dt / (t_{i+1} - t_i) \right], \quad (2.36)$$

$W_{\epsilon}$  – интенсивность (производительность) выделения зерновок из зерносмеси реальным (существующим) или проектируемым ячеистым цилиндром длиной  $L_{\text{ц}}$ ,  $m/ч$ ;

$i = 1, 2, 3 \dots n_k$ , шт;

$n_k$  – кратность соотношения реального или проектируемого ячеистого цилиндра и рабочей длины ( $l_p$ ) ячеистого цилиндра станда;

$q_i(t)$  – интенсивность выделения зерновок основной культуры из зерносмеси по времени  $t$  в  $i$ -ом интервале времени,  $m/ч$ ;

$(t_{i+1} - t)$  – интервал времени осевого смещения сегмента зерносмеси в ячеистом цилиндре станда при подаче  $W_n$ ,  $c$ .

Величина  $W_{\epsilon}$  связана с величиной подачи соотношением:

$$W_{\epsilon} = W_n - W_{\text{сх}}, \quad (2.37)$$

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

Величина  $l_p$  определяется по формуле:

$$l_p = l_{\text{цс}} - b_{\text{об}} - 3_{\text{т}} = 0,5 - 0,02 - 0,01 = 0,47m, \quad (2.38)$$

где  $l_{\text{цс}}$  – длина ячеистого цилиндра станда,  $m$ ;

$b_{\text{об}}$  – ширина обечайки, предотвращающей пристенный эффект,  $m$ ;

$3_{\text{т}}$  – торцевой зазор между вертикальной стенкой выводного лотка и глухой стенкой станда,  $m$ .

Для стандартного ячеистого цилиндра  $L_{\text{ц}} = 2,2 m$ , тогда величина  $n_k$  будет:

$$n_k = L_{\text{ц}} / l_o = 2,2 / 0,47 \approx 4,7. \quad (2.39)$$

Согласно исследованиям профессора Летошнева М.Н. скорость осевого смещения сегмента ( $v$ ) зерносмеси в диапазоне подач  $W_n = 1,3 \dots 5 m/ч$  при величине угла естественного откоса зерна  $\beta = 38 \dots 40^{\circ}$  изменяется в пределах  $0,0406 \dots 0,0821 m/с$ . Диапазон углов трения  $\beta = 38 \dots 40^{\circ}$  и верхняя граница диапазона скоростей осевого смещения зернового сегмента в ячеистом цилиндре, которые использует в анализе работы триеров профессор Летошнев М.Н., характерны

для повышенной влажности зерна – на уровне 40%. Учитывая свойства исследуемого нами зерна ( $\beta = 24,8^{\circ}$ ) диапазон скоростей углового смещения сегмента будет существенно ниже ( $v = 0,0325 \dots 0,050$  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. Взаимосвязь величин загрузки стенда ( $m_n$ ) и скорости вращения цилиндра ( $n$ ) со скоростью ( $v$ ) и временем перемещения сегмента ( $\Delta t$ ) на длине ячеистой поверхности  $l_p$  представлена в таблице 2.5,  $\Delta t = t_{i+1} - t_i$ .

Таблица 2.5 – Взаимосвязь  $v$  и  $\Delta t$  с  $m_n$  и  $n$

Скорость вращения цилиндра ( $n$ ), об/мин	Скорость ( $v$ ) и время ( $\Delta t$ ) перемещения сегмента, м/с и с	Величина загрузки стенда ( $m_n$ ), кг			
		7	9	11	13
30	$v$	0,0218	0,0257	0,0295	0,0335
	$\Delta t$	21,6	18,3	15,9	14,0
35	$v$	0,0254	0,0299	0,0344	0,039
	$\Delta t$	18,5	15,7	13,7	12,1
40	$v$	0,0289	0,0341	0,0392	0,0445
	$\Delta t$	16,3	13,8	12,0	10,6
45	$v$	0,0325	0,0383	0,0441	0,050
	$\Delta t$	14,5	12,3	10,66	9,4

Значения параметров, представленные в таблице 2.5, проверены по результатам выборочных экспериментальных исследований. Физическая модель процесса стендового воспроизведения динамики выделения зерновок основной культуры из зерносмеси адекватна реальному процессу. В стенде реализуется идентичный реальному процесс выноса зерновок из сегмента исходных размеров до нулевых. Размеры сегмента по ширине не имеют значения, им всегда соответствует контактирующая длина ячеистой поверхности с одинаковой плотностью размещения ячеек. Однако, проверочными могут быть только те реализации эксперимента, где выделенные зерновки полностью попадают в отводной лоток, а сход отсутствует. Этим требованиям соответствует реализация эксперимента при:  $m_n = 13$  кг;  $n = 45$  об/мин;  $\gamma_n^* = 30^{\circ}$ . Выделенные массы зерна контролировали с интервалом времени 3 с. Результаты этого эксперимента представлены в таблице 2.6.

Таблица 2.6 – Динамика выделения зерновок основной культуры из зерносмеси при  $m_n = 13 \text{ кг}$ ;  $n = 45 \text{ об/мин}$ ;  $\gamma_n = 30^\circ$

№ замеров с интервалом 3 с	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Выделенная масса по интервалам, кг	3,01	2,23	1,45	1,36	1,18	1,08	0,8	0,56	0,28	0,14	0,09	0,05	0,04	0,03

\*  $\gamma_n$  – угол подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка

Используя численный метод решения уравнения (2.36), принимая во внимание соотношение (2.39) и допуская  $\Delta t \approx 9 \text{ с}$ , выделяем 5 интервалов оценки слагаемых  $W_g$ : в первых 4-х по три замера; в последнем 2. В результате получим значения расходных характеристик по оценочным интервалам:  $0,76$ ;  $0,40$ ;  $0,18$ ;  $0,03$ ;  $0,008 \text{ кг/с}$ . Производя сложение согласно уравнению (2.36), получим  $W_g = 1,378 \text{ кг/с} = 4,96 \text{ т/ч}$ . Это достигается при использовании всей длины стандартного ячеистого цилиндра, полном отводе выделенных масс в лоток и высоком скоростном режиме работы ( $n = 45 \text{ об/мин}$ ), что соответствует номинальной производительности.

## 2.4 Анализ процесса выделения зерновок основной культуры из зерносмеси

### 2.4.1 Взаимосвязь степени заполнения ячей с режимами работы и настроечными параметрами триера

Степень заполнения ячей частицами разделяемых компонентов зерносмеси является важнейшим продуктивным показателем оценки динамики процесса. Он позволяет анализировать взаимосвязь расходных характеристик с режимами работы и настроечными параметрами триера, толщиной (высотой) зернового сегмента и углом его охвата. Большинство этих параметров изменяются по длине ячеистой поверхности – уменьшаются высота ( $h$ ) зернового сегмента и угол его охвата ( $\alpha$ ), увеличивается угловое расстояние между верхней границей циркулирующего слоя и верхней кромкой передней стенки выводного лотка, изменяются условия выброса ячеями захваченных частиц (параметры факела выброса) и вероятность их попадания в лоток.

Поэтому необходима интервальная оценка степени заполнения ячей по всей

длине цилиндра. Это позволит повысить детальность анализа динамики выделения частиц из зерносмеси и продуктивность решений, вырабатываемых на основе результатов исследований, выявить закономерности захвата частиц из контактирующего слоя и их инерционного выброса в выводной лоток на начальном участке ячеистого цилиндра, когда угловое расстояние между верхней границей циркулирующего слоя и верхней кромкой передней стенки выводного лотка минимально. Однако, без создания специального экспериментального оборудования решать эти задачи в прежние годы было невозможно.

Задача определения взаимосвязи величины подачи зерносмеси в ячеистый цилиндр с числом ячеек, одновременно задействованных для отвода зерновок, решалась профессором Летошневым М.Н. в общем виде – без достаточного объема объективных экспериментальных данных. При этом автор предполагал, что часть ячеек, находящихся в контакте с зерновым сегментом, не заполняется – «часть их остается пустыми, незаполненными».

Кроме того, автор справедливо предлагал учитывать степень заполнения каждой ячейки, которая зависит от многих факторов и может быть установлена только экспериментальным путем. Принимая в расчетах уточненную степень заполнения каждой ячейки, Летошнев М.Н. ссылается на «попытки найти закономерности, которым следует коэффициент использования ячеек», предпринятые Павловским Г.Т. Однако Павловский Г.Т., исследуя триеры, не мог получить объективных значений поправочных коэффициентов дифференцированно по каждому участку длины ячеистого цилиндра и усредненных – по всей длине.

В реальном технологическом процессе циркулирующая зерновая масса по длине ячеистого цилиндра изменяется в несколько раз. При этом меняются условия заполнения ячеек зерновками. Этот процесс сопровождается процессом «выедания» зерновок из ячеек контактирующим слоем зернового сегмента, а момент окончания выделения частиц из сегмента в экспериментах не совпадает (существенно) с моментом окончания разгрузки отводного лотка (они сдвинуты по времени).

В результате профессором Летошневым М.Н. для реализации подачи зер-

носмеси в ячеистый цилиндр  $W_n = 1000$  кг/ч при плотности размещения ячей на нем  $11430$  шт/м<sup>2</sup> и коэффициенте кинематического режима  $\kappa = 0,435$  (соответствует  $n=36$  об/мин при  $R = 0,3$  м) определена рабочая длина овсюжного ячеистого цилиндра, которая составила  $1,77$  м. Если принять во внимание, что плотность размещения ячей  $\varnothing 8,5$  мм на современном ячеистом цилиндре составляет  $6864$  шт/м<sup>2</sup> и его расходную характеристику при  $n=36$  об/мин, то для сопоставимых условий рабочая длина ячеистого цилиндра будет в 3 раза меньше, а усредненная степень заполнения ячей в 3 раза больше. Это свидетельствует об отсутствии объективных результатов исследований по процессу триерной очистки зерна.

При отсутствии знаний о степени заполнения ячей цилиндра академик Листопад Г.Е. [97], профессор Лурье А.Б. [99], профессор Соколов А.Я. [151] и другие предлагают оценивать производительность овсюжного цилиндра по удельной нагрузке на единицу площади ячеистой поверхности по формуле:

$$W = 2\pi \varepsilon q_0 r l, \quad (2.40)$$

где  $\varepsilon$  – опытный коэффициент, учитывающий вид обрабатываемой культуры (для пшеницы  $\varepsilon = 1$ );

$q_0$  – удельная нагрузка на единицу (для пшеницы  $q_0 = 0,16 - 0,18$  кг / с · м<sup>2</sup>);

$r, l$  – радиус и длина ячеистого цилиндра, м.

Из уравнения (2.40) следует, что для стандартного ячеистого цилиндра с  $r = 0,3$  м и  $l = 2,2$  м величина  $W$  составляет  $2,7$  т/ч. Это в  $1,85$  раза ниже его паспортной производительности. Кроме того, анализ структуры формулы (2.40) показывает, что производительность ( $W$ ) не зависит от скоростного режима работы триера, а фактически  $W$  в диапазоне  $n = 30...45$  об/мин изменяется в несколько раз.

Аналогичный подход к оценке производительности ячеистого цилиндра предлагает профессор Урханов Н.А. – по величине удельной производительности ( $W_{y\partial} = 550...650$  кг / ч · м<sup>2</sup>). Однако, если принять во внимание, что площадь ячеистой поверхности ( $S_{я}$ ) стандартного цилиндра равна  $4$  м<sup>2</sup>, то:

$$W = W_{y\partial} \cdot S_{я} = (550...650) \cdot 4 = 2200...2600 \text{ кг/ч} \quad (2.41)$$



Эта величина еще больше отличается от паспортного значения – в 1,92...2,27 раза.

Степень заполнения ячей зерновками основной культуры определяется по формуле:

$$n_{3ij} = m_{nij} \cdot 1000 / (n_{яj} \cdot m_{1000}), \quad (2.42)$$

где  $n_{3ij}$  - число зерновок, захваченных ячеей 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 ( $t_{ui}$ ) в  $i$ -ом

опыте, шт;

$m_{1000}$  - масса 1000 зерновок основной культуры, г.

Величина  $m_{nij}$  определяется по результатам стендового эксперимента. Масса 1000 зерновок ( $m_{1000}$ ) исследуемой основной культуры (пшеницы) составляет 52,6 г. Число задействованных ячеей в  $j$ -ом опыте за интервал времени замеров ( $t_{ui}$ ) определяется по формуле:

$$n_{яi} = \alpha_{n_j} n_{\Sigma} / 6,28, \quad (2.43)$$

где  $\alpha_{n_j}$  - угол поворота ячеистого цилиндра стенда за время ( $t_{ui}$ ) в  $j$ -ом опыте,

рад;

$n_{\Sigma}$  - число ячеей на ячеистом цилиндре стенда, шт,

6,28 – расчетный коэффициент.

$$\alpha_{n_i} = 2\pi n_j t_{u_j} / 60 = 0,1047 n_j t_{u_j} \quad (2.44)$$

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

$$n_{\Sigma} = n_{яp} \cdot n_p = 135 \times 45 = 6075 \text{ шт} \quad (2.45)$$

где  $n_{яp}$  - число ячеей в круговом ряду ячеистого цилиндра стенда, шт;

$n_p$  - число круговых рядов ячеей на задействованной длине ячеистого

цилиндра станда, шт.

С учетом уравнений (2.44) и (2.45) величина  $n_{я_j}$  будет определяться по формуле:

$$n_{я_j} = 0,1047 n_j t_{uj} \times 6075 / 6,28 = 101,3 n_j t_{uj}. \quad (2.46)$$

Подставляя значение  $n_{я_j}$  из уравнения (2.46) в уравнение (2.42) получим:

$$n_{3_{ij}} = m_{н_{ij}} \times 1000 / (101,3 n_j t_{uj} \times 52,6) = m_{н_{ij}} \times 0,1877 / n_j t_{uj}. \quad (2.47)$$

Величину  $(0,1877 / n_j t_{uj})$  назовем коэффициентом перевода ( $K_{пер}$ ) и произведем его расчет для принятой вариантности величин  $n_j$  и  $t_{uj}$  в эксперименте. Результаты расчетов коэффициента перевода ( $K_{пер}$ ) представлены в таблице 2.7.

Таблица 2.7 – Взаимосвязь величины коэффициента перевода ( $K_{пер}$ ) со скоростным режимом работы станда ( $n_j$ ) и интервалом времени замеров ( $t_{uj}$ ).

Скорость вращения цилиндра станда ( $n_i$ ) в $i$ -ом опыте, об/мин	Время интервалов замеров в $j$ -ом опыте, с						
	3	4	5	6	7	10	15
30	2,085	1,564	1,251	1,043	0,894	0,6257	0,4171
35	1,788	1,341	1,073	0,8938	0,7661	0,5363	0,3575
40	1,564	1,173	0,9385	0,7821	0,6704	0,4693	0,3128
45	1,390	1,043	0,8342	0,6952	0,5959	0,4171	0,2781

В таблице 2.7 из практических соображений величина ( $K_{пер}$ ) увеличена в 1000 раз, а в формуле (2.47) величина  $m_{н_{ij}}$  принята для вычисления  $n_{3_{ij}}$  в граммах. Поэтому для расчета  $n_{3_{ij}}$  экспериментальные значения  $m_{н_{ij}}$  нужно переводить в килограммы и умножать на табличные значения  $K_{пер}$ :

$$n_{3_{ij}} = m_{н_{ij}} \cdot K_{пер. табл}. \quad (2.48)$$

Пример: в третьем интервале времени замеров 2-го опыта выделена масса зерновок  $m_{н_{32}} = 1,11$  кг при  $n_2 = 35$  об/мин за  $t_{u2} = 5$ с. Этим условиям эксперимента соответствует табличное значение коэффициента перевода  $K_{пер. табл} = 1,073$ .

Тогда:

$$n_{3_{32}} = 1,11 \times 1,073 = 1,19 \text{ зерновки на } 1 \text{ ячею.}$$

При анализе результатов исследований степени заполнения ячеек зерновками основной культуры 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.

#### 2.4.2 Определение эквивалентной расходной характеристики триерного цилиндра в произвольном его сечении

Стендовые исследования позволяют воспроизводить объективную расходную характеристику процесса выделения частиц из зерносмеси по времени. Взаимосвязь расходной характеристики по времени ( $W_в$ ) со скоростью осевого смещения зернового сегмента в ячеистом цилиндре обеспечивает ее привязку к длине цилиндра. Эти взаимосвязи в совокупности позволяют идентифицировать производительность стандартного или проектируемого триера в последовательности, представленной в разделе 2.3.4.

Однако, полнота анализа процесса, например, по степени заполнения ячеек требует знаний об эквивалентной расходной характеристике и параметров сегмента ячеистого цилиндра в произвольном его сечении. Эти знания позволяют учитывать: возрастающее угловое расстояние между верхней границей циркулирующего слоя и верхней кромкой передней стенки вывозного лотка; убывающее число циркулирующих слоев в зерновом сегменте. Указанные факторы оказывают существенное влияние на условия захвата частиц ячейками и параметры факела их выброса из ячеек.

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

$$m_{H_{io}} = m_H - \left( \sum_1^{i-1} m_{H_{(i-1)}} + m_i / 2 \right), \quad (2.49)$$

где  $m_{n_{i0}}$  - остаточная масса зерносмеси, приходящаяся на середину  $i$ -го интервала времени измерений, кг;

$m_{n_{(i-1)}}$  - 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:

$$S_i = m_{n_{i0}} / l_{uc} \rho. \quad (2.50)$$

Расчетному значению площади сечения ( $S_i$ ) зернового сегмента в  $i$ -ом интервале соответствует эквивалентная расходная характеристика реального ячеистого цилиндра, где происходит осевое смещение зернового сегмента. Она определяется по формуле:

$$W_{э_i} = S_i v_i \rho = m_{n_{i0}} v_i / l_{uc}, \quad (2.51)$$

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

Далее определяют величину  $v_i$  и рассчитывают величину  $W_{э_i}$ .

Параметры сегмента (угол охвата и число циркулирующих слоев) определяют по взаимосвязи  $\alpha = f(m_{n_{i0}}, n)$  с учетом коэффициента динамического разуплотнения зернового сегмента ( $K_p = 1,22$ ). По установленным значениям  $W_{э_i}$  и параметрам зернового сегмента анализируют степень заполнения ячеек в произвольном сечении ячеистого цилиндра.

### 2.4.3 Оценка степени использования длины ячеистой поверхности овсюжного триера по стендовым исследованиям

Исследуя процесс стендового выделения зерновок основной культуры из зерносмеси, мы в широких диапазонах изменяли основные факторы: скоростной режим работы ( $n$ ); массу навески ( $m_n$ ); угол подъема передней кромки выводного лотка ( $\gamma_n$ ). При этом процесс выделения зерновок с точки зрения оценки расход-

ных характеристик реализуется многовариантно: интегральная производительность (идентифицированная) выделения зерновок из сегмента зерносмеси равна величине  $W_n$  и реализуется на длине стандартного (или проектируемого) ячеистого цилиндра при полном ее использовании и полном охвате факела зерновок кромками выводного лотка; интегральная производительность выведения зерновок выравнивается с  $W_n$  за промежуток времени  $< 4,7\Delta t$ ; продолжительность выделения зерновок в опыте превышает величину  $4,7\Delta t$  из-за низкого скоростного режима, завышенного  $\gamma_n$  и т.д.

Этим вариантам стендовой реализации расходных характеристик соответствуют варианты полноты использования длины ячеистой поверхности стандартного или проектируемого триера: длина достаточна, используется полностью и схода нет; длина ячеистой поверхности используется частично; длина недостаточна, сход зерна имеется.

Анализ указанных вариантов по стендовым реализациям расходных характеристик при различных режимах работы и настроечных параметрах необходим для оценки технологического процесса по качественным показателям (потери, остаточная засоренность) и его управления.

С этой целью необходимо рассматривать три условия применительно к стандартному триеру:

$$\begin{cases} W_{\text{в}} = W_n, W_{\text{сх}} = 0; t_o = 4,7\Delta t, l_{\text{св}} = 0; \\ W_{\text{в}} > W_n, t_o < 4,7\Delta t, l_{\text{св}} > 0; W_{\text{сх}} = 0; \\ W_{\text{в}} < W_n, t_o > 4,7\Delta t, l_{\text{св}} = 0; W_{\text{сх}} > 0, \end{cases} \quad (2.52)$$

где  $t_o$  – продолжительность стендового опыта, с;

$l_{\text{св}}$  – длина свободной ячеистой поверхности, м.

Величина эквивалентной подачи ( $W_n$ ) определяется по формуле:

$$W_n = Sv\rho, \quad (2.53)$$

где  $S$  – площадь исходного сегмента при загрузке стенда на величину  $m_n$ , м<sup>2</sup>;

$v$  – скорость осевого смещения сегмента, м/с;

$\rho$  – насыпная плотность зерносмеси, кг/м<sup>3</sup>.

$$S = m_n / l_{\text{св}} \rho. \quad (2.54)$$

Тогда формула (2.53) примет вид:

$$W_n = m_n v / l_{yc}, \quad (2.55)$$

где  $l_{yc}$  – рабочая длина ячеистого цилиндра стенда, м.

Скорость осевого смещения ( $v$ ) в зависимости от  $n$  приведена в таблице 2.5.

Расчетные значения  $W_n$  для различных  $m_n$  и  $n$  приведены в таблице 2.8.

Таблица 2.8 – Взаимосвязь  $W_n$  с  $m_n$  и  $n$  при  $l_{yc} = 0,47$  м.

Скорость вращения цилиндра стенда ( $n$ ), об/мин	Величина загрузки стенда ( $m_n$ ), кг			
	7	9	11	13
30	0,325/1,17	0,492/1,77	0,69/2,49	0,926/3,34
35	0,378/1,36	0,572/2,06	0,805/2,9	1,08/3,88
40	0,43/1,55	0,653/2,35	0,917/3,3	1,23/4,43
45	0,484/1,74	0,733/2,64	1,03/3,72	1,38/4,98

В таблице 2.8 эквивалентная подача зерносмеси в ячеистый цилиндр стенда представлена в разных размерностях: в числителе – кг/с; в знаменателе – т/ч.

Первое условие из соотношений (2.52) для анализа не представляет интереса – потери зерновок основной культуры сходом отсутствуют, свободной длины ячеистой поверхности ( $l_{св}$ ) нет, что исключает риски захвата ячеями длинных частиц и их подачи в лоток с чистым зерном.

При реализации процесса по 2-му условию выделение зерновок основной культуры завершается раньше на величину времени ( $4,7\Delta t - t_o$ ), а длина свободной ячеистой поверхности определяется по формуле:

$$l_{св} = v(4,7\Delta t - t_o). \quad (2.56)$$

Величины  $v$  и  $\Delta t$  выбираются для соответствующих режимов работы стенда, а значения  $t_o$  – из графических результатов исследований. Наличие свободного участка ячеистого цилиндра длиной  $l_{св}$  стандартного или проектируемого триерного блока создает риски увеличения остаточной засоренности зерносмеси. На этом участке длинные примесные частицы захватываются ячеями и подаются в выводной лоток с чистым зерном. Поэтому оценка процесса по 2-му условию его реализации весьма значима.

При реализации процесса выделения зерновок основной культуры из зерносмеси по 3-му условию соотношений (2.52) неизбежны потери (II) полноценно-

го зерна сходом. Их величину можно оценить соотношением:

$$\Pi = \left[ \left( \int_0^{t_0} q(t) dt - \int_0^{4,7\Delta t} q(t) dt \right) / \int_0^{t_0} q(t) dt \right] \times 100\%. \quad (2.57)$$

При завершённой реализации процесса, когда суммарная выделенная масса зерна  $m_{\Sigma} \approx m_n - m_{np}$  (часть примесей попадает в зерно), показатель потерь зерна сходом можно рассчитать с использованием следующих соотношений:

$$\left\{ \begin{array}{l} \Pi = \left[ \left( \sum_1^{K_{\Sigma}} m_i - \sum_1^{K_1} m_i \right) / \sum_1^{K_{\Sigma}} m_i \right] \times 100\%; \\ \kappa_1 = 4,7\Delta t / t_3; \\ \kappa_{\Sigma} = t_0 / t_3 \end{array} \right. \quad (2.58)$$

где  $\kappa_1$  – число выделенных навесок за время  $4,7\Delta t$ , шт;

$t_3$  – интервал времени замеров выделенных навесок, с;

$\kappa_{\Sigma}$  – число выделенных навесок за время  $t_0$ , шт;

$m_{np}$  – масса примеси в  $m_n$ , кг.

Показатель потерь полноценного зерна в реальных условиях эксплуатации достигает 20...25%. Они могут быть сокращены за счет оптимизации скоростного режима работы, подачи зерносмеси в ячеистый цилиндр и угла подъема передней кромки выводного лотка. В этом заключается важнейший резерв повышения эффективности использования зерноочистительных агрегатов.

#### 2.4.4 Оценка технологической надежности процесса выделения зерна основной культуры из зерносмеси

Потребность сбалансирования процесса триерной очистки зерносмесей продиктована очевидными противоречиями его протекания в последовательных звеньях – в овсюжном, а затем в кукольном ячеистых цилиндрах [99, 192]. В овсюжном цилиндре зерновки основной культуры (выделяемый компонент) находятся в непосредственном контакте с ячеями, а в кукольном цилиндре выделяемые частицы (короткие примеси) до попадания в ячеи должны, осаждаясь, пре-

одолевать сопротивление циркулирующего слоя зерносмеси. Причем легкоотделяемые короткие примеси имеют положительный вектор осаждения, а трудноотделяемые «всплывают» в циркулирующих слоях зернового сегмента. Поэтому процесс их выделения замедляется.

В этом случае обеспечение качества процесса триерной очистки зерносмеси требует уменьшения числа циркулирующих слоев в сегменте за счет снижения величины подачи зерносмеси в триерный блок. Однако при снижении подачи зерносмеси в триерный блок в овсюжном цилиндре при выделении зерновок основной культуры используется только часть длины ячеистой поверхности, а длинные примеси до схода попадают на ее свободную часть. Длинные частицы вероятно захватываются свободными ячейками и направляются в выводной лоток, засоряя очищенное зерно.

Разработанные нами решения [189, 130, 131, 132] направлены на преодоление этого противоречия. Их суть заключается в создании средств опережения пониженной подачи зерносмеси в овсюжный цилиндр. Эти средства блокируют начальную часть рабочей поверхности овсюжного цилиндра и обеспечивают совмещение момента завершения выделения зерновок основной культуры из зерносмеси с моментом выведения из него сходом длинных примесей.

В зарубежной практике [288] это противоречие решается на этапе проектирования триерных блоков, в состав которых включают один овсюжный и два (или три) кукольных при вариантном их пространственном размещении. Однако, эти решения не обладают универсальностью относительно состава зерносмесей и часто приводят к снижению эксплуатационных показателей. При наличии в зерносмеси преимущественно легковыделяемых коротких примесей снижается производительность триерных блоков.

В конструкцию существующих триерных блоков заложен способ управления расходной характеристикой технологического процесса. Он осуществляется путем отсечения части факела выделенных частиц за счет увеличения угла ( $\gamma_n$ ) подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка в овсюжном цилиндре или уменьшения зазора между ней (кромкой) и внутренней поверхностью цилин-



дра. Однако в заводской инструкции по эксплуатации не даются конкретные указания по реализации этой возможности.

В научной литературе практически отсутствуют результаты исследований по динамике выделения зерновок основной культуры из зерносмеси. Профессор Лурье А.Б. приводит в работе [99] аналитические и экспериментальные характеристики процесса триерной очистки зерна, таблица 2.9.

Таблица 2.9 – Характеристики процессов в триерах

Процесс	Математическое ожидание ( $m$ ), кг/ч	Среднеквадратическое отклонение ( $\sigma$ ), кг/ч	Неравномерность ( $\nu$ ), %
Подача – $Q(t)$	853	70	6,6 (8,2)*
Выход чистого зерна – $P(t)$	609	36	5,8 (5,9)*
Отходы $П(t)$	39	11	28

\* В скобках указаны уточненные нами расчеты

Приведенные в таблице 2.9 статистические характеристики процесса триерной очистки зерна не увязаны с режимом работы ( $n$ ) и углом подъема ( $\gamma_n$ ) верхней кромки передней стенки выводного лотка. Это свидетельствует о том, что полнота отвода факела выброшенных ячейми частиц или степень его отсечения передней стенкой выводного лотка автором не контролировались. То есть – задача управления расходными характеристиками триера путем его настройки не ставилась.

Кроме того средняя величина подачи  $Q(t)$  составляет 17% от номинального значения стандартного ячеистого цилиндра, что меньше нижней границы реального диапазона управления расходной характеристикой. Полученные значения  $\sigma_{II}$  и  $\nu$  достаточно велики для указанной подачи. Не ясна длина задействованной в процессе ячеистой поверхности.

Для общепринятого уровня доверительного интервала исследуемой закономерности при нормальном законе распределения случайной величины, равного  $\pm 2\zeta$ , потери зерносмеси в опытах профессора Лурье А.Б. могут достигать 140 кг/ч (16,4%). Это неприемлемый уровень потерь.

Поэтому для оценки технологической надежности процесса триерной

очистки зерносмесей путем изменения настроечных параметров необходимо выявить реальный уровень стабильности расходных характеристик процесса:

$$\begin{cases} W_g = f_1(W_n, n, \gamma_n); \\ W_g = f_2(W_n, n, Z_o). \end{cases} \quad (2.59)$$

Учитывая идентичность условий повторных опытов, расходные характеристики можно заменить выделенными массами частиц при равных интервалах времени замеров ( $t_w$ ) за равное число интервалов ( $n_w$ ). Тогда суммарная масса выделенных частиц в  $j$ -ой повторности будет:

$$m_{\Sigma(=)j} = \sum_2^{n_w} m_{ij}, \quad (2.60)$$

где  $m_{\Sigma(=)j}$  - суммарная масса выделенных частиц за равное число интервалов ( $n_w$ ), начиная со второго (без 1-го интервала времени стабилизации процесса) в  $j$ -ом опыте, кг;

$m_{ij}$  - масса выделенных частиц в  $i$ -ом интервале  $j$ -го опыта, кг.

Среднее значение выделенных суммарных масс частиц за  $n_n$  повторностей определяется по формуле:

$$\bar{m}_{\Sigma(=)} = \sum_1^{j=n_n} m_{\Sigma(=)j} / n_n. \quad (2.61)$$

Статистические характеристики процесса триерной очистки зерносмесей определяются по формулам:

$$\begin{cases} \sigma = \sqrt{(\bar{m}_{\Sigma(=)} - m_{\Sigma(=)j})^2 / n_n} \\ \nu = (\sigma / \bar{m}_{\Sigma(=)}) \cdot 100\%. \end{cases} \quad (2.62)$$

В формуле (2.62) при ограниченном числе повторностей  $\Delta m_{\Sigma(=)j} \neq 0$  (смещенный числовой ряд). Решение о возможности управления процессом с целью сбалансирования его качества по последовательным технологическим звеньям путем изменения настроечных параметров ( $\gamma_n, Z_o$ ) принимается из условий:  $\sigma < [\sigma]$ ,  $\nu < [\nu]$ .

## 2.5 Анализ процесса выделения коротких примесей из зерносмесей

### 2.5.1 Динамика выделения примесей кукольным цилиндром

В анализе использованы теоретические и эмпирические зависимости М.Л. Летошнева и Д.Н. Мироненко [103, 96].

Число слоев зерна внутри триерного цилиндра определяли по формуле:

$$n = q / \gamma \cdot b \cdot l \cdot v_x, \quad (2.63)$$

где  $q$  - секундная подача зерносмеси в триерный цилиндр, кг/с;

$\gamma$  - насыпная плотность зерносмеси ( $\gamma = 750 \text{ кг/м}^3$ ), кг/м<sup>3</sup>;

$b$  - средняя толщина зерновок основной культуры (для пшеницы  $b = 0,003 \text{ м}$ ), м;

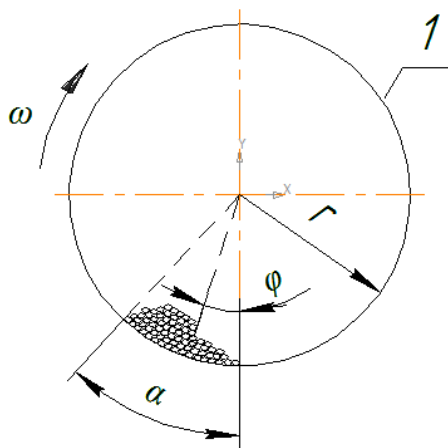
$l$  - длина дуги триерного цилиндра, занимаемой первым слоем зерновок, м;

$v_x$  - скорость осевого перемещения сегмента вороха, м/с.

Величину  $l$  определяли из уравнений (обозначения по рисунку 2.11):

$$l = \alpha \cdot r \cdot \pi / 180; \quad (2.64)$$

$$\alpha = \varphi + \arcsin\left(\frac{\omega^2 \cdot r}{g} \cos \varphi\right)$$



1 – триерный цилиндр;  $\omega$  – частота вращения триерного цилиндра, рад/с;  $\alpha$  – угол подъема зерносмеси, рад;  $\varphi$  – угловое расстояние до неподвижного ядра, рад;  $r$  – радиус триерного цилиндра

Рисунок 2.11 – Расчетная схема триерного цилиндра

Для  $\varphi = 30^\circ$ ,  $r = 0,3\text{ м}$ ,  $g = 9,8\text{ м/с}^2$  и  $\omega = 4\text{ рад/с}$  величина дуги будет:

$$\alpha = 30 + \arcsin\left(\frac{16 \cdot 0,3}{9,8} \cdot 0,85\right) \approx 55^\circ.$$

Тогда с учетом уравнения (2.64) величина дуги будет:

$$l = 55 \cdot 0,3 \cdot 3,14/180 = 0,288\text{ м}.$$

Величины дуги ( $l$ ) для диапазона углов  $\varphi = 30^\circ \dots 90^\circ$  представлены в таблице 2.10.

Таблица 2.10 – Взаимосвязь длины дуги ( $l$ ) с углом ( $\varphi$ )

Величина угла ( $\varphi$ ), град	30	35	40	45	50	60	80	90
Величина угла ( $\alpha$ ), град	55	59	62	65	68	74	85	90
Величина дуги ( $l$ ), м	0,288	0,309	0,324	0,34	0,356	0,387	0,444	0,471

Увеличение  $\varphi$  и  $\alpha$  при прочих равных условиях позволяет сократить длину кукольного цилиндра. Другая возможность (более продуктивная) увеличение дуги ( $l$ ) обеспечивается с ростом радиуса ( $r$ ) триерного цилиндра при сохранении кинематического режима ( $\kappa = \omega^2 \cdot r/g = \text{const}$ ).

Время перемещения зерновок по дуге длиной ( $l$ ) определяется по формуле:

$$t = \alpha \cdot \pi / 180 \cdot \Omega, \quad (2.65)$$

где  $\Omega$  - угловая скорость перемещения зерновок по поверхности триерного цилиндра  $\Omega = (0,34 \dots 0,51)\omega$ , рад/с [96].

Результаты расчетов величин  $t$  при вариантных значениях  $\alpha$  и  $\Omega$  представлены в таблице 2.11.

Таблица 2.11 – Зависимость времени  $t$  от  $\alpha$  и  $\Omega$

Скорость перемещения зерновок, рад/с	Время перемещения зерновок ( $t$ ) по дуге длиной ( $l$ ), с						
	$\alpha = 55^\circ$	$\alpha = 59^\circ$	$\alpha = 62^\circ$	$\alpha = 65^\circ$	$\alpha = 68^\circ$	$\alpha = 80^\circ$	$\alpha = 90^\circ$
$\Omega = 1,36$	0,705	0,757	0,80	0,836	0,872	1,026	1,154
$\Omega = 1,6$	0,6	0,643	0,676	0,74	0,741	0,872	0,981
$\Omega = 1,8$	0,533	0,572	0,602	0,631	0,66	0,776	0,873
$\Omega = 2,04$	0,47	0,505	0,53	0,556	0,565	0,684	0,77

Время  $t$  линейно связано с величинами  $\Omega$  и  $\alpha$ . С ростом угловых скоро-

стей перемещения зерновок по дуге длиной ( $l$ ) время  $t$  снижается на 33% при  $\alpha = 55...68^\circ$ . С ростом  $\alpha$  в том же диапазоне время  $t$  возрастает на 24%.

Скорость смещения осевого сегмента зерносмеси определяли по формуле М.Н. Летошнева [96]:

$$v_x = \frac{h_r \cdot \Omega}{\operatorname{tg} \beta} \operatorname{Sin} \sqrt{1 - \operatorname{tg}^2 \beta}, \quad (2.66)$$

где  $\beta = 38...40^\circ$  - динамический угол трения зерна в поперечном сечении триерного цилиндра, град;

$h_r$  - толщина слоя зерна в сегменте, отсчитываемая от поверхности цилиндра до нижней границы неподвижного ядра, м.

$$h_r = \sqrt[5]{\frac{0,125}{\Omega^2 \cdot r} \left( \frac{q \cdot \operatorname{tg} \beta}{\gamma \cdot \operatorname{Sin} \sqrt{1 - \operatorname{tg}^2 \beta}} \right)^2} \quad (2.67)$$

Для принятых значений  $\gamma = 750 \text{ кг/м}^3$ ,  $\beta = 40^\circ$ ,  $\omega = \text{рад/с}$  различных скоростей зерновок  $\Omega = (0,34...0,51) \cdot \omega \text{ рад/с}$  и  $q = 0,5...1,0 \text{ кг/с}$  результаты расчета сведены в таблицу 2.12.

Таблица 2.12 – Толщина слоя зерна в сегменте  $h_r = f_1(\Omega, q)$

Подача, кг/с	Толщина слоя, м			
	$\Omega = 1,36 \text{ рад/с}$	$\Omega = 1,6 \text{ рад/с}$	$\Omega = 1,8 \text{ рад/с}$	$\Omega = 2,04 \text{ рад/с}$
$q = 0,5 \text{ кг/с}$	0,0483	0,0453	0,0432	0,0410
$q = 0,75 \text{ кг/с}$	0,0568	0,0532	0,0508	0,0483
$q = 1,0 \text{ кг/с}$	0,0637	0,0597	0,0570	0,0542

Из таблицы 2.12 видно, что при увеличении подачи ( $q$ ) от 1,8 т/ч до 3,6 т/ч (в 2 раза) во всем диапазоне  $\Omega$  толщина слоя увеличивается на 32%. При одинаковых подачах ( $q$ ) во всем диапазоне роста угловых скоростей зерна в контактном слое толщина сегмента снижается на 15%.

Для заданных выше условий и рассчитанных значений  $h_r$  по формуле (2.66) определяли скорость осевого смещения сегмента зерносмеси, таблица 2.13.

Из таблицы 2.13 видно, что с увеличением подачи в диапазоне  $q = 0,5...1,0 \text{ кг/с}$  для значений угловых скоростей контактирующих слоев

$\Omega = 1,36 \dots 2,04$  рад/с скорость осевого смещения сегмента зерносмеси увеличивается на 32%.

Таблица 2.13 – Скорость осевого смещения сегмента зерносмеси -  $v_x = f_2(\Omega, q)$

Подача, кг/с	Скорость осевого смещения, м/с			
	$\Omega = 1,36 \text{ рад/с}$	$\Omega = 1,6 \text{ рад/с}$	$\Omega = 1,8 \text{ рад/с}$	$\Omega = 2,04 \text{ рад/с}$
$q = 0,5 \text{ кг/с}$	0,0406	0,0447	0,0480	0,0516
$q = 0,75 \text{ кг/с}$	0,0477	0,0527	0,0564	0,0608
$q = 1,0 \text{ кг/с}$	0,0535	0,0591	0,0633	0,0682

То есть взаимосвязь  $v_x = f_2(\Omega, q)$  аналогична взаимосвязи  $h_r = f_1(\Omega, q)$ . Однако, при одинаковых подачах ( $q = \text{const}$ ) величина  $v_x$  изменяется на 27%, так как она пропорциональна произведению  $h_r \cdot \Omega$ , но  $\Omega$  возрастает интенсивнее, что снижает  $h_r$  с ростом  $\Omega$ .

Далее по величине времени ( $t$ ) перемещения зерновок на длину дуги ( $l$ ) и значениям осевой скорости  $v_x$  определяли величину осевого смещения ( $x$ ). При этом приняли  $\alpha = 90^\circ$  по двум причинам. Эта величина подтверждена нами экспериментально для реального диапазона  $q = 0,5 \dots 1,0 \text{ кг/с}$ . Во – вторых, эта величина является лимитирующей рабочую длину ячеистой поверхности, когда кратность выделения примесных частиц из контактирующих слоев наименьшая, а смещение слоев сегмента зерносмеси в осевом направлении – наибольшее. При  $\alpha = 90^\circ$  величина  $\varphi \approx \alpha$  - неподвижное ядро отсутствует, а смешивание слоев сохраняется.

Величину осевого смещения (таблица 2.14) сегмента зерносмеси при однократном выделении примеси из контактирующего слоя определяем по формуле:

$$x = v_x \cdot t. \quad (2.68)$$

Таблица 2.14 – Величина осевого смещения сегмента зерносмеси -  $x = f_3(\Omega, q)$  при  $\alpha = 90^\circ$

Подача, кг/с	Величина осевого смещения, м			
	$\Omega = 1,36 \text{ рад/с}$	$\Omega = 1,6 \text{ рад/с}$	$\Omega = 1,8 \text{ рад/с}$	$\Omega = 2,04 \text{ рад/с}$
$q = 0,5 \text{ кг/с}$	0,0469	0,0439	0,0419	0,0397
$q = 0,75 \text{ кг/с}$	0,0550	0,0517	0,0491	0,0468
$q = 1,0 \text{ кг/с}$	0,0617	0,0580	0,0553	0,0525

Из таблицы 2.14 видно, что величина осевого смещения сегмента зерносмеси возрастает с увеличением подачи ( $q$ ) и снижением угловой скорости ( $\Omega$ ) контактирующего слоя. Поэтому в дальнейшем анализе динамики выделения примесного компонента необходимо использовать величину  $x = 0,0617\text{ м}$ . При этом значении  $x$  кратность выделения примеси на 1 погонном метре ячеистой поверхности будет  $\kappa_B = 1/0,0617 \approx 16$  раз с убывающей концентрацией примеси в зерносмеси. Во всех остальных случаях кратность выделения примеси будет возрастать, что снижает требования (необоснованно) к длине рабочей поверхности ячеистого цилиндра при заданной исходной засоренности зерносмеси и сохранении требований к остаточной.

Для оценки динамики убывания концентрации примесного компонента в сегменте по длине ячеистой поверхности необходимо определить число слоев в нем. При этом целесообразно использовать два варианта расчета, сравнение результатов которых позволит обеспечить сопоставимость оценок. В первом варианте необходимо использовать соотношение  $h_r/b$ , а во втором по уравнению (2.63) расчета числа слоев.

$$n = h_r/b, \quad (2.69)$$

где  $b$  – средняя толщина частиц (зерновок), м.

По первому варианту применительно к зерновкам пшеницы с величиной  $b = (b_{III} + b_T)/2$  будем иметь (при  $q = 1,0\text{ кг/с}$  и  $\Omega = 1,36\text{ рад/с}$ ,  $h_r = 0,0637\text{ м}$ ):

$$n' = 2h_r/(b_{III} + b_T) = 2 \cdot 0,0637 / (0,00318 + 0,00296) = 20,7\text{ шт}. \quad (2.70)$$

По второму варианту для тех же критических условий выделения примеси из рассмотренных выше:

$$n'' = 1,0/750 \cdot 0,00307 \cdot 0,471 \cdot 0,0535 = 17,2\text{ шт}.$$

Сходимость результатов расчета числа слоев ( $n$ ) по двум вариантам следует считать приемлемой. Однако в дальнейших этапах оценки динамики выделения примеси нужно использовать верхнюю границу диапазона  $n = 17,2 \dots 20,7$ , так как содержание примесного компонента в сегменте будет меньшим (более критическая ситуация для анализа) при равной исходной засоренности. Целочисленное

число слоев принимать нет необходимости.

Дополнительным основанием для выбора  $n = 20,7$  является то, что авторы [103, 96] включили в формулу (2.63) величину  $\gamma = 750 \text{ кг/м}^3$ , характерную для состояния покоя зерносмеси. В динамическом процессе величина насыпной плотности будет меньше, а слоев больше.

Определим число частиц примеси в сегменте при различной исходной засоренности для наиболее критичных условий их выделения из зерносмеси.

На первом этапе определяли площадь сегмента ( $S_c$ ), эквивалентную одному циклу осевого смещения (одному циклу выделения примесного компонента из контактирующего слоя):

$$S_c = x \cdot l = 0,0617 \cdot 0,471 = 0,02906 \text{ м}^2 . \quad (2.71)$$

Объем одного слоя равен:

$$V_c = S_c \cdot b = 0,02906 \cdot 0,00307 = 8,922 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 . \quad (2.72)$$

Число зерновок в слое определяли с учетом однослойного размещения зерновок пшеницы на площади в  $1 \text{ м}^2$  экспериментальным путем:

$$n_{зпш} = 44840 \text{ шт} / \text{м}^2 .$$

Поэтому число зерновок основной культуры в контактирующем слое сегмента будет:

$$n_{сл} = S_c \cdot n_{зпш} = 0,02906 \cdot 44840 \approx 1303 \text{ шт} . \quad (2.73)$$

Для расчета массы слоя основной культуры необходимо использовать показатель массы тысячи зерновок вместо показателя  $\gamma$ , так как объемное и плоскостное размещение частиц отличаются друг от друга:

$$m_{сл} = n_{сл} \cdot m_{1000} / 1000 = 1303 \cdot 40 / 1000 = 52,12 \text{ г} . \quad (2.74)$$

По величинам  $m_{сл}$  и  $V_c$  возможно определить реальную плотность зерносмеси в сегменте:

$$\gamma' = m_{сл} / V_c = 52,12 \cdot 10^{-3} / 8,922 \cdot 10^{-5} = 584 \text{ кг} / \text{м}^3 .$$

Полученное значение  $\gamma'$  объективно отражает «однослойную насыпную плотность» зерносмеси. Она ниже обычной насыпной (многослойной) плотности,



когда в статическом состоянии вышележащий слой частично проникает в пространство нижележащего.

Величина  $\gamma'$  на 22% ниже насыпной плотности пшеницы –  $\gamma = 750 \text{ кг/м}^3$ :

$$\delta = (\gamma - \gamma') / \gamma \cdot 100\% = 22\% .$$

Данные, полученные профессором М.Н. Летошневым, существенно отличаются от нашей оценки –  $\delta = 27,4...31,2\%$ . Результаты М.Н. Летошнева получены на основе расчетов с недостаточно обоснованными допущениями. Для расчетов принят профиль сегмента, наблюдаемый в триере длиной 0,15 м и радиусом 0,204 м через прозрачные стенки. В этом эксперименте пристенные эффекты увеличивают разницу ( $\gamma - \gamma'$ ). Данные ЧИМЭСХ, на которые ссылается М.Н. Летошнев, еще выше -  $\delta = 45...30\%$ . Они также получены на основе интерпретации геометрии сечения сегмента в лабораторных условиях.

Величина  $\delta$  чрезвычайно важна для анализа динамики выделения примесных частиц. От нее зависит толщина сегмента и число слоев, а следовательно, - расчетное значение примесных частиц в слое и число циклов их выделения – рабочая длина ячеистой поверхности.

Расчетные показатели контактирующего слоя пшеницы с примесью (просом) для различных уровней исходной засоренности представлены в таблице 2.15.

Таблица 2.15 – Показатели контактирующего слоя зерносмеси и сегмента

Показатели слоя и сегмента зерносмеси	Исходная засоренность ( $Z_u$ ), %				
	3	5	7	9	11
Масса основной культуры, г	50,56	49,5	48,47	47,43	46,39
Масса примеси, г	1,56	2,62	3,65	4,69	5,73
Число частиц примеси в слое, шт	223	374	521	670	819
Число зерновок основной культуры в слое, шт	1264	1238	1212	1186	1160
Число частиц примеси в сегменте ( $P$ ), шт	4616	7742	10785	13869	16953
Число зерновок основной культуры в сегменте, шт	26165	25627	25088	24545	24007

Авторы работ [103, 96, 94, 91, 95] допускают равномерное распределение частиц примеси в сегменте в исходном состоянии (до первого цикла выделения) и

после каждого цикла – перемещения частиц по дуге и осевого смещения на величину  $x$ .

При этом (см. таблицу 2.15) для первого цикла выделения справедливо [103, 96, 94, 91, 95]:

$$n_{\text{чн1}} = P/n, \quad (2.75)$$

где  $n_{\text{чн1}}$  - число частиц примеси, выделенных в первом цикле, шт;

$P$  - исходное число частиц в сегменте размером ( $l \times h_r \times x$ ) шт;

$n$  - число слоев в сегменте, шт.

Число слоев в сегменте в процессе выделения примесей не изменяется. Поэтому во втором цикле выделится:

$$n_{\text{чн2}} = (P - n_{\text{чн1}})/n = \frac{P}{n} - \frac{P}{n^2}. \quad (2.76)$$

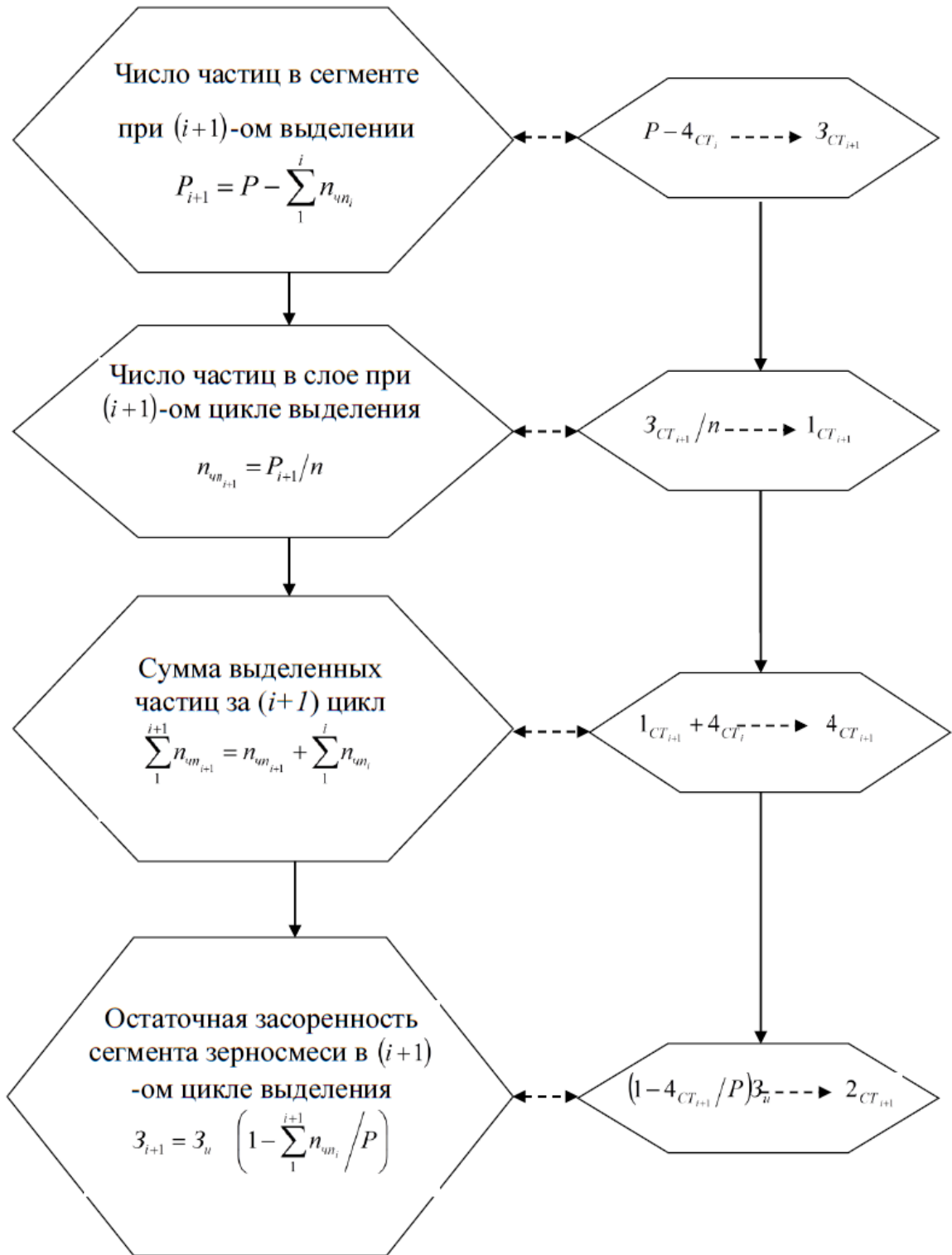
За время третьего цикла выделится [103, 96]:

$$n_{\text{чн3}} = \frac{P - (n_{\text{чн1}} - n_{\text{чн2}})}{n} = \frac{P}{n} - 2\frac{P}{n^2} + \frac{P}{n^3}. \quad (2.77)$$

То есть для оценки выделенных частиц в каждом последующем цикле необходимо из исходного числа ( $P$ ) вычесть сумму выделенных частиц во всех предыдущих циклах, а затем разницу разделить на число слоев ( $n$ ). Результаты оценки динамики выделения частиц примеси представлены в таблице 2.16. При этом засоренность сегмента после  $i$ -го цикла выделения примеси определяли по формуле:

$$Z_i = Z_H \left( 1 - \sum_1^i n_{\text{чн}i}/P \right). \quad (2.78)$$

Алгоритмы расчета остаточной засоренности зерносмеси по длине ячеистой поверхности при интервальной оценке по циклам выделения примесного компонента из сегмента представлены на рисунке 2.12.



а) - в символьной форме б) - табличный аналог

Рисунок 2.12 – Алгоритмы расчета остаточной засоренности зерносмеси

Таблица 2.16 – Динамика выделения коротких примесей из сегмента зерносмеси

Кратность выделения из сегмента	Исходная засоренность зерносмеси ( $Z_u$ ), %											
	3				5				7			
	$n_{uni}$ , шт	$Z_i$ , %	$P_i$ , шт	$\sum_1^i n_{uni}$ , шт	$n_{uni}$ , шт	$Z_i$ , %	$P_i$ , шт	$\sum_1^i n_{uni}$ , шт	$n_{uni}$ , шт	$Z_i$ , %	$P_i$ , шт	$\sum_1^i n_{uni}$ , шт
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	223	2,86	4616	223	374	4,76	7742	374	520	7	10785	520
2	212	2,71	4393	435	355	4,52	7368	729	496	6,34	10265	1016
3	202	2,58	4181	637	338	4,31	7013	1067	472	6,03	9769	1488
4	192	2,46	3979	829	322	4,10	6675	1389	449	5,74	9297	1937
5	183	2,34	3787	1012	306	3,90	6353	1695	427	5,47	8848	2364
6	174	2,23	3604	1186	292	3,72	6047	1987	407	5,20	8421	2771
7	166	2,12	3430	1352	278	3,54	5755	2265	387	4,95	8014	3158
8	158	2,02	3264	1510	264	3,37	5477	2529	368	4,71	7627	3526
9	150	1,92	3106	1660	251	3,20	5213	2780	350	4,48	7259	3876
10	143	1,83	2956	1803	239	3,05	4962	3019	333	4,27	6909	4209
11	136	1,74	2813	1939	228	2,90	4723	3247	317	4,06	6576	4526
12	129	1,66	2677	2068	217	2,76	4495	3464	302	3,87	6259	4828
13	123	1,58	2548	2191	206	2,63	4278	3670	287	3,68	5957	5115
14	117	1,50	2425	2308	196	2,50	4072	3866	273	3,50	5670	5388
15	111	1,43	2308	2419	187	2,38	3876	4053	260	3,33	5397	5648
16	106	1,36	2197	2527	178	2,27	3689	4231	248	3,17	5137	5896
17	101	1,29	2089	2628	169	2,16	3511	4400	236	3,02	4889	6132
18	96	1,23	1988	2724	161	2,05	3342	4561	224	2,87	4653	6356
19	91	1,17	1892	2815	153	1,96	3181	4714	213	2,74	4429	6569
20	87	1,11	1801	2902	146	1,86	3028	4860	203	2,60	4216	6772
21	83	1,06	1714	2984	139	1,77	2882	4999	193	2,48	4013	6965
22	79	1,01	1632	3063	132	1,68	2743	5131	184	2,36	3820	7149

Окончание таблицы 2.16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
23	75	0,96	1553	3138	126	1,60	2611	5257	175	2,25	3636	7324
24	71	0,19	1478	3209	120	1,53	2485	3577	167	2,14	3461	7491
25	68	0,87	1407	3277	114	1,45	2365	5491	159	2,03	3294	7650
26	65	0,83	1339	3342	108	1,38	2251	5599	151	1,94	3135	7801
27	61	0,79	1274	3403	103	1,32	2143	5702	144	1,84	2984	7945
28	58	0,75	1213	3461	98	1,25	2040	5800	137	1,75	2840	8082
29	55	0,71	1155	3516	93	1,19	1942	5893	130	1,67	2703	8212
30	53	0,68	1100	3563	89	1,13	1849	5982	124	1,59	2573	8336
31	50	0,65	1053	3613	85	1,08	1760	6067	118	1,51	2449	8454
32	48	0,62	1003	3661	80	1,03	1675	6147	112	1,44	2331	8566
33	46	0,59	955	3707	77	0,98	1595	6224	107	1,37	2219	8673
34	44	0,56	909	3751	73	0,93	1518	6297	102	1,30	2112	8775
35	41	0,54	865	3792	69	0,89	1445	6366	97	1,24	2010	8872
36	39	0,51	824	3831	66	0,85	1376	6432	92	1,18	1913	8964
37	37	0,49	785	3868	63	0,81	1310	6495	87	1,12	1821	9051
38	36	0,46	748	3904	60	0,77	1247	6555	83	1,07	1734	9134
39	34	0,44	712	3938	57	0,73	1187	6612	79	1,02	1651	9213
40	32	0,42	678	3970	54	0,69	1130	6666	75	0,97	1572	9288

### **2.5.2 Алгоритм расчета эквивалентной длины ячеистой поверхности для выделения коротких примесей из зерносмесей**

Накопленные на сегодняшний день знания о процессах триерной очистки зерносмесей не позволяют проектировать эффективные триерные блоки с наперед заданными показателями качества технологического процесса.

Согласно базовым положениям классической теории триеров расчетную величину толщины сегмента в ячеистом цилиндре возможно связать с расходной характеристикой (с подачей зерносмеси в ячеистой цилиндр), габаритами ячеистого цилиндра и скоростью осевого смещения сегмента зерносмеси в ячеистом цилиндре.

Величины угла охвата, толщины слоя и скорости осевого смещения сегмента является исходной базой для оценки продолжительности и качества технологического процесса при выявлении взаимосвязи степени выделения отдельных примесных компонентов из зерносмеси со временем его протекания.

По величинам степени выделения примесных компонентов для периодов времени протекания процесса возможно определить остаточную засоренность зерносмеси по каждому из примесных компонентов. Далее, используя статистически подтвержденную структуру поликомпонентной примеси в производственных условиях, можно определять интегральную остаточную засоренность зерносмеси для периодов протекания технологического процесса и сравнивать расчетные значения с допустимым уровнем остаточной засоренности зерносмесей соответствующего класса семенного стандарта.

Продолжительность времени протекания процесса, соответствующая условию принятия решений по остаточной засоренности является основой для расчета длины ячеистой поверхности, а по ее величине определяется число кукольных цилиндров в составе триерного блока из условия достаточности. С учетом изложенной аргументации разработан алгоритм расчета эквивалентной длины ячеистой поверхности для выделения коротких примесей, рисунок 2.13.

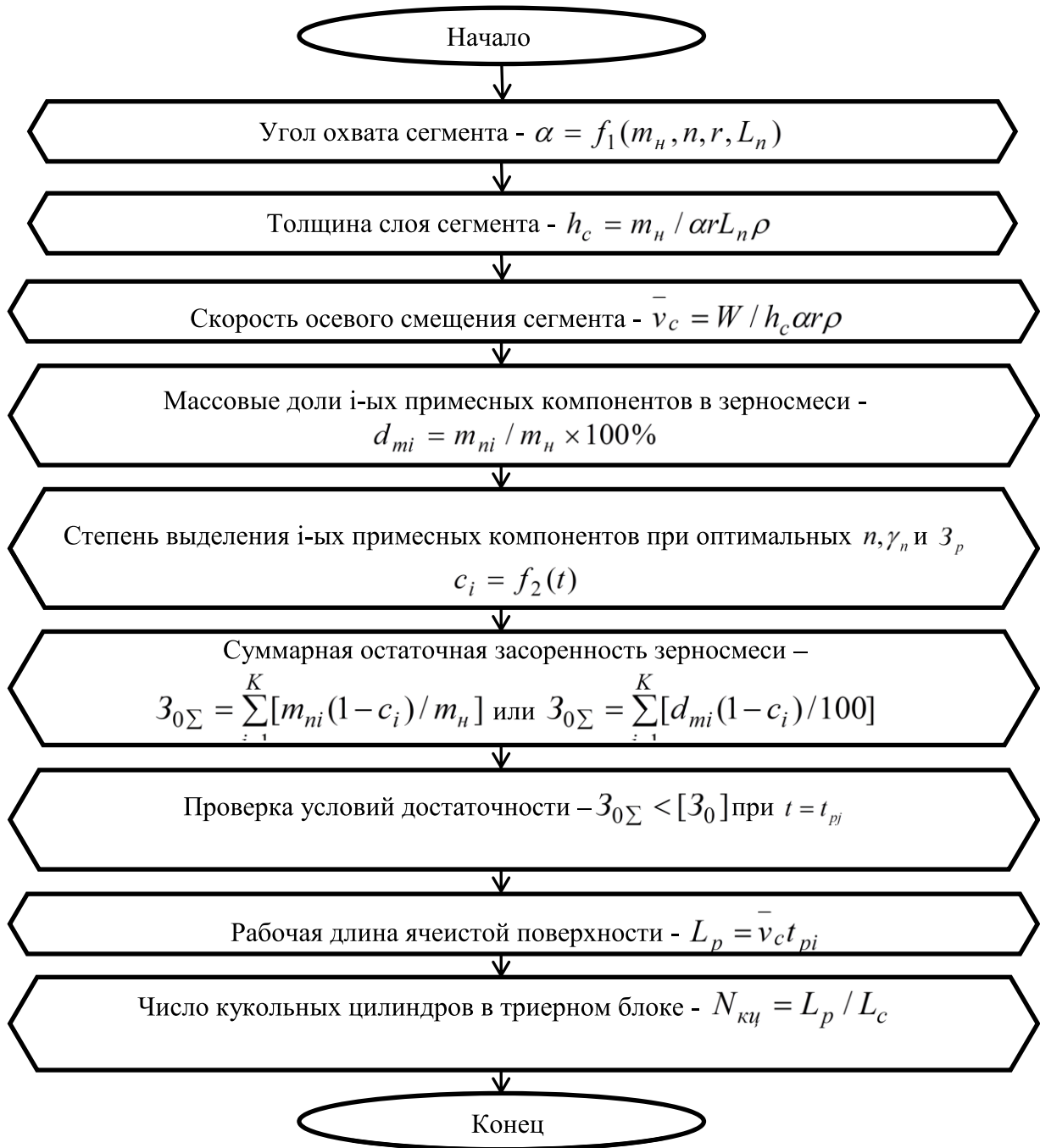


Рисунок 2.13 – Схема алгоритма

На рисунке 2.13:

$\alpha$  - 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;  $\rho$  - насыпная плотность зерносмеси, кг/м<sup>3</sup>;  $m_{ni}$  - масса i-го примесного компонента в навеске, кг;  $d_{mi}$  - долевое содержание i-го примесного компонента в зерносмеси, %;  $\gamma_n$  - угол подъема верхней кромки перед-

ней 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, %;  $t_{pi}$  -  $j$ -ое расчетное время очистки зерносмеси, с;  $L_p$  - расчетная длина ячеистой поверхности, м;  $L_c$  - длина стандартного ячеистого цилиндра, м;  $N_{ки}$  - число кукольных ячеистых цилиндров в триерном блоке.

Исследования динамики выделения примесных компонентов из зерносмеси отдельно по каждому из них продиктовано необходимостью получения объективных данных о технологическом процессе. Использование в качестве рабочей среды зерносмеси с поликомпонентной засоренностью исключает воспроизводимость условий опытов и объективный анализ полученных результатов. Кроме того, для многообразных условий производства характерны широкая вариативность примесей в зерносмесях и множественность характеристик их физико-механических свойств.

Объем экспериментальных работ представляется бесконечным в случае использования в качестве рабочей среды зерносмесей с поликомпонентной засоренностью. Причем каждый вариант состава, определенный планом исследований, не будет соответствовать реальным условиям производства.

Это противоречие разрешается статистическим моделированием составов и свойств реальной зерносмеси, последующим расчетом интегральной остаточной засоренности по результатам отдельных оценок и производственной проверкой выработанных решений. Исследование отдельных закономерностей выделения примесных частиц из основной культуры представляет собой основной объем запланированных экспериментальных работ в отчетном периоде.

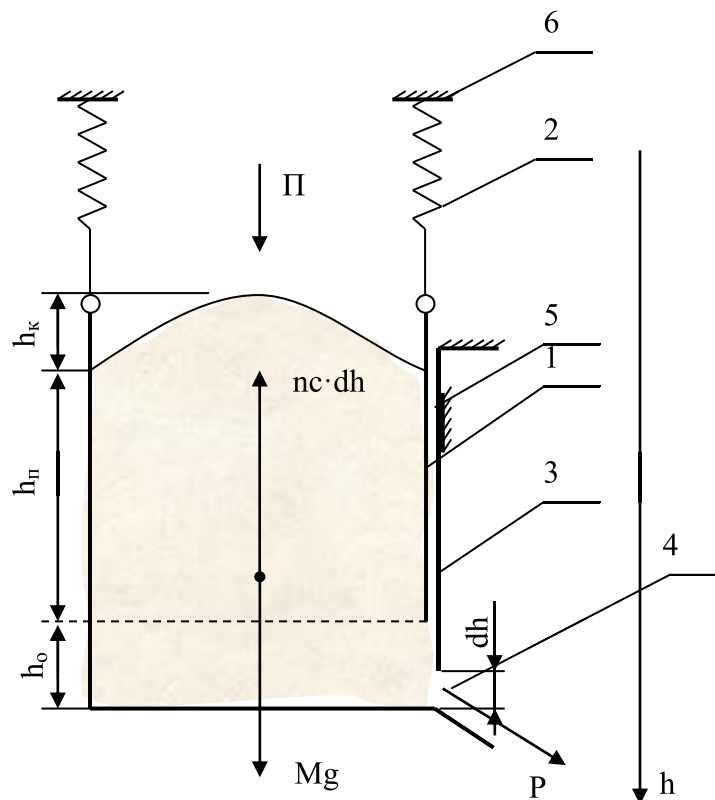


## 2.6 Обоснование параметров делителей потока сыпучих материалов

### 2.6.1 Обоснование параметров делителя потока зерна с шиберным отводом

Нами разработан новый авторегулируемый делитель потока зерна с грузовоспринимающей системой и шиберным отводом разделенных потоков. Подробное описание его конструкции и работы изложено в п.п. 3.5.2. Упрощение конструкции достигнуто за счет отсутствия в предложенном устройстве клапанов, общего вала внутри отводов, механизма поворота. Исключение конструктивных элементов из сечения потока обеспечивает повышение качества разделение потока сыпучих материалов.

С целью теоретического обоснования его основных конструктивных параметров рассмотрим движение стабилизирующей емкости делителя потока зерна с пружинной грузовоспринимающей системой и шиберным отводом, рисунок 2.14.



- 1 – регулирующая емкость; 2 – пружина; 3 – регулирующий шибер;  
4 – отвод; 5 – направляющая; 6 – рама

Рисунок 2.14 – Схема делителя потока зерна с пружинной грузовоспринимающей системой и шиберным отводом

Движение емкости определяется внешними силами: силой тяжести ( $Mg$ ) и силой дополнительного растяжения пружин ( $nc \cdot dh$ ). При этом полагаем, что 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 ( $\Pi$ ) зерна в регулируемую емкость и расхода ( $P$ ) из нее. Сила упругости зависит от количества пружин ( $n$ ), их жесткости ( $c$ ) и положения емкости ( $h$ ).

Составим уравнение, описывающее движение стабилизирующей емкости:

$$\int_{t_0}^t (\Pi - P)g dt - nch = M \frac{d^2 h}{dt^2}, \quad (2.79)$$

где  $\Pi$  – 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;

$h$  – вертикальное отклонение емкости от начального положения равновесия, м;

$\frac{d^2 h}{dt^2}$  – ускорение стабилизирующей емкости в результате действия на нее

сил тяжести и растяжения пружин.

Решим уравнение (2.110):

$$(\Pi - P)G - nc \frac{dh}{dt} = M \frac{d^3 h}{dt^3}. \quad (2.80)$$

Следовательно:

$$M \frac{d^3 h}{dt^3} + P_n g + bhg - \Pi g + nc \frac{dh}{dt} = 0. \quad (2.81)$$

$P_n$  – начальный расход зерна через отвод, кг/с.

Введем замену переменных:

$$h = h_1 + (\Pi - P_n)/a, \quad (2.82)$$

где  $a$  – коэффициент, определяющий изменение расхода  $P$  при перемещении емкости (определяется экспериментально), кг/м·с;

$h_1$  – замена переменной  $h$ , которая позволит решить уравнение (2.81), м.

Из уравнений (2.81) и (2.82) получим:

$$\frac{d^3 h_1}{dt^3} + nc \frac{dh_1}{dt} / M + ah_1 g / M = 0. \quad (2.83)$$

Чтобы решить дифференциальное уравнение (2.83) составим характеристическое уравнение:

$$r^3 + pr + q = 0, \quad (2.84)$$

где  $p = nc/M$ ,  $q = ag/M$ .

Определим корни уравнения (2.84) по формулам Кардано:

$$r_1 = \alpha + \beta;$$

$$r_2 = -\frac{\alpha + \beta}{2} - i \frac{\alpha - \beta}{2} \sqrt{3};$$

$$r_3 = -\frac{\alpha + \beta}{2} + i \frac{\alpha - \beta}{2} \sqrt{3},$$

$$\text{где } \alpha = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{D}}; \quad \beta = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{D}}; \quad D = \left(\frac{p}{3}\right)^3 + \left(\frac{q}{2}\right)^2$$

Решением уравнения (2.83) будет зависимость:

$$h = h_k + h_1 = h_k + C_1 e^{(\alpha+\beta)t} + C_2 e^{-\frac{(\alpha+\beta)t}{2}} \sin\left(\frac{\alpha-\beta}{2} \sqrt{3} + C_3\right), \quad (2.85)$$

где  $h_k = (\Pi - P_n) / a$  - начальная высота канала, м.

Для выявления реальной динамики движения стабилизирующей емкости необходима количественная определенность некоторых ее параметров и режимов работы, входящих в уравнения (2.84) и (2.85). Наиболее динамичное воздействие внешних сил на регулируемую емкость будет при величине подачи зерна  $\Pi = 10$  т/ч (2,78 кг/с), которая определяет номинальный режим работы существующих триерных блоков.

Из конструктивных соображений следует принять:  $M = 10$  кг;  $n = 2$  шт;  $C =$

1000 н/м. Величина  $a = 21,6$  кг/с·м определена по результатам экспериментальных исследований [180, 160, 177, 179, 181, 69, 176], когда удельный расход через боковой канал составляет  $90$  кг/с·м<sup>2</sup>, а общая ширина канала равна  $0,24$  м. Для уравновешенной стабилизирующей емкости в начальный момент времени  $P_n=0$  и  $h_k=0$ .

После подстановки реальных значений  $\Pi$ ,  $M$ ,  $n$ ,  $c$ ,  $a$ ,  $h_k$  в уравнение (2.85) получим следующую зависимость:

$$h = 0,2 + C_1 e^{-0,1t} + C_2 e^{0,05t} \sin(-13,9 + C_3). \quad (2.86)$$

Чтобы определить численные значения постоянных интегрирования  $C_1$ ,  $C_2$ ,  $C_3$ , необходимо решить задачу Коши.

Для этого необходимо рассмотреть три начальных условия:

1) фаза колебаний равна  $0$  (колебания начинаются в начальный момент времени  $t = t_0 = 0$ ):

$$-13,9 \cdot t_0 + C_3 = 0;$$

$$0 + C_3 = 0;$$

$$C_3 = 0.$$

2) положение емкости  $h = 0$  в начальный момент времени ( $t_0 = 0$ ):

$$C_1 e^{-0,1 \cdot 0} + C_2 e^{0,05 \cdot 0} \sin(0) + 0,2 = 0;$$

$$C_1 = -0,2;$$

3) скорость  $V = \frac{dh}{dt}(t_0) = 0$  в начальный момент времени ( $t_0 = 0$ ):

$$\frac{dh}{dt} = -0,1 \cdot C_1 e^{-0,1t} + 0,05 \cdot C_2 e^{0,05t} \sin(-13,9 \cdot t + C_3) -$$

$$-13,9 \cdot C_2 e^{0,05t} \cos(-13,9 \cdot t + C_3);$$

$$-0,1C_1 - 13,9 \cdot C_2 = 0;$$

$$C_2 \approx -0,036 \text{ м.}$$

Окончательный вид уравнения, описывающего движение стабилизирующей емкости, будет следующим:

$$h = 0,2 - 0,2 \cdot e^{-0,1t} - 0,036 \cdot e^{0,05t} \sin(-13,9t). \quad (2.87)$$

Из уравнения (2.87) следует, что движение стабилизирующей емкости в таком исполнении механизма авторегулирования требуется ограничить. Из конструктивных и технологических соображений движение стабилизирующей емкости из начального положение вверх (когда  $h < 0$ ) невозможно – оно ограничивается рамной конструкцией. Ограничение движения вниз обусловлено вертикальными параметрами отводного канала при  $\Pi=10$  т/ч, которое может быть выявлено при рассмотрении процесса деления потока зерна в статике.

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

$$nc\Delta l = m_E g + m_3 g = m_E g + abh_0 \rho g, \quad (2.88)$$

где  $\Delta l$  – 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;  $\rho$  – плотность зерна, кг/м<sup>3</sup>.

Для числа пружин  $n = 2$ :

$$2c\Delta l = (m_E + m_3)g. \quad (2.89)$$

Величина  $\Delta l$  зависит от габаритов сечения стабилизирующей емкости ( $a$ ,  $b$ ), величины стабилизирующего слоя ( $h_0$ ), жесткости ( $c$ ) и количества ( $n$ ) пружин, плотности зерна ( $\rho$ ), массы ( $m_E$ ) стабилизирующей емкости. Взаимосвязь  $\Delta l$  с указанными параметрами для принятых значений –  $C = 1000$  Н/м,  $n=2$ ,  $\rho=750$  кг/м<sup>3</sup>,  $m_E = 10$  кг представлена в таблице 2.17.

Таблица 2.17 – Взаимосвязь  $\Delta l$  с ( $a$ ,  $b$ ) и  $h_0 \rightarrow \Delta l = f(a, b, h_0)$ , м

Величина стабилизирующего слоя, м	Параметры сечения стабилизирующей емкости - a×b, м			
	0,25×0,25	0,3×0,3	0,35×0,35	0,4×0,4
$h_0 = 0,15$	0,085	0,1	0,119	0,14
$h_0 = 0,20$	0,097	0,118	0,142	0,163
$h_0 = 0,25$	0,109	0,134	0,165	0,2

Квадратная форма сечения стабилизирующей емкости выбрана из-за того, что любое уменьшение одного габарита ее сечения относительно другого увели-

чивает риск сводообразования при равной степени ее заполнения зерном.

Для принятых диапазонов изменения стабилизирующего слоя ( $h_0$ ) и габаритов ( $a$ ,  $b$ ) стабилизирующей емкости изменение объема зерна в ней составляет  $0,0094...0,04 \text{ м}^3$ . При этом масса ( $m_E$ ) стабилизирующего слоя зерна изменяется в диапазоне  $7,03...30,0 \text{ кг}$ . Характер изменения  $m_3$  от  $h_0$  и ( $a$ ,  $b$ ) представлен на рисунке 2.15.

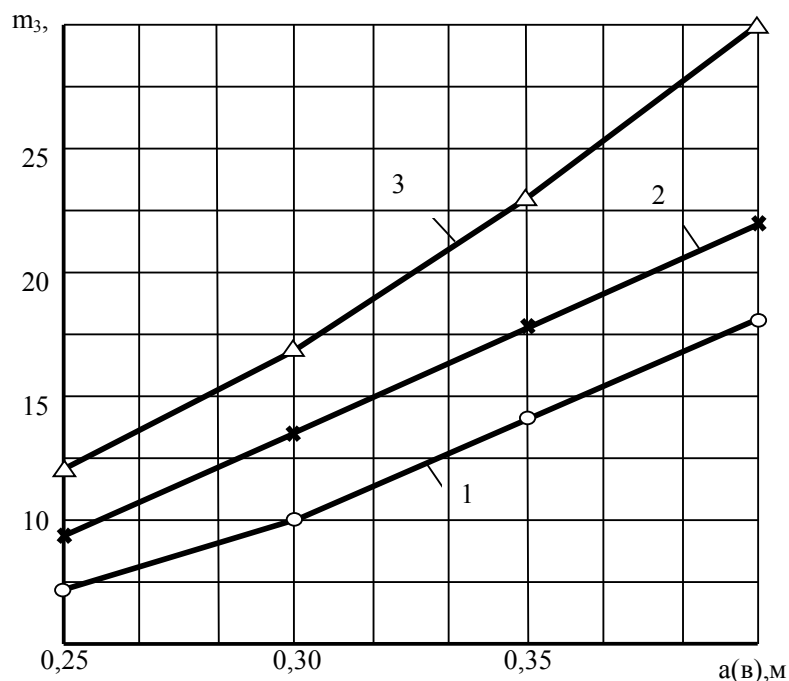


Рисунок 2.15 – Зависимость массы стабилизирующего слоя зерна ( $m_3$ ) от габаритов ( $a$  и  $b$ ) сечения стабилизирующей емкости и его высоты ( $h_0$ )

Из рисунка 2.15 видно, что зависимость  $m_3$  от габаритов стабилизирующей емкости квадратичная. При росте габаритов сечения стабилизирующей емкости в диапазоне  $0,25...0,40 \text{ м}$  масса стабилизирующего слоя изменяется в 4,27 раза. С учетом массы стабилизирующей емкости ( $m_E$ ) эта зависимость несколько сглаживается –  $17,03...40 \text{ кг}$ , то есть изменяется в 2,35 раза.

Однако, начальная нагрузка на грузовоспринимающую систему для принятых  $h_0$  и ( $a$ ,  $b$ ) велика и достигает  $40 \text{ кг}$ . При этом (см. таблица 2.17) величина предварительного растяжения пружин ( $\Delta l$ ) изменяется в диапазоне  $0,085...0,2 \text{ м}$ . Это существенные величины предварительного перемещения стабилизирующей емкости, которые увеличивают вертикальные габариты авторегулируемого дели-

теля потока зерна шиберного типа, что ограничивает его компоновку с технологическим оборудованием существующих зерноочистительных агрегатов.

Возможности сокращения  $\Delta l$  за счет повышения жесткости пружин ( $C$ ) или их числа ( $n$ ) ограничены тем, что для верхнего позиционного срабатывания при  $\Pi=10$  т/ч заполнение стабилизирующей емкости будет увеличиваться, что требует увеличения вертикальных габаритов авторегулируемого делителя. При этом вертикальный размер отвода сокращается, что будет снижать стабильность истечения зерна, особенно на частичных подачах ( $\Pi$ ), и увеличивать риски сводообразования. Бесспорным резервом сокращения величины  $\Delta l$  является исполнение днища стабилизирующей емкости наклонным под углом  $\alpha_d$  к горизонту:

$$\alpha_d = \arctg(h_0/a). \quad (2.90)$$

За счет этого масса стабилизирующего слоя зерна в стабилизирующей емкости уменьшится в 2 раза при сохранении  $h_0$  в зоне выгрузки. Кроме того, частично уменьшится масса ( $m_E$ ) стабилизирующей емкости, улучшатся условия подвода зерна к зоне выгрузки, что позволит сократить  $h_0$ . Взаимосвязь величины заполнения регулирующей емкости до верхнего позиционного срабатывания авторегулируемого делителя шиберного типа с высотой отводного канала ( $h_k$ ) требует дополнительного анализа с целью минимизации его вертикальных габаритов и последующих экспериментальных исследований по критериям качества деления потока зерна.

По результатам исследований [180] удельный расход пшеницы через вертикальный отвод составляет:

$$P_y = 3,6 \cdot 10^2 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2).$$

Нами экспериментально подтверждено [160, 177], что удельный расход через окно в боковой стенке (боковой отвод) в 4 раза ниже, чем через окно в днище. Поэтому для анализируемого процесса деления с использованием шиберного отвода удельный расход будет:

$$P_y^I = \frac{P_y}{4} = 3,6 \cdot \frac{10^2}{4} = 90 \text{ кг}/(\text{с} \cdot \text{м}^2). \quad (2.91)$$

Применительно к стандартным триерным блокам с потенциалом производи-

тельности  $W=10$  т/ч (2,78 кг/с) суммарная площадь двух каналов будет:

$$S_{\Sigma} = \frac{W}{p_y^I} = 2,78/90 = 0,031 \text{ м}^2 \quad (2.92)$$

С учетом обеспечения равенства рисков образования вертикальных и горизонтальных сводов в зоне отвода зерна при номинальной загрузке существующих триерных блоков параметры каждого канала должны быть:

$$\begin{cases} h_k \times 2b_k = S_{\Sigma}; \\ h_k = b_k = \sqrt{S_{\Sigma}/2} = 0,124 \text{ м (124 мм)}, \end{cases} \quad (2.93)$$

где  $h_k$  – высота канала, м (мм);

$b_k$  – ширина канала, м (мм).

Сохраняя условие равенства площадей двух отводных каналов величине  $S_{\Sigma}$  примем:

высота -  $h_k = 0,13$  м (130 мм);

ширина -  $b_k = 0,12$  м (120 мм).

Некоторое превышение высоты над шириной канала обусловлено тем, что при частичных загрузках триерных блоков (с уменьшением подъема шибера) риск образования вертикальных сводов будет возрастать.

Для подъема шибера на высоту  $h_k = 0,13$  м при номинальной загрузке триерных блоков в делитель необходимо подать массу зерна сверх стабилизирующего слоя, равную:

$$m_3 = 2ch_k/g = 2 \times 1000 \times 0,13/10 \approx 26 \text{ кг}. \quad (2.94)$$

Это количество зерна займет в стабилизирующей емкости объем, который можно предоставить двумя составными частями – объемом параллелепипеда  $V_n = abh_n$  (высота  $h_n$ ) и объемом усеченного конуса –  $V_k$  высотой  $h_{yk}$ . Диаметр основания конуса –  $\sqrt{a^2 + b^2}$ . Если учесть, что объем конуса отсекается стенками стабилизирующей емкости, то:

$$V_k = 0,8\pi(a^2 + b^2)h_{yk}/12, \quad (2.95)$$

где 0,8 – коэффициент уменьшения объема.

Принимая во внимание, что угол естественного откоса пшеницы  $\gamma=25,6^\circ$



[177], определим величину  $h_{yk}$ :

$$h_{yk} = \sqrt{a^2 + b^2} \times \operatorname{tg}(\gamma) / 2 \quad (2.96)$$

Подставляя значение  $h_{yk}$  из уравнения (2.96) в уравнение (2.95), получим:

$$V_k = 0,8\pi \operatorname{tg}\gamma (a^2 + b^2)^{3/2} / 24. \quad (2.97)$$

С учетом того, что  $\operatorname{tg}(25,6^\circ) = 0,48$ , после преобразований получим:

$$V_k = 0,05(a^2 + b^2)^{3/2}.$$

Суммарный объем насыпного тела ( $V_\Sigma$ ) будет:

$$V_\Sigma = abh_n + 0,05(a^2 + b^2)^{3/2}. \quad (2.98)$$

Из уравнений (2.94) и (2.98) следует, что:

$$V_\Sigma = m_3/\rho = 26/750 = 0,0347 \text{ м}^3. \quad (2.99)$$

Подставляя значение  $V_\Sigma$  из уравнения (2.99) в уравнение (2.98), получим:

$$h_n = [0,0347 - 0,05(a^2 + b^2)^{3/2}] / ab. \quad (2.100)$$

По уравнениям (2.96) и (2.100) определим высоту насыпного тела при различных размерах поперечного сечения стабилизирующей емкости, таблица 2.18.

Таблица 2.18 – Взаимосвязь габаритов сечения (a,b) стабилизирующей емкости с параметрами насыпного тела зерна при верхнем позиционном срабатывании

Параметры насыпного тела, м	Параметры сечения стабилизирующей емкости - a×b, м			
	0,25×0,25	0,3×0,3	0,35×0,35	0,4×0,4
$h_n$	0,52	0,343	0,234	0,16
$h_{yk}$	0,085	0,102	0,119	0,136
$h_\Sigma$	0,605	0,445	0,353	0,296

Из таблицы 2.18 видно, что с ростом (a,b) суммарная высота ( $h_n$ ) снижается, а доля в ней величины  $h_{yk}$  возрастает от 14 до 46%. При этом снижение  $h_\Sigma$  составляет 2,04 раза, снижение  $h_n$  – 3,25 раза, а  $h_{yk}$  увеличивается в 1,6 раза.

Размеры насыпного тела зерна, характерные для верхнего позиционного срабатывания при номинальной пропускной способности делителя ( $\Pi=10\text{т/ч}$ ), играют определяющую роль в лимитировании его вертикальных габаритов, что очень важно для компоновки делителя в существующие технологические линии.

Однако вариант с  $h_{\Sigma} = 0,296$  м даже совместно с габаритом  $h_0 = 0,15$  м по конструктивным соображениям не может быть выбран в качестве приемлемого – невозможно разместить пружину длиной  $0,28 \dots 0,31$  м с предварительным ее растяжением  $\Delta l = 0,14$  м (см. таблицу 2.17).

Поэтому наиболее приемлемым является вариант:  $a = b = 0,35$  м;  $h_{\Sigma} = 0,353$  м;  $h_0 = 0,15$  м. Наличие объема стабилизирующей емкости под стабилизирующий слой высотой  $h_0 = 0,15$  м целесообразно не только с конструктивной точки зрения – он является компенсатором вариации подачи ( $\Pi$ ) независимо от необходимости в стабилизирующем слое.

Необходимость стабилизирующего слоя ( $h_0$ ) обусловлена осуществлением процесса авторегулирования во всем диапазоне  $\Pi = 0 \dots \Pi_n$ . Однако, результаты исследований [180, 160, 177] подтверждают, что при малых подачах ( $\Pi$ ) возрастает погрешность процесса деления до 10%. Кроме того слишком малые подачи ( $\Pi < 1,4$  т/ч) не могут обеспечить эффективность технологии и качество выделения примесей в овсюжном цилиндре.

Для  $\Pi = 1,4$  т/ч возможна проверка авторегулируемого формирования достаточного стабилизирующего слоя из условия заполненного истечения зерна через отводные каналы.

При расходе зерна через два канала  $P = 2\Pi = 2,8$  т/ч (0,78 кг/с) величина подъема шибера составит:

$$h_{ш} = \frac{P}{2b_k P_y^I} = \frac{0,78}{2 \cdot 0,12 \cdot 90} = 0,036 \text{ м.}$$

Этой величине подъема шибера при  $C = 1000$  н/м,  $n = 2$ ,  $\rho = 750$  кг/м<sup>3</sup> соответствует поступление в регулируемую емкость массы зерна:

$$m_3 = 2ch_m/g = 2 \times 1000 \times 0,036/10 \approx 7,2 \text{ кг.}$$

Эта масса зерна вполне достаточна для формирования стабилизирующего слоя и обеспечения заполненного истечения через отводы. То есть предварительно растянутые пружины при  $h_{ш} = 0$  должны уравнивать только вес стабилизирующей емкости.

Следовательно габарит делителя ( $\Gamma_6$ ) по вертикали будет определяться с учетом перемещения до верхнего позиционного срабатывания при  $\Pi=\Pi_n$ :

$$\Gamma_6 = h_o + h_n + h_k = 0,15 + 0,353 + 0,13 = 0,633 \text{ м.}$$

Величина  $\Gamma_6 = 0,633\text{м}$  приемлема для существующих технологий. Величину отводов не следует включать в вертикальный габарит делителя, так как они могут полностью входить в приемную горловину следующего технологического звена.

Для выбранного поперечного сечения стабилизирующей емкости  $a = b = 0,35$  м при высоте контактирующего с ее стенками слоя зерна  $h_n = 0,353$  м исключаются риски сводообразования, которые возникают согласно теории сыпучих материалов (Зенков Р.Л. [70] ) при  $h_n > 2a(b)$ .

Таким образом, исполнение авторегулируемого делителя потока сыпучих материалов с боковым шиберным отводом позволяет упростить конструкцию существующих делителей и обеспечить повышение качества процесса деления. Снижение рисков сводообразования в стабилизирующей емкости и перед выгрузным окном достигается симметрией их параметров и ограничением насыпного монолита.

### **2.6.2 Обоснование параметров жалюзийных делителей потока зерна**

Принцип работы делителей потока зерна жалюзийного типа основан на выпуске зерна из стабилизирующей емкости через боковую стенку с отводящими каналами и стабилизирующими планками. Деление потока зерна осуществляется вертикальной перегородкой, размещенной в центре и перпендикулярно боковой стенке. Качество процесса деления потока зерна обеспечивается симметрией зернового монолита в стабилизирующей емкости относительно вертикальной перегородки. В условиях реальной эксплуатации обеспечить симметричность зернового монолита в стабилизирующей емкости сложно, поэтому габариты горизонтального сечения в стабилизирующей емкости при прочих равных условиях ее загрузки ограничены. При ограничении размеров сечения стабилизирующей емкости с ростом расходных характеристик увеличивается ее вертикальный габарит, что

ограничивает возможности модернизации существующих технологий. Кроме того, вертикальный габарит увеличивается за счет нижнего отвода разделенных потоков зерна, направляющих их к технологическим каналам. Вышесказанное требует рассмотрения комплекса факторов, определяющих качество процесса деления, расходные характеристики и габариты жалюзийных делителей.

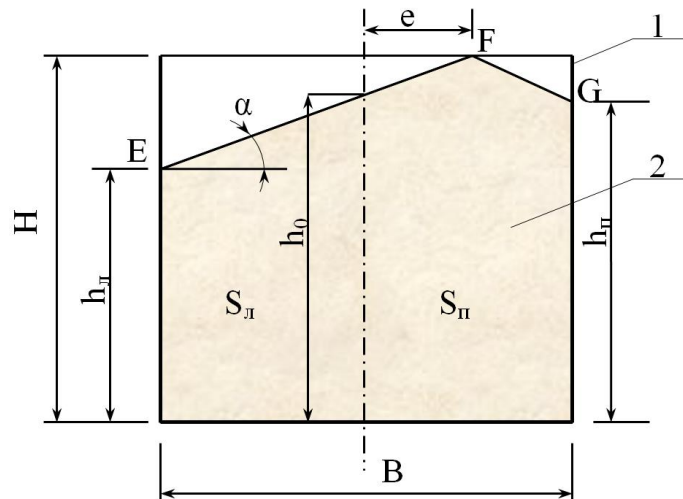
Для обоснования погрешности работы жалюзийного делителя рассмотрим расчетную схему с ассиметричным размещением зернового монолита в стабилизирующей емкости, когда подача зерна осуществляется непосредственно к жалюзийной стенке, рисунок 2.16.

Из рисунка 2.16 видно, что вертикальные координаты контура EFG, представляющего собой линии контакта поверхности зернового монолита с боковой стенкой стабилизирующей емкости могут быть представлены уравнениями:

$$h_n = H - (B/2 + e)tg\alpha; \quad (2.101)$$

$$h_n = H - (B/2 - e)tg\alpha; \quad (2.102)$$

$$h_0 = H - etg\alpha. \quad (2.103)$$



1 – стабилизирующая емкость; 2 – зерновой монолит;  $H, B$  – высота и ширина стабилизирующей емкости, м;  $\alpha$  – угол естественного откоса зерна, град;  $S_л, S_п$  – площади истечения зерна через левую и правую части делителя

Рисунок 2.16 – Расчетная схема обоснования погрешности работы жалюзийного делителя потока зерна

Площади живых сечений отводов зерна из стабилизирующей емкости через левую ( $S_л$ ) и правую ( $S_п$ ) части боковой стенки описывается уравнениями:

$$S_n = BB(\gamma + h_0)/4; \quad (2.104)$$

$$S_n = e(h_0 + H)/2 + (B/2 - e)(H + h_n)/2. \quad (2.105)$$

После подстановки величин  $h_n$ ,  $h_n$  и  $h_0$  из уравнений (2.101 – 2.103) в уравнения (2.104, 2.105) и преобразований получим:

$$S_n = BH/2 - B^2tg\alpha/8 - eBtg\alpha/2; \quad (2.106)$$

$$S_n = -e^2tg\alpha + BH/2 - B^2tg\alpha/8 + eBtg\alpha/2. \quad (2.107)$$

Определим разницу площадей:

$$\begin{aligned} S_n - S_n &= -e^2tg\alpha + BH/2 - B^2tg\alpha/8 + eBtg\alpha/2 - BH/2 + B^2tg\alpha/8 + \\ &+ eBtg\alpha/2 = -e^2tg\alpha + eBtg\alpha. \end{aligned} \quad (2.108)$$

$$S_n - S_n + tg\alpha(eB - e^2) = etg\alpha(B - e). \quad (2.109)$$

Из уравнения (2.109) следует, что разница площадей (расходов) через левую и правую части жалюзийного делителя не зависит от высоты  $H$ . Ее величина зависит от смещения подаваемого потока зерна ( $e$ ), угла естественного откоса ( $\alpha$ ) и ширины стабилизирующей емкости ( $B$ ).

Относительная величина погрешности деления ( $\Delta$ ) зависит от высоты ( $H$ ). Для ее оценки необходимо определить среднюю площадь:

$$\begin{aligned} \bar{S} &= (S_n + S_n)/2 = (-e^2tg\alpha + BH/2 - B^2tg\alpha/8 + eBtg\alpha/2 + BH/2 - \\ &- B^2tg\alpha/8 - eBtg\alpha/2)/2 = (BH - e^2tg\alpha - B^2tg\alpha/4)/2. \end{aligned} \quad (2.110)$$

С учетом уравнений (2.109) и (2.110) погрешность деления будет:

$$\Delta = 2(S_n - S_n)/(S_n + S_n) \times 100\% = \frac{2[etg\alpha(B - e)]}{BH - e^2tg\alpha - B^2tg\alpha/4} \times 100\%. \quad (2.111)$$

Для сокращения вариативности (избыточных) оценок ( $\Delta$ ) по уравнению (2.111) необходимо конкретизировать величину ( $\alpha$ ) и выбрать значения эксцентриситета ( $e$ ) подачи потока зерна в стабилизирующую емкость. Характер влияния угла естественного откоса зерна ( $\alpha$ ) на величину ( $\Delta$ ) ясен – прямо пропорциональная зависимость. Величина ( $\alpha$ ) основных зерновых культур изменяется в ограниченных пределах. Поэтому нами выбрана величина  $\alpha = 31^\circ$ , характерная

для исследуемой среды (пшеницы). Величина эксцентриситета подачи потока при оценке ( $\Delta$ ) нами принята из конструктивных соображений:  $e = 0,05; 0,1; 0,15$  м.

С учетом принятых ( $\alpha$ ) и ( $e$ ) нами получены расчетные уравнения для оценки ( $\Delta$ ):

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha_1 = 31^\circ; e_1 = 0,05 \text{ м} \rightarrow \Delta_1 = \frac{0,06(B - 0,05)}{BH - 0,0015 - 0,15B^2} \times 100\%; \\ \alpha_2 = 31^\circ; e_2 = 0,1 \text{ м} \rightarrow \Delta_2 = \frac{0,12(B - 0,1)}{BH - 0,006 - 0,15B^2} \times 100\%; \\ \alpha_3 = 31^\circ; e_3 = 0,15 \text{ м} \rightarrow \Delta_3 = \frac{0,18(B - 0,15)}{BH - 0,0135 - 0,15B^2} \times 100\%. \end{array} \right. \quad (2.112)$$

Взаимосвязь ( $\Delta$ ) с величинами ( $B$ ) и ( $H$ ) наиболее продуктивна для проектирования делителей потока зерна жалюзийного типа с реальным диапазоном расходных характеристик и допустимыми величинами погрешности деления ( $\Delta$ ). Из этих соображений нами выбраны диапазоны величин:  $B = 0,4-0,6$  м;  $H = 0,3-0,6$  м.

Взаимосвязь ( $\Delta$ ) с выбранными значениями ( $\alpha$ ), ( $e$ ), ( $B$ ) и ( $H$ ), полученная расчетным путем по уравнениям (2.112), представлена в таблице 2.19.

Таблица 2.19 – Зависимость погрешности деления ( $\Delta$ ) от величин ( $e$ ), ( $B$ ) и ( $H$ ) при  $\alpha = 31^\circ$

Высота стабилизирующей емкости, м	Смещение подаваемого потока и ширина стабилизирующей емкости, м								
	$e = 0,05$			$e = 0,1$			$e = 0,15$		
	$B=0,4$	$B=0,5$	$B=0,6$	$B=0,4$	$B=0,5$	$B=0,6$	$B=0,4$	$B=0,5$	$B=0,6$
$H=0,3$	23,3	24,3	26,5	40,0	45,5	50,0	54,5	63,6	72,0
$H=0,4$	16,2	16,8	17,9	27,7	30,9	33,3	36,7	42,3	47,0
$H=0,5$	12,4	12,8	13,5	21,2	23,4	25,0	27,7	31,7	34,8
$H=0,6$	10,0	10,3	10,8	17,1	18,8	20,0	22,2	25,3	27,7

Из таблицы 2.19 видно, что при изменении смещения подачи в диапазоне  $e = 0,05...0,15$  м погрешность деления увеличивается в 2,7...3,1 раза. При этом верхняя граница диапазона кратности роста  $\Delta$  характерна для меньшего значения высоты стабилизирующей емкости ( $H = 0,3$  м).

В меньшей степени погрешность деления зависит от высоты стабилизирующей емкости. При уменьшении  $H$  от 0,6 м до 0,3 м погрешность деления ( $\Delta$ )

увеличивается в 2,3...2,6 раза. Это объясняется тем, что величина  $h_{л}$ , характеризующая при заданных значения  $B$  площадь заполненного и симметричного отвода зерна через левую и правую части делителя, снижается.

Из рисунка 2.16 видно, что верхний контур EFG сопряжения зернового монолита в стабилизирующей емкости с жалюзийной стенкой, когда участки контура EF и FG расположены под углом естественного откоса зерна ( $\alpha$ ), характерны для подачи зерна непосредственно к жалюзийной стенке. Этот способ подачи неприемлем, о чем свидетельствуют результаты расчетов  $\Delta$ , представленные в таблице 2.19.

При смещении подачи зерна от жалюзийной стенки к центру стабилизирующей емкости по ее глубине ( $C$ ) форма контура сопряжения зернового монолита с жалюзийной стенкой будет параболой, так как он (контур) является линией пересечения поверхности вертикального конуса вертикальной плоскостью, смещенной от оси конуса на величину  $C/2$ .

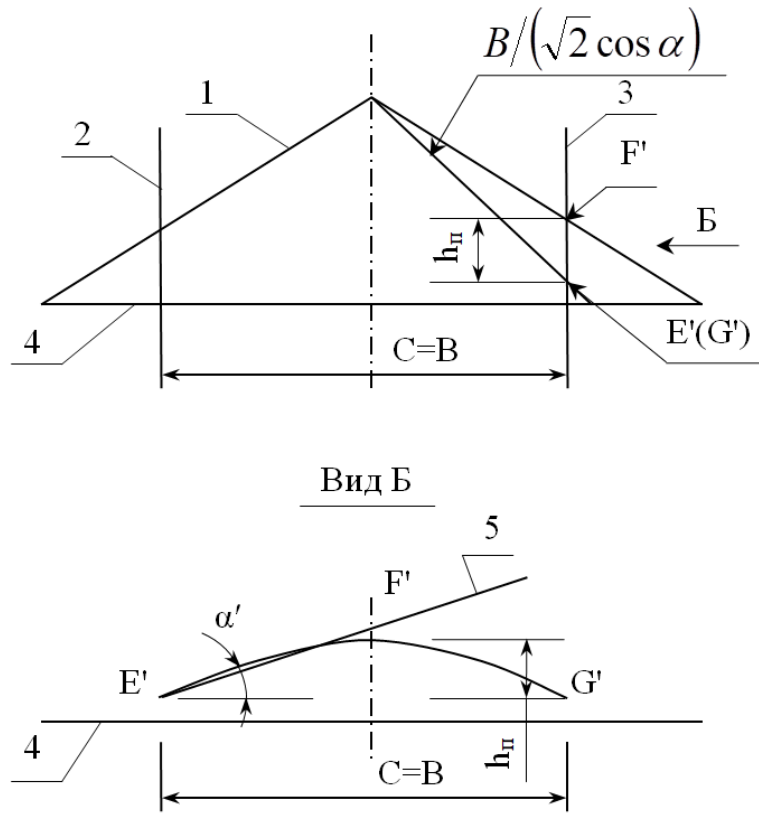
Высота ( $h_n$ ) параболы – вертикальное расстояние между точками E' и F' (см. рисунок 2.17) будет определяться по формуле:

$$h_n = \sqrt{(C/2)^2 + (B/2)^2} \times \operatorname{tg} \alpha - C/2 \times \operatorname{tg} \alpha. \quad (2.113)$$

Из условия обеспечения равенства рисков образования сводов в стабилизирующей емкости целесообразна квадратная форма горизонтального сечения стабилизирующей емкости –  $C = B$ . Тогда уравнение (2.113) примет вид:

$$h_n = B \operatorname{tg} \alpha (1/\sqrt{2} - 1/2) = 0,126B. \quad (2.114)$$

Линия 5 является линейной аппроксимацией параболы E'F' из условия равенства площадей под ними. С учетом ( $\alpha'$ ) наклона аппроксимирующей линии 5 будет одинаковой для всей  $B$ , что позволит использовать принятую расчетную схему (рисунок 2.16) и уравнение (2.111) для оценки  $\Delta$  при произвольных координатах центра подаваемого потока зерна в стабилизирующую емкость. Величина  $B/(\sqrt{2} \cos \alpha)$  равна длине образующей конуса, направленной в угол стабилизирующей емкости.



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

Рисунок 2.17 – Схема определения угла  $\alpha'$

Из уравнения (2.114) и рисунка 2.17 следует, что  $\alpha' = 15^\circ$ . Подставляя величину  $\operatorname{tg} \alpha' = 0,27$  в уравнение (2.111), получим расчетные уравнения для оценки  $\Delta$  при изменении  $e$ ,  $B$ ,  $H$  для параболического контура  $E' F' G'$ :

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha'_1 = 15^\circ; e_1 = 0,05 \text{ м} \rightarrow \Delta'_1 = \frac{0,027(B - 0,05)}{BH - 0,000675 - 0,07B^2} \times 100\%; \\ \alpha'_2 = 15^\circ; e_2 = 0,1 \text{ м} \rightarrow \Delta'_2 = \frac{0,054 (B - 0,1)}{BH - 0,0027 - 0,07B^2} \times 100\%; \\ \alpha'_3 = 15^\circ; e_3 = 0,15 \text{ м} \rightarrow \Delta'_3 = \frac{0,081(B - 0,15)}{BH - 0,006 - 0,07B^2} \times 100\%. \end{array} \right. \quad (2.115)$$

Взаимосвязь ( $\Delta'$ ) с параметрами ( $\alpha'$ ), ( $e$ ), ( $B$ ) и ( $H$ ), полученная расчетным путем, представлена в таблице 2.20.

Из таблицы 2.20 видно, что увеличение смещения потока ( $e$ ) повышает погрешность деления ( $\Delta'$ ) 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



$\Delta'$  в 2,1...2,2 раза.

Таблице 2.20 – Зависимость погрешности деления ( $\Delta'$ ) от величин ( $e$ ), ( $B$ ) и ( $H$ ) при  $\alpha'=15^\circ$ .

Высота стабилизирующей емкости, м	Смещение подаваемого потока и ширина стабилизирующей емкости, м								
	$e = 0,05$			$e = 0,1$			$e = 0,15$		
	$B=0,4$	$B=0,5$	$B=0,6$	$B=0,4$	$B=0,5$	$B=0,6$	$B=0,4$	$B=0,5$	$B=0,6$
$H=0,3$	8,6	9,2	9,6	15,3	16,6	17,8	19,7	22,4	24,5
$H=0,4$	6,4	6,7	6,9	11,1	12,0	12,7	14,2	16,1	18,1
$H=0,5$	5,0	5,2	5,4	8,7	9,4	9,9	11,1	12,5	13,6
$H=0,6$	4,1	4,3	4,4	7,2	7,7	8,1	9,1	10,3	11,3

При каждом значении  $e$  погрешность деления ( $\Delta'$ ) изменяется незначительно с ростом ширины стабилизирующей емкости  $B$  – на 0,3...1 % при  $e = 0,05$  м и 2,2...4,8 % при  $e = 0,15$  м. Это объясняется тем, что с ростом  $B$  разница ( $h_n - h_n$ ), возрастает, но относительное смещение потока зерна ( $e/B$ ) падает. Сопоставление таблиц 2.19 и 2.20 указывает на необходимость смещения подаваемого потока от жалюзийной к задней стенке стабилизирующей емкости с целью снижения  $\Delta$ .

Принятая расчетная схема для анализа погрешности деления потока зерна адаптирована к условиям неразрывного по высоте отвода материала из стабилизирующей емкости по соображениям упрощения расчетов. Перенесение результатов анализа на делители жалюзийного типа, а также оценка габаритов и расходных характеристик жалюзийных делителей требует ряда уточнений.

Жалюзийная стенка этих делителей [122, 124] представляет собой чередование выводных каналов и стабилизирующих планок с равным вертикальным размером. Поэтому эквивалентные площади вывода зерна через левую и правую части делителя обеспечивается при удвоении высоты стабилизирующей емкости:  $H_3 = 2H = 0,6; 0,8; 1,0; 1,2$  м.

Полезная высота ( $H_n$ ) жалюзийной стенки, которая используется для отвода зерна, определяется по формуле из условия несмещенной подачи в стабилизирующую емкость –  $e = 0$ :

$$H_n = (H_3 - B \operatorname{tg} \alpha) / 2. \quad (2.116)$$

Площадь живого сечения выводных каналов ( $S_{жс}$ ) будет:

$$S_{жс} = H_n B = B(H_э - B \operatorname{tg} \alpha) / 2. \quad (2.117)$$

Суммарный расход зерна ( $Q$ ) через выводные каналы рассчитывается по формуле:

$$Q = q S_{жс} = q B (H_э - B \operatorname{tg} \alpha) / 2, \quad (2.118)$$

где  $q$  – удельный расход зерна через боковую стенку (для пшеницы по данным [193]  $q = 90$  кг/(с·м<sup>2</sup>), кг/(с·м<sup>2</sup>).

Полные вертикальные габариты ( $H_2$ ) жалюзийных делителей потока зерна зависят от конструктивного исполнения: без центрирующей приемной горловины [122] -  $H_{21}$ ; с центрирующей приемной горловиной [124] -  $H_{22}$ . Их величины определяются по формулам:

$$\begin{cases} H_{21} = H_э + H_o = 2H + B / 2; \\ H_{22} = H_э + H_o + H_u = 2H + B / 2 + 0,25, \end{cases} \quad (2.119)$$

где  $H_o$  – высота разделительного нижнего отвода ( $H_o = B/2$  при наклоне стенок в 45°), м;

$H_u$  – высота центрирующей приемной горловины ( $H_u = 0,25$  – принята из конструктивных соображений), м.

Результаты расчета основных характеристик делителей жалюзийного типа сведены в таблицу 2.21.

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 (см. таблицы 2.19 и 2.20) очень чувствительно к асимметрии ( $e$ ) зернового монолита в стабилизирующей емкости. Поэтому его следует применять с центрирующей приемной горловиной [124]. При этом вертикальный габарит  $H_{22} = 1,05$  м. Такой запас технологической высоты в технологии ЗАВ – 40 имеется из – за близкого расположения промежуточной норрии относительно триерных блоков.

Таблица 2.21 – Основные характеристики жалюзийных делителей

Характеристики и размерность	Ширина и высота стабилизирующей емкости, м											
	B=0,4				B=0,5				B=0,6			
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,3	0,4	0,5	0,6	0,3	0,4	0,5	0,6
$H_э$ , м	0,6	0,8	1,0	1,2	0,6	0,8	1,0	1,2	0,6	0,8	1,0	1,2
$H_n$ , м	0,18	0,28	0,38	0,48	0,15	0,25	0,35	0,45	0,12	0,22	0,32	0,42
$S_{ж}$ , м <sup>2</sup>	0,072	0,112	0,152	0,192	0,075	0,125	0,175	0,225	0,72	0,132	0,192	0,252
$Q$ , кг/(с·м <sup>2</sup> )	6,48	10,08	13,68	17,28	6,75	11,25	15,75	20,25	6,48	11,88	17,28	22,68
$Q$ , т/ч	23,3	36,3	49,2	62,2	24,3	40,5	56,7	72,9	23,3	42,8	62,2	81,6
$H_{э1}$ , м	0,8	1,0	1,2	1,4	0,85	1,05	1,25	1,45	0,9	1,1	1,3	1,5
$H_{э2}$ , м	1,05	1,25	1,45	1,65	1,1	1,3	1,5	1,7	1,15	1,35	1,55	1,75
$Q/H_{э1}$ , т/(ч·м)	29,1	36,3	41	44,4	28,6	38,6	45,4	50,3	25,9	38,9	47,8	54,4
$Q/H_{э2}$ , т/(ч·м)	22,2	29,0	33,9	37,7	22,1	31,2	37,8	42,9	20,3	31,7	40,1	46,6

Подходящие по расходным характеристикам  $Q = 36,3$  т/ч ( $B = 0,4$  м;  $H = 0,4$  м) и  $Q = 49,2$  т/ч ( $B = 0,4$  м;  $H = 0,5$  м) делители для установки перед решетными станами ЗАВ – 40 с вертикальными габаритами соответственно 1,25 м и 1,45 м не могут быть использованы при модернизации этого агрегата из – за отсутствия запаса технологической высоты.

В технологиях фирм «Perry» и «Fortschritt» может быть использован делитель с расходной характеристикой  $Q = 81,6$  т/ч ( $B = 0,6$  м;  $H = 0,6$  м;  $H_{э2} = 1,75$  м), обеспечивая их загрузку на 70...80%. Увеличение расходных характеристик за счет  $H$  приводит к росту  $H_{э2}$ , а их увеличение за счет  $B$  приводит к снижению качества процесса деления при смещенной подаче зерна в стабилизирующую емкость.

Увеличение удельных расходных характеристик ( $Q/H_{э1}$ ,  $Q/H_{э2}$ ) делителей без грузовоспринимающей системы (упрощенная конструкция) обеспечивается созданными нами вариантами [168, 128] с нижним (через днище) и каскадным отводами зерна из стабилизирующей емкости.

### Выводы по главе

1. Разработанный метод оценки эффективности использования зерноочистительных технологий учитывает различные варианты подработки зернового во-

роха в зависимости от состояния зерна, оснащенности хозяйства, использования услуг элеваторов. Метод основан на сопоставлении результирующего технологического эффекта с текущими эксплуатационными затратами. На основе критериев оценки эффективности использования зерноочистительной технологии метод позволяет: обосновано делать выбор новой технологии, оперативно управлять процессом подработки зерна, определять направления модернизации зерноочистительных технологий.

2. Возможности сбалансирования технологических операций в триерных блоках по качественным показателям за счет сокращения рабочей длины овсюжного цилиндра и их настройки ограничены конструктивно и приводят к снижению производительности. Наиболее эффективным направлением повышения качества триерной очистки зерносмесей является относительное увеличение рабочей длины кукольных цилиндров на основе результатов исследований динамики выделения коротких примесных частиц.

3. Разработанное стендовое оборудование, обеспечивающее инвариантность исследований динамики выделения примесных частиц относительно размеров ячеистых поверхностей, достоверно воспроизводит динамику выделения частиц из зернового сегмента шириной, равной длине его ячеистого цилиндра. Скорость осевого смещения зернового сегмента в исследуемых диапазонах режимов работы увеличивается с ростом скорости вращения ячеистого цилиндра и его загрузки, и составляет 0,0218 – 0,0500 м/с. Ячеистая поверхность стандартного цилиндра используется частично, если время стендовой продолжительности процесса меньше произведения кратности сложения усредненных оценок расхода на расчетные значения интервалов времени –  $< 4,7\Delta t$ .

4. Разработанный метод идентификации производительности триеров по результатам стендовых исследований позволяет при заданных режимах работы и настроечных параметрах стенда циклического действия для исследований ячеистых поверхностей установить величину производительности существующего или проектируемого триера при тех же режимах и параметрах.

5. Разработанный авторегулируемый делитель с грузовоспринимающей системой и шиберным отводом потоков через боковую стенку стабилизирующей емкости обеспечивает возможности упрощения конструкции и сокращения вертикальных габаритов. Делитель с шиберным отводом, обеспечивающий номинальные расходные характеристики (10 т/ч) стандартных триерных блоков, имеет регулируемую емкость квадратного сечения с габаритами в плане  $0,35 \times 0,35$  м и суммарную площадью двух каналов  $0,031 \text{ м}^2$ . При изменении стабилизирующего слоя в диапазоне  $0,15-0,25$  м масса стабилизирующего слоя изменяется в диапазоне  $14-23$  кг. При номинальной загрузке триерных блоков открытие шибера делителя составляет  $0,13$  м, а величина дополнительной массы зерна (сверх стабилизирующего слоя) составляет  $26$  кг. При минимальной подаче зерна в триерный цилиндр ( $1,4$  т/ч), обеспечивающей качество процесса в овсюжном цилиндре, высота открытия шибера составляет  $0,036$  м. Суммарный вертикальный габарит авторегулируемого делителя с учетом перемещения стабилизирующей емкости до верхнего позиционного срабатывания составляет  $0,633$  м.

6. Делитель жалюзийного типа с расходной характеристикой  $Q = 23,3$  т/ч (ширина емкости  $B = 0,4$  м; высота емкости  $H = 0,3$  м) может быть установлен перед триерными блоками при модернизации существующих зерноочистительных агрегатов. Однако, из-за чувствительности к асимметрии зернового монолита в стабилизирующей емкости, его следует применять с центрирующей приемной горловиной.

### 3. ПРОГРАММА И МЕТОДИКИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

#### 3.1 Программа экспериментальных исследований

Программа экспериментальных исследований предусматривает следующие этапы:

- разработать конструктивно-технологические схемы и изготовить экспериментальные установки и стенды для исследований процесса разделения компонентов зерносмесей по длине с помощью ячеистых поверхностей;

- разработать частные методики экспериментальных исследований параметров сегмента зерносмеси внутри ячеистого цилиндра при его вращении, определения числа частиц в контактирующем слое зернового сегмента, углов выброса частиц, динамики выделения ячеистой поверхностью из зерносмеси частиц основной культуры, процесса выделения коротких примесей из зерносмесей ячеистыми поверхностями;

- исследовать физико-механические свойства компонентов зерносмесей;

- подготовить исследуемые зерносмеси;

- провести экспериментальные исследования параметров сегмента зерносмеси, установить число частиц в контактирующем слое, углы выброса частиц;

- провести экспериментальные исследования динамики выделения частиц основной культуры из зерносмесей с помощью ячеистой поверхности;

- провести экспериментальные исследования динамики выделения коротких примесей из зерносмесей с помощью ячеистых поверхностей;

- разработать конструктивно-технологические схемы и изготовить авторегулируемый жалюзийный делитель потока зерна с пассивной стабилизирующей емкостью и боковым размещением отводящих каналов, делитель с грузовоспринимающей системой и шибберным отводом;

- разработать методику проведения экспериментальных исследований процесса деления потока зерна с помощью жалюзийного делителя и делителя с гру-

зовоспринимающей системой и шиберным отводом;

- провести экспериментальные исследования процесса разделения потока зерна с помощью указанных делителей потока зерна.

### 3.2 Определение физико-механических свойств компонентов исследуемых зерносмесей

В ходе проведения экспериментальных исследований процессов деления потока сыпучих материалов, разделения компонентов зерносмесей с помощью ячеистых поверхностей были использованы зерносмеси, состоящие из основной культуры (рисунок 3.1) и одного из примесных компонентов. С целью обеспечения воспроизводимости результатов выполненных исследований нами были определены основные физико-механические свойства применяемых компонентов: насыпная плотность, линейные размеры зерновок, угол внутреннего трения (угол естественного откоса), влажность, масса 1000 частиц. Экспериментальные исследования указанных процессов проводились с учетом общепринятых [36, 102, 68] и разработанных частных методик экспериментальных исследований. Далее приведено краткое описание применяемых компонентов.

В качестве основной культуры была использована пшеница, рисунок 3.1.



Рисунок 3.1 – Пшеница

Для исследований была взята пшеница фракции 2,2-3,0 мм после пропуска через кукольный триер с диаметром ячеек 5 мм.

В качестве примесных компонентов использованы семена следующих растений: просо, горчица, сорго, лен, гречишка вьюнковая, конский щавель, борщевика, а также соцветия тысячелистника, стебли осота полевого, солома резаная (рисунки 3.2-3.11).





Рисунок 3.2 – Просо



Рисунок 3.3 – Горчица



Рисунок 3.4 – Сорго



Рисунок 3.5 – Лён



Рисунок 3.6 – Гречишка вьюнковая



Рисунок 3.7 – Тысячелистник (соцветия)



Рисунок 3.8 – Щавель конский



Рисунок 3.9 – Борщевик



Рисунок 3.10 – Осот полевой (стебли)



Рисунок 3.11 – Солома нарезанная

Просо (рисунок 3.2) является родом однолетних трав семейства злаковых. Известно около 500 видов проса. Встречается в виде кормовых трав и сорняков. Возделывают просо обыкновенное и мелкое, из них получают крупу (пшено), муку и зерновые корма. В Российской Федерации основные объемы возделывают в центрально-черноземных районах и Поволжье [142].

Горчица (рисунок 3.3) относится к семейству крестоцветных, в Евразии насчитывают 7...10 видов. Семена горчицы содержат 20...34 % горчичного масла. Из порошка горчицы после отжима масла готовят приправу и горчичники. Масло горчицы используют в хлебопекарном, кондитерском и консервном производствах. Многие виды горчицы являются сорняками [142].

Сорго (рисунок 3.4) относится к одно- и многолетним травам семейства злаковых. В природе насчитывают 50 его видов. Сорго – сорняки (гумат) используют на кормовые цели (суданская трава) [225]. Сорго – зерновые культуры в различных регионах мира называют: сорго обыкновенное, джугара, дурра, гаолян. Зерно сорго перерабатывают на крупу, муку и крахмал, из соломы изготавливают плетё-

ные изделия, бумагу, веники. Зелёная масса идёт на силос, но не любая, поскольку молодые растения многих видов сорго ядовиты [142].

Лён (рисунок 3.5) – род растений семейства льновые. К роду Лён относятся по разным данным от 100 до 200 видов, из которых самый важный – Лён обыкновенный, или прядильный.

Лён – древнейшая масличная культура. Вероятно, что родина этого растения – горные районы Индии, Китая и Средиземноморья. Сегодня его широко возделывают в умеренной зоне Европы, Азии и Северной Америки, а также в Северной Африке. В России выращивается в качестве яровой культуры. На территорию России лён попал из Азии. Товарное льноводство на Руси возникло в XIII веке. Из стеблей получают волокно, идущее на изготовление одежды, строительного утеплителя, уплотнительного материала в сантехнике («пакля»). Из семян методом холодного прессования получают масло [142].

Гречишка вьюнковая (рисунок 3.6) или Фаллопия вьюнковая или Горец вьюнковый – травянистое растение; вид рода Фаллопия (*Fallopia*) семейства Гречишные. Гречишка вьюнковая широко распространена в северном полушарии, в том числе по всей территории нашей страны. Сорное растение с ветвистым, глубоко растущим, веретенообразным корнем, часто встречающееся на полях, огородах, бахчах, в садах на пустырях, среди кустарников, по берегам водоемов. Усиливает полежание льна, пшеницы, что затрудняет, а иногда делает невозможной механизированную уборку.

Растёт особенно хорошо на умеренно кислой почве, богатой питательными веществами, от лёгкой до среднетяжелой, включая торфянисто-болотную. Плоды можно использовать на корм домашней птице [142, 58, 56, 100].

Тысячелистник – крупный род растений семейства Астровые, или Сложноцветные, включает около 150 видов. Тысячелистник обыкновенный (рисунок 3.7) широко распространённый в Европе и Азии вид, занесён также и на другие континенты [58, 56, 100]. В России встречается практически во всех областях европейской части России, а также во многих районах Западной и Восточной Сибири, Дальнего Востока, Кавказа и Средней Азии. Растет на лугах, в луговых степях,

среди кустарников, в разреженных лесах, вдоль дорог, по оврагам, по берегам водоемов, по окраинам полей. Используется как лекарственное, пряное и медоносное растение. Лекарства из него используют как кровоостанавливающее средство [57]. Некоторые виды тысячелистника используются в декоративном садоводстве – главным образом как почвопокровные растения на бедных, в том числе каменистых, но хорошо дернированных почвах, реже для срезки в обычные и сухие букеты [151].

Щавель конский (рисунок 3.8) – многолетнее травянистое растение; вид рода Щавель семейства Гречишные. Народные названия: лягушачья кислица, кислица конская, щавель густой, огнёвка грыжняя. Произрастает в лесной и лесостепной зонах, по долинам рек заходит в степную зону. Это типичный луговой сорняк. Встречается на лесных полянах и опушках, по обочинам дорог, на полях и огородах, в оврагах, канавах, по берегам озёр и на сорных местах. Чаще растёт единичными экземплярами или небольшими группами, но иногда образует довольно густые заросли площадью в несколько гектаров. Плохо переносит систематическое скашивание и выпас. Плоды – трёхгранные, овальные, коричневые орешки длиной 4–7 мм, заключённые в три разросшиеся доли околоцветника. Плоды созревают в июне – июле, не опадают и висят почти всю зиму [56].

Борщевик – род растений семейства Зонтичные, насчитывающий 70 видов, распространённых в умеренном поясе Восточного полушария (один вид – в Северной Америке). Разные виды борщевика выращиваются как декоративные растения, часть – как силосные на корм скоту, некоторые годны в пищу и человеку. Часть видов содержит фотосенсибилизирующие вещества (фуранокумарины), вызывающие фитофотодерматит у человека и крупных млекопитающих. Борщевик Сосновского (рисунок 3.9) был введён в культуру в конце 40-х годов XX века как высокоурожайное кормовое (главным образом, силосное) растение. Отличается высокой урожайностью — более 2500 центнеров с гектара и высоким содержанием сахаров – до 3 % сырого веса. Но оказалось, что он легко дичает и внедряется в местную флору. Растет на лугах, особенно заливных, по берегам рек, опушек, придорожным луговинам, около жилья. Вкупе с токсичностью его сока это по-

служило причиной к отказу от выращивания борщевика в промышленных масштабах [56].

Осот – род травянистых растений семейства Астровые или Сложноцветные. Однолетние, двулетние или многолетние травы, иногда древеснеющие у основания. Род включает около 130 видов. Некоторые виды, например Осот огородный и Осот полевой (рисунок 3.10) являются злостными сорными растениями.

Образует густую сеть корней в поверхностных слоях почвы. На одном растении образуется до 6 500 семян, которые разносятся ветром. Семена прорастают без периода покоя. При обработке почвы корни с придаточными почками ломаются и дают начало новым побегам. Осот полевой – злостный сорняк полей, огородов, садов. В России распространен в европейской части, на Кавказе и на Алтае. В средней России встречается как обыкновенное растение во всех областях [100, 57, 43].

Кроме того в исследованиях была использована пшеничная солома (рисунок 3.11), нарезанная на частицы, длиной 3-4 мм.

Влажность зерновых компонентов определяли по ГОСТ 13586.5-2015 [47].

Состав зерновой смеси определяли в соответствии с ГОСТ 30483-97 [49].

Насыпная плотность зерна определялась по ГОСТ 10840-64 [46].

Угол естественного откоса определялся по рекомендациям [8, 48].

Одной из наиболее важных характеристик сыпучего материала при исследовании процессов разделения его компонентов является коэффициент силы трения покоя частиц по рабочей поверхности. Для определения коэффициента силы трения покоя исследуемых материалов по рабочим поверхностям использованы три разработанных нами прибора. На рисунке 3.12 представлен общий вид прибора для определения коэффициента силы трения покоя ( $f_{mp}$ ) по желобам исследуемого материала [123]. Прибор содержит платформу 1, шарнирно закрепленную на станине 2, шкалу 3, пластину 4 из исследуемого материала с продольными пазами 5 полукруглой формы радиусом ( $R$ ), большим максимального размера ( $r_{max}$ ) кривизны контура поперечного сечения частиц сыпучего материала, но с меньшим

диаметром ( $2R$ ) их длины ( $l$ ). В пазах размещены частицы 6 исследуемого сыпучего материала.

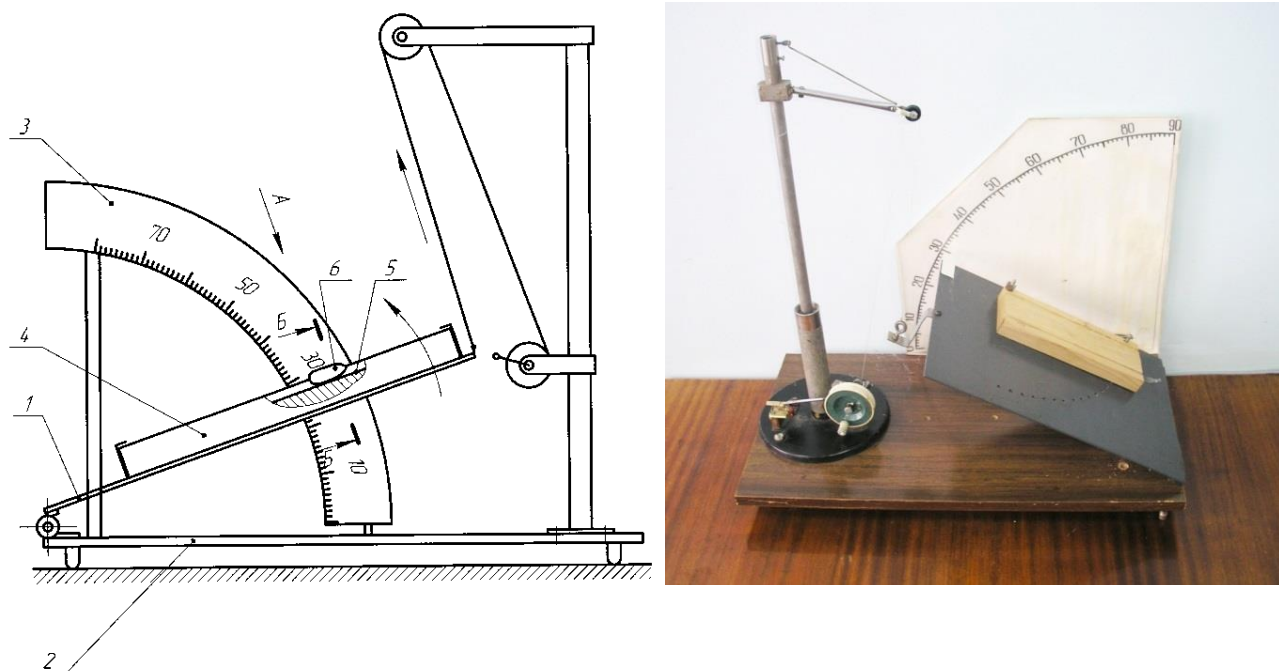


Рисунок 3.12 - Прибор для определения коэффициента силы трения покоя

Определение коэффициента силы трения покоя зерна по стали определяется следующим образом.

В продольные пазы 5 пластины 4, закрепленной на предварительно опущенной в нижнее положение платформе 1, укладывают частицы 6 исследуемого сыпучего материала (например - зерновки). Затем тяговым устройством 7 медленно поднимают платформу 1 с закрепленной на ней пластиной 4 до момента начала скольжения частиц 6 по продольным пазам 5. При этом углы ( $\alpha$ ) начала скольжения частиц 6 регистрируют по шкале 3. По зарегистрированным значениям углов ( $\alpha$ ) начала скольжения частиц 6 определяют среднюю величину  $\bar{\alpha}$ , по которой рассчитывают коэффициент силы трения покоя по формуле  $f_{mp} = \text{arctg} \bar{\alpha}$ . При повторной серии опытов платформу 1 с закрепленной на ней пластиной 4 опускают вниз с помощью тягового устройства 7, после чего повторяют все операции в указанной последовательности.

Другой прибор [114] (патент РФ № 2247360), разработанный нами и использованный при исследованиях коэффициента силы трения покоя, отличается

от рассмотренного выше тем, что зерновки фиксируются в слое вязко-пластичного материала и перемещаются по плоской поверхности.

На рисунке 3.13 представлен общий вид прибора [127], разработанного нами на основе конструкции, предложенной Зенковым Р.Л. [70, с 39-47].



Рисунок 3.13 – Прибор для определения коэффициента силы трения покоя, исключающий неопределенность (погрешность) контакта короба с поверхностью

Указанный прибор состоит из металлического короба с четырьмя винтами, тяговой системы, нажимной пластины, тарелки и набора гирь. Винты служат для обеспечения зазора между коробом и исследуемой поверхностью с целью исключения погрешности измерения, вносимой неопределенностью силы трения короба о пластину.

После загрузки исследуемого зернового материала в короб винты выкручиваются до момента исключения их соприкосновения с исследуемой поверхностью.

Значения коэффициента силы трения покоя определяются по формуле 3.1:

$$f_{\text{тр.}} = \frac{[(m_{\text{г.тар.}} + m_{\text{г.наж.пл.}})(1 - 0,02\sqrt{2})]}{(m_{\text{кор.}} + m_{\text{зерна}} + m_{\text{наж.пл.}} + m_{\text{тар.}})} \quad (3.1)$$

где  $m_{г.тар.}$  – масса гирь в тарелке, кг;  $m_{г.наж.пл.}$  – масса гирь на нажимной пластине, кг;  $m_{кор.}$  – масса короба, кг;  $m_{зерна}$  – масса зерна, кг;  $m_{наж.пл.}$  – масса нажимной пластины, кг;  $m_{тар.}$  – масса тарелки, кг.

Результаты определения основных физико-механических свойств рассмотренных материалов приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Физико-механические свойства компонентов исследуемых зерносмесей

№ п/п	Наименование	Насыпная плотность, кг/м <sup>2</sup>	Размеры, мм			Угол внутреннего трения, град	Влажность, %	Масса 1000 (частиц семян), г
			Длина	Ширина	Толщина			
1	Тысячелистник (семена) соцветия	6,48	4,21	2,8	2,8	37,3	15,1	2,4
2	Стебли осота полевого	158,2	3,36	4,15	2,07	34,1	14,3	5,7
3	Семена щавеля	91,7	3,46	3,2	3,2	42,0	17,3	2,1
4	Солома (резаная)	96,7	3,1	3,02	1,63	37,9	12,0	-
5	Семена борщевика	197,4	5,0	3,28	0,51	37,1	16,0	2,5
6	Пшеница (зерно)	805	7,25	3,35	3,07	24,8	12,04	52,6
7	Горчица (семена)	761	2,15	1,92	1,92	24,6	8,01	6,2
8	Лен (семена)	687	4,53	2,42	1,22	23,0	7,5	6,2
9	Сорго (зерно)	816	3,9	2,9	2,1	31,4	11,7	22,1
10	Гречишка вьюнковая (семена)	467	3,42	2,68	2,51	34,2	12,5	7,0
11	Просо (зерно)	771	2,73	1,91	1,86	20,3	12,6	9,3

### 3.3 Методики исследований процессов выделения зерновок основной культуры из зерносмесей

#### 3.3.1 Методика контроля профиля зерносмеси в ячеистом цилиндре

Для обоснования величины опережения подачи зерносмеси в ячеистые цилиндры необходимо контролировать границы зернового монолита в них при частичных подачах ( $W_i$ ) и различных режимах работы ( $\omega$ ). Кроме того, необходимо контролировать толщину слоя зерносмеси по длине ячеистой поверхности с тем, чтобы отслеживать динамику выделения компонентов зерносмеси и процесс «вы-



едания» частиц из ячеек вышележащими слоями.

Существующие средства измерений [151, 72, 151] не пригодны для контроля толщины слоя сыпучих материалов в замкнутых технологических емкостях по причинам: недоступности объекта измерений; высокой трудоемкости измерительных операций; низкой точности контроля.

Для измерения толщины слоя сыпучих материалов в технологических емкостях нами разработан и изготовлен специальный прибор [129], рисунки 3.14 – 3.17.



Рисунок 3.14 – Общий вид прибора для измерения толщины слоя сыпучих материалов в технологических емкостях

Прибор для измерения толщины слоя сыпучих материалов в технологических емкостях содержит штангу 1, траверсу 2 с тарельчатой опорой 3 и опорной шайбой 4, кронштейн 5, стойку 6 с вертикальной шкалой 7, рейку 8 с горизонтальной шкалой 9, съемным ограничителем 10 и рукояткой 11, подпружиненный зажим 12, размещенный на штоке 13 с упорной шайбой 14, пружину 15, кронштейны 16 с отверстиями 17, тягу 18, поворотный кронштейн 19 с лапкой 20.

Прибор работает следующим образом. В исходном положении I нижняя часть траверсы 2 совмещена с нижней частью штанги 1 в горизонтальной плоскости, а подпружиненный зажим 12 фиксирует их положение.

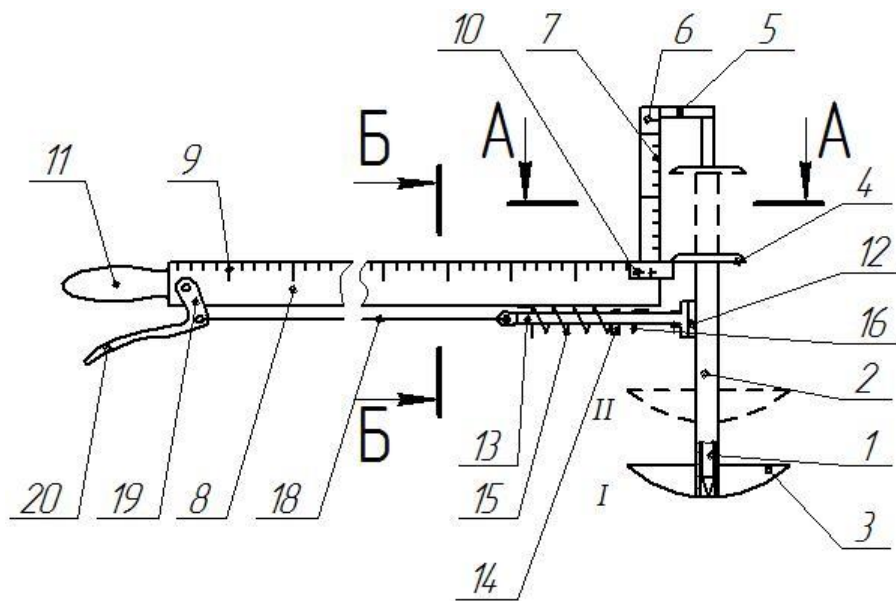


Рисунок 3.15 – Конструктивно-технологическая схема прибора для измерения толщины слоя сыпучих материалов в технологических емкостях

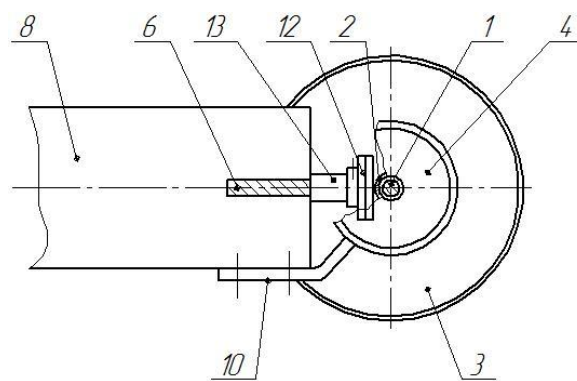


Рисунок 3.16 – Вид А на рисунке 3.15

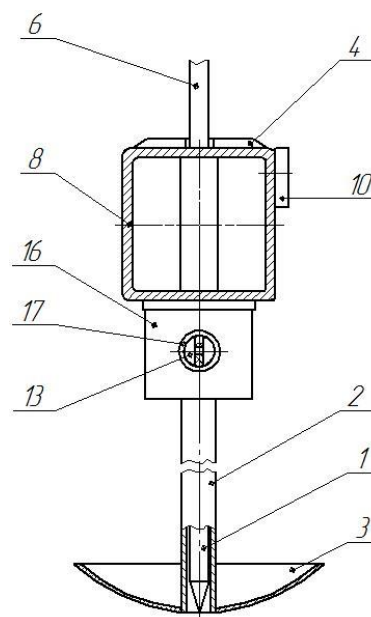


Рисунок 3.17 – Разрез Б – Б на рисунке 3.15

Далее прибор для измерения толщины слоя сыпучих материалов в технологических емкостях вводят в последние на необходимую величину, отмеряемую по горизонтальной шкале 9. После чего, сжимая рукоятку 11 и лапку 20, посредством поворотного кронштейна 19 и тяги 18 штока 13 с упорной шайбой 14 преодолевает усилие пружины 15, перемещаясь в отверстиях 17 кронштейнов 16, и отводит подпружиненный зажим 12 от траверсы 2. При этом освобождается перемещение траверсы 2 относительно штанги 1. Удерживая снизу рукоятку 11 с лапкой 20 и надавливая на рейку 8 рукой, штангу 1 погружают в сыпучий материал до упора в технологическую емкость. Траверса 2 за счет тарельчатой опоры 3 удерживается на поверхности сыпучего материала. В момент контакта штанги 1 с внутренней поверхностью технологической емкости отпускают лапку 20 и подпружиненный зажим 12 фиксирует положение II траверсы 2 относительно штанги 1. Рейку 8 поднимают вверх, выглубляя штангу 1 из сыпучего материала, и прибор для измерения толщины слоя сыпучих материалов в технологических емкостях выводят из последних. Нижняя поверхность опорной шайбы 4 указывает на вертикальной шкале 7 толщину слоя сыпучего материала в точке замера, удаление которой от торца технологической емкости определяют по шкале 9 на рейке 8. Далее лапкой 20 посредством поворотного кронштейна 19, тяги 18 и штока 13 отводят подпружиненный зажим 12, освобождая перемещение траверсы 2 относительно штанги 1. Траверса 2 под собственным весом опускается в исходное положение, когда опорная шайба 4 достигает до съемного ограничителя 10. Затем траверсу 2 фиксируют на штанге 1 подпружиненным зажимом 12 и замеры толщины слоя сыпучего материала в технологических емкостях повторяют в указанной выше последовательности.

Крепление штанги 1 посредством кронштейна 5 к стойке 6 параллельно ей обеспечивает свободное перемещение траверсы 2 и позволяет определять результаты замеров толщины слоя сыпучих материалов в технологических емкостях по вертикальной шкале 7, размещенной на стойке 6. Рейка 8 с горизонтальной шкалой 9 обеспечивает координатную привязку результатов замеров и позволяет определять профиль сечения сыпучего материала в технологических емкостях.

Тарельчатая опора 3 траверсы 2 частично копирует поперечный профиль сыпучего материала в технологических емкостях цилиндрической формы, исключая дополнительную погрешность измерений. Опорная шайба 4 гарантирует ее контакт со съемным ограничителем 10 не зависимо от поворота траверсы 2 относительно оси штанги 1, а возможность отсоединения съемного ограничителя 10 от рейки 8 обеспечивает сборку и разборку прибора для измерения толщины слоя сыпучих материалов в технологических емкостях.

Измерения толщины слоя зерносмеси в ячеистом цилиндре проводили с интервалом 0,2 м по его длине после каждого опыта по выделению компонентов зерносмеси.

При повторных опытах с сохранением условий эксперимента измерения возобновляли с их координатной привязкой в осевом направлении. Далее проводили статистическую обработку результатов измерений по известной методике.

### **3.3.2 Методика исследований процессов выделения частиц основной культуры с помощью стендов циклического действия**

Исследования процесса выделения частиц основной культуры (пшеницы) из зерносмесей ячеистой поверхностью проводились нами на разработанном стенде циклического действия для исследований ячеистых поверхностей. Конструктивно-технологическая схема стенда представлена на рисунке 3.18. Его общий вид – на рисунке 3.19.

Стенд содержит ячеистый цилиндр (овсюжный) 1, выводной лоток 2 с верхней кромкой 3 и наклонным днищем 4, привод 5, опорную площадку 6, блокирующее кольцо 7 с цилиндрической обечайкой 8, торцевые фланцы 9, защелки 10, пирамидальную стойку 11 со стяжным винтом 12, выгрузную горловину 13, емкость 14, раму 15 с опорами 16, шарнир 17, горизонтальную платформу 18, ручку 19, шпингалет 20. штифт 21.

Стенд работает следующим образом. В ячеистый цилиндр 1 со стороны блокирующего кольца 7 загружают навеску зерна или зерносмеси.

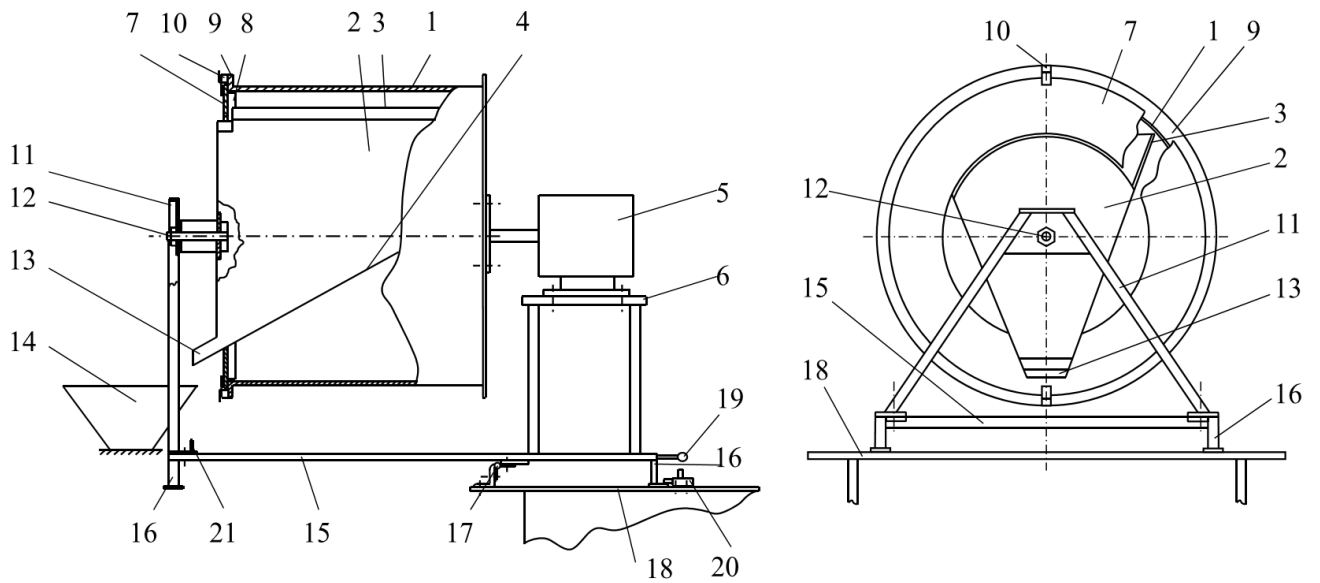


Рисунок 3.18 – Конструктивно-технологическая схема станда для исследования ячеистых поверхностей



Рисунок 3.19 – Общий вид станда для исследований ячеистых поверхностей

При этом выводной лоток 2 установлен горизонтально на пирамидальной стойке 11 стяжным винтом 12, а опора 16 рамы 15 зафиксирована на горизонтальной платформе 18 шпингалетом 20. Под выгрузной горловиной 13 выводного лотка 2 размещают емкость 14. Включают привод 5, размещенный на опорной пло-

щадке 6. Вращающийся ячеистый цилиндр 1 захватывает из зерносмеси частицы основной культуры и направляет их в выводной лоток 2 через верхнюю кромку 3. Выделенные частицы по наклонному днищу 4 выводного лотка 2 через выгрузную горловину 13 поступают в емкость 14, которая заменяется через равные промежутки времени, определяемые условиями опыта. Отслеживая визуально окончание поступления выделенных примесей частиц в емкость 14, отключают привод 5. Далее размыкают защелки 10 и выводят блокирующее кольцо 7 с цилиндрической обечайкой 8 из ячеистого цилиндра 1. Затем блокирующее кольцо 7 опускают вниз на раму 15 и размещают нижней частью между пирамидальной стойкой 11 и штифтом 21. Шпингалетом 20 освобождают опору 16 рамы 15 и, держась за ручку 19, поворачивают стенд вокруг шарнира 17. При этом невыделенные зерновки основной культуры и длинные примеси (при наличии) самотеком удаляются из ячеистого цилиндра 1 и направляются в дополнительную емкость. Для окончательной очистки ячеистого цилиндра 1 в опрокинутом положении включают привод 5 на короткий промежуток времени. Затем ручкой 19 опускают стенд в горизонтальное положение, фиксируют шпингалетом 20 опору 16 на горизонтальной платформе 18, поднимают блокирующее кольцо 7, направляя его цилиндрической обечайкой 8 внутрь ячеистого цилиндра 1 и фиксируют защелками 10 на торцевом фланце 9. Загружают в ячеистый цилиндр 1 новую навеску сыпучего и повторяют процесс выделения примеси из нее в той же последовательности.

Цилиндрическая обечайка 8 обеспечивает лабиринтную герметичность соединения блокирующего кольца 7 с торцевым фланцем 9 при малых прижимных усилиях защелок 10. Исключение за счет этого утечек из ячеистого цилиндра 1 мелких частиц повышает точность оценки исследуемого процесса. Цилиндрическая обечайка 8 блокирующего кольца 7 исключает пристенный эффект, когда увеличиваются угол подъема и вероятность выброса длинных частиц в выводной лоток при случайном их захвате ячеистым цилиндром.

Оперативность соединения блокирующего кольца 7 с торцевым фланцем 9 с помощью защелок 10 сокращает трудоемкость работ. Выполнение вертикальной стойки 11 пирамидальной формы, когда ее элементы направлены радиально отно-

сительно блокирующего кольца 7, максимально облегчают доступность оператора к защелкам 10, что дополнительно снижает трудоемкость работ.

После проведения опыта навески выделенных компонентов взвешиваются, результаты заносятся в форму регистрации (таблица 3.2) и расчетами определяют динамику выделения частиц основной культуры ячеистой поверхностью.

Таблица 3.2 – Форма регистрации опытных данных

№ п/п	m <sub>н</sub> , кг	n, об/мин	Угол $\gamma_n$ , град.	t <sub>оп</sub> , с	Выделенная масса по интервалам, кг														
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1																			
2																			
...																			

Скорость вращения ячеистого цилиндра запланирована в качестве одного из исследуемых факторов, в состав привода стенда входит частотный преобразователь и мотор-редуктор, необходимо произвести тарировку скорости вращения цилиндра в зависимости от частоты тока, задаваемой по шкале преобразователя. На рисунке 3.20 представлена взаимосвязь скорости вращения ячеистого цилиндра стенда с частотой тока.

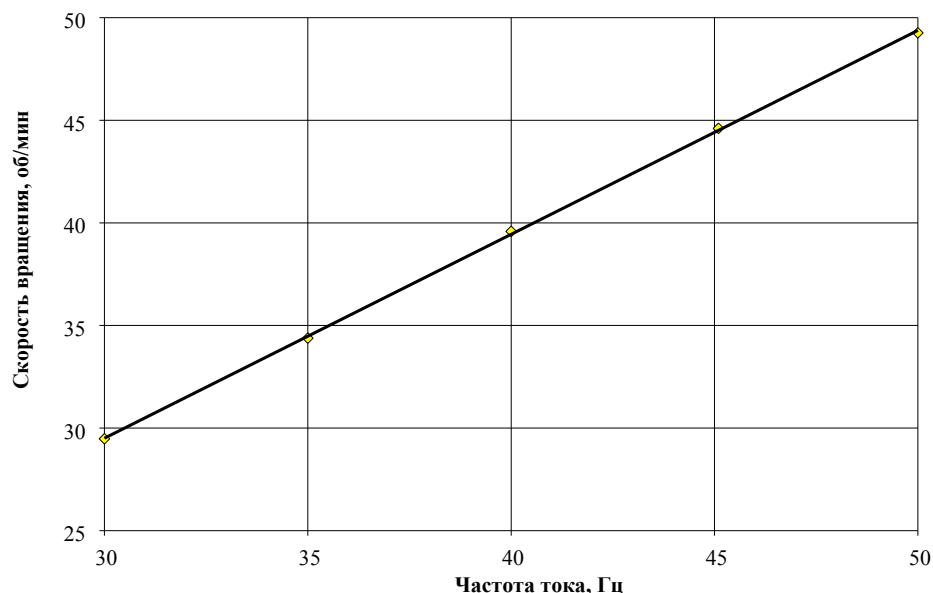


Рисунок 3.20 – Тарировка скорости вращения цилиндра.

Скорость вращения цилиндра в экспериментах составляла 30; 35; 40; 45 об/мин чему соответствуют значения частоты тока 30,6; 35,6; 40,6; 45,6 Гц.

Состав факторов, влияние которых на динамику процесса выделения частиц основной культуры (пшеницы) изучалось в ходе экспериментальных исследований, представлены в таблице 3.3.

Таблица 3.3 – Исследуемые факторы, диапазоны и интервалы их варьирования

№ п/п	Наименование факторов	Обозначение	Ед. изм.	Диапазон варьирования	Интервал варьирования
1	Скорость вращения ячеистого цилиндра	n	об/мин	30-45	5
2	Масса навески зерна перед началом опыта	m <sub>н</sub>	кг	7-13	2
3	Угол подъема верхней кромки передней стенки выгрузного лотка	γ <sub>п</sub>	град	20-40	5
4	Радиальный зазор между верхней кромкой передней стенки лотка и внутренней поверхностью ячеистого цилиндра	Z <sub>р</sub>	мм	10-28	10; 13; 15; 20; 28

План эксперимента представлен в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Порядок и условия проведения опытов

№ п/п	m <sub>н</sub> , кг	n, об/мин	γ <sub>п</sub> , град.	t, с	№ п/п	m <sub>н</sub> , кг	n, об/мин	γ <sub>п</sub> , град.	t, с	№ п/п	m <sub>н</sub> , кг	n, об/мин	γ <sub>п</sub> , град.	t, с
1	7	30	20	5	21	9	30	25	10	41	11	30	35	10
2	7	35	20	5	22	9	35	25	7	42	11	35	35	7
3	7	40	20	4	23	9	40	25	4	43	11	40	35	4
4	7	45	20	3	24	9	45	25	3	44	11	45	35	3
5	7	30	25	10	25	9	30	30	10	45	11	30	40	15
6	7	35	25	6	26	9	35	30	7	46	11	35	40	10
7	7	40	25	4	27	9	40	30	4	47	11	40	40	5
8	7	45	25	3	28	9	45	30	3	48	11	45	40	3
9	7	30	30	10	29	9	30	35	10	49	13	30	30	10
10	7	35	30	7	30	9	35	35	7	50	13	35	30	7
11	7	40	30	5	31	9	40	35	4	51	13	40	30	4
12	7	45	30	3	32	9	45	35	3	52	13	45	30	3
13	7	30	35	10	33	9	30	40	15	53	13	30	35	15
14	7	35	35	7	34	9	35	40	7	54	13	35	35	7
15	7	40	35	5	35	9	40	40	5	55	13	40	35	5
16	7	45	35	3	36	9	45	40	4	56	13	45	35	3
17	7	30	40	10	37	11	30	30	10	57	13	30	40	15
18	7	35	40	7	38	11	35	30	7	58	13	35	40	10
19	7	40	40	5	39	11	40	30	4	59	13	40	40	6
20	7	45	40	3	40	11	45	30	3	60	13	45	40	4



### 3.3.3 Методика исследований взаимосвязи параметров сегмента зерносмеси с режимами работы станда

Для исследований геометрических параметров сегмента зерносмеси внутри цилиндра при разных режимах работы был создан специальный станд (рисунок 3.21) на основе станда для исследований процесса выделения частиц основной культуры.



Рисунок 3.21 – Станд для исследований геометрических параметров сегмента

Для этого со станда (рисунок 3.18) демонтированы выводной лоток 2, блокирующее кольцо 7 с цилиндрической обечайкой, пирамидальная стойка 11 со стяжным винтом 12. Установлены цилиндрическая обечайка с четырьмя фиксаторами для исключения пристенного эффекта, прозрачная передняя стенка цилиндра, выполненная из оргстекла, с круглым окном в центре для загрузки в цилиндр сыпучего материала; две угловые шкалы, позволяющие контролировать положение верхней границы сегмента относительно горизонтали и положение нижней границы сегмента относительно вертикали.

Опыт по определению параметров сегмента проводится в следующей последовательности. В ячеистый цилиндр стенда через окно в центре передней прозрачной стенки засыпается навеска сыпучего материала. Включается привод.

С помощью частотного преобразователя по данным рисунка 3.20 устанавливается необходимая скорость вращения ячеистого цилиндра. Визуально по шкалам определяется положение верхней и нижней кромок сегмента, результаты заносятся в форму регистрации (таблица 3.5). Выключается привод.

Таблица 3.5 – Форма регистрации параметров сегмента

№ п/п	Масса навески, кг	Скорость вращения цилиндра, n, об/мин	Угловые положения границ сегмента, град		Угол охвата сегмента, ( $\gamma$ ) град	Примечание
			верхней	нижней		
1						
2						
...						

Далее определяется угол охвата сегмента, изменяются режимные параметры стенда и опыт повторяется в той же последовательности.

### **3.4 Методики исследований процессов выделения коротких примесей из зерносмесей**

#### **3.4.1. Методика исследований динамики выделения примесных компонентов зерносмеси по длине ячеистой поверхности с помощью стендов циклического действия**

Для исследований динамики выделения компонентов зерносмеси по длине частиц ячеистой поверхностью нами разработаны и изготовлены специальные стенды [125, 126]. Они обеспечивают объективную интервальную оценку показателей интенсивности выделения компонентов и остаточной засоренности при управляемой отдельной подаче зерновок основной культуры и примесей с учетом их относительной сегрегации («осаждения», «всплытия») в слое.

Для реализации выявленных резервов в части обеспечения управляемости и повышения качества процессов на основе результатов исследований необходи-

мо было решить другие методические вопросы – количественной определенности условий опытов и их результатов:

- численной оценки количества ячеек на поверхности триерных цилиндров;
- численной оценки плотности размещения зерновок основной культуры в контактирующем слое сегмента;
- взаимосвязи выбранных режимов работы триерных цилиндров с углами выброса для выявленных диапазонов углов трения разделяемых компонентов по стальной поверхности;
- контроля высоты слоя зерносмеси по длине ячеистого цилиндра.

Первая методическая задача обеспечения численной определенности условий опытов и решения задач сравнения при модернизации триерных блоков нашла свое отражение в главе 2. Это позволило связать динамику выделения зерновок основной культуры с частотой вращения ( $\omega$ ) триерного цилиндра и определять длину свободной ячеистой поверхности при различных величинах подачи зерносмеси ( $W$ ).

Остальные требуют дополнительного методического обоснования.

### **Определение числа частиц в контактирующем слое сегмента**

Параметры контактирующего слоя зерновок основной культуры и частиц примесного компонента – площадь их контакта с ячеистой поверхностью в 1-ом цикле выделения частиц определяли по данным таблиц 2.14, 2.15, 2.17 (глава 2):

$$S_c = l \cdot \varrho_x \cdot t, \text{ м}^2. \quad (3.2)$$

Плотность размещения зерновок на плоскости определяли опытным путем. Для этого брали поддон ограниченных габаритных размеров площадью  $S_{\Pi}$ . Заполняли поддон зерновками основной культуры в один слой, уплотняли встряхиванием и подсчитывали число зерновок в слое ( $n_3$ ). Затем рассчитывали плотность размещения зерновок основной культуры на плоскости:

$$П_3 = n_3 \cdot \frac{1}{S_n}, \text{ шт/м}^2. \quad (3.3)$$

Число зерновок в контактирующем слое ( $n_{сл}$ ) сегмента определяли по формулам (3.2) и (3.3):

$$n_{сл} = \Pi_z \cdot S_c, \text{ шт.}$$

Для исходной засоренности  $Z_n=3-7\%$  зерносмеси примесными компонентами (просом) считали, что они размещаются между зерновками основной культуры и не сокращают их число –  $n_{сл}$ .

Выбор проса в качестве примесного компонента обусловлен следующими причинами:

- снижение трудоемкости разделения проб зерносмеси на компоненты с использованием решетного классификатора;
- обеспечение количественной определенности зерносмеси по массовому и поштучному составу, что облегчает отслеживание динамики выделения частиц из зерносмеси по длине ячеистой поверхности и определения резервов модернизации триерных блоков с однозначной численной оценкой;
- просо имеет положительный градиент «осаждения» в зерносмеси и позволяет выявить эффект ее выделения относительно поликомпонентной примеси.

Число частиц в контактирующем слое ( $n_{сли}$ ) определяли из условия достаточной циркуляции зерносмеси в сечении сегмента, обеспечивающей равномерное распределение частиц в его объеме в любом цикле выделения.

### Определение углов выброса частиц

Величина углов выброса частиц ( $\beta$ ) зависит от показателя кинематического режима ( $\kappa$ ) работы триера, угла трения ( $\varphi$ ) частиц по материалу ячеистого цилиндра и угла расположения ( $\lambda$ ) задней стенки ячей [99]:

$$\beta = \lambda + \varphi - \arccos[\kappa \cdot \sin(\lambda + \varphi)]. \quad (3.4)$$

Входящие в формулу (3.4) физические величины изменяются в некоторых диапазонах, а  $\lambda = 90^\circ$  для штампованных ячей стальных цилиндров. Поэтому достаточно обосновать диапазоны изменения  $\kappa$  и  $\varphi$ .

Профессор А.Б. Лурье [99], ссылаясь на работы М.Н. Летошнева исследует процессы триерной очистки зерносмесей в диапазоне  $K = 0,35-0,55$ . При этом оптимальным значением он считает  $\kappa_{opt} = 0,444$  для всех культур. Этому значению  $\kappa$  соответствуют  $\omega = 3,81 \text{ с}^{-1}$ ,  $n = 36,4$  об/мин. Академик Г.Е. Листопад [97] рассматривает и считает оптимальным более высокий скоростной режим работы триера  $\kappa = 0,5-0,7$ . Этому диапазону ( $\kappa$ ) соответствуют:  $\omega = 4,04-4,78 \text{ с}^{-1}$ ;  $n = 38,6-45,7$  об/мин.

Учитывая мнение авторов работ [99, 97], нами в эксперименте исследовались уровни  $n = 35, 40, 45$  об/мин. Для этой области эксперимента характерны:  $\kappa_{min} = 0,41$ ;  $\kappa_{max} = 0,68$ . Диапазон углов трения ячменя и пшеницы по холоднокатанной стали составляет  $\varphi = 25-40^\circ$  [174].

Тогда нижняя граница угла выброса для  $\kappa_{min} = 0,41$  будет  $\beta'_e = 46,8^\circ$ , а верхняя  $\beta''_e = 58,3^\circ$ . Для  $\kappa_{max} = 0,68$  –  $\beta'_e = 63^\circ$ , а  $\beta''_e = 71,4^\circ$ .

Из выполненных расчетов по формуле (3.4) следует, что установку передней стенки лотка следует проводить по минимальным углам выброса на каждом режиме работы овсюжного цилиндра в диапазоне  $\beta'_e = 46,8-63^\circ$ .

Для примесного компонента (просо), который легко скатывается по стальной поверхности для кукольного триера вполне обосновано принять  $\varphi = 0$ . Тогда диапазон минимальных углов выброса при  $\kappa = 0,41-0,68$  будет  $\beta'_e = 24,2-42,8^\circ$ .

По этим значениям ( $\beta'_e$ ) необходимо посредством регулировки устанавливать секционный отборник проб экспериментального стенда, а перекрытие всего факела выброса примесных частиц – обеспечить наращиванием задней диаметральной стенки.

### **3.4.2 Методика исследований процесса выделения коротких примесей с помощью натурального триера**

С целью определения рациональных параметров и режимов работы ячеистых поверхностей при различных значениях производительности и исходной засоренности, а так же определения степени влияния на качество процесса интен-

сивности потока зерносмеси, которая является убывающей по мере продвижения по ячеистой поверхности триерного цилиндра, нами был разработан натурный стенд для исследований ячеистых поверхностей [125, 126, 186], конструктивно-технологическая схема которого представлена на рисунке 3.22. Общий вид представлен на рисунке 3.23.

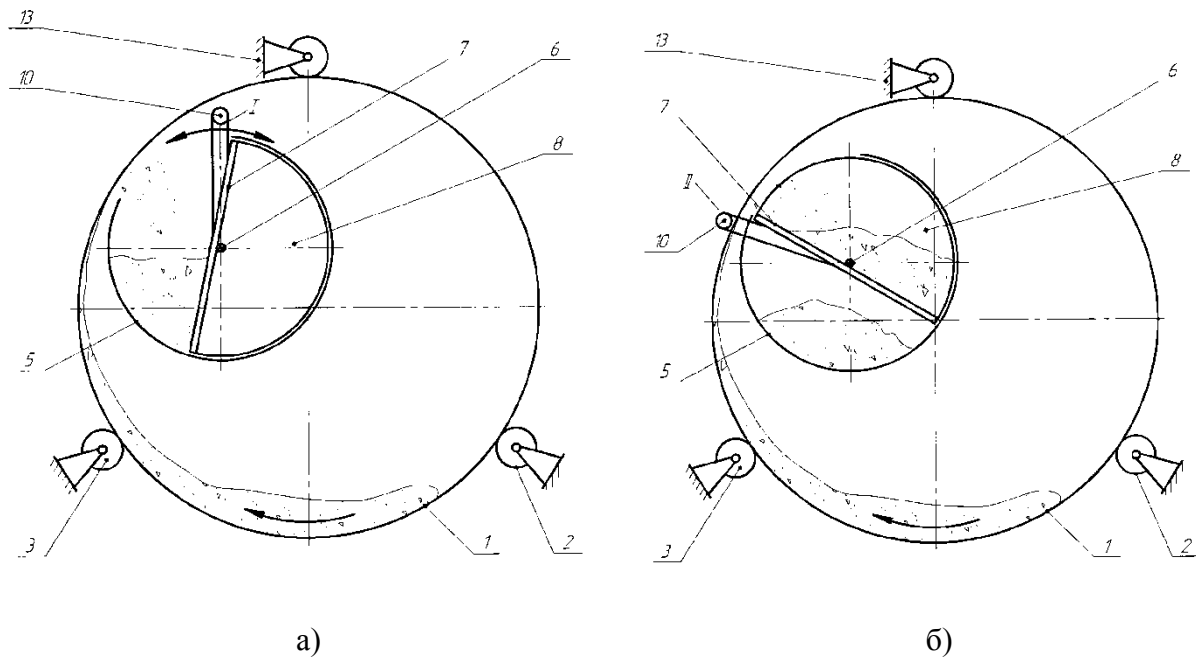


Рисунок 3.22 – Возможные положения приемного лотка

Стенд содержит стандартный кукольный ячеистый цилиндр 1, приводные 2 и опорные 3 ролики, загрузочный лоток 4, желоб 5, вал 6 со стенкой 7 и сегментными перегородками 8, опорные валики 9, поворотный рычаг 10, платформу 11 с фиксаторами 12 и раму 13 с фиксаторами 14, направляющие 15.

Стенд работает следующим образом. Ячеистую поверхность 1 приводят во вращательное движение приводными роликами 2. Затем внутрь ячеистой поверхности 1 по загрузочному лотку 4 подают зерновую смесь. После стабилизации процесса распределения зерновой смеси по длине и ширине ячеистой поверхности 1 внутри нее с противоположного торца вводят желоб 5, перемещая его в осевом направлении по опорным валикам 9. При этом стенка 7 с поворотным рычагом 10 находится в положении I (рисунок 3.22 а).

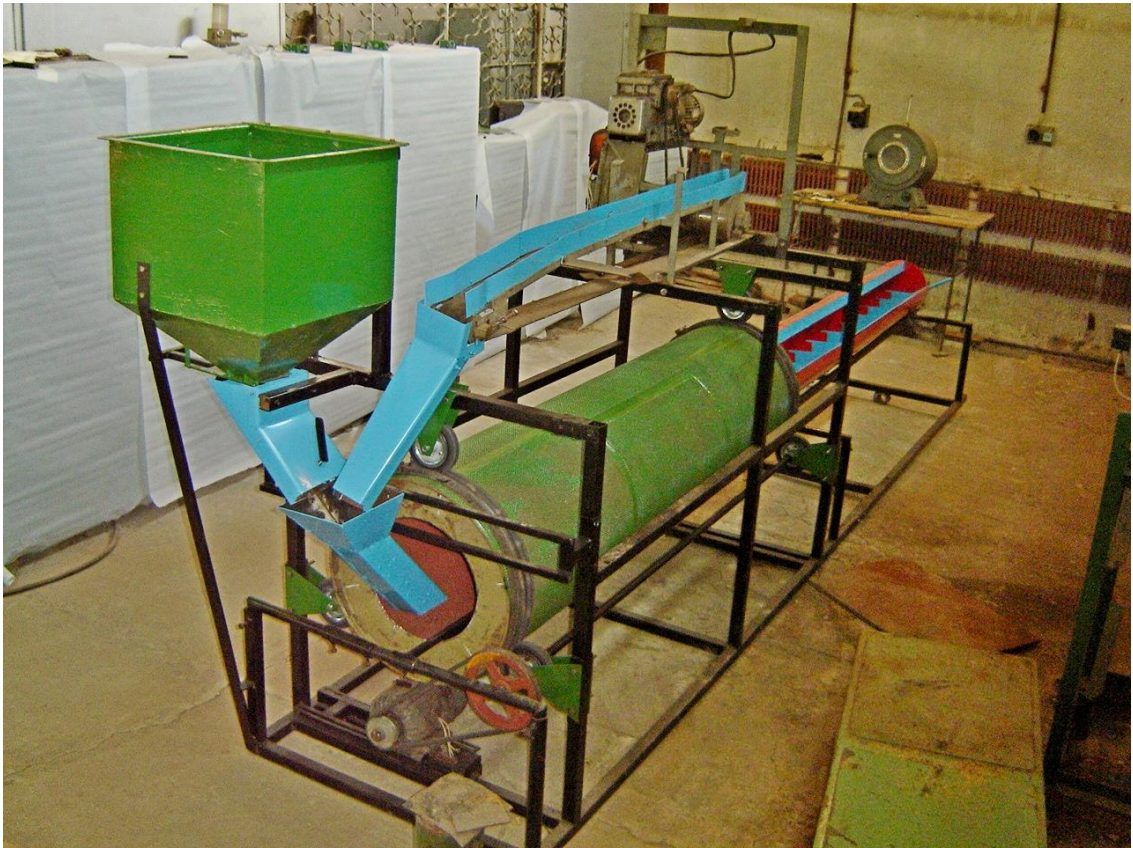


Рисунок 3.23 – Общий вид натурального стенда для исследований ячеистых поверхностей

После стабилизации процесса выделения частиц из зерносмеси поворотным рычагом 10 поворачивают вал 6 со стенкой 7 в положение II (рисунок 3.22 б). Этот момент является началом отсчета времени отбора проб, в течение которого выделяемые частицы накапливаются в отдельных объемах желоба 5, ограничиваемых стенкой 7, желобом 5 и сегментными перегородками 8. По окончании времени отбора проб рычагом 10 поворачивают вал 6 со стенкой 7 в исходное положение I (рисунок 3.22 а). После этого вращение ячеистой поверхности 1 прекращают, а желоб 5 выводят из нее, перемещая его по опорным валикам 9. Затем рычаг 10 со стенкой 7 переводят в положение II (рисунок 3.22 б) и из каждого отдельного объема желоба 5, находящегося между сегментными перегородками 8 выгружают выделенные частицы в отдельные мерные емкости и взвешивают.

Возможность поворота вала 6 со стенкой 7 в желобе 5 в два положения поворотным рычагом 10 позволяет исключить погрешность контроля навесок выделяемых из зерносмеси частиц в периоды времени: ввода желоба 5 во внутренний

объем ячеистой поверхности 1; стабилизации процесса выделения частиц; вывода желоба 5 из внутреннего объема ячеистой поверхности 1.

Перед началом проведения эксперимента необходимо подготовить стенд. Для этого необходимо установить триерный цилиндр с ячейками соответствующего размера. Определить диапазон углов выпадения выделяемых частиц из ячеек и установить в соответствующее положение желоб относительно ячеистой поверхности 1. По вертикали это достигается посредством направляющих 15 и фиксаторов 12, по горизонтали – посредством перемещения платформы 11 по раме 13 с последующей фиксацией фиксатором 14.

После подготовки стенда, проводится эксперимент в последовательности работы стенда, описанной выше. Полученные навески взвешиваются, и определяется степень выделения сорной примеси на каждом участке ячеистого цилиндра:

$$Q_{\kappa} = Q_u \left( 1 - \sum_{i=1}^{\kappa} m_i / Q_u t \right); \quad (3.5)$$

$$Z_{\kappa} = \left[ m_{np} / \left( M_0 + m_{np} - \sum_{i=1}^{(\kappa-1)} m_i \right) \right] \cdot 100\%, \quad (3.6)$$

где  $Q_{\kappa}$  – подача зерносмеси (переменная по длине триерной поверхности), соответствующая расположению  $\kappa$ -го по счету межсегментному объему от загрузочного лотка 4, кг/с;

$Q_u$  – исходная подача зерносмеси через загрузочный лоток 4;

$m_i$  – масса навески выделенных частиц в  $i$ -ом объеме, кг;

$t_{on}$  – продолжительность отбора проб, с;

$Z_{\kappa}$  – засоренность зерносмеси на участке ячеистой поверхности, находящейся под  $\kappa$ -ым межсегментным объемом, %;

$m_{np}$  – масса примесей в исходной навеске зерносмеси, кг;

$M_0$  – масса зерна основной культуры в исходной навеске, кг;

$\kappa = 1, 2, 3 \dots$ ;

$i = 1, 2, 3 \dots$

Формула (3.6) справедлива для ячеистых поверхностей, выносящих из зерносмеси в желоб 5 зерно основной культуры. Для ячеистых поверхностей, выно-



сящих из зерносмеси в желоб 5 примеси, распределение засоренности ( $Z'_k$ ) по длине ячеистой поверхности будет определяться формулой:

$$Z'_k = \left\{ \left( m_{np} - \sum_{i=1}^{(k-1)} m_i \right) / \left[ M_0 + \left( m_{np} - \sum_{i=1}^{(k-1)} m_i \right) \right] \right\} \cdot 100\%. \quad (3.7)$$

По выявленным в результате испытаний значениям  $Q_k$ ,  $Z_k$ ,  $Z'_k$  устанавливают взаимосвязи  $Z_k = f_1(Q_k)$ ,  $Z'_k = f_2(Q_k)$ , которые отражают объективные условия протекания технологического процесса и являются основой для определения рациональных параметров и режимов работы ячеистых поверхностей.

Далее стенд готовится к проведению следующей серии опытов, которая проводится в той же последовательности.

### **3.4.3 Методика исследований процесса выделения коротких примесей с помощью циклического стенда на опорных роликах и прибора для разделения проб зерносмесей**

Исследования процессов разделения компонентов зерносмесей ячеистой поверхностью проводились нами на разработанном стенде [134, 187] для исследований ячеистых поверхностей и приборе [135, 188] для разделения проб зерносмесей. Они обеспечивают замену пространственной модели процесса на временную с оценкой параметров процесса инвариантно, относительно длины ячеистой поверхности. Конструктивно-технологическая схема стенда представлена на рисунке 3.24. Его общий вид — на рисунке 3.25.

Стенд для исследований ячеистых поверхностей содержит ячеистый цилиндр 1, приводной 2 и опорные 3 ролики, кронштейны 4, раму 5, питатель 6, желоб 7 с боковыми стенками 8 и 9, передней 10 и задней 11 вертикальными стенками, наклонным днищем 12, хвостовики 13 и 14, фиксаторы 15 и 16, горизонтальную платформу 17 с шарниром 18, емкости 19 и 20, реборды 21.

Стенд работает следующим образом. Ячеистый цилиндр 1 приводят во вращательное движение приводным роликом 2.

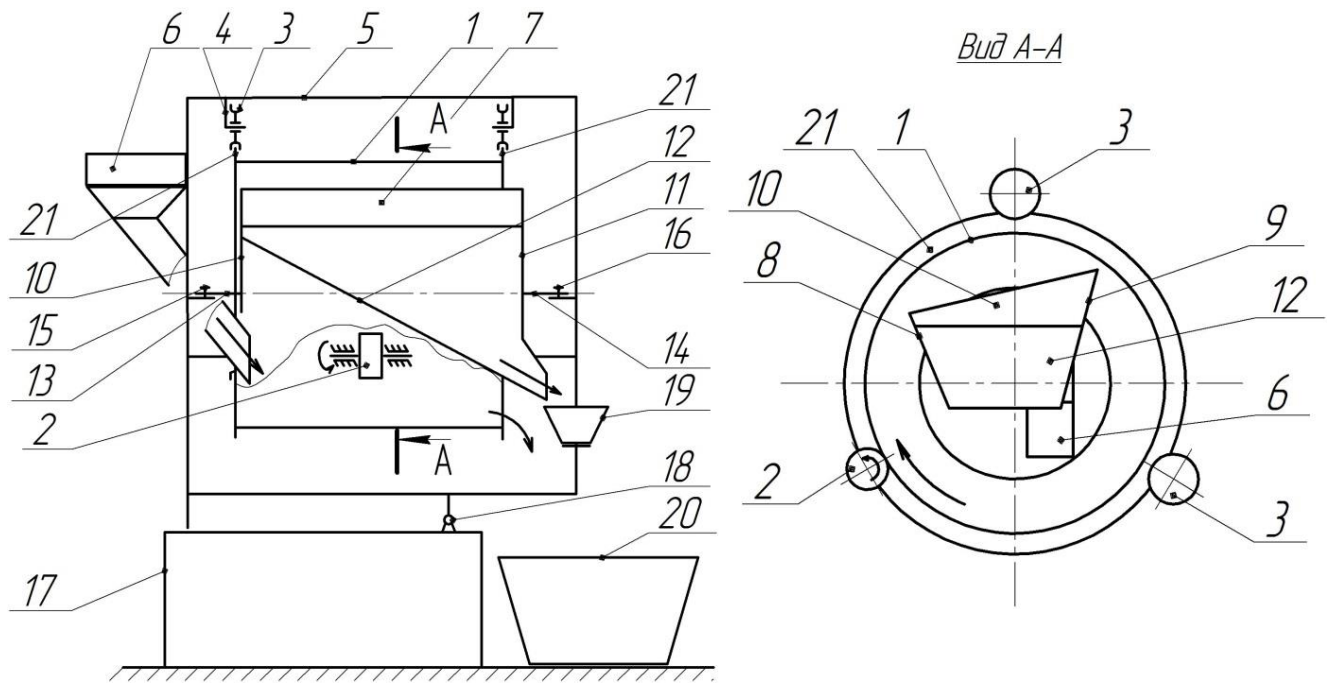


Рисунок 3.24 – Конструктивно-технологическая схема станда для исследования  
ячеистых поверхностей



Рисунок 3.25 – Общий вид станда для исследований ячеистых поверхностей

Скорость вращения ячеистого цилиндра устанавливается с помощью частотного преобразователя. Затем в ячеистый цилиндр 1 питателем 6 подают пробу зерносмеси. Ячей захватывают короткие примеси и подают их в желоб 7, полость которого ограничена боковыми стенками 8 и 9, передней 10 и задней 11 вертикальными стенками, а снизу – наклонным днищем 12. Выделенные частицы короткой примеси по днищу 12 желоба 7 скатываются в емкость 19. При исследовании динамики выделения коротких примесей осуществляется смена емкостей 19 через равные интервалы времени.

В процессе разделения пробы зерносмеси положение желоба сохраняется с помощью фиксаторов 15 и 16, установленных на хвостовиках 13 и 14. Осевое перемещение ячеистого цилиндра 1 предотвращается ребордами 21, взаимодействующими с опорными роликами 3, установленными на кронштейнах 4, закрепленных на раме 5. После окончания выделения частиц короткой примеси из зерносмеси емкость 19 отправляют на взвешивание, а раму 5, закрепленную на горизонтальной платформе 17 посредством шарнира 18, поворачивают в вертикальной плоскости, выгружая компонент с длинными частицами в емкость 20.

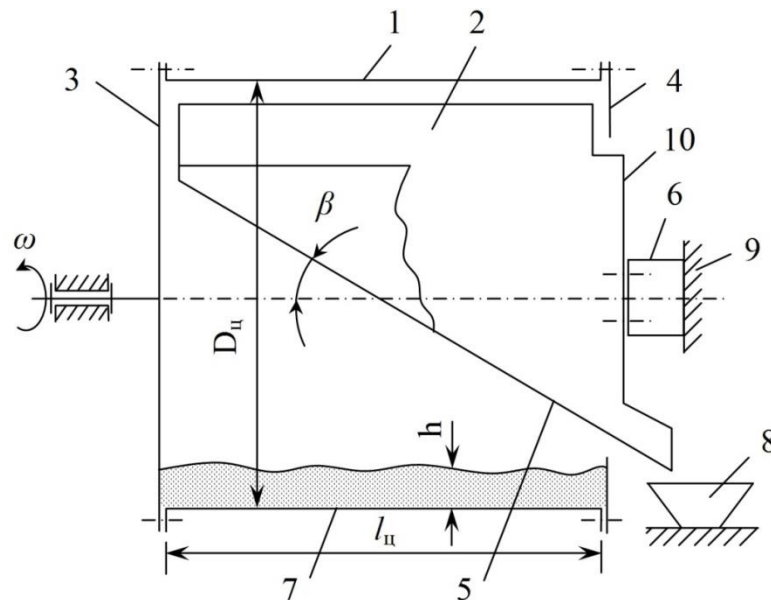
Выполнение желоба 7 с наклонным днищем 12 обеспечивает оперативный отвод частиц короткой примеси в емкости 19. Возможность поворота рамы 5 относительно горизонтальной платформы 17 посредством шарнира 18 обеспечивает оперативный отвод частиц длинной примеси в емкость 20. Этим достигается снижение трудоемкости процесса разделения проб зерносмеси. Наличие фиксаторов 15 и 16 на хвостовиках 13 и 14 позволяет корректировать угловое положение желоба 7 при изменении углов выпадения частиц короткой примеси из ячеек. Передняя 10 и задняя 11 вертикальные стенки предотвращают неконтролируемый отвод частиц короткой примеси из полости желоба.

Последующим взвешиванием выделенных компонентов и расчетами определяют степень выделения примесного компонента, остаточное содержание примесного компонента.

Конструкция прибора для разделения зерносмесей поясняется рисунками 3.26 и 3.27.



Рисунок 3.26 – Общий вид прибора для отсева проб зерносмесей



1 – ячеистый цилиндр; 2- лоток; 3 – приводной диск; 4 – блокирующее кольцо; 5 - наклонное днище лотка; 6 – кронштейн; 7 – зерносмесь; 8 – емкость; 9 – рама; 10 - торцевая стенка лотка

Рисунок 3.27 – Схема прибора для отсева проб зерносмесей

Он работает следующим образом. В ячеистый цилиндр 1 посредством воронки разгружают зерносмесь 7 массой  $m_n$  и разравнивают вдоль него и включают привод. Примесные частицы из контактирующего слоя захватываются ячейками и подаются в лоток 2, присоединенный торцевой стенкой 10 к кронштейну 6 рамы 9.

Обладая начальной кинетической энергией, примесные частицы скатываются по наклонному днищу 5 лотка 2 в емкость 8.

По окончании процесса, который контролируется по регламентному времени для заданных значений  $Z_n$  и  $\Delta$  или визуально, приводной диск отключают, блокирующее кольцо 4 снимают и опрокидыванием выгружают зерновки основной культуры в дополнительную емкость.

Исходные условия опытов были следующими: основная культура - пшеница; примесный компонент – просо, горчица, сорго, лен, гречишка вьюнковая, шавель конский ; содержание зерносмеси в ячеистом цилиндре – 0,5-1 кг; исходная засоренность – 1-3%.

Эксперимент проводился в следующей последовательности. Зерносмесь загрузали внутрь ячеистого цилиндра, разравнивали планчатым скребком вдоль ячеистой поверхности, включали в работу прибор на малых скоростях вращения ячеистого барабана, за счет чего формировали исходный сегмент зерносмеси с достаточной степенью перемешивания компонентов зерносмеси. Затем одновременно включали в работу прибор на заданном режиме и хронометр со звуковой индикацией отсчета периодов времени в 5 секунд. С тем же интервалом времени под отводным лотком меняли мерные емкости, количество которых составляло 15 штук. В мерные емкости наряду с примесными частицами попадают частицы основной культуры. Далее производили разбор компонентов из мерных емкостей и их взвешивание на электронных весах с точностью до 0,01 г, после чего определяли степень выделения примесного компонента и продолжительность выделения.

При этом контролировали массу зерновок основной культуры в каждой из мерных емкостей. После замеров масс выделенных частиц и регистрации результатов опытов рассчитывали результативные показатели и возвращали выделенные частицы зерносмеси в ячеистый цилиндр. Устанавливали новые значения угла подъема передней кромки отводного лотка и скорости вращения ячеистого цилиндра по тарировочному графику – и опыт повторялся.

В качестве критериев оценки процесса выделения примеси использовались: степень выделения; продолжительность процесса; масса зерновок основной культуры в примеси; остаточная засоренность зерносмеси.

Степень выделения ( $C$ ) примеси определяли по формуле:

$$C = \sum_{i=1}^k m_{n\sigma_i} / m_{nu} \times 100\%, \quad (3.8)$$

где  $m_{n\sigma_i}$  - масса выделенных примесных частиц в  $i$ -ой мерной емкости, г;

$m_{nu}$  - исходная масса примесных частиц в ячеечном цилиндре прибора, г;

$k$  - число мерных емкостей, использованных в опыте, шт.

Число интервалов замеров равнялось числу использованных мерных емкостей. Продолжительность процесса ( $t_n$ ) определялась по формуле:

$$t_n = kt_c, \quad (3.9)$$

где  $t_c$  - продолжительность стабильного интервала времени замеров, с.

Продолжительность процесса в циклах выделения примеси ( $N_\Sigma$ ) определялась по формуле:

$$N_\Sigma = N_y \left( k - 1 + \frac{m_{n\sigma 1}}{m_{n\sigma 2}} \right) = t_c n \left( k - 1 + \frac{m_{n\sigma 1}}{m_{n\sigma 2}} \right) / 60, \quad (3.10)$$

где  $n$  - скорость вращения ячеечного цилиндра, об/мин;

$m_{n\sigma 1}, m_{n\sigma 2}$  - массы выделенной примеси в 1-ом (разгонном) и во 2-ом интервалах, г;

$N_y = t_c n / 60$  - число циклов выделения в стабильном интервале времени работы прибора, шт.

Остаточную засоренность зерносмеси ( $Z_o$ ) определяли по формуле

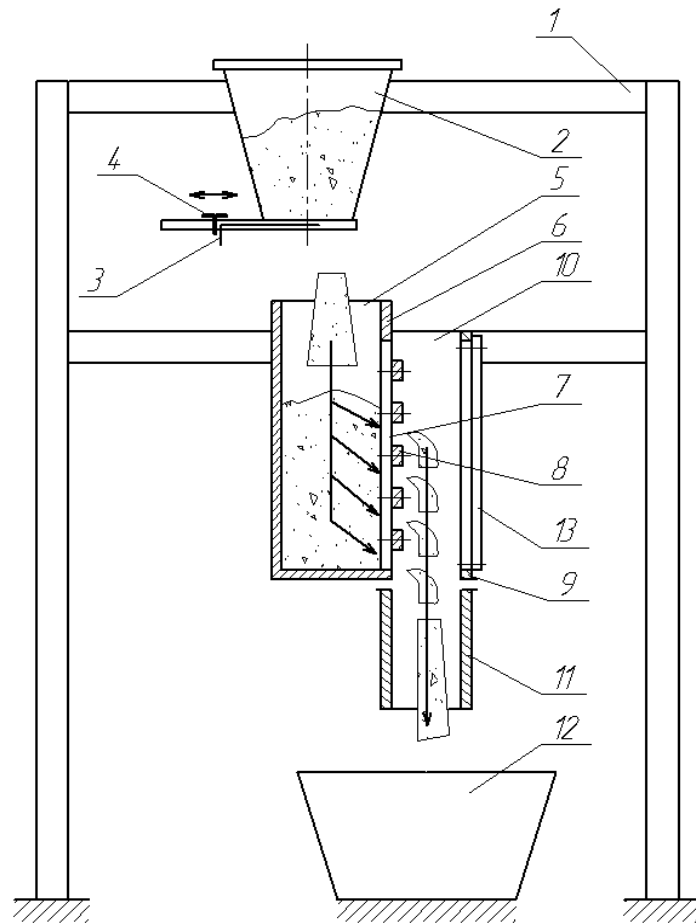
$$Z_o = (m_{nu} - \sum_{i=1}^k m_{n\sigma_i}) / m_n \times 100\%, \quad (3.11)$$

где  $m_n$  - масса (исходная) навески зерносмеси в ячеечном цилиндре прибора, г.

### 3.5 Методики экспериментальных исследований процессов деления потока зерна авторегулируемыми делителями

#### 3.5.1 Методика исследований процесса деления потока зерна делителем с неподвижной стабилизирующей емкостью и размещением щелевых отводящих каналов в вертикальной стенке

Схема экспериментальной установки для исследования процесса разделения потока зерна, включающей разработанный нами делитель потока зерна с пассивной стабилизирующей емкостью и боковым размещением отводящих каналов (жалюзийный делитель) [124, 185] представлена на рисунке 3.28. Общий вид делителя – на рисунке 3.29.



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

Рисунок 3.28 – Экспериментальный делитель с вертикальной пассивной стабилизирующей емкостью и боковым размещением отводных каналов



Рисунок 3.29 – Общий вид экспериментального делителя потока зерна жалюзийного типа

Экспериментальная установка включает раму 1, на которой установлен загрузочный бункер 2 с регулируемым шибером 3. В направляющих шибера 3 выполнено семь отверстий, в которые устанавливаются фиксаторы 4, что обеспечивает заданную подачу зерна в пассивную стабилизирующую емкость 5 делителя, закрепленную на раме 1 под загрузочным бункером 2. В боковой стенке 6 пассивной стабилизирующей емкости 5 сделаны отводящие каналы 7. Каналы 7 разделены перемещаемыми разделительными планками 8, что позволяет изменять их площадь. К боковой стенке 6 крепится корпус 9 с вертикальной перегородкой 10, которая разделяет корпус на две равные части. В корпусе 9 сделано смотровое окно, закрытое стеклом 13, что позволяет наблюдать за стабильностью истечения зерна через отводные каналы 7 и определять количество работающих отводных каналов 7 и время стабилизации процесса. В нижней части корпуса 9 закреплены два патрубка 11, под которыми установлены сборные емкости 12.

Экспериментальный делитель работает следующим образом. Зерно из загрузочного бункера 2 с заданной подачей, которая регулируется шибером 3, подается в пассивную стабилизирующую емкость 5. По мере увеличения уровня зерна



в пассивной стабилизирующей емкости 5 увеличивается число включенных в работу отводящих каналов 7, через которые истекает зерно, увеличивая расходные характеристики патрубков 11. При уменьшении подачи зерна в стабилизирующую емкость число включенных в работу отводящих каналов и расходные характеристики патрубков уменьшаются. Таким образом, осуществляется процесс авторегулирования и поддержания уровня стабилизирующего слоя зерна в необходимом диапазоне высот.

Отводящие каналы 7, расположенные на определенном расстоянии друг от друга по высоте, позволяют более качественно разделять поток зерна за счет уменьшения влияния сводообразования на процесс истечения зерна через отводные каналы 7. В процессе проведения опытов зерно собирается в левую и правую сборные емкости 12.

Перед проведением эксперимента необходимо выполнить тарировку регулируемого шиберов 3 загрузочного бункера 2 в следующей последовательности. Засыпаем в загрузочный бункер материал при закрытом шибере. Устанавливаем фиксатор 4 в направляющую шиберов. Далее одновременно открываем шибер 3 до упора в фиксатор 4 и засекаем время. После чего взвешиваем навеску с материалом и определяем подачу по формуле:

$$Q_{п} = M_{н} / t_{оп} \quad (3.12)$$

Таким образом, тарируем расход для семи положений шиберов. Повторность опытов определяется из условия обеспечения доверительной вероятности – 0,95.

Данные опытов и расчетов заносятся в карту регистрации (таблица 3.6).

Таблица 3.6 – Карта регистрации результатов

№ опыта	№ повторности	Длительность опыта, сек.	Масса навески, кг.	Площадь отверстия, м <sup>2</sup>	Подача, Q <sub>п</sub> , кг/с	Примечание
1						
2						

Состав исследуемых факторов, диапазоны, интервалы и уровни их варьирования представлены в таблице 3.7.

Таблица 3.7 - Состав исследуемых факторов.

№ п/п	Наименование фактора	Размерность	Диапазон варьирования	Интервал варьирования	Уровни варьирования
1	Подача материала	кг/с	0,076-0,62	перем.	7 положений шибера
2	Площадь отводящего отверстия	м <sup>2</sup>	0,005-0,0075	0,00125	0,005 0,00625 0,00725
3	Площадь отводящего канала	м <sup>2</sup>	0,0058-0,0116	0,00129	0,0058 0,0087 0,0116

Опыты проводятся в следующей последовательности. Для выбранной подачи материала в соответствующее отверстие в направляющей шибера 3 устанавливается фиксатор 4. Затем при закрытом регулирующем шибере 3 засыпается зерно в загрузочный бункер 2. Одновременно открывается регулирующий шибер 3 до упора в фиксатор 4 и включается секундомер. По мере истечения зерна из загрузочного бункера 2 в него в течение опыта досыпают зерно с целью поддержания в нем постоянного уровня, что исключает неравномерность подачи зерна. По мере поступления зерна в стабилизирующую емкость 5, оно через отводные каналы 7 поступает в сборные емкости 12. Исследователь наблюдает через окно, закрытое стеклом 13, за процессом истечения и фиксирует время  $t_{ст}$  стабилизации процесса, когда количество отводящих каналов становится постоянным. Он одновременно выключает первый секундомер, включает второй, а второй исследователь по его команде меняет сборные емкости 12. Далее по истечении времени опыта ( $t_{оп}$ ) исследователь выключает второй секундомер закрывает шибер 3 и подает команду на перекрытие патрубков 11 заслонками. Собранное зерно из левой и правой сборных емкостей взвешивается, а данные заносят в карты регистрации (таблица 3.8). Затем выгружают остатки зерна из стабилизирующей емкости 5 и установку готовят к следующему опыту.

Повторность опытов определяется из условия обеспечения доверительной вероятности – 0,95.

Таблица 3.8 – Регистрация результатов опытов

№ оп ы- та	№ повторно- сти	Время, сек.		Масса навески, кг				Количество задействован- ных- отводя- щих каналов, $K_{ок}$	Примеча- ние
		Стабили- зации ис- течения, $t_{ст}$	Опыта при ста- бильном истече- нии, $t_{оп}$	Из правого от- вода		Из левого от- вода			
				$M_{ст}^{п}$ до нача- ла ста- бил.	$M_{оп}^{п}$ при стабиль- ном ис- течении	$M_{ст}^{л}$ до нача- ла ста- бил.	$M_{оп}^{л}$ при стабил. истече- нии		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

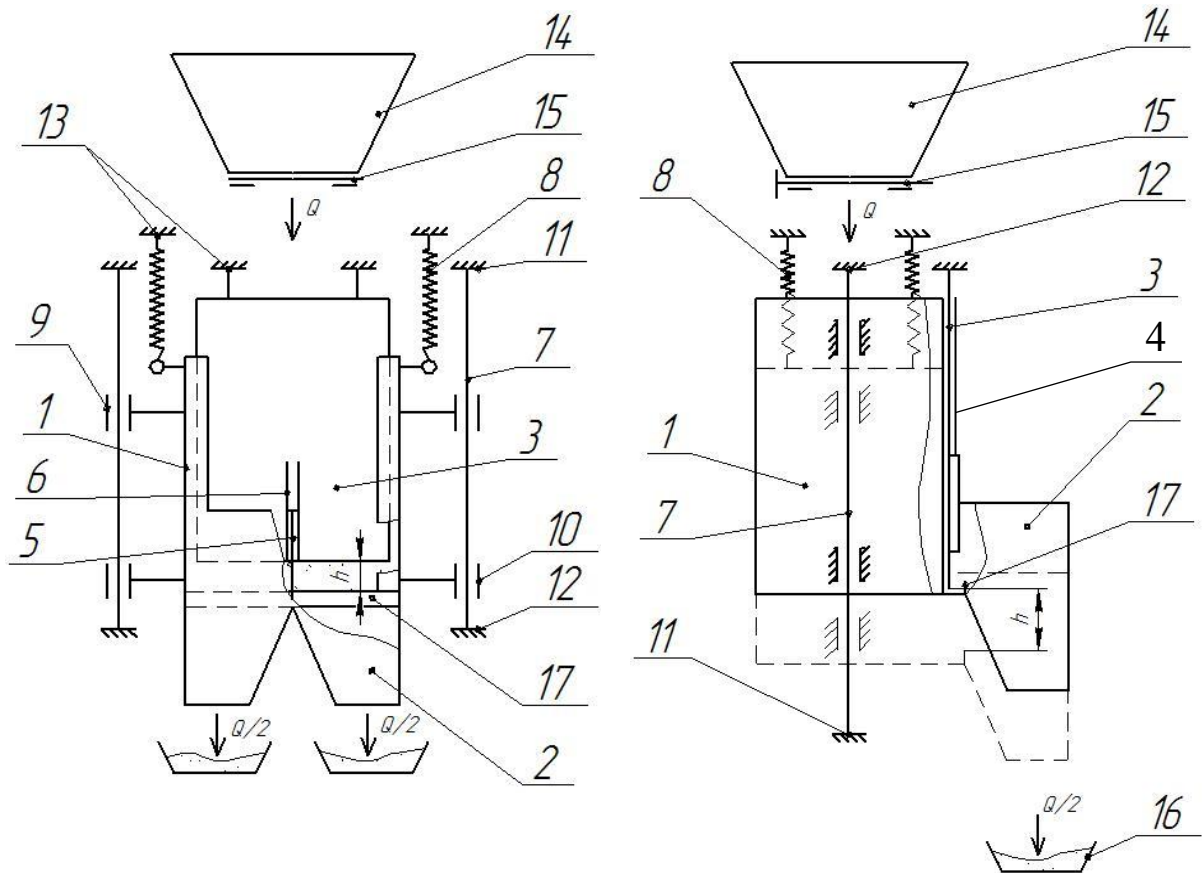
В качестве критериев оценки работы делителей приняты: точность разделения; стабильность работы и расходные характеристики.

### **3.5.2 Методика экспериментальных исследований процесса деления потока зерна делителем с подвижной стабилизирующей емкостью, грузовоспринимающей системой и шиберным отводом**

Экспериментальные исследования процесса разделения потока сыпучих материалов проводились на экспериментальной установке для исследования процесса разделения потока зерна с помощью разработанного авторегулируемого делителя с грузовоспринимающей системой и шиберным отводом разделенных потоков [133, 194], схема которой представлена на рисунке 3.30.

Экспериментальная установка содержит регулируемую емкость 1 с отводами 2 и неподвижной стенкой 3, жестко закрепленной на раме 13. Емкость 1 имеет возможность перемещения по вертикальным направляющим 7, при этом изменяя свое положение относительно неподвижной стенки 3. Крайние положения емкости 1 определяются верхними 11 и нижними 12 ограничителями хода емкости. От горизонтальных перемещений емкость 1 ограничивается ползушками 9 и 10, а также направляющими 4 хода емкости относительно неподвижной стенки 3, перегородкой 5 отводов и ее направляющими 6. Пружины 8, закрепленные на раме 13 уравнивают регулируемую емкость 1 в некотором положении в зависимости от количества сыпучего материала в ней. Над емкостью 1 расположен загрузочный бункер 14 с шибером 15, а под ней сборные емкости 16. Общий вид

экспериментальной установки для исследований процесса разделения потока зерна на представлен на рисунке 3.31.



1 – регулирующая емкость; 2 – отводы; 3 – неподвижная стенка; 4 – направляющие перемещения емкости относительно неподвижной стенки; 5 – перегородка отводов; 6 – направляющие перемещения перегородки отводов; 7 – направляющие регулирующей емкости; 8 – пружины; 9, 10 – верхние и нижние ползунки; 11 – верхние ограничители хода емкости; 12 – нижние ограничители хода емкости; 13 – рама; 14 – загрузочный бункер; 15 – шибер регулировки подачи материала; 16 – сборные емкости; 17 – отбортовка.

Рисунок 3.30 – Конструктивно-технологическая схема делителя

с грузовоспринимающей системой и шиберным отводом

Перед началом опытов готовится навеска исследуемого сыпучего материала в необходимом количестве. С целью обеспечения воспроизводимости эксперимента определяются физико-механические свойства исследуемой среды.

Затем производится тарировка расхода каждого вида исследуемых сыпучих материалов из загрузочного бункера 14 в зависимости от положения шибера 15.

Порядок проведения эксперимента следующий. В загрузочный бункер 14 (рисунок 3.30) при закрытом шибере 15 засыпается исследуемый сыпучий материал в количестве, превышающем его расчетный расход через отводы 2 за время

проведения опыта.



Рисунок 3.31 – Общий вид экспериментального делителя с грузовоспринимающей системой и шиберным отводом

Перед началом подачи материала емкость 1 под действием предварительно растянутых пружин 8 находится в крайнем верхнем положении, определяемом ограничителями 11 или упором днища емкости в нижнюю кромку неподвижной стенки 3. При этом истечение сыпучего материала из емкости 1 невозможно.

Далее, согласно заданной подаче материала, открывается шибер 15 загрузочного бункера 14 на величину, определяемую соответствующим тарированным положением фиксатора. Одновременно с этим засекается время начала опыта.

При исследовании расходных характеристик величина подачи в стабилизирующую емкость экспериментального делителя варьировалась на уровнях 2,12; 5,02; 8,62; 12,07; 16,2 и 20,7 т/ч, верхний из которых соответствует сумме номинальных производительностей двух триерных блоков в составе зерноочистительного агрегата ЗАВ-40.



Далее определяется массовый расход через левый и правый отводы. Определяется отклонение ( $\Delta$ ) от среднего расхода, величина которого является критерием оценки качества работы делителя потока зерна.

С целью более точного определения расхода зерна через отводы (времени истечения зерна) в ходе проведения эксперимента фиксировалось время ( $t_{\text{откр}}$ ) начала движения стабилизирующей емкости вниз при ее заполнении, т.е. момент начала открытия выгрузного канала, а так же фиксировалось время ( $t_{\text{закр}}$ ) подъема стабилизирующей емкости после закрытия шиберов на загрузочном бункере при ее освобождении от остатков зерна, т.е. время закрытия выгрузного канала.

### 3.6 Выводы по главе

1. Разработано и изготовлено экспериментальное оборудование для исследований процессов разделения падающего потока зерна с помощью авторегулируемого делителя с пассивной стабилизирующей емкостью и боковым размещением отводящих каналов, авторегулируемого делителя с грузовоспринимающей системой и шиберным отводом.

2. Разработано и изготовлено приборно-стендовое оборудование для экспериментальных исследований процессов разделения компонентов зерносмесей по длине с помощью ячеистых поверхностей: натурный стенд для исследований ячеистых поверхностей со стандартным цилиндром, отдельной подачей компонентов и секционным выводным лотком; стенды циклического действия (обеспечивающие временную модель процесса триерной очистки) с фрикционным приводом, размещением ячеистого цилиндра в опорных роликах и непрерывным отводом короткого компонента; с консольным расположением ячеистого цилиндра, приводом от мотор-редуктора и непрерывным отводом короткого компонента; прибор для исследований ячеистых поверхностей и разделения компонентов проб зерносмесей; стенд для исследований параметров сегмента зерносмеси внутри цилиндра при его вращении и в состоянии покоя; прибор для измерения толщины

слоя сыпучих материалов в технологических емкостях, в частности в триерных цилиндрах после их остановки.

3. Разработаны частные методики экспериментальных исследований с помощью разработанного экспериментального оборудования процессов деления потока сыпучих материалов, процессов разделения компонентов зерносмесей ячеистыми поверхностями, параметров сегмента зерносмеси внутри триерных цилиндров.



## 4 РЕЗУЛЬТАТЫ И АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 4.1 Результаты и анализ исследований процессов выделения основной культуры из зерносмеси стендами циклического действия

#### 4.1.1 Взаимосвязь параметров сегмента со скоростным режимом работы и величиной загрузки стенда

По величине угла охвата сегмента определяют его высоту (толщину) при заданной величине загрузки стенда зерносмесью ( $m_n$ ), а с учетом степени разуплотнения циркулирующих слоев ( $K_p = 1,22$ ) определяют их (слоев) число. Указанные расчетные параметры необходимы для объективного анализа динамики процесса выделения частиц из зерносмеси и степени заполнения ячеек частицами.

Кроме того, угол охвата сегмента и угловая величина подъема его верхней границы необходимы для обоснования диапазона пространственных положений  $\gamma_n$  верхней кромки передней стенки выводного лотка в эксперименте. Величина  $\gamma_{n_{\min}}$  должна превышать максимальный угол подъема верхней границы сегмента при всех сочетаниях скоростного режима работы стенда ( $n$ ) и величины его загрузки зерносмесью ( $m_n$ ). При этом предотвращается неконтролируемый захват и выброс выделяемых частиц в выводной лоток из нижнего (контактирующего) слоя сегмента зерносмеси, что обеспечивает лучшую воспроизводимость условий опытов и повышает достоверность результатов исследований.

Частной задачей исследований угла охвата сегмента являлось установление и оценка пристенного эффекта в зависимости от скорости вращения ячеистого цилиндра и величины его загрузки зерносмесью, влияния пристенного эффекта на параметры факела выброса выделенных частиц.

Для экспериментальных исследований взаимосвязей параметров циркулирующего сегмента с режимами работы триера нами разработан и изготовлен спе-

циальный стенд (рисунок 4.1), описание конструкции и работы которого приведено в п. 3.3.3.



Рисунок 4.1 – Стенд для исследований геометрических параметров сегмента

Фотосъемку пристенного эффекта производили через прозрачную стенку, которую устанавливали на консольный торец ячеистого цилиндра. Сравнительную оценку пристенного эффекта производили по результатам исследований процесса с блокирующей цилиндрической обечайкой и без нее.

На первом этапе исследования проводили без цилиндрической обечайки (не блокировали пристенный эффект). В результате удалось выявить только нижнюю границу циркулирующего сегмента зерносмеси. При  $m_n = 5$  кг ее отклонение от вертикали, проходящей через ось вращения ячеистого цилиндра, уменьшалось от  $6^\circ$  до  $3^\circ$  с ростом скорости вращения в диапазоне  $n = 30 \dots 45$  об/мин. При  $m_n = 7$  кг в том же диапазоне скоростного режима отклонение нижней границы сегмента зерносмеси уменьшилось с  $7^\circ$  до  $5^\circ$ . То есть увеличение загрузки стенда приводит к росту динамики возвратной циркуляции верхних слоев зернового сегмента и увеличивает угловое отклонение нижней его границы от вертикали при равных скоростных режимах работы стенда.

Из-за пристенного эффекта установить верхние границы циркулирующего сегмента не удалось. Циркуляция верхних слоев с отрывом частиц от сегмента происходит с самого начала вращения ячеистого цилиндра и подъема сегмента по направлению его вращения. Поэтому исследования при  $m_n > 7$  кг мы не проводили.

Отрыв частиц (зерновок) от сегмента из-за пристенного эффекта увеличивал параметры факела их выброса. Максимальный угол охвата факела выброса (нисходящей его части) превышал  $90^\circ$ . У стенда угловое расстояние между верхними кромками боковых стенок выводного лотка составляет  $90^\circ$ , а у стандартного выводного лотка этот параметр еще меньше. Это исключало возможность отвода лотком всех частиц факела при наличии пристенного эффекта и оценить его количество, рисунок 4.2.

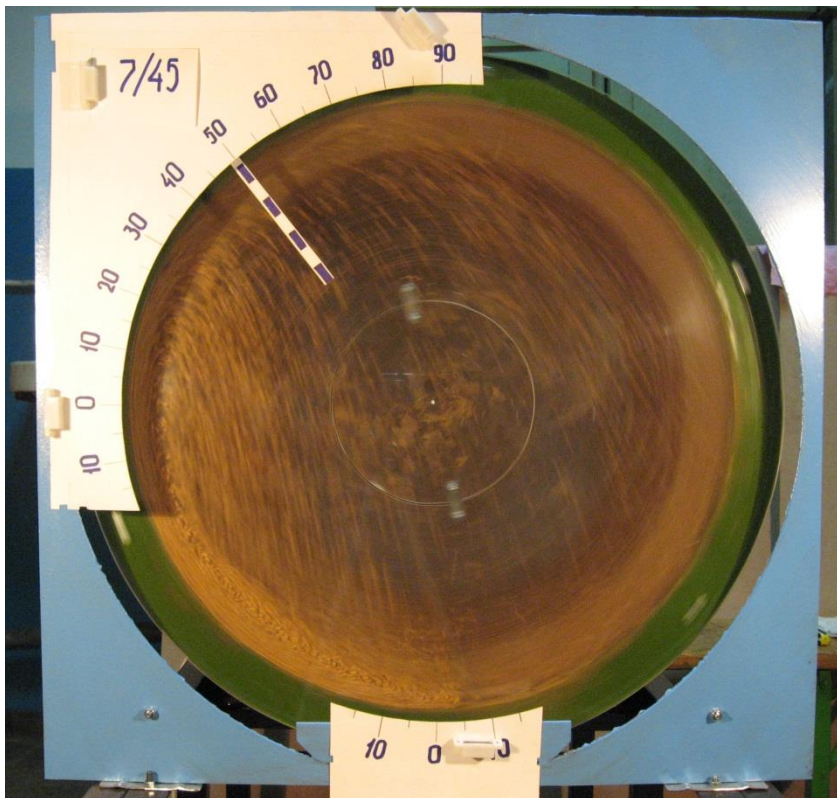


Рисунок 4.2 – Циркуляция зернового сегмента в стенде при наличии пристенного эффекта

Рисунок 4.2 подтверждает, что получить объективные результаты исследований по динамике процесса триерного разделения зерносмесей без блокирования

пристенного эффекта невозможно. Физическая модель процесса компании DEM Solutions по той же причине является нереалистичной, рисунок 4.3.

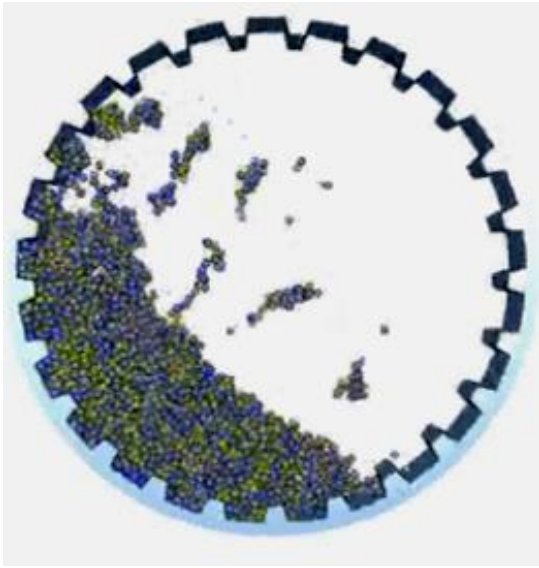


Рисунок 4.3. Физическая модель циркуляции сегмента компании DEM Solutions

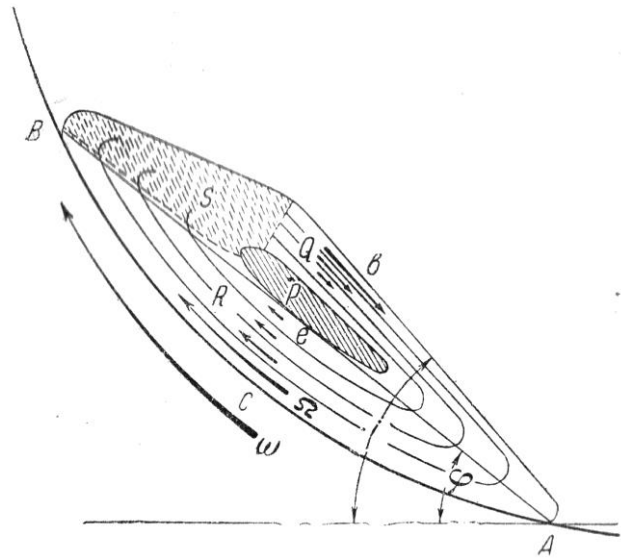
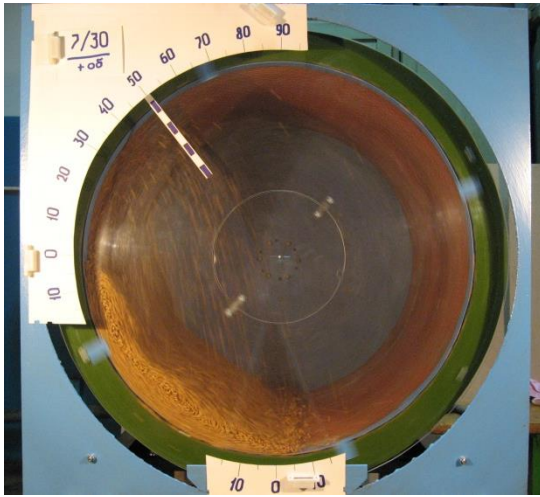


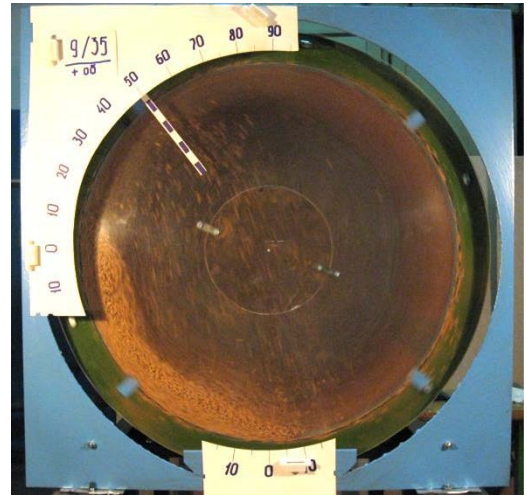
Рисунок 4.4. Физическая модель циркуляции сегмента по Летошневу М.Н.

Летошнев М.Н. в созданной им теории триеров рассматривает циркулирующий сегмент зерносмеси с завышенной степенью разуплотнения его центральной части при наличии «ядра с неподвижными зёрнами», рисунок 4.4. Очевидно, что автор теории предложил такую трактовку из-за недостатка средств экспериментальной проверки реального процесса. Опыты он проводил с использованием ячеистого цилиндра длиной 0,15 м и диаметром 0,24 м. Торцы ячеистого цилиндра были снабжены прозрачными стенками.

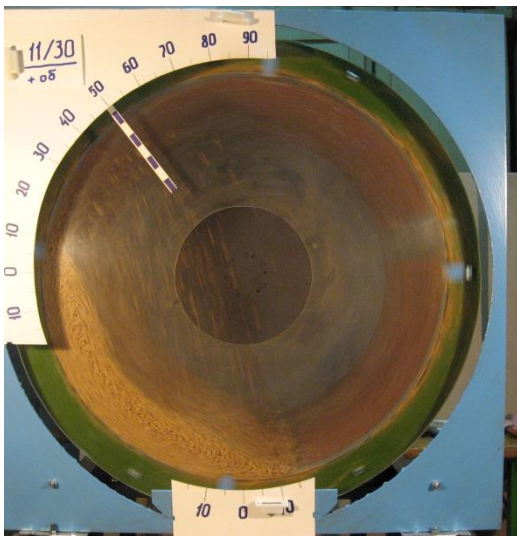
Очевидно, что при указанных габаритах ячеистого цилиндра параметры циркулирующего слоя максимально искажались пристенным эффектом. Съёмка реального процесса в динамике (см. рисунок 4.5) протекающего в ячеистом цилиндре диаметром 0,6 м при блокировании пристенного эффекта показала: максимальная степень разуплотнения сегмента характерна для его верхней части, где при  $n = 40...45$  об/мин наблюдается сжатый факел обратной циркуляции слоев зерна, имеющий ленточную форму; «ядро с неподвижными зёрнами» отсутствует – в зоне встречных потоков зёрновки вращаются при минимальных градиентах послойного сдвига.



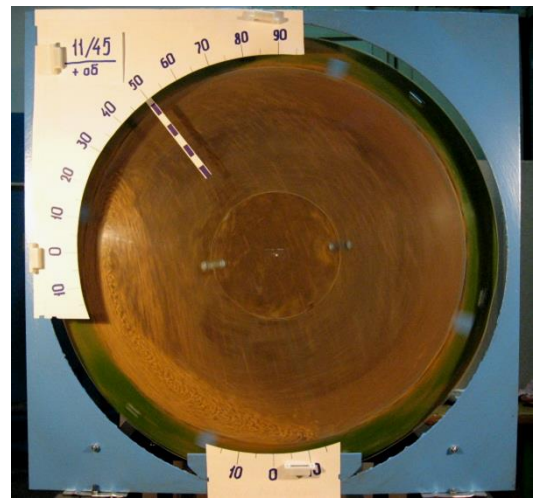
а)  $n = 30$  об/мин;  $m_H = 7$  кг



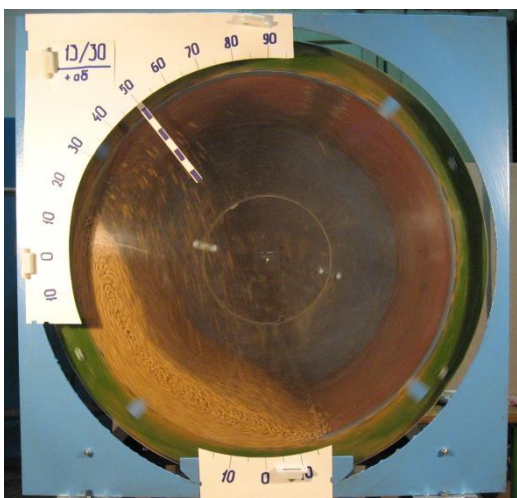
б)  $n = 35$  об/мин;  $m_H = 9$  кг



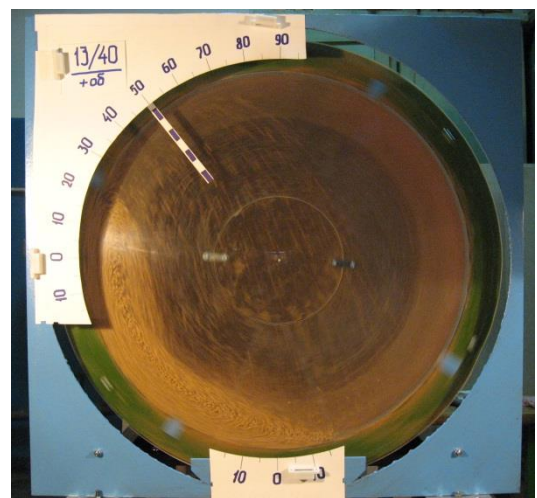
в)  $n = 30$  об/мин;  $m_H = 11$  кг



г)  $n = 45$  об/мин;  $m_H = 11$  кг



д)  $n = 30$  об/мин;  $m_H = 13$  кг



е)  $n = 40$  об/мин;  $m_H = 13$  кг

Рисунок 4.5. Параметры циркуляции зернового сегмента при различных  $n$  и  $m_H$  при блокировании пристенного эффекта

Тем более, утверждение профессора Летошнева М.Н. о том, что вышележащие слои «движутся по верхней поверхности ядра как по наклонной плоскости», не подтверждается.

Результаты замеров границ сегмента при различных  $n$  и  $m_n$  представлены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты замеров угла охвата ( $\gamma_{ox}$ ) сегмента при изменении скоростного режима работы ( $n$ ) и величины загрузки ( $m_n$ )

№ п/п	Величина загрузки ( $m_n$ ), кг	Скорость вращения цилиндра, ( $n$ ), об/мин и частота тока, Гц	Отклонение границ сегмента от вертикали, град.		Угол охвата сегмента в динамике ( $\gamma_{ox}$ ), град	Угол охвата сегмента в покое (после вращения цилиндра), град
			Лев. ( $\gamma_{лс}$ )	Прав.		
1	7,0	30/31,2	93	6,5	99,5	82
2		35/36,2	96	5	101	82
3		40/41,2	100	4	104	82
4		45/46,2	108	3	111	82
5	9,0	30/31,4	98	12	110	88
6		35/36,4	102	11	113	88
7		40/41,4	107	8	115	88
8		45/46,4	113	8	121	88
9	11,0	30/31,6	103	14	117	94
10		35/36,6	106	13	119	94
11		40/41,6	111	12,5	123,5	94
12		45/46,6	117	12	129	94
13	13,0	30/31,8	105	18	123	101
14		35/36,8	110	18	128	101
15		40/41,8	116	17	133	101
16		45/46,8	121	17	138	101

Из рисунка 4.5 и таблицы 4.1 видно, что установка обечайки со стороны блокирующего кольца с целью исключения пристенного эффекта коренным образом изменила внешние контуры циркулирующих и выносимых потоков частиц основной культуры. В верхней части сегмента появилась четкая граница между верхней кромкой сегмента, где происходит циркуляция зерновок, и контактирующей с ней зоной выноса частиц, захваченных ячеями. Угол подъема сегмента отсчитывали от нижней точки ячеистого цилиндра, который при массе загрузки в 7 кг, возрастал от  $93^0$  до  $108^0$  во всем диапазоне исследуемых скоростей вращения

– от 30 до 45 об/мин. При навеске в 9 кг угол подъема сегмента изменялся от  $98^{\circ}$  до  $113^{\circ}$  в том же диапазоне скоростей вращения ячеистого цилиндра, при навеске 11 кг -  $103^{\circ}$ – $117^{\circ}$ , при навеске 13 кг -  $105^{\circ}$ – $121^{\circ}$ .

Точка контакта циркулирующих слоев и выносимых из сегмента частиц основной культуры является характерной точкой для определения угла подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка. В частности, при навеске 13 кг и скорости вращения ячеистого цилиндра 45 об/мин нельзя устанавливать угол подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка меньше  $30^{\circ}$  (при отсчете этих углов от горизонтали). В противном случае будет производиться неконтролируемый выброс зерновок в лоток из циркулирующих слоев сегмента, что существенно повлияет на управляемость процесса.

Наблюдения за факелом выброса во всем диапазоне скоростей вращения ячеистого цилиндра и во всем диапазоне загрузки ячеистого цилиндра показало, что переброс выносимых частиц ячеями через заднюю стенку выводного лотка невозможен. Хотя при наблюдениях за процессом без обечайки сомнения на этот счет присутствовали.

Из таблицы 4.1 видно, что угол подъема сегмента ( $\gamma_{nc}$ ) при снижении  $m_n$  на 6 кг (от 13 кг до 7 кг) независимо от скоростного режима работы стенда уменьшается в среднем на  $10^{\circ}$ : при  $n = 30$  об/мин на  $10^{\circ}$ ; при  $n = 35$  об/мин на  $11^{\circ}$ ; при  $n = 45$  об/мин на  $9^{\circ}$ . Причем характер изменения от  $m_n$  близок к линейному. Поэтому для анализа расходных характеристик и степени заполнения ячеек зерновками величину  $\Delta\gamma_{nc}$  по мере разгрузки ячеистого цилиндра возможно определять по уравнению:

$$\Delta\gamma_{nc} = (\Delta m_n / 6) \times 10, \quad (4.1)$$

где  $\Delta\gamma_{nc}$  - снижение угла подъема сегмента при выделении в выводной лоток некоторой массы зерновок, равной  $\Delta m_n$ , град;

$\Delta m_n$  - изменение начальной загрузки ячеистого стенда  $m_n$  до  $i$ -го интервала времени, кг.

$$\Delta m_n = \sum_1^{K_a} m_{ij}, \quad (4.2)$$

где  $K_a$  – номер анализируемого интервала времени замеров.

Например, при  $m_n = 11$  кг;  $n = 35$  об/мин и  $\gamma_n = 35^\circ$ . начальный угол подъема сегмента ( $\gamma_{nc}$ ) составляет  $106^\circ$ . То есть, угловое расстояние, между верхней границей сегмента и верхней кромкой передней стенки выводного лотка в начале разгрузки станда составляет ( $125 - 106 = 19^\circ$ ), после 5-го интервала времени, когда  $\Delta m_n = 6,5$  кг, этот угол будет составлять  $-19 + \Delta \gamma_{nc} = 19 + 6,5/6 \times 10 = 29,8^\circ$ , в конце разгрузки станда –  $37,3^\circ$ .

Это очень важный показатель для оценки динамики процесса: часть факела будет отсекается стенкой отводного лотка, а оценка степени заполнения ячей зерновками – занижаться. Эти результаты исследований должны быть дополнены исследованиями зависимостей  $W_g = f(\gamma_{nc}, \gamma_n, \Delta \gamma_{nc})$ .

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

$$\begin{cases} n_{сл} = 360 K_p \cdot m_n / \pi D \gamma_{ox} \bar{d} l_{yc} \rho; \\ h_c = n_{сл} \bar{d}, \end{cases} \quad (4.3)$$

где  $D$  – диаметр ячеистого цилиндра ( $D = 0,6$  м), м;

$\bar{d}$  – средний поперечный размер зерновок основной культуры ( $\bar{d} = 0,00321$  м), м.

Принимая во внимание значения  $l_{yc} = 0,5$  м,  $\rho = 805$  кг/м<sup>3</sup>,  $K_p = 1,22$ , после преобразования получим:

$$\begin{cases} n_{сл} = 180,4 m_n / \gamma_{ox}; \\ h_c = 0,00321 n_{сл}. \end{cases} \quad (4.4)$$

По соотношениям (4.4) произведем расчет параметров сегмента ( $n_{сл}, h_c$ ) для начальных условий исследований ( $m_n, n$ ), которые необходимы при анализе ре-



зультатов, таблица 4.2.

Таблица 4.2 – Параметры сегмента ( $n_{сл}$ ,  $h_c$ ) в зависимости от  $m_n$ ,  $n$  и  $\gamma_{ох}$

Скорость вращения ячеистого цилиндра ( $n$ ), об/мин	Число циркулирующих слоев в сегменте при различной загрузке ячеистого цилиндра зерносмесью ( $m_n$ ), кг			
	7	9	11	13
30	12,7/0,0407	14,76/0,0474	16,96/0,0544	19,1/0,0612
35	12,5/0,0401	14,37/0,0461	16,68/0,0535	18,3/0,0588
40	12,14/0,039	14,12/0,0453	16,07/0,0516	17,63/0,0566
45	11,38/0,0365	13,42/0,0431	15,38/0,0494	17/0,0546

Из таблицы 4.2 видно, что в пределах каждого скоростного режима при росте загрузки ячеистого цилиндра в 1,86 раза параметры циркулирующего слоя возрастают только в 1,5 раза. Это обусловлено тем, что с ростом  $m_n$  непропорционально возрастает коэффициент динамического трения циркулирующих слоев (оно становится более рельефным) и угол охвата сегмента зерносмеси.

В пределах каждой величины  $m_n$  параметры сегмента ( $n_{сл}$ ,  $h_c$ ) связаны со скоростным режимом работы обратно-пропорциональной зависимостью. При росте скоростного режима в 1,5 раза (с 30 об/мин до 45 об/мин) величины  $n_{сл}$  и  $h_c$  уменьшаются на 10–11%. Степень уменьшения  $n_{сл}$  и  $h_c$  с ростом скоростного режима обусловлена приращением угла охвата ( $\gamma_{ох}$ ) и тесно коррелирована с ним. В исследованных диапазонах  $m_n$  и  $n$  число циркулирующих слоев зерновок в сегменте изменялось в пределах  $n_{сл} = 11,38–19,1$  шт (в 1,68 раза), а толщина сегмента – в пределах  $h_c = 0,0365–0,0612$  м.

Для определения промежуточных параметров циркулирующего сегмента по мере отвода из него зерновок основной культуры необходимо использовать уравнения (4.2) и (4.3). На момент начала  $i$ -го интервала времени в  $j$ -ом опыте:

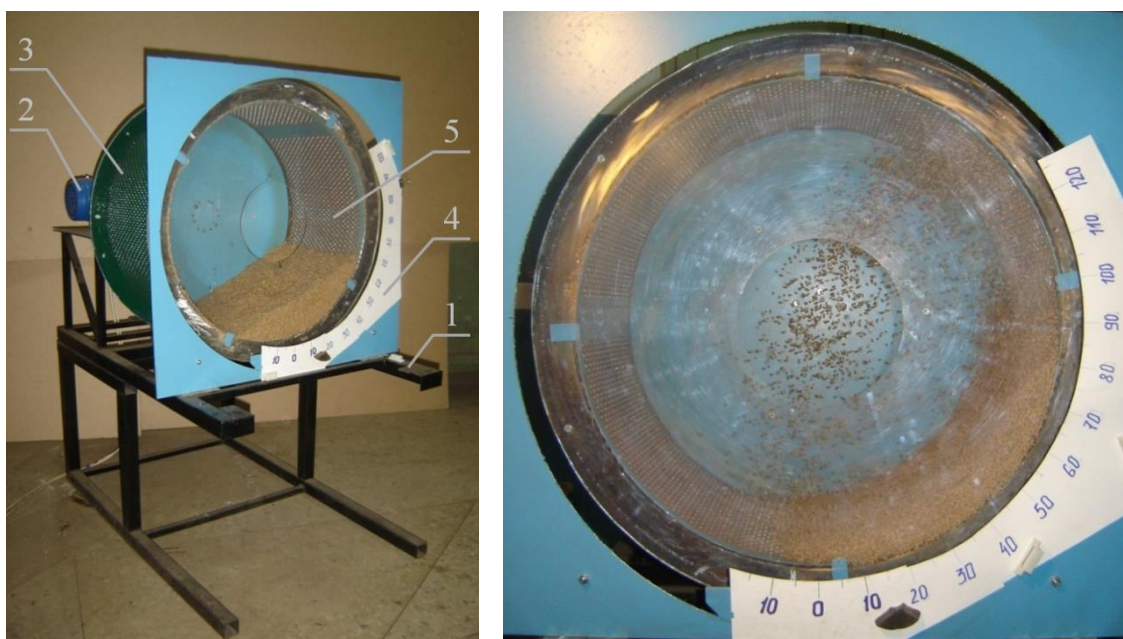
$$\begin{cases} n_{сл} = 180,4(m_n - \Delta m_n) / (\gamma_{ох} - \Delta \gamma_{ох}); \\ h_c = 0,00321 n_{сл} \end{cases} \quad (4.5)$$

Величину  $\gamma_{ох}$  определяют по таблице 4.2, а  $\Delta \gamma_{ох}$  по формуле:

$$\Delta \gamma_{ох} = (\Delta m_n / 6) \times 10. \quad (4.6)$$

В ходе проведения исследований по установлению закономерностей про-

цессов работы овсюжного триера стенд был модернизирован, в частности уменьшена длина цилиндра с 0,05 до 0,35 м (рисунок 4.6), что потребовало корректировки данных о параметрах сегмента зерносмеси.



1 – рама, 2 – электропривод с возможностью регулировки скорости вращения, 3 – ячеистый цилиндр, 4 – шкала, 5 – прозрачная стенка

Рисунок 4.6 – Общий вид стенда для исследований параметров сегмента зерносмеси

Дополнительно были выполнены исследования начала (по минимальной массе навески) формирования полноценного многослойного зернового сегмента.

Для определения минимальной массы зерна в цилиндре, необходимой для формирования циркулирующего сегмента в ячеистый цилиндр стенда помещена навеска пшеницы массой 50 г, включен привод, установлена скорость вращения 30 об/мин. Визуально установлено, что при этих условиях сегмент не формируется, зерновки хаотично двигаются в правой нижней четверти ячеистого цилиндра (по ходу вращения), захват зерновок ячейками незначительный.

Далее увеличивалась скорость вращения ячеистого цилиндра до 45 об/мин с интервалом 5 об/мин, и увеличивалась масса навески с интервалом 50 г. В каждом опыте визуально оценивалось наличие сформированного циркулирующего сегмента зерносмеси. При малых значениях массы навесок зерносмеси (50 – 600 г), для повышения точности, определение величины углов охвата производили с по-

мощью фотосъемки, рисунок 4.7.

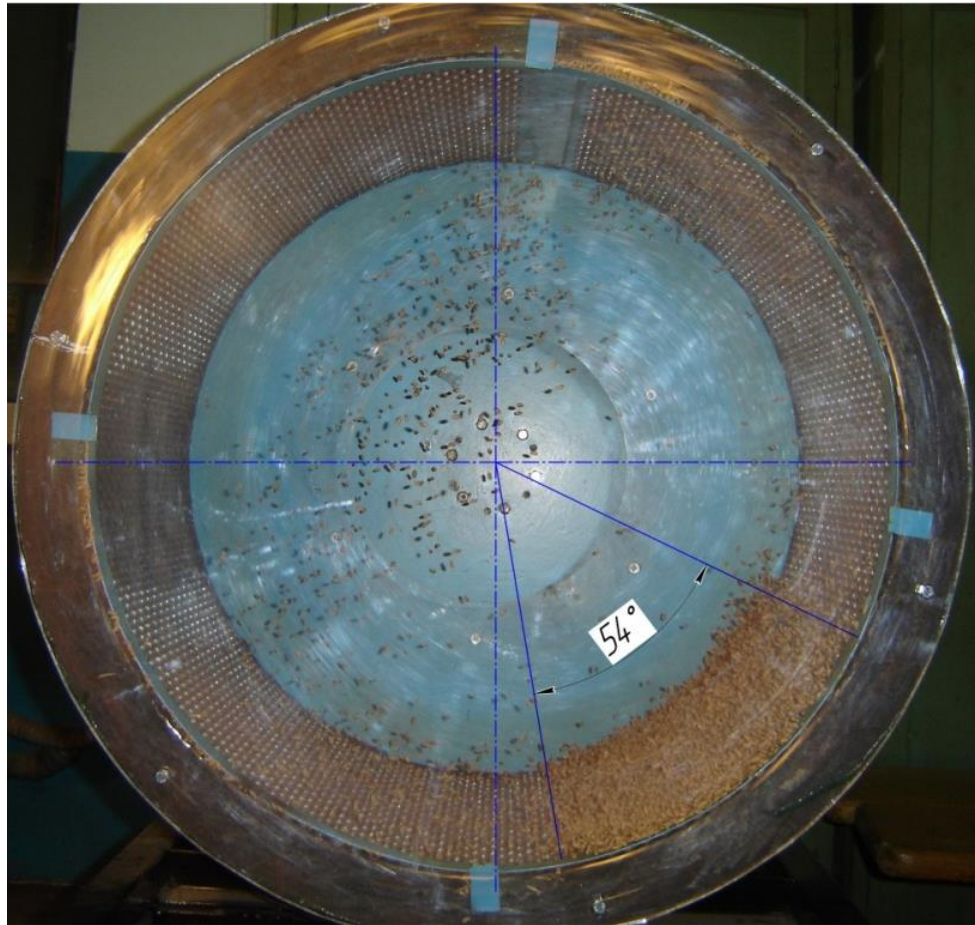


Рисунок 4.7 – Определение угла  $\gamma_{ох}$  охвата сегмента при  $m_n = 400$  г;  $n = 40$  об/мин

Полученные результаты представлены в таблице 4.3.

Таблица 4.3 – Определение начала (по минимальной массе навески) формирования зернового сегмента

Скорость вращения цилиндра $n$ , об/мин	Наличие зернового сегмента при $m_n(\text{г}) / \gamma_{ох}$ , град									
	50	100	150	200	250	300	350	400	500	600
30	–	–	–	–	+/43	+/46	+/43	+/48	+/57	+/61
35	–	–	–	–	+/42	+/47	+/44	+/51	+/50	+/56
40	–	–	–	–	–	+/45	+/53	+/54	+/54	+/62
45	–	–	–	–	–	+/56	+/58	+/52	+/61	+/63

Установлено, что при скорости вращения ячеистого цилиндра  $n = 30 - 35$  об/мин полноценный сегмент начинает формироваться уже при наличии в цилиндре 250 г зерна, что соответствует удельной загрузке 0,71 кг на 1 м длины ячеистой поверхности.

При увеличении скорости вращения до 40-45 об/мин для формирования зернового сегмента необходимо наличие в цилиндре не менее 300 г (0,86 кг/м) зерносмеси. При невыполнении указанных условий движение частиц имеет хаотичный характер с непредсказуемой вероятностью захвата их ячейками, что делает бессмысленным анализ соответствующих интервалов с точки зрения определения числа слоев в сегменте и его толщины. Масса навески интервально увеличивалась до 7,7 кг, скорость вращения цилиндра от 30 до 45 об/мин. При работе стенда по шкале фиксировались значения отклонений левой и правой границ сегмента от вертикали по которым определялся угол охвата сегмента в динамике. После этого отключался электропривод стенда, определялись угловые параметры сегмента в покое, рассчитывались значения числа слоев и высота сегмента. Полученные результаты представлены в таблице 4.4.

Таблица 4.4 – Параметры зернового сегмента при изменении скоростного режима работы и величины загрузки

№ п/п	Масса навески $m_n$ , кг	Скорость вращения цилиндра $n$ , об/мин	Отклонение границ сегмента от вертикали, град		Угол охвата в динамике $\gamma_{ох}$ , град	Число слоев в сегменте $n_{сл}$ , шт.	Высота сегмента $h_c$ , мм	Отклонение границ сегмента от вертикали, град		Угол охвата в покое, $\gamma_{ох.п}$ град
			Лев*	Прав				Лев*	Прав	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,6	30	+5	70	65	1,67	5,3	0	48	48
2	0,6	35	+10	73	63	1,72	5,5	+7	45	38
3	0,6	40	+10	75	65	1,67	5,3	+7	48	41
4	0,6	45	+10	77	67	1,62	5,2	+7	47	40
5	0,7	30	+5	72	67	1,88	6,1	+6	48	42
6	0,7	35	+7	75	68	1,86	6,0	+5	52	47
7	0,7	40	+10	78	68	1,86	6,0	+5	48	43
8	0,7	45	+8	80	72	1,75	5,6	+7	50	43
9	2,1	30	-5	80	85	4,46	14,3	0	57	57
10	2,1	35	0	85	85	4,46	14,3	0	57	57
11	2,1	40	0	88	88	4,31	13,8	0	58	58
12	2,1	45	0	90	90	4,21	13,5	0	59	59
13	3,5	30	-10	85	95	6,65	21,3	-5	62	67
14	3,5	35	-7	90	97	6,51	20,9	-7	62	69
15	3,5	40	-5	95	100	6,31	20,3	-7	63	70
16	3,5	45	-7	98	105	6,01	19,3	-6	64	70
17	4,9	30	-14	90	104	8,50	27,3	-12	64	76
18	4,9	35	-13	95	108	8,18	26,3	-13	65	78
19	4,9	40	-10	100	110	8,04	25,8	-12	66	78

Окончание таблицы 4.4.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
20	4,9	45	-10	105	115	7,69	24,7	-11	67	78
21	6,3	30	-15	92	107	10,62	34,1	-15	68	83
22	6,3	35	-15	98	113	10,06	32,3	-16	70	86
23	6,3	40	-13	102	115	9,88	31,7	-15	70	85
24	6,3	45	-14	110	124	9,17	29,4	-17	70	87
25	7,7	30	-20	96	116	11,97	38,4	-20	72	92
26	7,7	35	-21	100	121	11,48	36,9	-21	71	92
27	7,7	40	-20	108	128	10,85	34,8	-21	72	93
28	7,7	45	-18	115	133	10,44	33,5	-21	74	95

\*положительные значения соответствуют отклонению левой границы от вертикали в сторону вращения ячеистого цилиндра; отрицательные - в противоположную.

На рисунке 4.8 представлен характер изменения угла охвата циркулирующего сегмента от массы зерносмеси в цилиндре  $m_{ост}$  (с учетом данных таблицы 1).

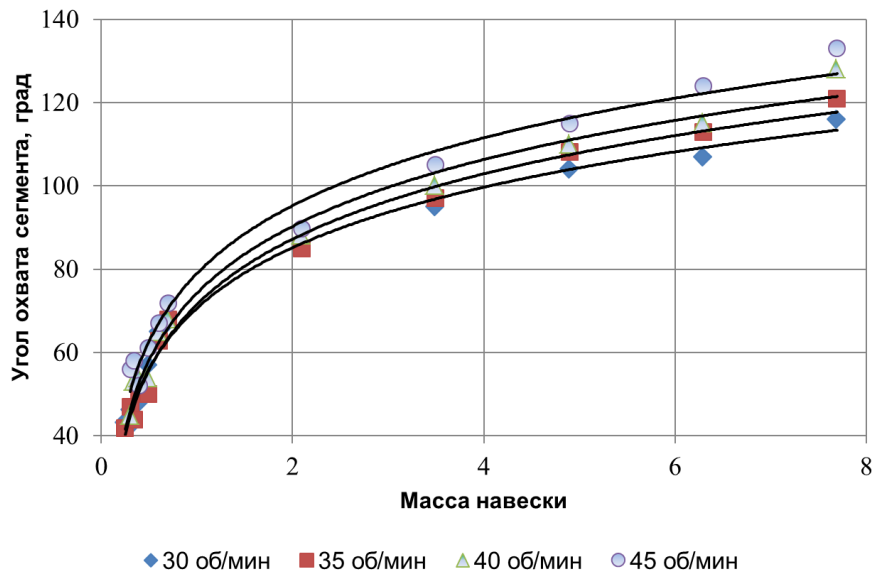


Рисунок 4.8 – Влияние массы зерносмеси в цилиндре на угловой размер сегмента

Путем аппроксимации полученных значений угла охвата  $\gamma_{ох}$  в динамике для соответствующих скоростей вращения ячеистого цилиндра установлены выражения для определения  $\gamma_{ох}$  в любом интервале протекания процесса.

Для  $n=30$  об/мин функция имеет вид:

$$\gamma_{ох}=20,949\ln(m_{ост})+70,646. \quad (4.7)$$

Для  $n=35$  об/мин:  $\gamma_{ох}=22,625\ln(m_{ост})+71,541. \quad (4.8)$

Для  $n=40$  об/мин:  $\gamma_{ох}=23,152\ln(m_{ост})+74,244. \quad (4.9)$

Для  $n=45$  об/мин:  $\gamma_{ох}=23,49\ln(m_{ост})+78,978. \quad (4.10)$

Величина достоверности аппроксимации в этих случаях составляет  $R^2=0,9808 - 0,9874$ .

Уточненные формулы для определения числа слоев в сегменте и высоты зернового сегмента применительно к параметрам используемого исследовательского стенда имеют вид:

$$n_{сл} = 180,4 m_H / \gamma_{ох} \quad (4.11)$$

$$h_{сл} = 0,00321 n_{сл} \quad (4.12)$$

Подставляя в выражения (4.11) и (4.12) значения угла охвата  $\gamma_{ох}$ , определенные по соответствующим условиям процесса зависимостям (4.7) – (4.9), определяем параметры зернового сегмента на любой момент протекания процесса.

#### 4.1.2 Взаимосвязь расходных характеристик с режимами работы и настроечными параметрами ячеистого цилиндра

Исследования процесса выделения частиц основной культуры из зерносмесей ячеистой поверхностью проводились нами на разработанном стенде для исследований ячеистых поверхностей, общий вид которого представлен на рисунке 4.9. Подробное описание его работы и порядок проведения эксперимента приведено в п.п. 3.3.2.



Рисунок 4.9 – Общий вид стенда для исследований ячеистых поверхностей

Динамику выделения зерновок основной культуры ячеистой поверхностью исследовали в широком диапазоне загрузки экспериментального стенда зерном -  $m_n = 7...13$  кг, что эквивалентно диапазону подач зерна в овсюжный цилиндр реального триерного блока  $W = 1,17-4,98$  т/ч при средней скорости осевого смещения сегмента  $v = 0,0218-0,050$  м/с.

Поэтому воспроизведение одинаковых скоростных режимов работы стенда требует корректировки частоты тока по величине загрузки зерном. Установленная взаимосвязь этих величин представлена в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Взаимосвязь скорости вращения ячеистого цилиндра ( $n$ ) с частотой тока ( $\chi_t$ ) при различной его загрузке ( $m_n$ )

$m_n$ , кг	5,0				7,0				9,0			
$n$ , об/мин	30	35	40	45	30	35	40	45	30	35	40	45
$\chi_t$ , Гц	31	36	41	46	31,2	36,2	41,2	46,2	31,4	36,4	41,4	46,4
$m_n$ , кг	11,0				13,0				15,0			
$n$ , об/мин	30	35	40	45	30	35	40	45	30	35	40	45
$\chi_t$ , Гц	31,6	36,6	41,6	46,6	31,8	36,8	41,8	46,8	32	37	42	47

Из таблицы 4.5 видно, что с увеличением загрузки стенда зерносмесью в диапазоне  $m_n = 5-15$  кг приращение частоты тока с целью воспроизведения идентичных скоростных режимов работы ячеистого цилиндра увеличивается в 2 раза – с 2,21–3,3% при  $m_n = 5$  кг, до 4,4–6,6% при  $m_n = 15$  кг. Это существенных уровень корректировки скоростного режима работы стенда с точки зрения необходимости обеспечения сопоставимости результатов исследований при изменении  $m_n$ .

#### 4.1.2.1 Зависимость расходных характеристик от положения выводного лотка

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 динамическими параметрами  $(\gamma_{ox}, h_c)$  постепенно (по мере

его осевого смещения) выделяются зерновки основной культуры до момента, когда  $\gamma_{ox} = 0$  и  $h_c = 0$ .

Эквивалентом рабочей длины ячеистого цилиндра является произведение скорости осевого смещения сегмента ( $v$ ) на продолжительность процесса ( $t$ ). Этим обеспечивается замена пространственной модели процесса на временную. Изменяя расходные характеристики процесса выделения зерновок основной культуры из зерносмеси положением выводного лотка ( $\gamma_n$ ) мы меняем продолжительность процесса. Подача ( $W_n$ ) зерносмеси в ячеистый цилиндр имеет вполне определенную связь с начальными параметрами сегмента и позволяет рассчитать скорость его осевого смещения, а продолжительность процесса определяется опытным путем. Эти предпосылки позволяют установить взаимосвязь  $W_g = f(\gamma_n)$ , которая имеет важнейшее значение при проектировании триеров и управлении процессом очистки зерносмесей.

Результаты исследований взаимосвязи  $W_g = f(\gamma_n)$  при минимальных значениях  $m_n = 7$  кг и  $n = 30$  об/мин представлены на рисунке 4.10.

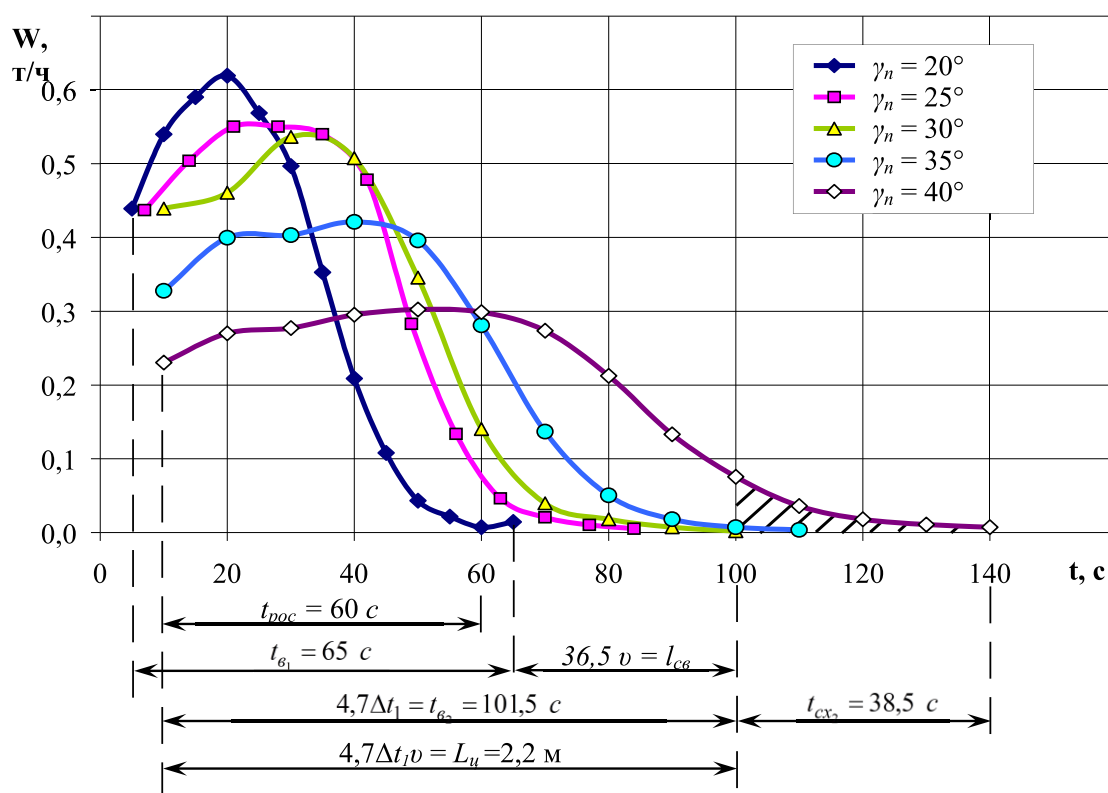


Рисунок 4.10 – Влияние положения лотка на  $W$  ( $m_n = 7$  кг;  $n = 30$  об/мин)



Из рисунка 4.10 видно, что с ростом  $\gamma_n$  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.

Увеличение скоростного режима относительно минимального на 17% приводит к росту максимальной интенсивности выведения зерновок ( $W_{\epsilon_{\max}}$ ) из сегмента на 29%. Непропорциональный рост  $W_{\epsilon_{\max}}$  обусловлен повышением вероятности выброса в факел зерновок из контактирующего слоя. При дальнейшем росте:  $n$  на 33%  $\rightarrow W_{\epsilon_{\max}}$  увеличивается на 135%;  $n$  на 50%  $\rightarrow W_{\epsilon_{\max}}$  на 271%. То есть интенсивность захвата зерновок из контактирующего слоя и полнота отвода выброшенного факела возрастают. С ростом  $n$  от 30 до 45 об/мин продолжительность процесса выделения зерновок из сегмента сокращается от 140 с до 42 с – в 3,3 раза.

При росте величины загрузки ячеистого цилиндра от 7 до 13 кг максимальная интенсивность выведения зерновок в отводной лоток ( $W_{\epsilon_{\max}}$ ), когда скоростной режим работы и настроечный параметр идентичны ( $n=30$  об/мин,  $\gamma_n=30^0$ ), не возрастает и составляет по стендовым реализациям процесса 0,53–0,55 т/ч. С ростом  $m_n$  в указанном диапазоне угловое положение верхней границы циркулирующего сегмента изменяется от  $93$  до  $105^0$  (см. таблицу 4.1), угловое расстояние от этой границы до кромки выводного лотка ( $\Delta\gamma_{nc}$ ) снижается от  $27^0$  до  $15^0$ , но увеличения  $W_{\epsilon_{\max}}$  не происходит.

С ростом  $m_n$  и уменьшением  $\Delta\gamma_{nc}$  имеют место два эффекта: 1) процесс «выедания» зерновок из ячей с увеличением циркулирующих слоев преобладает над процессом заполнения ячей зерновками под давлением слоя; 2) наполнение факела выброса зерновок увеличивается в его нижней части, но при недостаточном скоростном режиме ( $n=30$  об/мин) эта часть факела не поднимается до верхней кромки передней стенки отводного лотка.

Первый эффект подтверждается выявленной динамикой процесса выделения зерновок основной культуры из зерносмеси. Так при  $m_n = 7$  кг,  $n = 30$  об/мин и  $\gamma_n = 40^\circ$  (см. рисунок 4.10) интенсивность выделения возрастает на протяжении 50–60 с. При этом циркулирующая масса зерносмеси уменьшается до 4–3,2 кг, ослабляя эффект «выедания» зерновок из ячеек. Кроме того угол  $\Delta\gamma_{nc}$  увеличивается к этому моменту времени с  $37^\circ$  до  $42\text{--}43,3^\circ$ , но снижение угла охвата факела выброшенных зерновок вполне компенсируется ослаблением эффекта «выедания».

Более контрастно проявляет себя эффект «выедания» зерновок из ячеек при  $m_n = 13$  кг, рисунок 4.11.

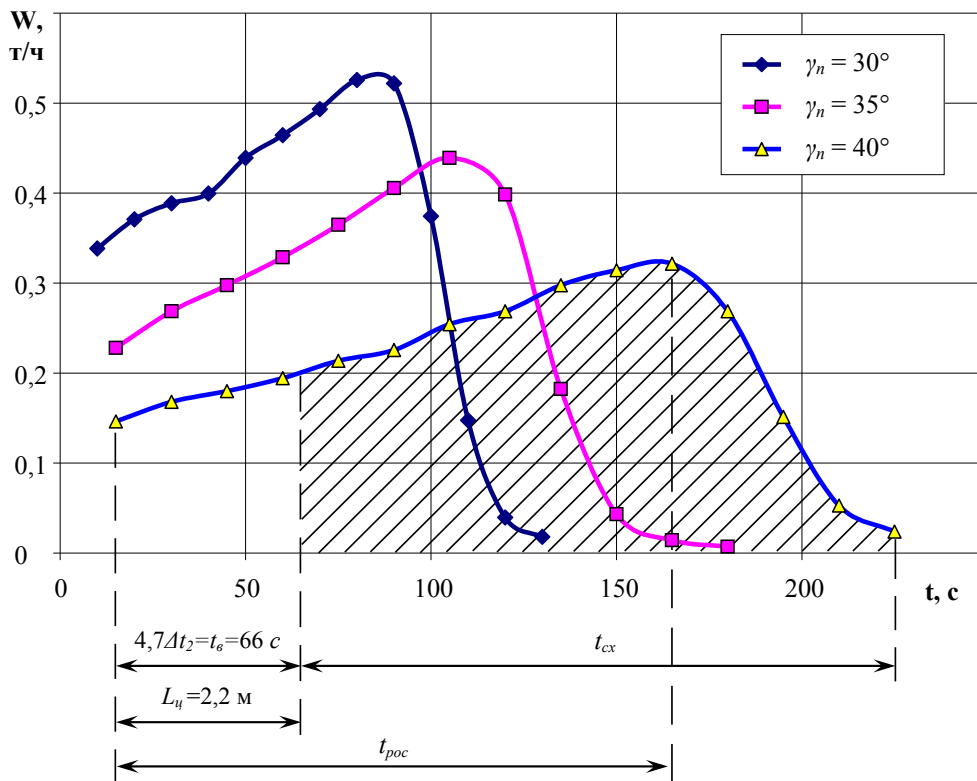


Рисунок 4.11 – Влияние положения лотка на  $W$  ( $m_n = 13$  кг;  $n = 30$  об/мин)

Увеличение интенсивности выделения ( $W_e$ ) при том же скоростном режиме работы  $n = 30$  об/мин и  $\gamma_n = 40^\circ$  продолжается 160 с. При этом циркулирующая масса сегмента уменьшается на 9,5–10 кг. То есть при  $W_{e_{max}}$  циркулирует сопоставимая масса зерносмеси – 3–3,5 кг.

При уменьшении  $\gamma_n$  приращение интенсивности выделения ( $W_g$ ) зерновок основной культуры из зерносмеси возрастает, а протяженность роста ( $t_{roc}$ ) сокращается (см. рисунок 4.11). Снижение  $\gamma_n$  до  $35^0$  сокращает  $t_{roc}$  до 105 с, а при  $\gamma_n = 30^0 \rightarrow t_{roc} = 85$  с. За это время выделяется соответственно 9,7 и 9,5 кг зерновок основной культуры. То есть при  $W_{g_{max}}$  циркулирующая масса зерносмеси составляет соответственно 3,3 и 3,5 кг.

Таким образом, независимо от величин  $\gamma_n$  и  $m_n$  в исследованных диапазонах сохраняется оптимальная масса циркулирующего сегмента зерносмеси, которая обеспечивает максимальную интенсивность выделения зерновок, она составляет 3–4 кг. При этом число циркулирующих слоев в сегменте составляет  $\approx 5$ –6 шт.

Из рисунка 4.10 видно, что реализация процесса при  $\gamma_n = 30^0$  продолжается  $4,7 \Delta t_1 = 101,5$  с, когда используется вся длина стандартного ячеистого цилиндра, свободная его поверхность  $l_{cv} = 0$  и сход  $W_{cx} = 0$ . За это время полностью выделяется в выводной лоток 7 кг зерновок. Однако, из рисунка 4.10 видно, что реализация процесса при  $\gamma_n = 20^0$  продолжается 65 с, когда также выделяется 7 кг зерновок. При этом создается иллюзия противоречия, даже парадокса, который заключается в следующем – подача одинаковая, она составляет 1,17 т/ч, а интенсивность выведения зерновок ( $W_g$ ) в непрерывном по времени процессе разная. В первом случае она составляет  $7/101,5 \times 3600 = 248,276$  кг/ч, а во втором –  $7/65 \times 3600 = 387,7$  кг/ч.

Предложенный метод идентификации производительности триеров по стендовым исследованиям (раздел 2.5.1) позволяет решить это кажущееся противоречие. В первом случае -  $W_g = 248,276 \times 101,5 / 21,6 = 1166,7 \approx 1,17$  т/ч. Во втором -  $W_g = 387,7 \times 65 / 21,6 \approx 1,17$  т/ч. То есть, при одинаковой подаче не зависимо от полноты использования ячеистой поверхности цилиндра интенсивность выделения зер-

новок будет всегда одинаковой в непрерывном процессе при отсутствии схода ( $W_{cx}$ ).

Загрузка ячеистого цилиндра в 13 кг увеличивает продолжительность стеновой реализации расходных характеристик при  $n = 30$  об/мин до 130 – 215 с, так как локальная интенсивность выделения зерновок основной культуры при ограниченном скоростном режиме невелика и она снижается с ростом  $\gamma_n$ .

При  $m_n = 13$  кг и  $n = 30$  об/мин скорость осевого смещения сегмента составляет 0,0335 м/с. С этой скоростью сегмент проходит стандартную длину ячеистого цилиндра ( $L_y = 2,2$  м) за 66 с. Во всем исследуемом диапазоне  $\gamma_n = 30\text{--}40^\circ$  в стандартном ячеистом цилиндре будут наблюдаться потери сходом ( $W_{cx}$ ), так как при  $m_n = 13$  кг и  $n = 30$  об/мин эквивалентная производительность составляет 3,34 т/ч, а интенсивность выделения зерновок ( $W_g$ ) на том же уровне при пониженном скоростном режиме и завышенных величинах  $\gamma_n$  не может быть обеспечена.

Потери зерносмеси сходом при подаче  $W_n = 3,34$  т/ч и скоростном режиме работы стандартного ячеистого цилиндра  $n = 30$  об/мин составляют соответственно:  $\gamma_n = 30^\circ \rightarrow$  потери 48,7%;  $\gamma_n = 35^\circ \rightarrow$  потери 64,0%;  $\gamma_n = 40^\circ \rightarrow$  потери 77,7%.

Уменьшение подачи до 1,17 т/ч (см. рисунок 4.10) только в одном случае приводит к существенным потерям зерносмеси. При  $\gamma_n = 40^\circ$  они составляют 6%. При  $\gamma_n = 30^\circ$  ячеистая поверхность стандартного цилиндра используется частично. Длина свободной поверхности составляет  $l_{св} = 36,5 \times 0,0218 = 0,8$  м.

В настоящем разделе к анализу приняты некоторые граничные условия работы триеров по подаче, скоростному режиму ( $n$ ) и углу ( $\gamma_n$ ), которые подчеркивают важность их обоснованного выбора для эффективной работы зерноочистительных агрегатов.

Полноценная научная основа для управления процессом триерной очистки зерносмесей отсутствует у нас в стране и за рубежом. Поэтому в паспорте по эксплуатации триерных блоков, который является составной частью конструктор-

ской документации, представляемой на испытания, нет конкретных указаний по режимам работы и настроечным параметрам.

В этой связи возникают вопросы: что конкретно подвергается проверке на соответствие при проведении заводских, ведомственных и государственных испытаний?; как воспроизводить условия испытаний без учета гравитационной сегрегации примесных компонентов в среде основной культуры по мере разгрузки технологических емкостей?; как воспроизводить заданную подачу зерносмеси в триерные блоки без эффективных средств разделения перевалочных потоков сыпучих материалов в многоканальных технологиях подработки?

Разработчики и сотрудники МИС многие десятилетия не могли найти ответы на эти вопросы. Зерноочистительные комплексы производились, направлялись в плановом порядке в производство без учета мнений потребителей и использовались за границами экономической эффективности. С приобретением хозяйственной самостоятельности руководители сельскохозяйственных предприятий стали массово выводить зерноочистительные комплексы из эксплуатации.

В развитых с технологической точки зрения странах (Австрия, Канада, Китай и др.) задачи управления процессами триерной очистки зерносмесей на необходимой научной основе также остаются не решенными, нет таких научных знаний. Однако потребителям предлагается весьма широкий спектр триерных блоков и вариантов их исполнения: с вариативным составом овсюжных и кукольных ячестых цилиндров; однооперационные блоки для выделения длинных или коротких примесей; последовательные технологические цепочки с учетом составов примесных компонентов; высокоскоростные – с коэффициентом кинематического режима на уровне 0,68–0,73 и др.

Опыт зарубежных стран позволяет расширить выбор технологических возможностей для потребителя, однако обоснованность выбора и необходимость эффективного использования технологий требуют объективных научных знаний по динамике выделения частиц зерносмесей в широких диапазонах режимов работ и настроечных параметров, что будет впервые представлено в последующих разделах.

#### 4.1.2.2 Зависимость расходных характеристик от скоростного режима работы

Частные закономерности взаимосвязи результативного показателя ( $W_g$ ) от скоростного режима работы ячеистого цилиндра нельзя рассматривать в отрыве от других значимых факторов -  $\gamma_n$ ,  $m_n$ . Кроме того, нельзя рассчитывать на устойчивость взаимосвязи  $W_g = f(n)$  во всем диапазоне времени опытов, если принять во внимание сохранение материального баланса между подачей ( $W_n$ ) - с одной стороны, отводимыми ( $W_g$ ) и смещаемыми в осевом направлении потоками - с другой. С учетом материального баланса расходных характеристик взаимосвязи  $W_g = f(n)$  меняются по времени в широких пределах.

Поэтому для анализа необходимо использовать локальные промежутки времени, где обеспечиваются условия сопоставимости оценок. К этим условиям необходимо отнести: сопоставимость параметров сегмента в момент времени  $t$ , сопоставимость полноты отвода факела, сопоставимость степени заполнения ячей. Другим важнейшим показателем расходной характеристики является продолжительность выведения зерносмеси из ячеистого цилиндра -  $t_g = f(n)$ .

Очевидно, что обеспечить условия сопоставимости реализации расходных характеристик по всем параметрам невозможно, так как эти параметры (как и результативный показатель) зависят от скоростного режима работы ячеистого цилиндра. Максимально условия сопоставимости оценок обеспечиваются на начальных промежутках времени, которые следует принять к анализу, допуская неизбежное проявление эффекта взаимодействия нескольких факторов.

На рисунке 4.12 графически представлена стендовая реализация расходных характеристик при  $m_n = 7$  кг и  $\gamma_n = 20^0$ . Величина  $\gamma_n$  предполагает максимальную степень отвода факела выделяемых зерновок основной культуры лотком. Однако, при проведении этих опытов использовались разные интервалы времени замеров по техническим причинам (мерные емкости одинаковые, навески желателно увеличивать). Поэтому для обеспечения условий сопоставимости оценок расходных характеристик определены номера замеров в каждом опыте, до которого выделе-

ны примерно равные массы зерновок  $\Delta m_n$ . При этом будет снивелирован разгонный период.

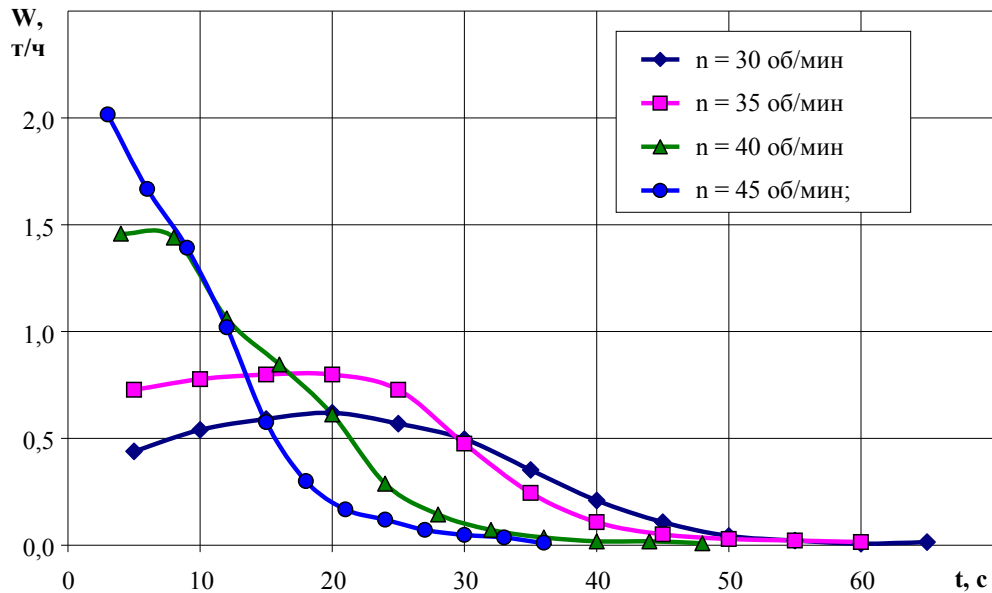


Рисунок 4.12 – Влияние скорости вращения цилиндра на  $W$  ( $m_n = 7$  кг;  $\gamma_n = 20^\circ$ )

Последовательно с 1-го по 4-ый опыт выделены массы: в 1-ом при  $n = 30$  об/мин  $\rightarrow 3,04$  кг за 4 интервала; во 2-ом при  $n = 35$  об/мин  $\rightarrow 3,2$  кг за 3 интервала; в 3-ем при  $n = 40$  об/мин  $\rightarrow 3,22$  кг за 2 интервала; в 4-ом при  $n = 45$  об/мин  $\rightarrow 3,07$  кг за 2 интервала. То есть, выделенные массы сопоставимы, а условия по начальным параметрам зернового сегмента для оценки расходных характеристик в последующих контролируемых интервалах времени следует считать идентичными.

В этих (последующих) интервалах расход ( $W_g$ ) составил соответственно: в 1-ом опыте, 5-ом интервале – 0,619 т/ч; во 2-ом опыте, 4-ом интервале – 0,799 т/ч; в 3-ем опыте, 3-ем интервале – 1,062 т/ч; в 4-ом опыте, 3-ем интервале – 1,392 т/ч.

Если максимальную расходную характеристику ( $W_g = 1,392$  т/ч) и максимальный скоростной режим ( $n = 45$  об/мин) принять за 1, то получим два ряда относительных чисел в порядке возрастания:

для расходных характеристик – 0,44; 0,57; 0,76; 1;

для скоростных режимов – 0,67; 0,78; 0,89; 1.

Анализ 2-х рядов относительных чисел показывает, что приращение скоростного режима работы ячеистого цилиндра с постоянным интервалом в относительном измерении, равным 0,11, обеспечивает ряд приращений расходных характеристик: 0,13; 0,19; 0,24.

Очевидно, что нарастающий характер приращения расходных характеристик с ростом скоростного режима работы ячеистого цилиндра обусловлен повышением полноты отвода факела выброса зерновок и снижением «выедания» зерновок из ячеей при оптимальной циркулирующей массе зернового сегмента  $\rightarrow 7 - (3,04-3,22) = 3,78-3,96$  кг. Это оптимальная циркулирующая масса зерносмеси с точки зрения степени заполнения ячеей при  $n = 30$  об/мин. С ростом  $n$  до 45 об/мин степень заполнения ячеей увеличивается за счет прироста инерционных сил (инерционного удержания зерновок в ячееях), подавляющего эффект «выедания».

Оценка взаимосвязи  $W_g = f(n)$  по критерию продолжительности стендовой реализации процесса выполнена с использованием аналогичного подхода. Продолжительность реализации в 1–4-ом опытах составила соответственно: 65 с; 60 с; 48 с; 36 с. С учетом того, что связь расходных характеристик ( $W_g$ ) с продолжительностью выделения ( $t$ ) обратная, для анализа используем обратные значения числового ряда (1/65; 1/60; 1/48; 1/36) и наибольшее значение этого ряда (1/36) приравняем к 1. Тогда в относительном измерении будем иметь два числовых ряда, совпадающие по шкалам желательности:

для продолжительности выделения – 0,55; 0,60; 0,75; 1;

для скоростных режимов – 0,67; 0,78; 0,89; 1.

Анализ числовых рядов показывает, что приращение показателя продолжительности процесса происходит также нарастающим темпом при равных приращениях скоростного режима. Очевидно, что причины этой взаимосвязи те же: увеличение полноты отвода факела зерновок; блокирование или снижение «выедания» захваченных зерновок из ячеей.

Во всем диапазоне скоростных режимов работы ( $n = 30-45$  об/мин) при  $m_n = 7$  кг стандартный ячеистый цилиндр обеспечивает идентифицированную



производительность выделения зерновок  $W_g = 1,17-1,74$  т/ч. При  $\gamma_n = 20^0$  рабочая длина ячеистой поверхности используется частично на всех скоростных режимах:  $n = 30$  об/мин,  $W_g = 1,17$  т/ч,  $l_{св} = 0,78$  м;  $n = 35$  об/мин,  $W_g = 1,36$  т/ч,  $l_{св} = 0,67$  м;  $n = 40$  об/мин,  $W_g = 1,55$  т/ч,  $l_{св} = 0,81$  м;  $n = 45$  об/мин,  $W_g = 1,74$  т/ч,  $l_{св} = 1,03$  м.

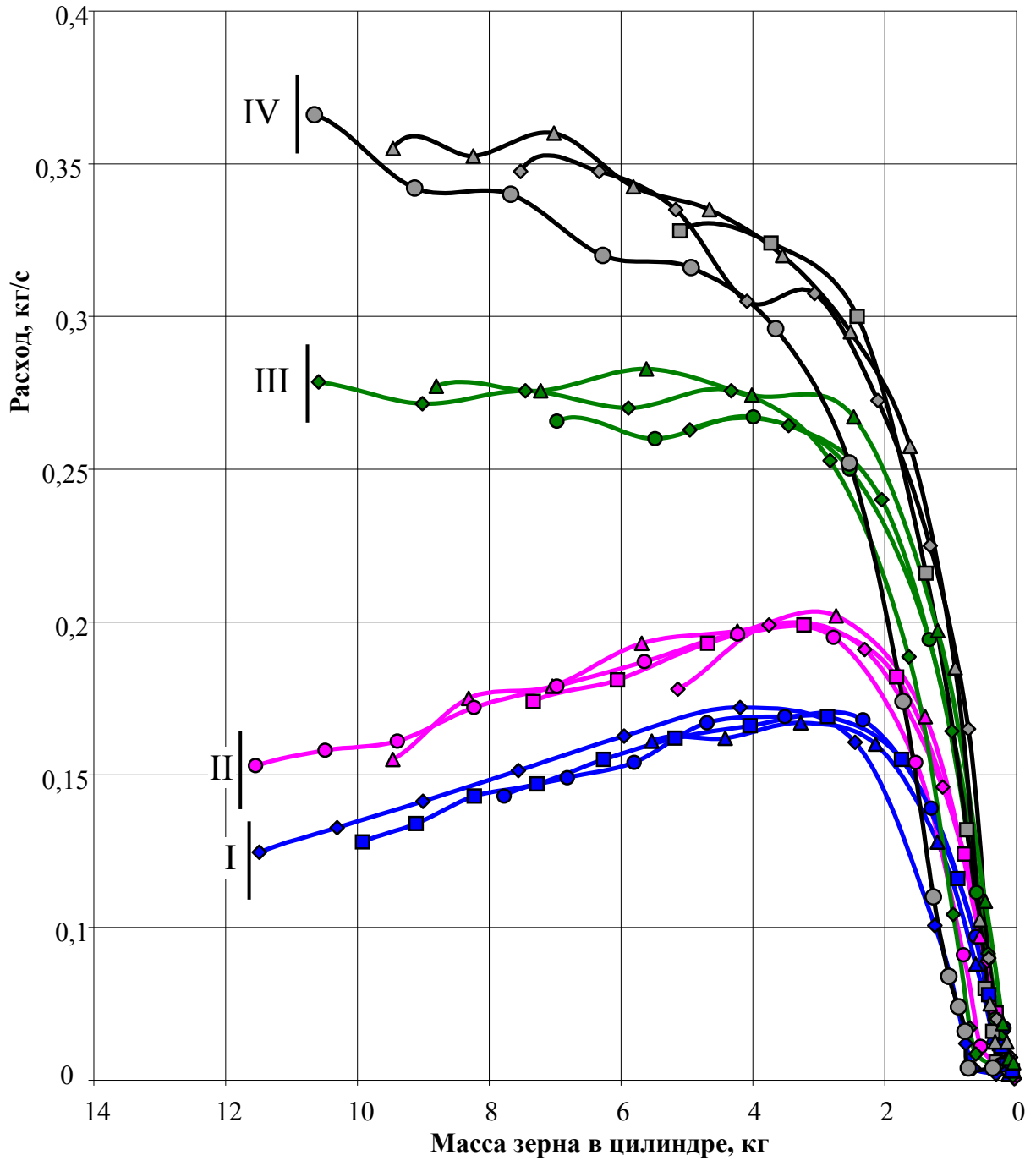
Для обеспечения условий протекания процесса в стандартном ячеистом цилиндре, когда  $l_{св} = 0$ , нужно на всех скоростных режимах увеличивать  $\gamma_n$ . При  $l_{св} = 0$  минимизируются риски захвата свободной ячеистой поверхностью длинных примесных частиц и их подачи в отводной лоток с чистым зерном.

Эту настройку можно выявить с использованием созданного стенда циклического действия регулировкой  $\gamma_n$  с контролем продолжительности ( $t$ ) выделения зерносмеси массой  $m_n = 7$  кг. Контрольная продолжительность процесса должна составлять соответственно:  $n = 30$  об/мин  $\rightarrow t = 100,9$  с;  $n = 35$  об/мин  $\rightarrow t = 86,6$  с;  $n = 40$  об/мин  $\rightarrow t = 76,1$  с;  $n = 45$  об/мин  $\rightarrow t = 67,7$  с.

В обобщенном виде зависимость стендовых расходных характеристик от скоростных режимов его работы при переменных начальных условиях по величинам  $m_n$  и  $\gamma_n$  представлены на рисунке 4.13.

Из рисунка 4.13 видно, что при  $n = 30$  об/мин (группы закономерностей I и II) независимо от величины загрузки стенда ( $m_n = 7...13$  кг) эффект «выедания» зерновок из ячей контактирующим слоем преобладает над эффектом их инерционного удержания в ячеях. Это происходит до некоторой оптимальной зоны циркулирующих масс  $m_n = 3 - 4$  кг, затем расходные характеристики резко снижаются.

С приращением скоростного режима на 16,7% (до  $n = 35$  об/мин) эффект «выедания» уравнивается увеличением инерционных сил, удерживающих зерновки в ячеях (группа закономерностей – III). Расходные характеристики на уровне 0,27–0,28 кг/с (0,97–1,008 т/ч) сохраняются весь период разгрузки стендового ячеистого цилиндра – до оптимальной зоны циркулирующих в зерновом сегменте масс (3–4 кг).



I

- ▲  $m_n = 7$  кг;  $n = 30$  об/мин;  $\gamma_n = 35^\circ$
- $m_n = 9$  кг;  $n = 30$  об/мин;  $\gamma_n = 35^\circ$
- $m_n = 11$  кг;  $n = 30$  об/мин;  $\gamma_n = 35^\circ$
- ◆  $m_n = 13$  кг;  $n = 30$  об/мин;  $\gamma_n = 35^\circ$

II

- ◇  $m_n = 7$  кг;  $n = 30$  об/мин;  $\gamma_n = 30^\circ$
- $m_n = 9$  кг;  $n = 30$  об/мин;  $\gamma_n = 30^\circ$
- △  $m_n = 11$  кг;  $n = 30$  об/мин;  $\gamma_n = 30^\circ$
- $m_n = 13$  кг;  $n = 30$  об/мин;  $\gamma_n = 30^\circ$

III

- ◆  $m_n = 7$  кг;  $n = 35$  об/мин;  $\gamma_n = 30^\circ$
- $m_n = 9$  кг;  $n = 35$  об/мин;  $\gamma_n = 30^\circ$
- ▲  $m_n = 11$  кг;  $n = 35$  об/мин;  $\gamma_n = 30^\circ$
- ◇  $m_n = 13$  кг;  $n = 35$  об/мин;  $\gamma_n = 30^\circ$

IV

- $m_n = 7$  кг;  $n = 40$  об/мин;  $\gamma_n = 35^\circ$
- ◇  $m_n = 9$  кг;  $n = 40$  об/мин;  $\gamma_n = 35^\circ$
- ▲  $m_n = 11$  кг;  $n = 40$  об/мин;  $\gamma_n = 35^\circ$
- $m_n = 13$  кг;  $n = 40$  об/мин;  $\gamma_n = 35^\circ$

Рисунок 4.13 – Стендовые расходные характеристики процесса в зависимости от скоростных режимов работы при различных  $m_n$  и  $\gamma_n$

Дальнейшее увеличение скоростного режима работы стенда до 40 об/мин (группа закономерностей IV) приводит к непропорционально большому приращению расходных характеристик на начальных интервалах времени разгрузки ячеистого цилиндра. Приращение скоростного режима относительно  $n = 35$  об/мин составило 14,3%, а расходных характеристик – 33%. Очевидно, что непропорциональный прирост расходных характеристик при  $n = 40$  об/мин обусловлен повышением степени заполнения ячеек зерновками за счет возросшего воздействия на них инерционных сил.

Однако, по мере разгрузки ячеистого цилиндра, расходные характеристики убывают во всем диапазоне циркулирующих масс зерносмеси -  $m_n \rightarrow 0$ . Это обусловлено снижением эффекта инерционного удержания зерновок в ячейках из-за уменьшения высоты циркулирующего сегмента зерносмеси.

#### 4.1.2.3 Зависимость расходных характеристик от массы исходной навески зерносмеси в стенде

Реализация стендовых расходных характеристик, представленная на рисунке 4.14, в очевидной форме показывает смещение по оси времени ( $t$ ) максимальных значений  $W_{\text{с}}$ .

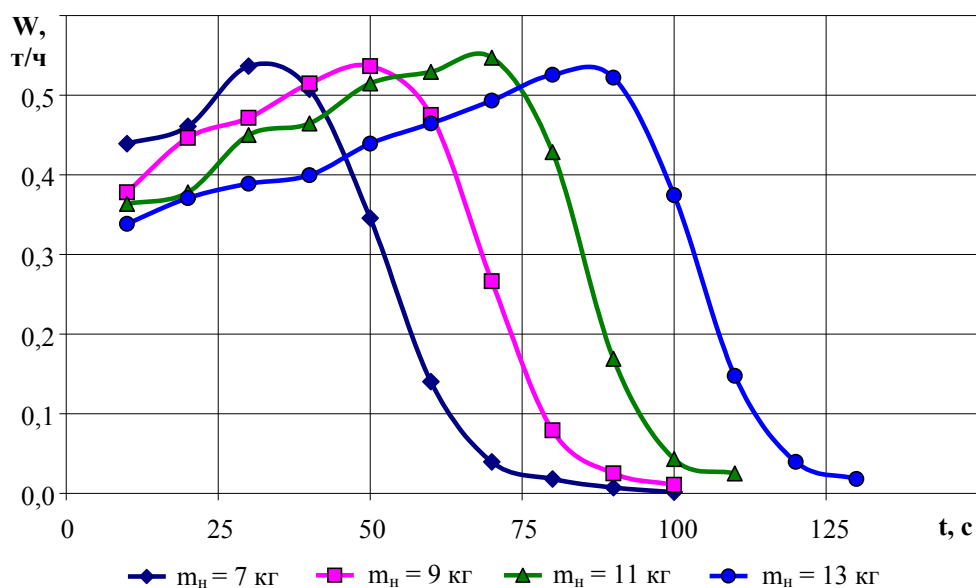


Рисунок 4.14 – Влияние массы исходной навески на  $W$  ( $n = 30$  об/мин;  $\gamma_n = 30^0$ )

Причем равным интервалам прироста циркулирующей массы в ячеистом цилиндре станда ( $\Delta m_n = 2$  кг) соответствуют равные интервалы времени смещения ( $\Delta t = 20$  с) максимальных значений расходных характеристик.

До достижения ( $W_{\epsilon_{\max}}$ ) при различных начальных значениях циркулирующих масс выделено в лоток соответственно:  $m_n = 7$  кг  $\rightarrow \sum \Delta m_1 = 2,5$  кг – за два интервала по 10 с;  $m_n = 9$  кг  $\rightarrow \sum \Delta m_2 = 5,03$  кг – за четыре интервала по 10 с;  $m_n = 11$  кг  $\rightarrow \sum \Delta m_3 = 7,5$  кг – за шесть интервалов по 10 с;  $m_n = 13$  кг  $\rightarrow \sum \Delta m_4 = 9,5$  кг – за восемь интервалов по 10 с. Этим величинам выделенных масс соответствуют остаточные величины циркулирующих масс: 4,5 кг; 3,97 кг; 3,5 кг; 3,5 кг.

Все значения остаточных циркулирующих масс зерносмеси попадают в область оптимальной степени заполнения ячеек зерновками основной культуры, чем и объясняется достижение  $W_{\epsilon_{\max}}$ . Оценка суммарных выделений зерновок ( $\sum \Delta m_i$ ) и разницы между ними свидетельствует об исключительно высокой степени воспроизводимости результатов исследований с использованием созданного станда циклического действия.

Продолжительность выделения начальных масс зерносмеси составляет соответственно: 90 с; 100 с; 110 с; 120 с. Потенциальная идентифицированная производительность ячеистого цилиндра длиной 2,2 м при  $n = 30$  об/мин и  $m_n = 7-13$  кг должна составлять соответственно: 1,17; 1,77; 2,49; 3,34 т/ч. Однако при недостаточном скоростном режиме работы ячеистого цилиндра с ростом  $m_n$  снижается степень отвода факела выделенных частиц и возрастает степень «выедания» зерновок из ячеек контактирующим слоем. Поэтому при  $n = 30$  об/мин только при наименьшей начальной циркулирующей массе зерносмеси ( $m_n = 7$  кг) идентифицированная производительность реализуется стандартным ячеистым цилиндром полностью ( $W_{\epsilon} = 1,17$  т/ч), даже с запасом – длина свободной ячеистой поверхности составляет  $l_{\text{св}} = 0,238$  м. В остальных случаях будут наблюдаться потери сходом, они увеличиваются с ростом  $m_n$  и составляют соответственно: 1%; 11,5%; 39,4%.

Представленные оценки свободной поверхности ячеистого цилиндра и величин потерь сходом свидетельствуют о необходимости обоснованного выбора режимов работы и настроечных параметров, отсутствии достаточной базы знаний и практических рекомендаций для решения этих задач.

На рисунке 4.15 представлены результаты стендовых исследований расходных характеристик во всем диапазоне загрузки ячеистого цилиндра ( $m_n = 7\text{--}13$  кг) при повышенном скоростном режиме ( $n = 45$  об/мин).

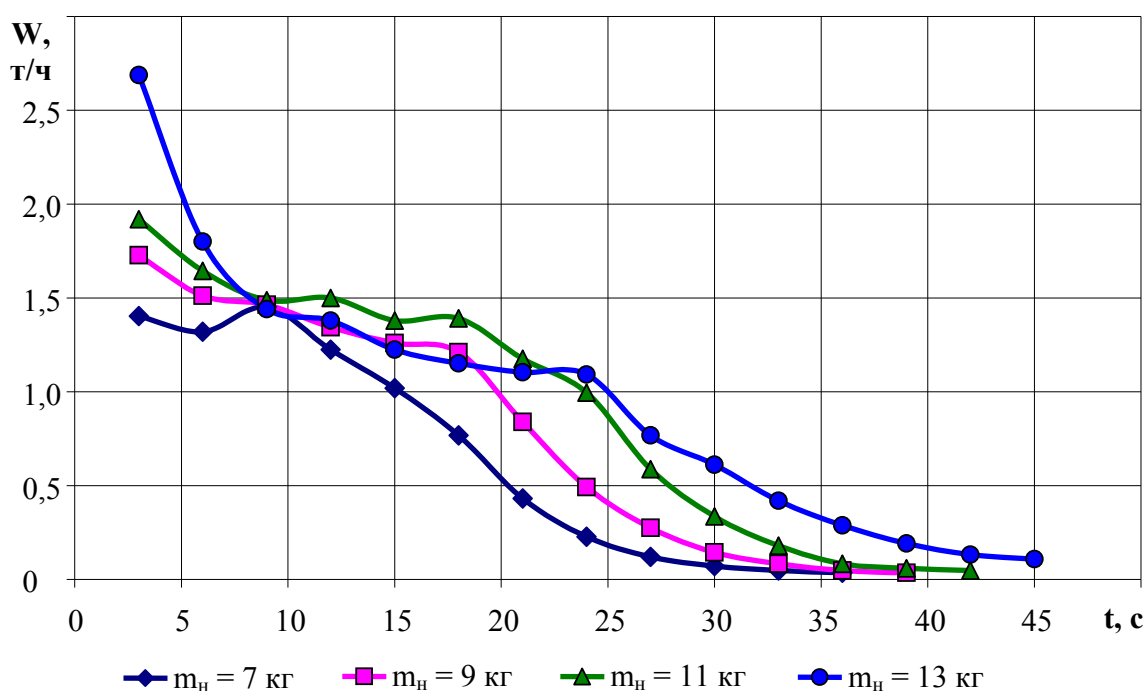


Рисунок 4.15 – Влияние массы исходной навески на  $W$  ( $n = 45$  об/мин;  $\gamma_n = 35^\circ$ )

Принципиальное отличие полученных закономерностей от рассмотренного выше примера заключается в том, что они не содержат участков протекания процесса с преобладанием эффекта «выедания» зерновок из ячеек контактирующим слоем зерносмеси. Только на начальных интервалах времени реализации процесса  $m_n = 7$  кг эффект «выедания» зерновок из ячеек уравнивается эффектом их инерционного удерживания в ячейках.

На повышенном скоростном режиме работы ячеистого цилиндра с коэффициентом кинематического режим  $K_p = 0,68$  даже при  $\gamma_n = 35^\circ$  обеспечивается полное выделение зерновок основной культуры без потерь сходом с идентифицированными расходными характеристиками соответственно:  $m_n = 7$  кг  $\rightarrow W_g =$

1,74 т/ч;  $m_n = 9$  кг  $\rightarrow W_g = 2,64$  т/ч;  $m_n = 11$  кг  $\rightarrow W_g = 3,72$  т/ч;  $m_n = 13$  кг  $\rightarrow W_g = 4,98$  т/ч.

Время выделения зерновок по мере интервального роста  $m_n$  составляет соответственно: 36 с; 39 с; 42 с; 45 с. В первых 3-х реализациях процесса с использованием стандартного ячеистого цилиндра ячеистая поверхность будет использоваться не полностью. Длина свободной поверхности ( $l_{св}$ ) составит соответственно: 1,03 м; 0,704 м; 0,35 м.

Существенный прирост расходных характеристик в сравнении с их реализацией при  $n = 30$  об/мин (см. рисунок 4.14) объясняется резким повышением полноты отвода факела выделяемых зерновок и подавлением эффекта их «выедания» из ячей на повышенном скоростном режиме за счет инерционных сил.

Наличие свободной ячеистой поверхности в реализациях процесса при  $m_n = 7-11$  кг свидетельствует о необходимости обоснованной настройки триерных блоков в каждом конкретном случае – универсальных сочетаний режимов работы и настроечных параметров не существует. В рассмотренном случае при  $m_n = 7...11$  кг и  $n = 45$  об/мин необходимо увеличивать величину  $\gamma_n$  до достижения ситуации, когда  $l_{св} = 0$ , что предотвратит захват и подачу длинных примесных частиц в чистое зерно.

#### **4.1.3 Взаимосвязь степени заполнения ячей с режимами работы и настроечными параметрами триера**

Режимы работы триера ( $n, m_n, h_c$ ) влияют на степень заполнения ячей зерновками. Настроечные параметры ( $\gamma_n, Z_p$ ) являются субъективными факторами, которые необходимо учитывать при анализе взаимосвязи объективных факторов с показателем степени заполнения ячей зерновками.

Именно режимы работы триера (ячеистого цилиндра) определяют условия заполнения ячей зерновками, изменяя соотношение активных воздействий на них: статического и динамического подпора циркулирующих масс, инерционного

удержания зерновок в ячеях – с одной стороны; эффекта «выедания» зерновок из ячей контактирующим слоем – с другой. Причем эффект «выедания» компромиссно (неоднозначно) связан с режимами работы. Увеличение  $n$ ,  $m_n$  и  $h_c$  усиливают фрикционное воздействие контактирующего слоя на зерновки в ячеях – потенциал эффекта их «выедания», но те же факторы увеличивают статическое (подпорное) и динамическое удержание зерновок в ячеях.

Степень заполнения ячей зерновками ( $n_{3ij}$ ) возможно количественно оценивать только по величине выделенной навески зерна ( $m_{nij}$ ) в соответствующем интервале времени замеров, однако эта величина объективно связана с настроечными параметрами ( $\gamma_n, Z_p$ ), которые определяют полноту отвода факела захваченных и выброшенных ячеями зерновок. По отношению к показателю  $n_{3ij}$  эти факторы являются субъективными. Поэтому при анализе процесса выделения зерновок основной культуры по показателю  $n_{3ij}$  необходимо обеспечить условия сопоставимости оценок по субъективным факторам.

Этим условиям в наибольшей степени соответствуют реализации стендовых расходных характеристик при  $\gamma_n = 20^0$  и  $Z_p = 28$  мм, которые обеспечивают максимальный отвод выделенных факелов зерновок. Для  $m_n = 7$  кг,  $\gamma_n = 20^0$ , и  $Z_p = 28$  мм получены величины показателя степени заполнения ячей ( $n_{3ij}$ ), таблица 4.6.

Таблица 4.6. – Зависимость степени заполнения ячей зерновками ( $n_{3ij}$ , шт.) от скоростного режима работы ( $n$ ) при  $m_n = 7$  кг,  $\gamma_n = 20^0$ ,  $Z_p = 28$  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

К анализу принято 9 интервалов времени замеров, так как в последующий период выделения зерновок процесс заполнения ячей становится случайным и маловероятным. Идентификации результатов стендовых исследований степени

заполнения ячей зерновками основной культуры не требуется при переносе на стандартный или проектируемый ячеистый цилиндр – условия протекания процесса по времени совпадают.

Однако сопоставление оценок требует учета разницы расходных характеристик при изменении скоростного режима ( $n$ ) и связанной с ним скорости осевого смещения сегмента. Например, ячеистый цилиндр разгружается на 70%: при  $n = 30$  об/мин за 35 с; при  $n = 35$  об/мин  $\approx$  за 25 с; при  $n = 40\text{--}45$  об/мин  $\approx$  за 18 с. При этой продолжительности процесса используется 35–24% длины рабочей поверхности стандартного ячеистого цилиндра с загрузкой по производительности 23,4–35% от номинального значения. Меньший уровень производительности соответствует меньшему скоростному режиму ( $n = 30$  об/мин).

Из таблицы 4.6 видно, что степень заполнения ячей зерновками по мере разгрузки ячеистого цилиндра в пределах 9-ти интервалов времени замеров изменяется в 5,7–38 раз! Этот факт установлен впервые. Оценивая его, можно понять трудности и причины ошибочной оценки рабочей длины ячеистого цилиндра Летошневым М.Н., который ссылаясь на «попытки» Павловского Г.Т. в определении  $n_{3ij}$  (см. раздел 2).

Снижение степени заполнения ячей зерновками при сокращении числа циркулирующих слоев ( $n_{сл}$ ) в сегменте зерносмеси объясняется относительным ростом динамического воздействия на него ячеистой поверхности, приводящей к разуплотнению сегмента и нарастающему выбросу из него зерновок. При этом вероятность захвата зерновок резко снижается.

Если не принимать во внимание 1-ый интервал времени замеров, на протяжении которого процесс выделения только стабилизируется, то можно сделать следующие выводы: во 2-ом интервале  $n_{3ij}$  увеличивается в 2,05 раза за счет подавления эффекта «выедания» зерновок из ячей с ростом  $n$ ; к 4-му интервалу  $n_{3ij}$  выравнивается во всем диапазоне скоростных режимов работы ячеистого цилиндра.



дра; в последующих интервалах времени соотношение  $n_{zij}$  в зависимости от скоростного режима меняется на противоположное.

В связи с вышеизложенным представляет существенный интерес характер изменения  $n_{zij}$  с ростом  $m_n$ . В таблице 4.7 представлены результаты исследований степени заполнения ячеек зерновками основной культуры (пшеницы) с увеличенной загрузкой стендового ячеистого цилиндра ( $m_n = 9-13$  кг) при  $\gamma_n = 30^\circ$  и  $n = 45$  об/мин, обеспечивающих максимальный отвод выброшенного ячеями факела зерновок.

Таблица 4.7 – Взаимосвязь степени заполнения ячеек зерновками ( $n_{zij}$ , шт.) с  $m_n$  при  $\gamma_n = 30^\circ$ , и  $n = 45$  об/мин

$m_n$ , кг	Номера интервалов времени замеров									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
9	3,0	1,90	1,74	1,61	1,53	1,04	0,67	0,36	0,18	0,10
11	3,53	2,28	1,88	1,72	1,61	1,53	1,07	0,65	0,33	0,17
13	4,18	3,10	2,02	1,89	1,64	1,50	1,11	0,78	0,39	0,19

Из таблицы 4.7 видно, что в 1-ом интервале времени замеров (разгонном) показатель  $n_{zij}$  изменяется в пределах 3,0–4,18 зерновок на ячею. Этот уровень показателя следует считать не характерным для процесса выделения зерновок, а  $n_{zij} = 4,18$  шт/ячею – нереалистичным. В разгонном интервале подъем зернового сегмента до верхней границы угла охвата ( $\gamma_{ox}$ ) производится преимущественно с коэффициентом трения покоя, который выше динамического коэффициента внутреннего трения зерна, и при меньшей степени скольжения сегмента относительно ячеистой поверхности. Поэтому из контактирующего слоя увлекаются и выбрасываются в факел дополнительные порции зерновок, что приводит к завышению показателей  $n_{zij}$  - в ячее физически не могут разместиться 4,18 зерновки.

Во всем диапазоне  $m_n$  и полном временем протекания процесса выделения зерновок эффект возросшего инерционного удержания зерновок в ячейках преобладает над эффектом их «выедания» из ячеек. Рост  $n$  в 1,5 раза увеличивает соотношение инерции к гравитации в 2,25 раза. Эта аргументация, основанная на сопо-

ставлении двух эффектов, подтверждается полученными результатами исследования показателя  $n_{3ij}$ . Разница  $m_n$  в строках таблицы 4.7, составляющей 2 кг, определила «сдвиг» идентичных его значений на 1 интервал времени замеров в сторону нарастающей степени разгрузки ячеистого цилиндра – в первых двух строках они практически совпадают.

В таблице 4.7 показатель  $n_{3ij}$  представлен по 10-ти интервалам времени замеров, каждый из которых составляет 3 с. При  $m_n = 9-13$  кг за 10 интервалов (30 с) выделяется 97% зерновок основной культуры от начальной массы. Вероятность попадания хотя бы 1-ой зерновки в ячею в отброшенных интервалах не превышает 0,7%.

За 10 интервалов задействованная длина рабочей поверхности составляет от длины стандартного ячеистого цилиндра соответственно:  $m_n = 9$  кг  $\rightarrow$  52,2%;  $m_n = 11$  кг  $\rightarrow$  60%;  $m_n = 13$  кг  $\rightarrow$  68,2%. Приращение длины рабочей поверхности на 30% обусловлено увеличением скорости осевого смещения сегмента зерносмеси с ростом циркулирующей массы – на  $(13/9 - 1) \cdot 100\% = 44\%$ . Неравнозначность приращений обусловлена тем, что с ростом  $m_n$  возрастает и показатель заполнения ячей зерновками.

Кратность изменения показателя  $n_{3ij}$  по мере разгрузки ячеистого цилиндра в рассмотренных реализациях процесса составляет 19–13 раз без учета 1-го интервала. При этом обеспечиваются расходные характеристики соответственно:  $m_n = 9$  кг  $\rightarrow$  2,64 т/ч;  $m_n = 11$  кг  $\rightarrow$  3,72 т/ч;  $m_n = 13$  кг  $\rightarrow$  4,798 т/ч. Это идентифицированные расходные характеристики в расчете на длину стандартного ячеистого цилиндра.

При  $m_n = 13$  кг,  $n = 45$  об/мин на выделение последних 3% массы зерносмеси от начальной величины расходуется 0,7 м длины рабочей поверхности ячеистого цилиндра. Это обусловлено крайне малой вероятностью попадания зерно-

вок в ячеи ( $< 0,7\%$ ) на заключительном этапе процесса. В других рассмотренных случаях ( $m_n = 9; 11$  кг) остается свободная ячеистая поверхность.

#### 4.1.4 Оценка управляемости качеством процесса триерной очистки зерносмеси за счет настройки регулировочных параметров

Исследования по управляемости качеством процесса проводили при изменении настроечных параметров в пределах:  $\gamma_n = 30\text{--}40^\circ$ ;  $z_p = 10\text{--}28$  мм. Начальную величину загрузки стендового ячеистого цилиндра изменяли на двух уровнях – 7 и 9 кг, скоростной режим работы изменяли в диапазоне 30–45 об/мин с интервалом в 5 об/мин.

Оценку управляемости качеством процесса выделения зерновок основной культуры проводили по воспроизводимости расходных характеристик с расчетом коэффициента вариации выделенных масс за равные промежутки времени при каждом сочетании условий опытов. Результаты при  $m_n = 7$  кг представлены на рисунке 4.16.

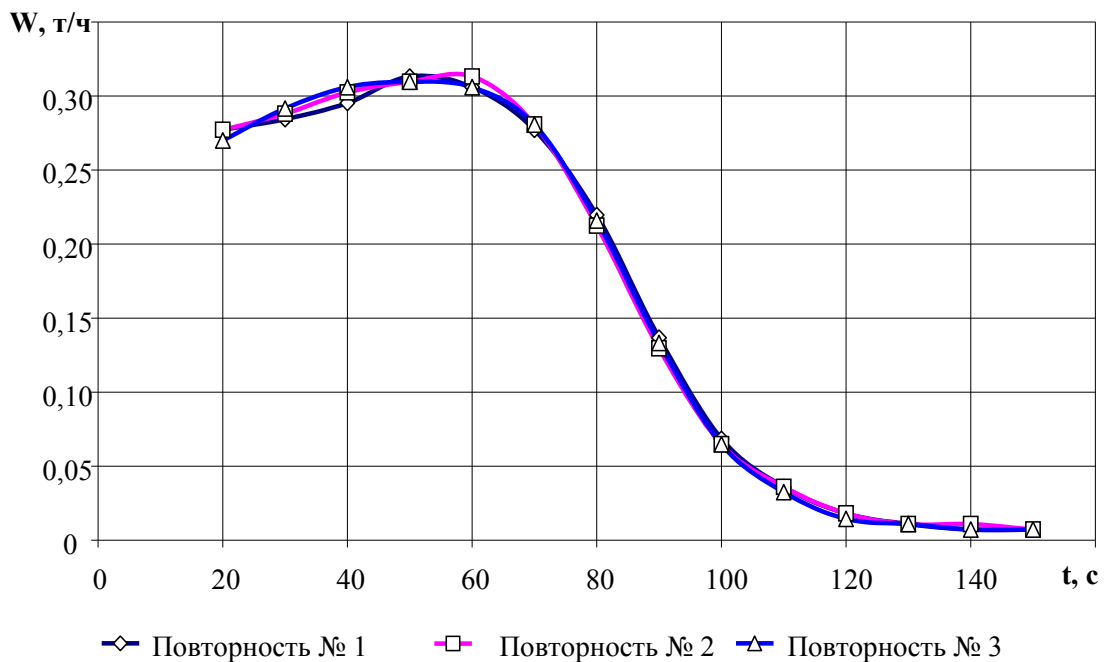


Рисунок 4.16 – Воспроизводимость расходных характеристик при  $m_n = 7$  кг;  $n = 30$  об/мин;  $\gamma_n = 40^\circ$ ;  $z_p = 28$  мм

Из рисунка 4.16 видно, что уровень воспроизводимости расходных характеристик очень высокий. Расчетное значение коэффициента вариации выделенных масс составляет 0,25%, что в 23,2 раза ниже (показатель с желательным снижением) результата, полученного профессором Лурье А.Б. Причем производительность по чистому зерну в его опытах составляла 0,609 т/ч, а в наших величина эквивалентной производительности – 1,015 т/ч. Кроме того, в опытах профессора Лурье А.Б. использовался стандартный триерный блок с  $Z_p = 20$  мм, а в наших опытах величина радиального зазора ( $Z_p$ ) между верхней кромкой передней стенки отводного лотка и ячеистой поверхностью составляла 28 мм. Это менее благоприятные условия, так как нижняя часть отбираемого факела выброшенных частиц наименее стабильна.

Увеличение скоростного режима до  $n = 45$  об/мин и  $\gamma_n$  до  $40^\circ$  при  $m_n = 9$  кг повысило коэффициент вариации до 1,65%. Наиболее нестабильным участком расходных характеристик является начальный – 0–20 с. Для этого режима работы  $\gamma_n = 40^\circ$  является избыточным. Снижение  $\gamma_n$  до  $35^\circ$  позволило повысить стабильность расходных характеристик до  $\nu = 0,29\%$ . При этом эквивалентная производительность стандартного ячеистого цилиндра составила 2,538 т/ч.

Таким образом, изменение величины  $\gamma_n$  позволяет управлять процессом в широком диапазоне расходных характеристик триера и высокой стабильностью выделенных масс. Изменение величины  $Z_p$  не обеспечивает необходимую вариативность расходных характеристик для сбалансирования качества процесса триерной очистки зерносмеси от длинных и коротких примесей, рисунок 4.17.

Из рисунка 4.17 видно, что с увеличением величины  $Z_p$  от 10 до 28 мм при идентичных режимах работы и  $\gamma_n = 35^\circ$  расходные характеристики изменяются незначительно – 7–7,5% на начальных участках. Снижение  $Z_p$  до 10 мм повышает стабильность расходных характеристик до  $\nu = 0,07\%$ .

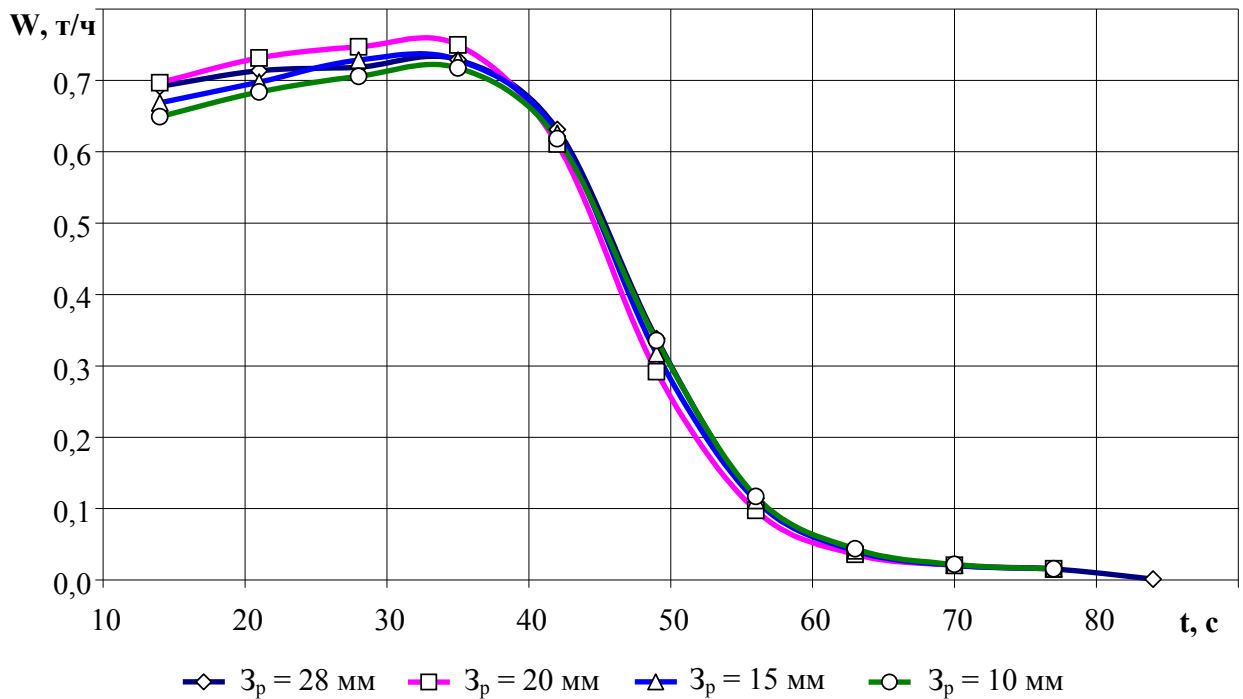


Рисунок 4.17 – Влияние величины  $Z_p$  на  $W$  при  $m_n = 9$  кг;  $n = 35$  об/мин;  $\gamma_n = 35^\circ$

Полученные результаты исследований являются исключительно важной базой знаний для совершенствования зерноочистительных технологий. Выявленные закономерности триерной очистки зерна свидетельствуют о сложности управления технологическим процессом подработки зерна и огромных технологических потерях в реальных условиях производства без решения задач управления на основе новых научных знаний.

Нами восполнены недостатки в создании научных основ и специальных разработках, необходимых для эффективной эксплуатации технологий триерной очистки зерносмесей. Созданная база знаний и разработок позволяет ставить и успешно решать задачи автоматизированного управления процессом триерной очистки зерна.

Частный случай разгрузки ячеистого цилиндра при  $\gamma_n = 30^\circ$ ,  $n = 45$  об/мин и подаче в диапазоне 2,64–4,98 т/ч позволил установить, что при выделении 97% начальной массы зерновок из зерносмеси используется 52,2–68,2% ячеистой поверхности стандартного цилиндра. На остальной длине вероятность захвата зерновок ячейками составляет  $< 0,7\%$ . Это критическая зона ячеистой поверхности, где неизбежен захват и вынос длинных примесей в чистое зерно.

Следовательно, существенные потери зерна сходом необходимы для сбалансирования качества работы триера по прямым потерям зерна и остаточной засоренности очищенного зерна длинными примесями. Совокупный сход зерна и примесей возможно использовать в качестве управляющего воздействия на информационную систему при решении задачи автоматизированного управления процессом триерной очистки зерна корректировкой  $\gamma_n$ .

При оценке этой возможности сход длинных примесей и зерновок основной культуры можно считать эквивалентом некоторого динамического воздействия на информационную систему:

для нижнего позиционного срабатывания -  $W_{cx_{\min}} (1 + d)$ ;

для верхнего позиционного срабатывания -  $W_{cx_{\max}} (1 + d)$ ;

где  $d$  – долевое содержание длинных примесей в зерносмеси.

Разница ( $W_{cx_{\max}} - W_{cx_{\min}}$ ) должна быть достаточной для преодоления нечувствительности инерционной системы и инерционности исполнительного механизма. В то же время эта разница определяет дополнительный отрицательный технологический эффект:

$$\Delta \mathcal{E}_{T(-)} = (W_{cx_{\max}} - W_{cx_{\min}}) C_{zc}, \text{ руб/ч}, \quad (4.13)$$

где  $C_{zc}$  - цена реализации очищенного зерна (семян) руб/т.

Увеличение  $W_{cx}$  с целью обеспечения работоспособности системы автоматизированного управления процессом триерной очистки зерна сопровождается получением и положительного эффекта ( $\Delta \mathcal{E}_{T(+)}$ ), который связан со снижением остаточной засоренности ( $\Delta Z_o$ ) очищенного зерна. При увеличении  $W_{cx}$  вероятность захвата длинных примесей уменьшается. Поэтому:

$$\Delta Z_o = f_1(W_{cx_{\max}} - W_{cx_{\min}}). \quad (4.14)$$

Функция 4.14 является предметом последующих исследований качества триерной очистки зерносмесей. Она определяет величину ценовой надбавки:

$$\Delta C_{zc} = f_2(\Delta Z_o) = f_2(W_{cx_{\max}} - W_{cx_{\min}}). \quad (4.15)$$

Тогда положительный технологический эффект определяется по формуле:

$$\Delta \mathcal{E}_{T(+)} = W_e \Delta C_{zc} . \quad (4.16)$$

Решения о допустимых потерях зерна сходом, обеспечивающих работоспособность системы автоматизированного управления процессом триерной очистки зерна и технологический выигрыш, принимается из условия:

$$\Delta \mathcal{E}_{T(+)} - \Delta \mathcal{E}_{T(-)} > 0. \quad (4.17)$$

Для ручной настройки триерных блоков по критериям качества технологического процесса необходимо обеспечить доступность визуального (при необходимости приборного) контроля схода продуктов.

## **4.2 Результаты исследований качества процесса очистки зерносмесей от длинных примесей**

### **4.2.1 Взаимосвязь формирования зернового клина и интенсивности захвата частиц основной культуры по длине овсюжного цилиндра**

Известно, что качество процесса триерной очистки в значительной степени зависит от величины подачи зернового материала на ячеистую поверхность триерного цилиндра. При этом для овсюжного цилиндра необходимо, чтобы в процессе работы был сформирован клин зернового материала, окончание которого должно приближаться к приемнику длинных примесей. При этом, если подача зерна велика, то будут иметь место потери полноценного зерна сходом вместе с длинными примесями, что недопустимо. Если величина загрузки цилиндра недостаточна, то на незагруженном участке ячеистой поверхности происходит хаотичное движение частиц длинной примеси, которые, ударяясь о края пустых ячеек вращающегося цилиндра подбрасываются на различную высоту. При этом многие частицы забрасываются в приемный лоток, попадают в очищенное зерно, снижается степень выделения длинных примесей

С помощью натурального стенда для исследований ячеистых поверхностей установлено, что при подаче зерносмеси  $W=1421$  кг/ч в зоне сформировавшегося

зернового клина (на участке цилиндра длиной около 70 см от начала загрузки) качество процесса достаточно высокое. При этом в зоне свободной ячеистой поверхности в лотке оказалось большое количество длинных примесей (до 90 % от находящихся на этом участке лотка частиц).

Длина сформировавшегося клина и свободной ячеистой поверхности зависит от подачи зерна в цилиндр. При величине подачи пшеницы, равной 1421 кг/ч и частоте вращения цилиндра – 40 об/мин внутри цилиндра формируется зерновой клин длиной около 70 см, рисунок 4.18а. Соответственно 155 см длины ячеистой поверхности остается незадействованной. Параметры слоя определялись с помощью разработанного и запатентованного нами прибора для измерения толщины слоя сыпучих материалов в технологических емкостях [129] устройство и работа которого описаны в п. 3.3.1.

При этом в приемном лотке за время проведения опыта, равное 35 с, сформировался слой зерна, убывающий по высоте, рисунок 4.19.



а)  $W = 1421$  кг/ч



б)  $W = 2563$  кг/ч

Рисунок 4.18 – Влияние подачи зерна на заполнение цилиндра



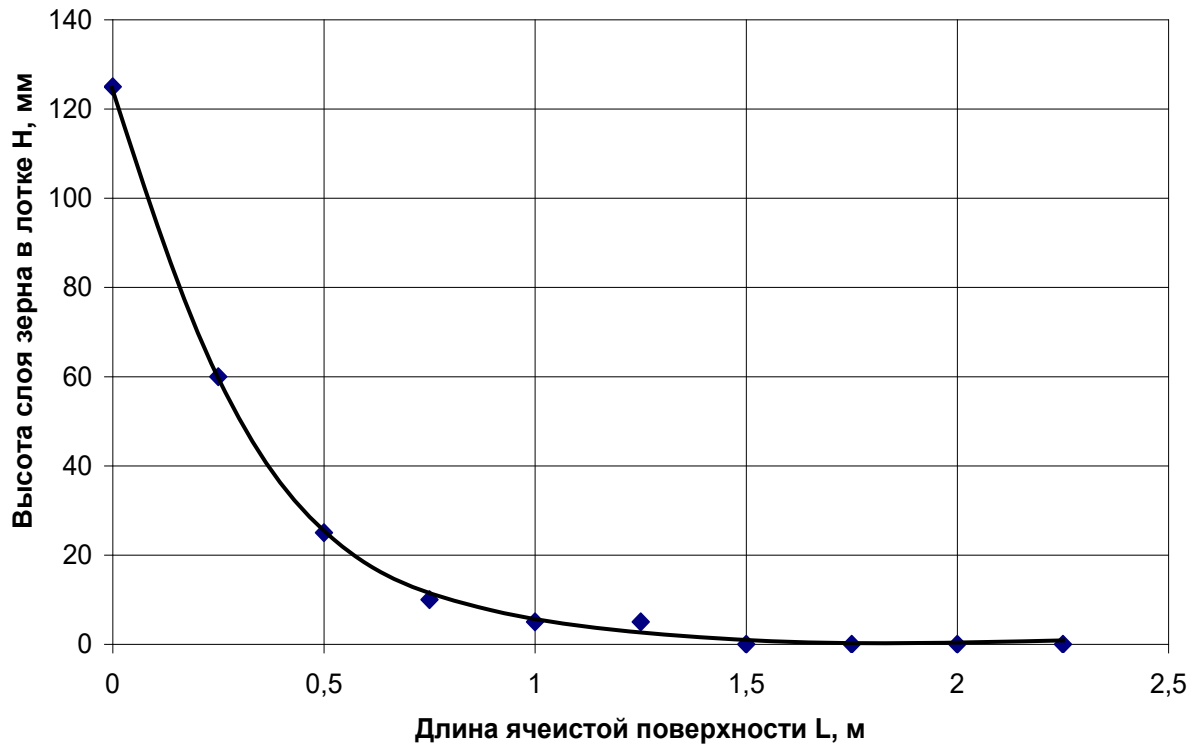


Рисунок 4.19 – Распределение выделяемого зерна пшеницы по длине цилиндра при  $W = 1421$  кг/ч и  $n = 40$  об/мин.

Из рисунка 4.19 видно, что основная часть пшеницы, попавшей в лоток, расположена на участке длиной 75 см, что соответствует величине сформировавшегося зернового клина внутри цилиндра.

При увеличении подачи до 2563 кг/ч длина зернового клина возрастает примерно до 170 см (рисунок 4.18 б), а свободной остается ячеистая поверхность на 55 см длины цилиндра. При этой подаче материала взаимосвязь между толщиной слоя зерна в приемном лотке и размерными характеристиками зернового клина сохраняется. За время проведения опыта, равное 35 с, в приемном лотке сформировался убывающий по высоте слой зерна, рисунок 4.20.

Кроме того установлено, что ячейкой может захватываться от одной до трех зерновок пшеницы. На рисунке 4.21 показано расположение зерновок пшеницы в ячейках диаметром 9 мм после остановки цилиндра. Подача зерна в опыте составляла 1421 кг/ч, частота вращения цилиндра – 40 об/мин.

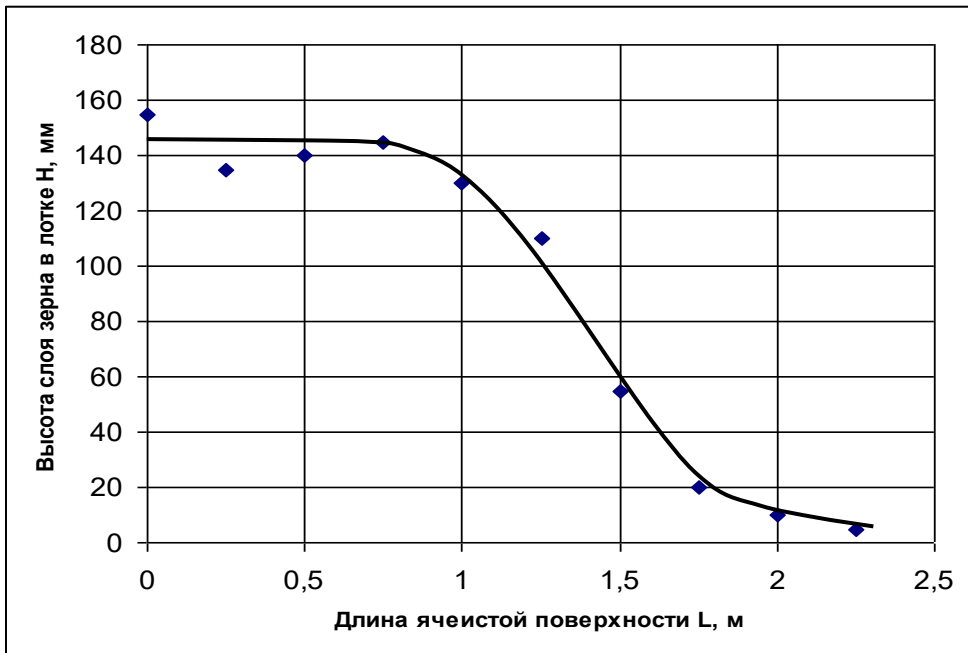


Рисунок 4.20 – Распределение выделяемого зерна пшеницы по длине цилиндра при  $W = 2563$  кг/ч и  $n = 40$  об/мин.



Рисунок 4.21 – Расположение зерновок пшеницы в ячейках овсюжного цилиндра.

Из рисунка 4.21 видно, что в большинстве случаев в ячейках расположено по две частицы. Этот факт объясняет некоторое расхождение с теоретически

определенными значениями возможной производительности овсюжного цилиндра и подтверждает возможность качественной работы триерных блоков при очистке от длинных примесей с паспортной производительностью, равной 5 т/ч на один цилиндр.

#### **4.2.2 Влияние высоты зернового слоя в овсюжном цилиндре на остаточное содержание длинных примесей**

Экспериментальные исследования качества триерной очистки зерносмесей от длинных примесей проводились с помощью разработанного нами стенда циклического действия с консольным креплением ячеистого цилиндра [134, 135, 166], описание работы которого приведено в п. 3.3.2. В качестве основной культуры была использована пшеница, в качестве длинной примеси – овсюг. Скорость вращения ячеистого цилиндра ( $n$ ) диаметром 0,6 м длиной 0,35 м варьировалась в диапазоне 30-45 об/мин. Загрузка цилиндра ( $m_n$ ) зерносмесью составляла 4,9-7,7 кг. Исходная засоренность ( $Z_n$ ) зерносмеси составляла 1-3%. Угловое положение верхней кромки передней стенки выводного лотка относительно горизонта ( $\gamma_n$ ) изменялось от  $10^\circ$  до  $40^\circ$ .

Все примесные частицы превышали по длине размеры ячеей. Средняя длина примесных частиц составляла 12,54 мм, масса 1000 зерновок овсюга равнялась 25,2 г, масса 1000 зерновок основной культуры составляла 44,3 г, влажность пшеницы – 13,7 %, влажность овсюга – 14,3 %.

При загрузке ячеистого цилиндра стенда  $m_n = 4,9$  кг и скоростном режиме  $n = 30$  об/мин угол подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка составлял  $10^\circ$  относительно горизонтальной плоскости, что на  $7^\circ$  превышало положение верхней границы циркулирующего сегмента зерносмеси. Исходная засоренность  $Z_n$  пшеницы составляла 1%, а радиальный зазор  $Z_p$  между верхней кромкой передней стенки выводного лотка и внутренней поверхностью ячеистого цилиндра – 20 мм.

При указанных параметрах стенда и режиме работы скорость осевого смещения составляет 0,0218 м/с. При этой скорости сегмент проходит длину стандартного ячеистого цилиндра за  $t_y = 103,2$  с, а эквивалентная подача составляет  $W_3 = 1,17$  т/ч. При интервале измерений 7 с выделено 15 навесок за время, превышающее время прохождения сегмента в стандартном ячеистом цилиндре.

Впервые установлена закономерность изменения интервальной засоренности  $Z_i$  (содержания длинной примеси в выделенных навесках) от параметров циркулирующего сегмента зерносмеси в соответствующий интервал времени замеров. Наиболее информативным показателем, характеризующим высоту сегмента и учитывающим размеры частиц зерносмеси, является число слоев в циркулирующем сегменте, рисунок 4.22.

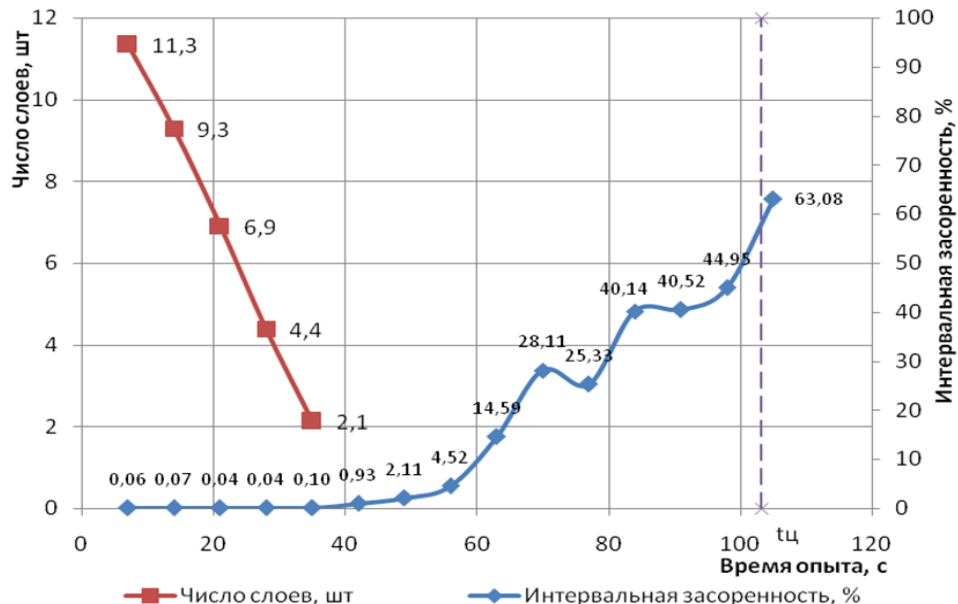


Рисунок 4.22 – Влияние числа слоев сегмента (высоты) на засоренность выделенных навесок при:  $m_n = 4,9$  кг;  $n = 30$  об/мин;  $\gamma_n = 10^\circ$ ;  $Z_u = 1\%$ ;  $Z_p = 20$  мм

В первых 4-х интервалах времени замеров масса выделенных навесок  $m_n$  составляла 910-1120 г, число слоев в циркулирующем сегменте, рассчитанное по установленным нами зависимостям [164] на середину интервала изменялось от 11,3 до 4,4 шт., высота сегмента ( $h_c$ ) при этом уменьшилась от 36 до 14 мм. Интервальная засоренность находится в пределах 0,04-0,07%, что свидетельствует о высоком качестве процесса очистки, остаточная засоренность зерна, выделенного за первые 4 интервала, составляет 0,05%.

В 5-ом интервале число слоев составило 2,1 шт., высота сегмента 6,7 мм, а интервальная засоренность увеличилась вдвое – до 0,1%. На середину 5-го интервала масса зерносмеси в цилиндре составляла 439 г, а на конец интервала только 109 г, что меньше минимальной массы, необходимой для формирования циркулирующего сегмента [164] (такие интервалы далее будем называть переходными). То есть часть времени интервала процесс протекал в условиях отсутствия полноценного сегмента зерносмеси при хаотическом движении частиц основной культуры и длинной примеси по внутренней поверхности ячеистого цилиндра. Этим объясняется существенное увеличение засоренности навески, выделенной в 5-ом интервале.

В последующих интервалах (с 6 по 15) масса выделенных навесок существенно уменьшилась и изменялась от 101,5 до 0,88 г. Соответственно многократно возросла интервальная засоренность – в 15-ом интервале до 63,08%, что в 1577 раз больше, чем  $Z_i$  в 4-ом интервале времени замеров. При этом неуклонно возрастает после каждого интервала остаточная засоренность ( $Z_{ocmi}$ ) зерна, выделенного за интервалы с 1-го по  $i$ -ый, рисунок 4.23.

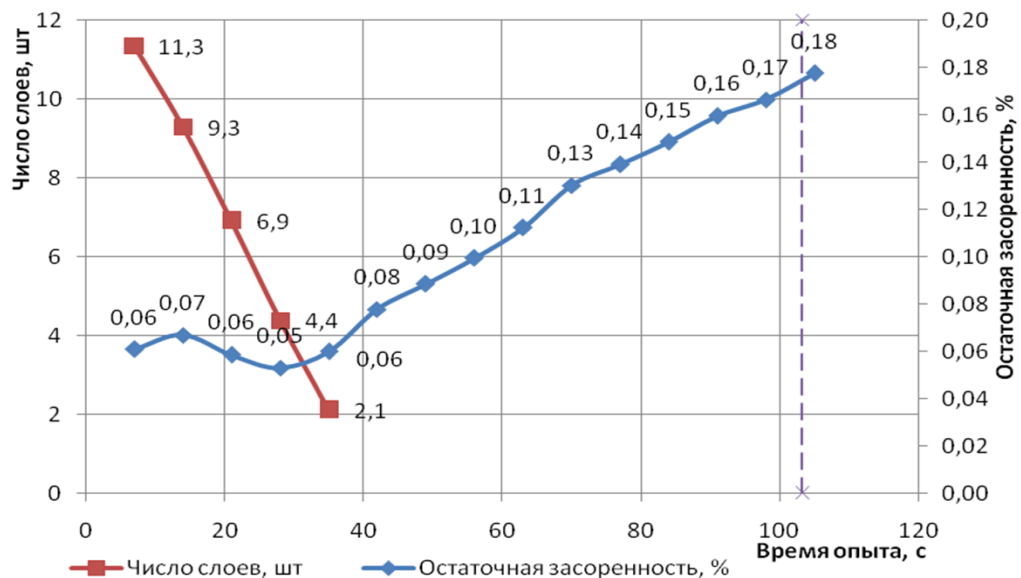


Рисунок 4.23 – Изменение остаточной засоренности выделенного зерна во времени протекания процесса при:  $m_n = 4,9$  кг;  $n = 30$  об/мин;  $\gamma_n = 10^\circ$ ;  $Z_u = 1\%$ ;  $Z_p = 20$  мм

Из рисунка 4.23 видно, что при отсутствии внутри ячеистого цилиндра полноценного многослойного зернового сегмента, один из важнейших показателей

качества процесса триерной очистки ( $Z_{ост}$ ) ухудшается. К 15 интервалу, что близко по времени процесса к прохождению сегментом стандартного ячеистого цилиндра, остаточная засоренность достигла 0,18%, что в 3,6 раза больше, чем после 4-го интервала.

Если остановить процесс после 4-го интервала, когда наилучшее значение показателя остаточной засоренности, то предполагаемые потери зерна основной культуры составляют 14,74%, что недопустимо. После 5-го интервала потери снижаются до 1,28% и к 15-му интервалу потерь не наблюдается.

Для обеспечения более высокого уровня качества технологического процесса необходимо увеличивать угол подъема верхней кромки передней стенки выводного лотка и сокращать радиальный зазор между ней и внутренней поверхностью ячеистого цилиндра.

При увеличении угла подъема рабочей кромки выводного лотка до  $15^\circ$ , когда угловое расстояние между ней и верхней границей циркулирующего сегмента составило  $12^\circ$ , остаточная засоренность снизилась только на 0,02 %. Появились потери зерновок основной культуры в количестве 0,46%.

В первых интервалах времени замеров массы навесок снизились, что свидетельствует об отсечении нижних потоков факела выброса частиц передней стенкой лотка в незначительном размере. Число выделенных зерновок овсюга снизилось с 415 шт. до 386 шт., а остаточная засоренность – от 0,18% до 0,16%. Характер закономерности изменения интервальной засоренности с учетом числа слоев  $n_{сл}$  в циркулирующем сегменте сохранился, рисунок 4.24.

В первых 5-ти интервалах времени замеров опыта число слоев в сегменте составляло 11,6-3,2 шт., интервальная засоренность изменялась в пределах 0,03-0,10%. В следующем (переходном) интервале засоренность навески увеличилась на порядок – до 0,28%. К концу опыта она достигла 53,15%, что в 1772 раза больше, чем в 5-ом и в 189 раз больше, чем в переходном интервалах. В связи с этим неизбежно увеличение остаточной засоренности в 3,2 раза – с 0,05% после 5-го интервала до 0,16% после 15-го, рисунок 4.25

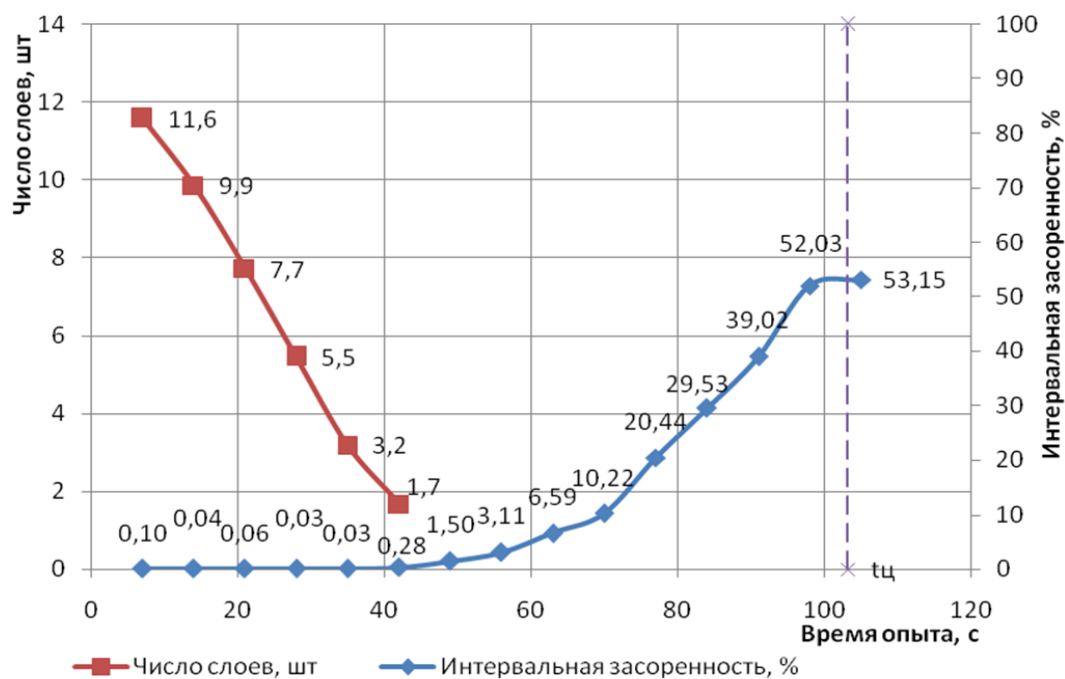


Рисунок 4.24 – Влияние числа слоев в сегменте на засоренность выделенных навесок при:  $m_n=4,9$  кг;  $n=30$  об/мин;  $\gamma_n=15^\circ$ ;  $Z_u=1\%$ ;  $Z_p=20$  мм

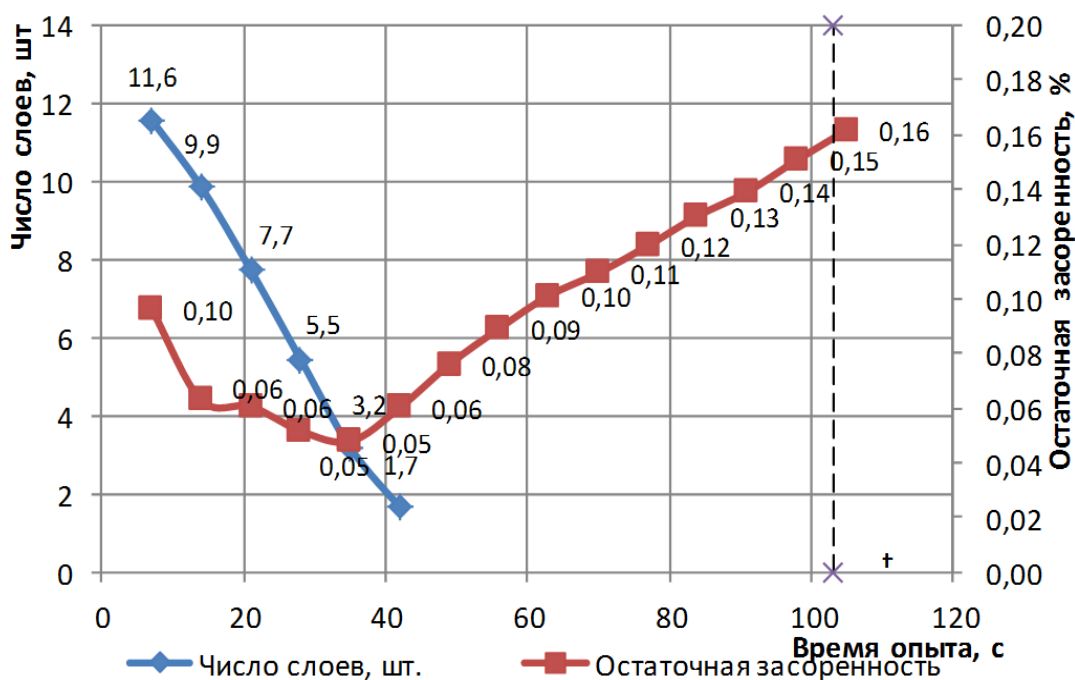


Рисунок 4.25 – Изменение остаточной засоренности выделенного зерна при:

$m_n=4,9$  кг;  $n=30$  об/мин;  $\gamma_n=15^\circ$ ;  $Z_u=1\%$ ;  $Z_p=20$  мм

Увеличение  $\gamma_n$  до  $30^\circ$  приводит к существенному отсечению факела выброса зерновок основной культуры и примесных частиц. Если принять во внимание, что при  $\gamma_n = 10^\circ$  обеспечивается полный отвод факела выброса компонентов зерносмеси, то увеличение  $\gamma_n$  до  $30^\circ$  приводит к отсечению факела по расходным харак-

теристикам на 35 % с оценкой этого соотношения по первым 4-м интервалам времени замеров – с самой высокой интенсивностью отвода зерновок основной культуры.

Уровень остаточной засоренности зерна снизился до 0,08% при исходной засоренности в 1%. Переходный интервал переместился с 6-го на 8-й. Остаточная засоренность выделенной на этот момент пшеницы составила 0,03%, что в 3 раза меньше, чем в конце опыта.

Существенно снизилась интервальная засоренность, особенно после переходного интервала. В конце опыта  $Z_i$  составила 15,4%, что в 3,45 раза меньше, чем сопоставимый показатель при  $\gamma_n=10^\circ$ .

При увеличении скоростного режима до 35 об/мин и величине загрузки станда 4,9 кг обеспечивается эквивалентная расходная характеристика стандартного триера на уровне 1,36 т/ч, скорость осевого перемещения сегмента зерносмеси составляет 0,0254 м/с, время прохождения сегментом всей длины стандартного ячеистого цилиндра – 88,6 с, число циркулирующих слоев на начало опыта – 12,5 шт. Остаточная засоренность зерна сохранилась на одном уровне. Она составила 0,136 %, а при  $\gamma_n = 20^\circ$  и  $n = 30$  об/мин – 0,14%. Интервальная засоренность еще уменьшилась: для 15-го интервала она составила 10,86%.

Увеличение  $\gamma_n$  до  $40^\circ$  привело к снижению интенсивности выделения зерновок основной культуры на начальных интервалах времени на 19-23%, процесс сместился в сторону увеличения продолжительности по сопоставимым величинам степени выделения основной культуры.

С увеличением  $\gamma_n$  от  $30^\circ$  до  $40^\circ$  в большей степени стали различаться начальные этапы процесса с заключительными по интенсивности выброса примеси в лоток. При  $\gamma_n = 30^\circ$  на начальных интервалах времени протекания процесса выброс примесных частиц в сравнении с заключительными промежутками времени был ниже лишь на 27%, а при  $\gamma_n=40^\circ$  – в 4 раза.

Существенно снизились значения интервальной засоренности  $Z_i$  на протяжении всего времени опыта, рисунок 4.26.



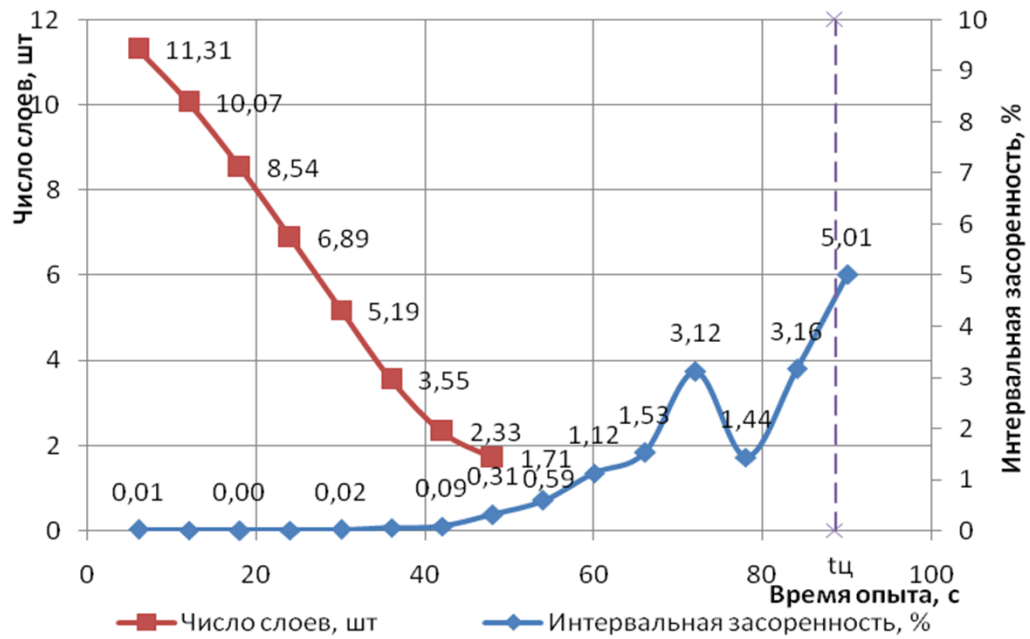


Рисунок 4.26 – Изменение содержания овсяга в навесках с учетом числа слоев в сегменте при:  $m_n=4,9$  кг;  $n=35$  об/мин;  $\gamma_n=40^0$ ;  $z_u=1\%$ ;  $z_p=20$  мм

В первых 4-х навесках при изменении числа слоев в циркулирующем сегменте от 11,3 до 6,9 шт.  $z_i$  находится в пределах 0,003-0,02%. В переходном интервале при числе слоев равном 1,71  $z_i$  увеличилась на порядок и составило 0,31%. После чего интегральная засоренность увеличивалась относительно невысоким темпом и после 15-го интервала  $z_i$  составила 5,01%, что примерно вдвое меньше, чем в опытах при  $\gamma_n=20-30^0$ . В связи с этим получены существенно меньшие значения остаточной засоренности на протяжении всех интервалов замера времени в опыте. По окончании опыта величина остаточной засоренности составила 0,06%.

В результате экспериментальных исследований процесса триерной очистки пшеницы от овсяга установлена явно выраженная закономерность содержания длинных примесей в выделенных навесках очищенного зерна от числа слоев в циркулирующем сегменте. При высоте сегмента, содержащем более 2,33-4,4 слоев, величина интегральной засоренности минимальна и находится на одном уровне. В переходном интервале и далее, когда процесс протекает в условиях отсутствия полноценного циркулирующего сегмента, интегральная засоренность увеличивается многократно, что приводит к неуклонному росту остаточной засо-

ренности общей массы выделенного зерна. Установленные закономерности позволяют ставить и успешно решать задачи осмысленного управления качеством технологического процесса очистки зерна от длинных примесей на основе компромисса между величиной остаточной засоренности очищенного материала и возможными потерями полноценного зерна в отходы.

#### **4.2.3 Взаимосвязь качества триерной очистки пшеницы с концентрацией длинной примеси**

На качество процесса выделения длинных примесей из зерносмесей существенное влияние оказывает множество факторов. Среди них – производительность триера, обуславливающая изменение параметров циркулирующего сегмента зерносмеси по длине ячеистого цилиндра [95, 164, 162, 165, 24]. Ее величина определяет наличие и длину свободной ячеистой поверхности, влияет на полноту выделения длинных примесей. Качество триерной очистки зерна также зависит от углового положения выводного лотка [167, 163], скоростного режима работы триера [35, 25]. Кроме того чистота получаемого зерна зависит от исходной засоренности зерносмеси длинными примесями. В нормативно-технической документации на триерные блоки [149, 140, 27] нет регламентов их работы, связанных с качеством процесса очистки, а в литературе отсутствуют исследования по влиянию исходной засоренности на чистоту получаемого продукта, что определяет необходимость выполнения соответствующих исследований.

Исследования проводились на разработанном нами стендовом оборудовании циклического действия [134, 135, 166]. Параметры стенда, исследуемые факторы, диапазоны и уровни их варьирования представлены в таблице 4.8.

В качестве рабочей среды использовалась зерносмесь пшеницы с овсягом. Результаты исследований качества процесса стендовой очистки пшеницы от овсяга при исходной засоренности 1% подробно рассмотрено в п. 4.2.2.

Увеличение концентрации примесного компонента до 2 % привело к некоторому повышению остаточной засоренности по итогам опыта (от 0,06% до

0,14%), а уровень потерь основного компонента сохранился на прежнем уровне относительно результатов при идентичных режимах работы и исходной засоренности в 1 %, рисунок 4.27.

Таблица 4.8. – Условия экспериментов

Наименование параметра	Усл. обозн.	Ед. изм.	Диапазон варьирования	Значения
Диаметр ячеистого цилиндра	$d_{ц}$	м	—	0,6
Длина ячеистого цилиндра	$l_{ц}$	м	—	0,35
Скорость вращения цилиндра	$n$	об/мин	30–45	30; 35; 40; 45
Масса навески	$m_n$	кг	4,9	4,9
Угловое положение выводного лотка	$\gamma_n$	град	10–40	10; 20; 30; 40
Исходная засоренность	$Z_{и}$	%	1–3	1; 2; 3

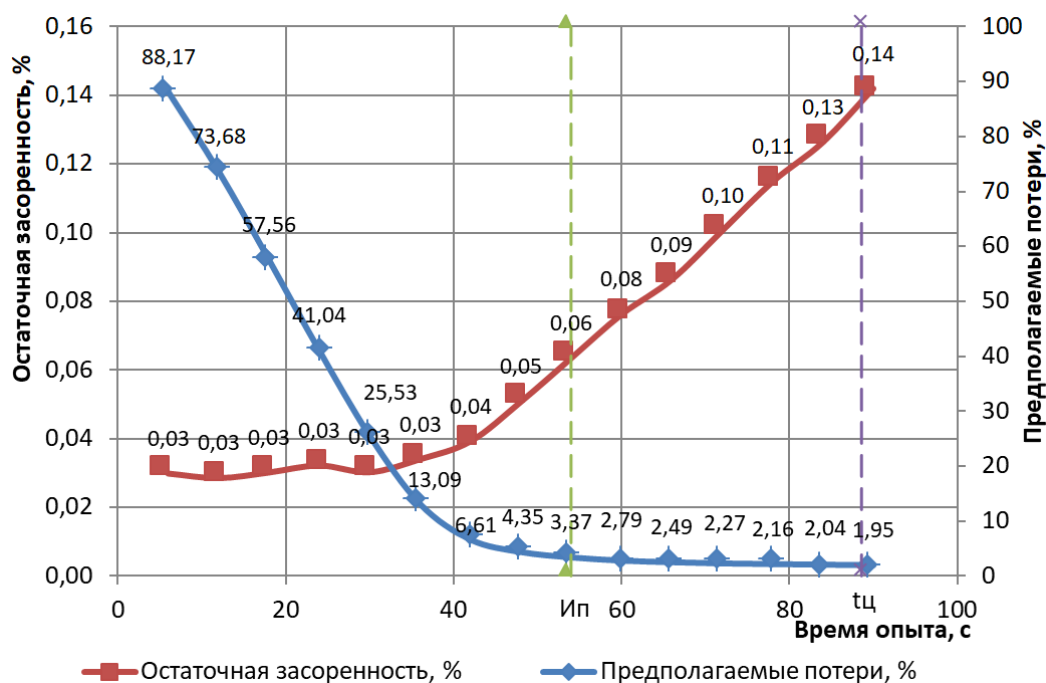


Рисунок 4.27 – Качественные показатели процесса при:  $m_n=4,9$  кг;  $n=35$  об/мин;  
 $\gamma_n=40^0$ ;  $Z_{и}=2\%$

Переходный интервал времени замеров  $I_n$  сместился с 8 на 9 интервал. Остаточная засоренность зерна, выделенного на этот момент составила 0,06%, предполагаемые потери основной культуры – 3,37%. Интервальная засоренность  $Z_i$  в первых 6-ти интервалах изменяется в пределах 0,02 – 0,06% (в среднем 0,04;), затем существенно увеличивается и в переходном интервале составляет 1,28%, что в 32 раза больше. Величина  $Z_i$  в 15 интервале составляет 14,27%.

Степень выделения зерновок основной культуры сохранилась на том же

уровне. Однако общее количество попавших в лоток примесных частиц увеличилось в 2,1 раза, что пропорционально росту исходной концентрации примеси в сегменте.

Выброс примесных частиц на первых 4-х интервалах времени замеров увеличился в 4 раза относительно предыдущего опыта, рисунок 4.28.

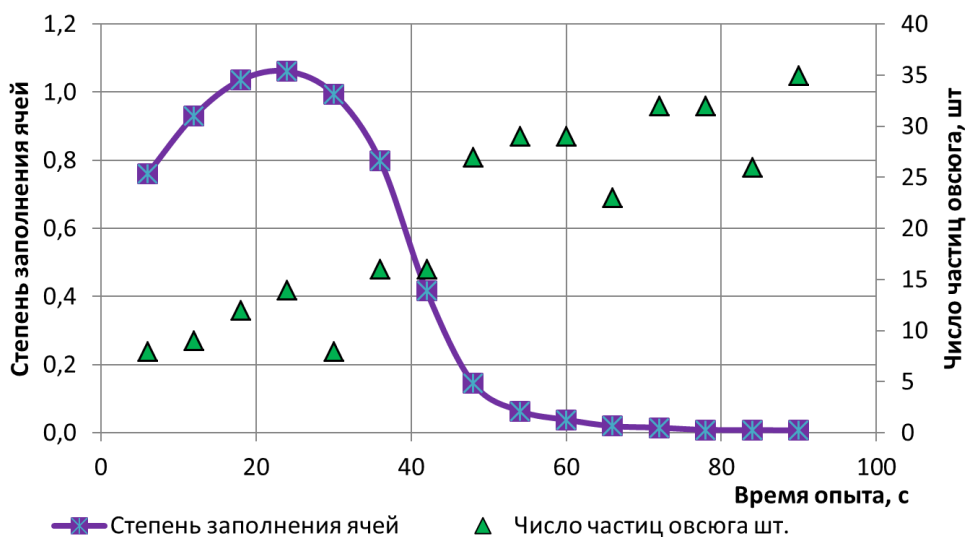


Рисунок 4.28 – Степень заполнения ячеек и захват частиц овсяга при:  $m_n=4,9$  кг;  
 $n=35$  об/мин;  $\gamma_n=40^0$ ;  $z_u=2\%$

Соотношение удельных выбросов примесных частиц, приходящихся на один интервал времени измерений, в конце опыта (последние 8 интервалов времени) и на начальных 4-х интервалах составляет 2,7, что подтверждает общую закономерность увеличения выброса примесных компонентов в отводной лоток по мере разгрузки сегмента зерносмеси при его осевом перемещении в ячеистом цилиндре.

Оценки степени заполнения ячеек зерновками основной культуры идентичны опыту с засоренностью 1%, т.к. сохраняются условия по загрузке и режиму работы ячеистого цилиндра.

Увеличение исходной засоренности зерносмеси до 3 % не оказало влияния на итоговую степень выделения зерновок основной культуры и степень заполнения ячеек зерновками. Они остались на том же уровне относительно опытов, где исходная засоренность зерносмеси составляла 1-2 %. Количество примесных частиц, выброшенных на первых 4-х интервалах времени замеров выросло на 26 %

относительно опыта с исходной засоренностью зерносмеси в 2 %. Это объясняется тем, что существенное количество циркулирующих слоев (12,5 шт.) блокирует свободный доступ примесных частиц к ячеистой поверхности. Общее количество примесных частиц, попавших в выводной лоток, увеличилось на 62 %.

В заключительном периоде времени (8 последних интервалов замеров) количество примесных частиц, попавших в выводной лоток, резко возросло при исходной концентрации примеси в 3 %, что подтверждает предположения многих ученых о захвате свободными ячейками длинных примесных частиц. Средний выброс примесных частиц на последних интервалах времени замеров в 3,4 раза превосходит средний выброс примесных частиц в первых 4-х интервалах времени замеров.

Если принять во внимание, что контрольных интервалов на заключительном этапе опыта вдвое больше, то вклад в остаточную засоренность свободного участка ячеистой поверхности в 6 – 7 раз превышает вклад загруженной поверхности ячеистого цилиндра зерновками основной культуры.

Остаточная засоренность зерна возросла до 0,23 %, рисунок 4.29, что в 1,6 раза превышает уровень опыта с исходной засоренностью зерносмеси в 2 %.

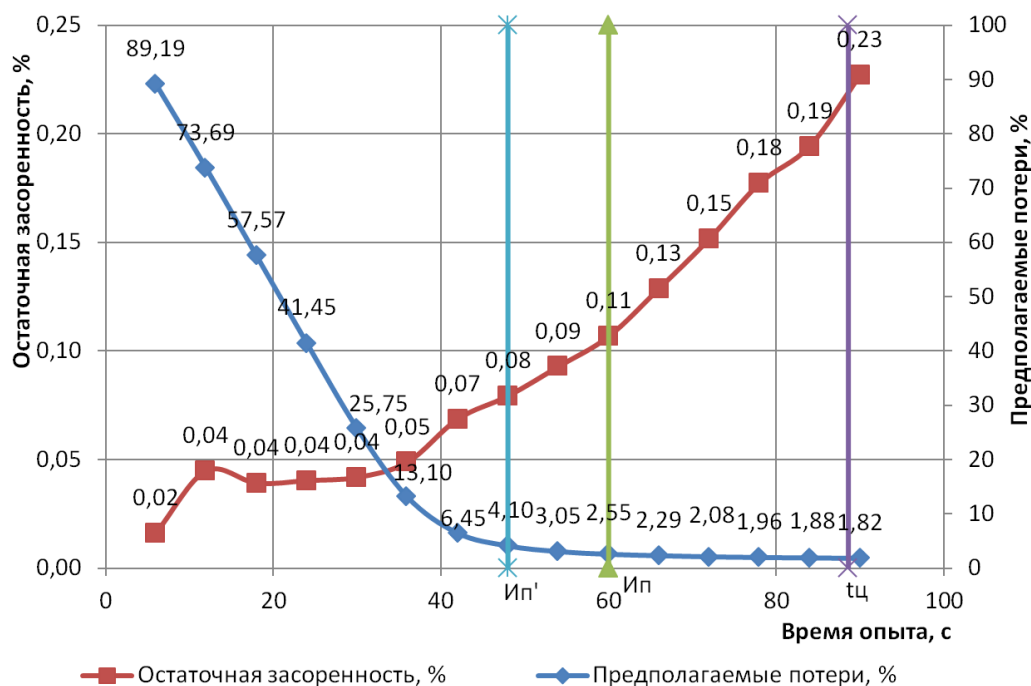


Рисунок 4.29 – Показатели качества процесса при:  $m_n=4,9$ кг;  $n=35$  об/мин;  $\gamma_n=40^0$ ;  $Z_u=3\%$

Из рисунка 4.29 видно, что в 10-ом интервале, соответствующем  $I_n$  по массе, оставшейся в цилиндре зерносмеси, остаточная засоренность выделенного зерна составляет 0,11%. Это втрое превышает среднее значение этого показателя в первых 5-ти интервалах, хотя соответствующее отношение в опытах с исходной засоренностью  $Z_u = 1\%$  составляло 1,5 – 2. Величина предполагаемых потерь составляет 2,55%. Это объясняется существенным влиянием содержания овсюга в циркулирующем сегменте. Из принятого условия формирования полноценного сегмента в переходном интервале  $I_n$  масса оставшейся зерносмеси на начало интервала должна быть не менее 250 г [164].

При исходной засоренности  $Z_u = 1\%$  в этом случае доля овсюга в сегменте не превышает 19%. При этом кривая изменения числа слоев от времени опыта имеет характер, близкий к прямолинейному, рисунки 4.22-4.25. При исходной засоренности  $Z_u = 3\%$  содержание овсюга в сегменте на начало переходного интервала  $I_n$  составляет не менее 56,8%, в связи с чем, характер кривой изменения числа слоев в сегменте от времени опыта существенно отличается, рисунок 4.30.

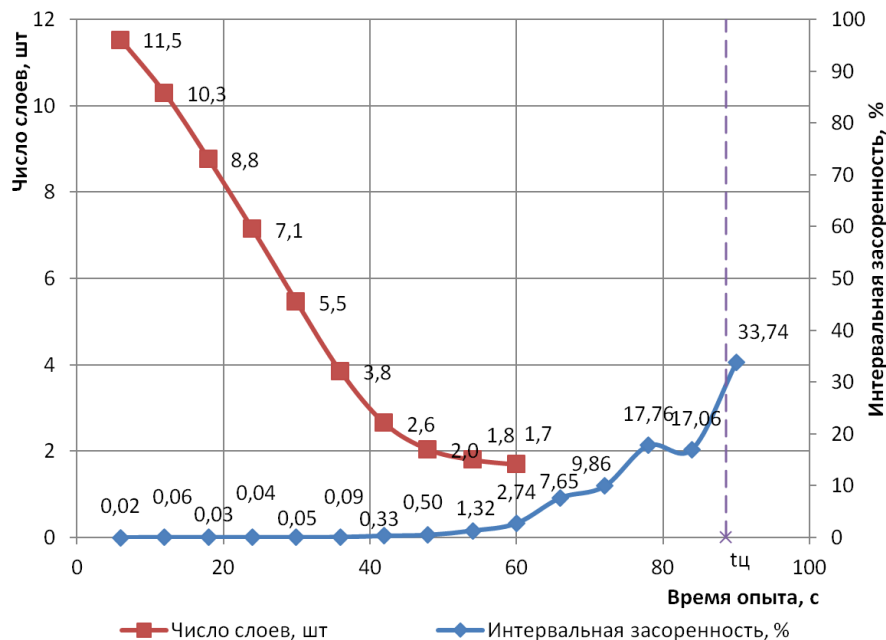


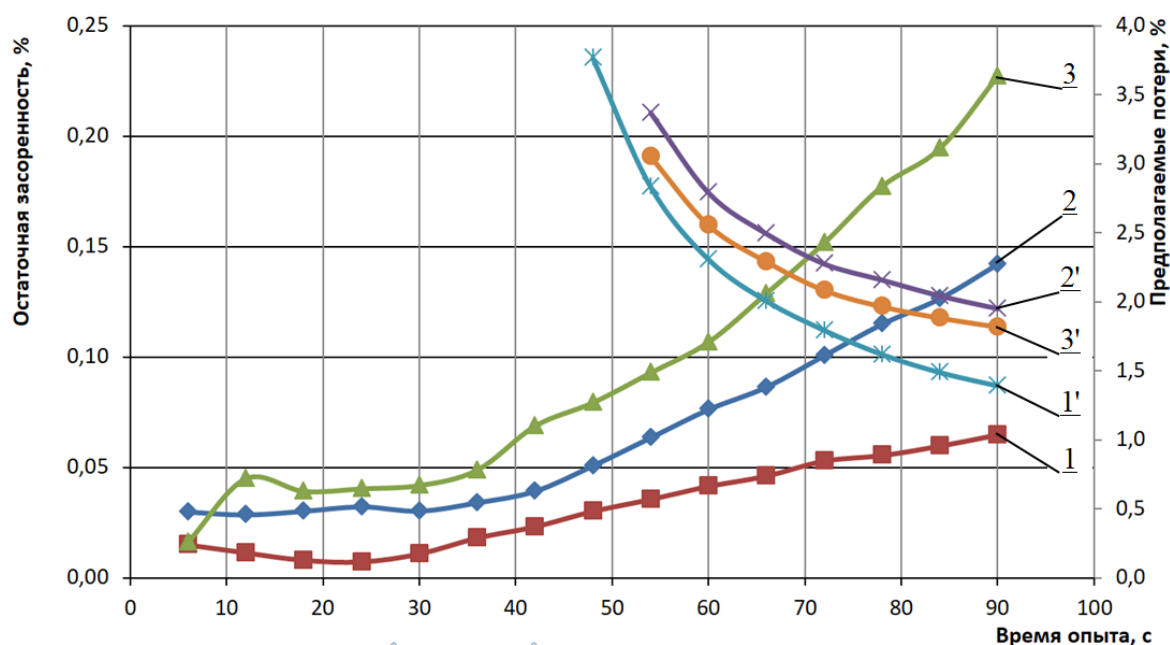
Рисунок 4.30 – Влияние количества зерносмеси в цилиндре на интервальную засоренность при:  $m_n=4,9$ кг;  $n=35$  об/мин;  $\gamma_n=40^0$ ;  $Z_u=3\%$ ;

Кривая числа слоев имеет идентичный характер соответствующей кривой при  $Z_u = 1\%$  только до 8-го интервала. При этом интервальная засоренность со-

ставляет 0,50%, что в 10,4 раза больше среднего значения  $Z_i$  за первые 6 интервалов. Это полностью соответствует отношению этих показателей в опытах при  $Z_u = 1\%$ . В 10-ом интервале, соответствующем  $I_n$ ,  $Z_i = 2,74$ , что соответственно в 57,1 раз больше. Кроме того, предполагаемые потери после 8-го интервала составляют 4,10% (рисунок 4.29), что соответствует величине потерь после  $I_n$  в опытах при  $Z_u = 1\%$ . Их значения при  $\gamma_n = 30 - 40^0$  находятся в пределах 2,99 – 4,17%.

Масса оставшейся зерносмеси в цилиндре на начало 8-го интервала составляет 460 г, а на конец - 344 г. Масса пшеницы (без учета массы овсяга) при этом соответственно 316 г на начало 8-го интервала и 201 г в конце, что соответствует массам переходного интервала по [164]. Таким образом, переходный интервал следует определять по массе, оставшейся в цилиндре пшеницы (на рисунке 4.29 – вертикаль  $I'_n$ ), а не зерносмеси (вертикаль  $I_n$ ).

По результатам исследований можно утверждать, что исходное содержание длинных примесей в зерносмеси оказывает существенное влияние на качество триерной очистки, рисунок 4.31.



1, 2, 3 – Остаточная засоренность при исходной засоренности соответственно 1%, 2%, 3%

1', 2', 3' – Предполагаемые потери при исходной засоренности соответственно 1%, 2%, 3%

Рисунок 4.31 – Влияние исходной засоренности на качество процесса при  $m_n = 4,9$

кг;  $n = 35$  об/мин;  $\gamma_n = 40^0$ ;  $Z_u = 1-3\%$

Из рисунка 4.31 видно, что существует устойчивая взаимосвязь между двумя важнейшими показателями качества процесса триерной очистки от длинных примесей. При увеличении времени протекания процесса остаточная засоренность очищаемого зерна неуклонно растет за счет многократного увеличения интервальной засоренности при продолжительности процесса после  $I_n$ . В то же время потери полноценного зерна в отходы неуклонно снижаются за счет более полного их выделения из остатков зерносмеси в цилиндре к концу процесса. Например при принятом допустимом уровне остаточной засоренности чистого зерна 0,1% предполагаемые потери полноценного зерна составляют около 1% при исходной засоренности  $Z_u = 1\%$ , 2,27% при  $Z_u = 2\%$ , 2,75% при  $Z_u = 3\%$  (рисунок 4.31).

Если за критерий качества процесса очистки принять ограничение потерь полноценного зерна на уровне 2%, то, в случае исходной засоренности  $Z_u = 1\%$ , остаточная засоренность  $Z_o$  составит 0,05%, при  $Z_u = 2\%$   $Z_o = 0,13\%$ , при  $Z_u = 3\%$   $Z_o = 0,17\%$ . Значение показателя возросло в 3,4 раза.

При управлении работой овсюжного триера за счет подбора рациональных режимов работы и настроечных параметров необходимо решать компромиссную задачу по обеспечению качества получаемого продукта во взаимосвязи с величиной потерь полноценного зерна в отходы. Критерием качества процесса триерной очистки зерна от длинных примесей может быть определена величина остаточной засоренности готового продукта (оправдано при очистке семенного материала) или величина допустимых потерь зерна в отходы. Необходимо учитывать состояние зерносмеси, поступающей на очистку, особенно влияние исходной засоренности на качественные показатели процесса триерной очистки зерна от длинных примесей.



### 4.3 Результаты исследований процессов выделения коротких примесей

#### 4.3.1 Распределение выделенной короткой примеси по длине натурального ячеистого цилиндра

Исследования проводились с помощью натурального стенда, общий вид и описание которого представлены в разделе 3.4.2.

В качестве исследуемого материала использовалась зерносмесь пшеница – основная культура, просо – засоритель. В качестве ячеистой поверхности использовался кукольный цилиндр триерного блока БТ-5 с диаметром ячей равным 5,6 мм. Заданная засоренность исследуемого материала варьировалась в диапазоне 2,2-11,4 % и достигалась соотношением расходов основной культуры и примеси, подача которых в цилиндр осуществлялась отдельно из соответствующих бункеров, имеющие тарированные шиберные заслонки. Расходные характеристики истечения основной культуры (пшеница) представлены в таблице 4.9.

Таблица 4.9 – Тарировка шибера бункера основной культуры

Площадь окна, см <sup>2</sup>	Расход, кг/ч
9,6	431,2
19,2	1421,2
28,8	2563,2
38,4	3722,4
48	4838,4

Расходные характеристики истечения примеси (просо) представлены в таблице 4.10.

Исходя из полученных значений возможных расходов основной культуры и примеси были рассчитаны все возможные варианты исходной засоренности зерносмеси при различной ее подаче.

Частота вращения ячеистого цилиндра регулировалась с помощью частотного преобразователя тока VF-S11. Исследования процесса сепарации зерносмеси ячеистой поверхностью проводились при частоте вращения цилиндра  $\omega=35$  об/мин.

Таблица 4.10 – Тарировка шибера бункера примесей

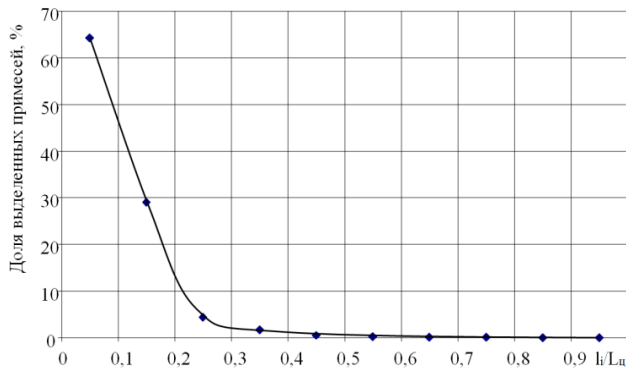
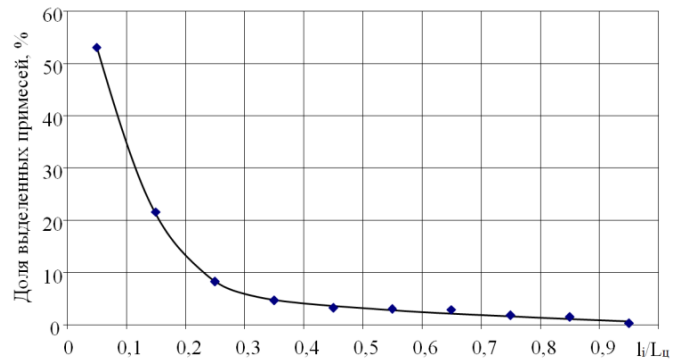
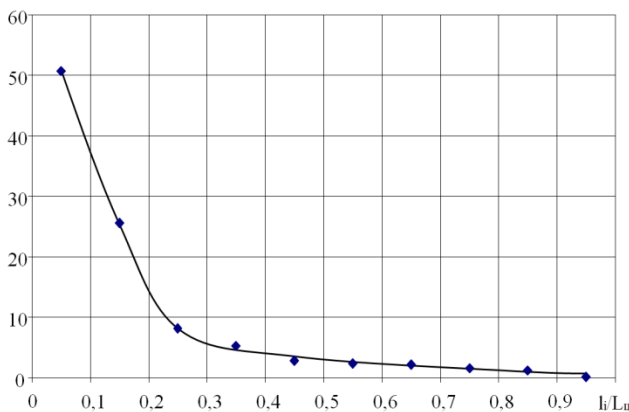
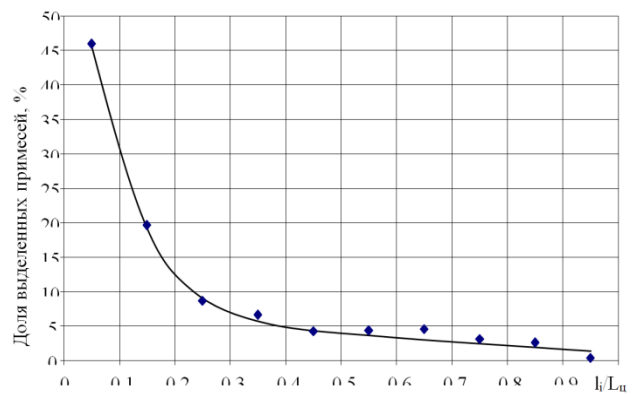
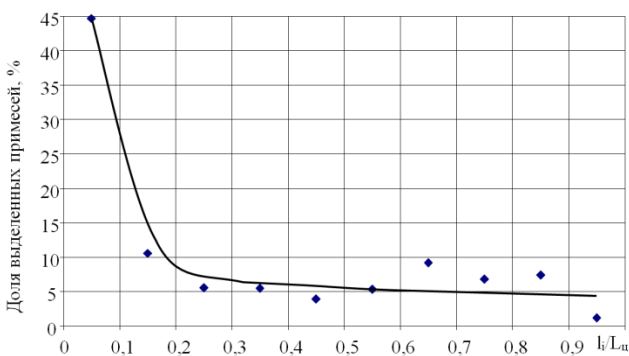
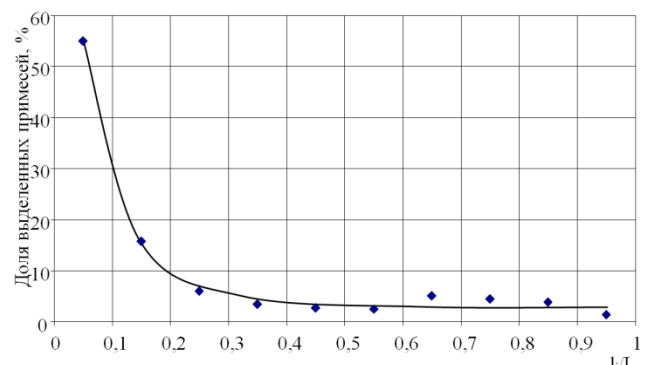
№ отв.	Площадь окна, см <sup>2</sup>	Расход, кг/ч
П2	3,01	110
Л2	3,87	180
П3	5,16	329
Л3	6,02	428
П4	7,74	662
Л4	8,82	839
П5	9,89	1001
Л5	11,18	1226
П6	12,47	1471
Л6	13,55	1677

Таблица 4.11 – Варианты исходной засоренности зерносмеси пшеница – просо

№ отв. в бункере осн. культуры	Расход пшеницы, кг/ч	№ отв. В бункере примесей	Расход проса, кг/ч	Общий расход, кг/ч	Исх. Засоренность, %
<b>2</b>	431	<b>П2</b>	110	541	<b>20,3</b>
<b>3</b>	1421	<b>П2</b>	110	1531	<b>7,2</b>
<b>3</b>	1421	<b>Л2</b>	180	1601	<b>11,2</b>
<b>3</b>	1421	<b>П3</b>	329	1751	<b>18,8</b>
<b>4</b>	2563	<b>П2</b>	110	2673	<b>4,1</b>
<b>4</b>	2563	<b>Л2</b>	180	2743	<b>6,6</b>
<b>4</b>	2563	<b>П3</b>	329	2893	<b>11,4</b>
<b>4</b>	2563	<b>Л3</b>	428	2991	<b>14,3</b>
<b>4</b>	2563	<b>П4</b>	662	3225	<b>20,5</b>
<b>5</b>	3722	<b>П2</b>	110	3832	<b>2,9</b>
<b>5</b>	3722	<b>Л2</b>	180	3902	<b>4,6</b>
<b>5</b>	3722	<b>П3</b>	329	4052	<b>8,1</b>
<b>5</b>	3722	<b>Л3</b>	428	4150	<b>10,3</b>
<b>5</b>	3722	<b>П4</b>	662	4384	<b>15,1</b>
<b>5</b>	3722	<b>Л4</b>	839	4562	<b>18,4</b>
<b>6</b>	4838	<b>П2</b>	110	4948	<b>2,2</b>
<b>6</b>	4838	<b>Л2</b>	180	5018	<b>3,6</b>
<b>6</b>	4838	<b>П3</b>	329	5168	<b>6,4</b>
<b>6</b>	4838	<b>Л3</b>	428	5266	<b>8,1</b>
<b>6</b>	4838	<b>П4</b>	662	5500	<b>12,0</b>
<b>6</b>	4838	<b>Л4</b>	839	5678	<b>14,8</b>
<b>6</b>	4838	<b>П5</b>	1001	5840	<b>17,1</b>
<b>6</b>	4838	<b>Л5</b>	1226	6064	<b>20,2</b>

В ходе исследований установлено, что основная доля короткой примеси выделяется из зерносмеси на участке ячеистой поверхности длиной 70-90 см, что составляет только 30-40% ( $l_i/L_{ц}=0,3-0,4$ ) от общей рабочей длины ячеистого цилиндра.

дра стандартного триерного блока независимо от заданной подачи ( $W$ ) зерносмеси и исходной засоренности ( $Z_{И}$ ) (рисунки 4.32 - 4.37).

Рисунок 4.32 -  $W = 1525$  кг/ч и  $Z_{И} = 7,2\%$ Рисунок 4.33-  $W = 2673$  кг/ч,  $Z_{И} = 4,1\%$ Рисунок 4.34-  $W = 2743$  кг/ч,  $Z_{И} = 6,6\%$ Рисунок 4.35-  $W = 2895$  кг/ч,  $Z_{И} = 11,4\%$ Рисунок 4.36-  $W = 4051$  кг/ч,  $Z_{И} = 8,1\%$ Рисунок 4.37-  $W = 4948$  кг/ч,  $Z_{И} = 2,2\%$ 

Так при малой подаче зерносмеси на ячеистую поверхность  $W = 1525$  кг/ч и исходной засоренности  $Z_{И} = 7,2\%$  основная часть (98%) короткой примеси (просо) выделилось на участке ячеистой поверхности длиной 92 см, что составляет только 36,8% от общей длины триерного цилиндра. Степень выделения мелкой примеси  $C_B$  равна 100%.

$$C_B = \left(1 - \frac{Z_O}{Z_{И}}\right) \cdot 100\%, \quad (4.18)$$

где  $Z_0$  – остаточная засоренность, %;

$Z_{II}$  – исходная засоренность, %.

При подаче зерносмеси в диапазоне  $W = 2673-2895$  кг/ч и исходной засоренности  $Z_{II} = 4,1-11,4\%$  значения остаточной засоренности находились в пределах  $0,12-0,88\%$ . Степень выделения сорной примеси в этом случае составила  $92,3-97,7\%$ . Наглядно распределения выделенной примеси по длине ячеистого цилиндра, выраженное в количестве частиц примеси попавших в изолированные объемы приемника показано на рисунке 4.38.



Рисунок 4.38 – Распределение выделенной примеси по длине ячеистой поверхности

С увеличением подачи материала до  $W = 4051$  кг/ч при исходной засоренности  $Z_{II} = 8,1\%$ . (рисунок 4.38) качество процесса сепарации значительно ухудшилось. Возросла доля примесей, выделяемых на третьем и последующих участках ячеистого цилиндра  $l_i/L_{II}=0,3-1$ , что свидетельствует о том, что при большей подаче, толщина слоя зерносмеси во вращающемся цилиндре велика, и значительная доля , находящихся внутри него частиц мелкой примеси, не имея контакта с ячеистой поверхностью, выгружаются сходом из цилиндра вместе с основной культурой. При указанных условиях остаточная засоренность составила  $7,08\%$ , что составляет  $87,4\%$  от исходной.

При дальнейшем увеличении подачи зерносмеси до  $W = 4948$  кг/ч при исходной засоренности  $Z_{II} = 2,2\%$  характер распределения выделенной примеси по длине цилиндра изменился. Значение исходной засоренности в этом опыте, величина остаточной засоренности составила  $Z_0 = 1,1\%$ , степень выделения примеси составила  $C_B = 50\%$ .

### 4.3.2 Динамика выделения коротких примесей по длине ячеистого цилиндра

Исследования процесса выделения коротких примесей проводили на двух видах зерносмесей: 1 – в качестве основной культуры использовалась пшеница, в качестве короткой примеси – просо; 2 – основная культура – ячмень, примесь – просо. В ходе экспериментальных исследований процесса выделения коротких примесей ячеистой поверхностью нами определялась остаточная засоренность потока зерносмеси внутри цилиндра после осевого прохождения некоторого участка ячеистой поверхности, определяемой размерами изолированных объемов отборника (220 мм или 1/10 часть длины ячеистого цилиндра). На каждом из 10 участков выделилось некоторое количество короткой примеси, которое определяется массой проса, попавшего в соответствующие ячейки отборника. При этом после прохождения каждого участка снижается засоренность потока на величину  $\Delta Z_i$ . Величина снижения засоренности потока зерносмеси после прохождения 1-го участка, соответствующего первой ячейке отборника можно определить:

$$\Delta Z_1 = \frac{m_{np1}}{m_{n1}} \times 100\% = \frac{m_{np1}}{W_{ucx} t_{omb}} \times 100\% \quad (4.19)$$

где  $m_{np1}$  – масса короткой примеси, выделенной на первом участке, кг;

$m_{n1}$  – масса потока зерносмеси, поступившей на первый участок за время отбора примеси, кг;

$W_{ucx}$  – общий расход зерносмеси, заданный в опыте, кг/с;

$t_{omb}$  – время отбора проб (примеси), с.

Остаточная засоренность потока зерносмеси после прохождения 1-го участка определяется:

$$Z_1 = Z_{ucx} - \Delta Z_1, \quad (4.20)$$

где  $Z_{ucx}$  – засоренность зерносмеси, заданная условиями опыта, %.

Аналогично рассчитывается остаточная засоренность потока после каждого участка:

$$Z_i = Z_{i-1} - \Delta Z_i, \quad (4.21)$$

где  $\Delta Z_i$  – снижение засоренности потока зерносмеси на  $i$ -ом участке, которое определяется следующим образом:

$$\Delta Z_i = \frac{m_{npi}}{m_{ni}} \times 100\% = \frac{m_{npi}}{W_{исх} t_{омб} - \sum m_{np(i-1)}} \times 100\%. \quad (4.22)$$

Тогда:

$$Z_i = Z_{i-1} - \frac{m_{npi}}{W_{исх} t_{омб} - \sum m_{np(i-1)}} \times 100\%. \quad (4.23)$$

Определяя величину остаточной засоренности потока на каждом участке ячеистой поверхности в динамике, возможно оценить интенсивность выделения короткой примеси при разных режимах работы. По остаточной засоренности можно судить о рациональной длине ячеистой поверхности применительно к конкретным режимам и свойствам рабочей среды при определенных требованиях к качеству процесса очистки.

При исследовании процесса разделения компонентов зерносмеси пшеница-просо установлено, что качество разделения указанных компонентов с помощью ячеистой поверхности достаточно высокое, рисунок 4.39.

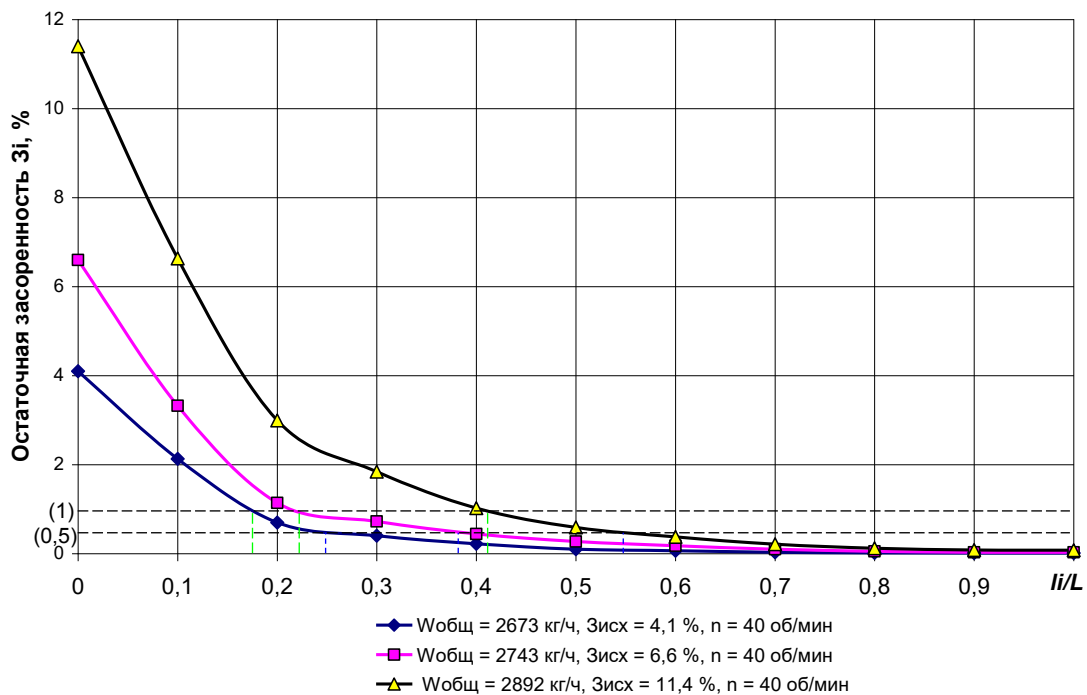


Рисунок 4.39 – Изменение остаточной засоренности по длине ячеистой поверхности

При подаче основной культуры (пшеницы) равной 2563 кг/ч и исходной засоренности в диапазоне 4,1-11,4 % остаточная засоренность зерносмеси на выходе из триерного цилиндра составила 0,01-0,06 %. При этом 1 %-ый уровень остаточной засоренности потока зерносмеси при общей подаче материала  $W_{\text{общ}} = 2673$  кг/ч, исходной засоренности  $Z_{\text{исх}} = 4,1$  % и частоте вращения цилиндра  $n = 40$  об/мин достигается уже после прохождения 17 % (37,4 см) длины ячеистой поверхности триерного цилиндра. При  $W_{\text{общ}} = 2743$  кг/ч,  $Z_{\text{исх}} = 6,6$  % и  $n = 40$  об/мин 1 %-ый уровень остаточной засоренности потока достигается после прохождения 22 % (48,4 см) длины цилиндра, а при  $W_{\text{общ}} = 2892$  кг/ч,  $Z_{\text{исх}} = 11,4$  % и  $n = 40$  об/мин – после прохождения 41 % (90,2 см) длины цилиндра. При указанных режимах и свойствах среды достигнуто значение остаточной засоренности на уровне 0,5 %. При этом существенное влияние оказывает величина исходной засоренности. При  $Z_{\text{исх}} = 4,1$  % уровень остаточной засоренности потока, равный 0,5 %, достигается при прохождении потоком 24 % (52,8 см) длины цилиндра; при  $Z_{\text{исх}} = 6,6$  % соответственно 38 % (83,6 см); при  $Z_{\text{исх}} = 11,4$  % – 54 % (118,8 см) длины цилиндра.

Существенное влияние на динамику процесса выделения коротких примесей оказывает величина подачи зерносмеси на ячеистую поверхность, рисунок 4.40.

Из рисунка 4.40 видно, что при схожих значениях исходной засоренности зерносмеси динамика выделения проса при различных значениях подачи существенно различается. При общей подаче  $W_{\text{общ}} = 1531$  кг/ч, исходной засоренности  $Z_{\text{исх}} = 7,2$  % и частоте вращения цилиндра  $n = 40$  об/мин 1 %-ый уровень остаточной засоренности потока достигается при прохождении 52,8 см длины ячеистой поверхности, 0,5 %-ый уровень достигается при прохождении 77 см длины цилиндра. Для  $W_{\text{общ}} = 4051$  кг/ч,  $Z_{\text{исх}} = 8,1$  % и  $n = 40$  об/мин значение этой длины для 1 %-го уровня составляет 116,6 см, а для 0,5 %-го уровня – 165 см.

Это объясняется существенной разницей толщины сформировавшегося зернового клина внутри цилиндра, в результате чего существенно различается вероятность контакта частиц короткой примеси с ячейками цилиндра.

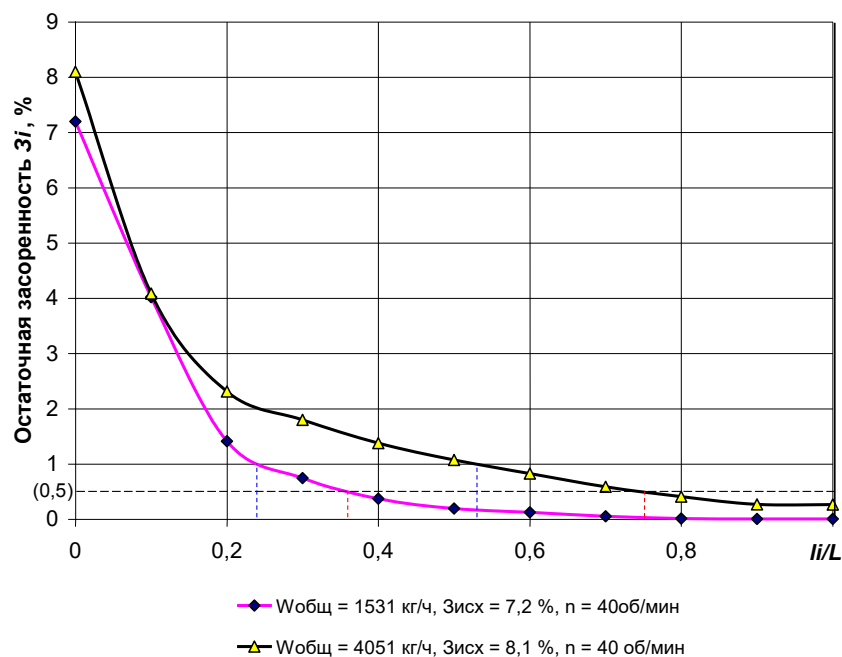


Рисунок 4.40 – Динамика выделения коротких примесей при различной подаче зерносмеси на ячеистую поверхность.

С целью установления характера и динамики протекания процесса выделения коротких примесей из ячменя были проведены сравнительные исследования процесса очистки от коротких примесей двух сред: пшеница-поро и ячмень-поро.

Для сравнения динамики процесса были проведены опыты при схожих значениях подачи материала на ячеистую поверхность, исходной засоренности и режимных параметрах установки, рисунок 4.41.

Из рисунка 4.41 видно, что протекание исследуемого процесса для двух сред идентично.

В ходе исследований нами контролировался профиль зерносмеси в ячеистом цилиндре после остановки цилиндра с помощью разработанного и изготовленного нами прибора для измерения толщины слоя сыпучих материалов в технологических емкостях. Контролировалась толщина слоя сформировавшегося зернового клина с интервалом 150 мм. В каждом сечении измерение толщины слоя проводили в 7 точках, рисунок 4.42.



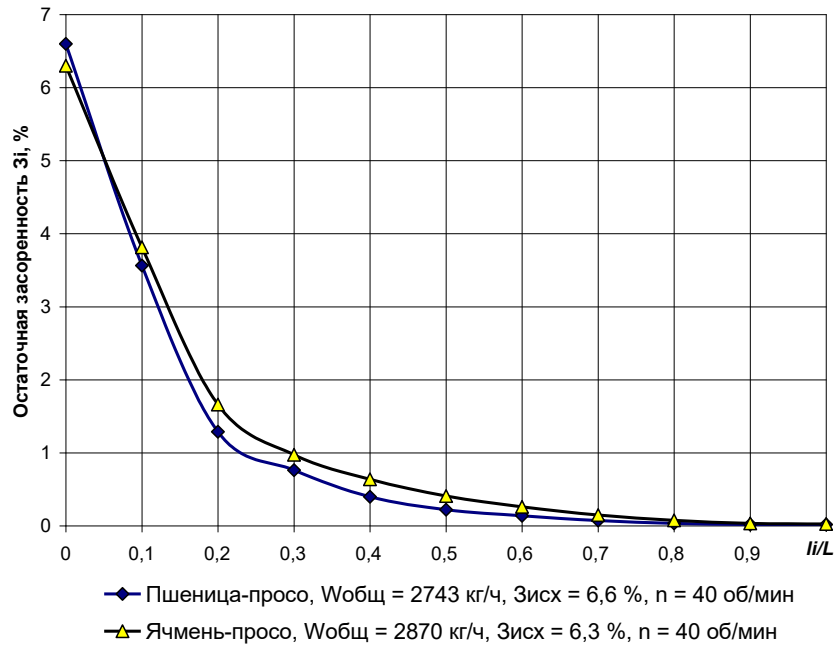


Рисунок 4.41 – Сравнительная оценка динамики процесса выделения коротких примесей для зерносмесей пшеница-поро и ячмень-поро

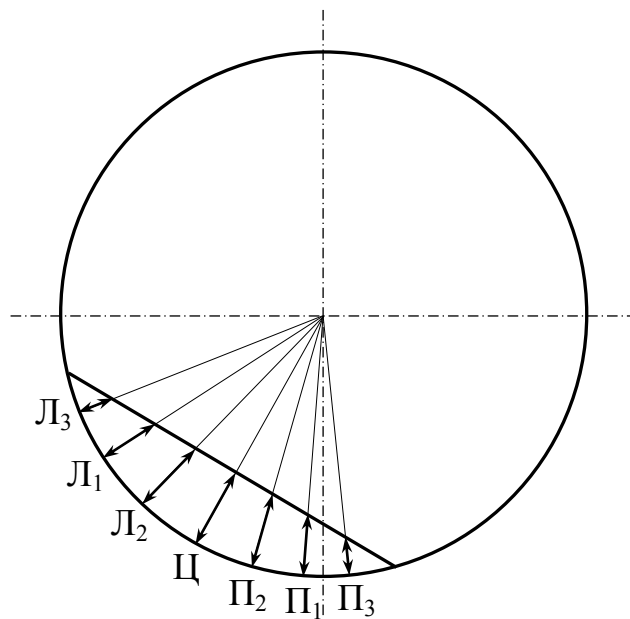


Рисунок 4.42 – Схема замеров толщины слоя зерносмеси в цилиндре

В выбранном сечении хорда, образованная поверхностью слоя зерносмеси условно разделялась пополам, в радиальном направлении производился замер толщины слоя (точка  $\Pi$ ). Далее правая половина хорды условно делилась еще на две части, определялось положение точки  $\Pi_1$ , проводился замер толщины. Образованные части хорды между точками  $\Pi$  и  $\Pi_1$ , а также между  $\Pi_1$  и правой грани-

цей слоя сыпучего материала делились пополам, определялось положение точек  $\Pi_2$  и  $\Pi_3$ , проводились замеры. Аналогичным образом проводились замеры толщины слоя в точках  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ . В таблице 4.12 приведены результаты контроля профиля зернового клина, после одного из опытов.

Таблица 4.12 – Параметры слоя пшеницы после остановки цилиндра при  $W = 1421$  кг/ч,  $n = 40$  об/мин.

№ п/п	Удаленность сечения от начала цилиндра, см	Длина дуги сечения, мм	Длина хорды сечения, мм	Толщина слоя в точке замера, мм						
				$L_3$	$L_1$	$L_2$	Ц	$\Pi_2$	$\Pi_1$	$\Pi_3$
1	15	380	358	23	45	55	63	59	52	27
2	30	380	358	28	48	60	66	63	59	33
3	45	380	358	24	45	58	66	65	57	34
4	60	380	358	25	49	63	67	64	58	29
5	75	—	—	—	59	—	64	—	52	—
6	90	—	—	—	54	—	58	—	46	—
7	105	370	345	31	49	58	60	58	45	27
8	120	363	340	24	50	54	64	55	46	29
9	135	358	335	25	46	54	57	50	43	24
10	150	355	331	31	41	49	54	50	39	25
11	165	344	323	25	40	47	47	45	37	24
12	180	325	307	20	35	40	42	40	30	17
13	195	287	273	—	33	—	33	—	28	—

#### 4.3.3. Результаты исследований процесса выделения коротких примесей с помощью прибора для разделения проб зерносмесей

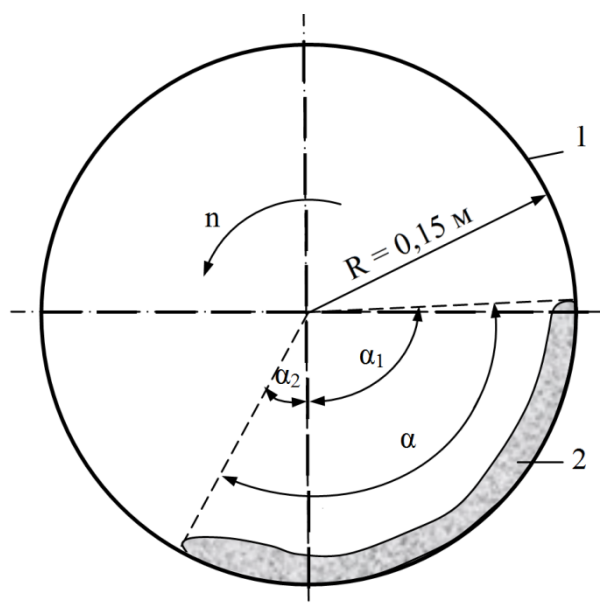
Разработанный нами прибор для разделения зерносмесей, описанный в п. 3.4.3, позволяет воспроизводить реальный процесс выделения коротких примесных компонентов в соответствии с базовыми положениями классической теории триеров [90]. При этом выделение примесного компонента производится не из

одного условного сегмента, а из нескольких, которые размещаются по длине ячеистого цилиндра прибора. Это не противоречит теории, так как остаточная засоренность измеряется в относительных единицах. Массовые характеристики исследуемого объекта практически не изменяются из-за незначительного содержания коротких примесей в зерносмеси. Выделенные примеси непрерывно отводятся наклонным лотком и направляются на условно бесконечный конвейер отборников, движущихся перпендикулярно отводимому потоку, за счет чего достигается инвариантность оценок относительно линейных размеров ячеистых поверхностей. Обеспечивается замена пространственной модели процесса триерной очистки на временную, что обеспечивает множественное сокращение затрат на исследование процесса.

#### **4.3.3.1 Результаты определения рациональных режимов работы, угла подъема верхней кромки передней стенки лотка и ее радиального зазора с ячеистой поверхностью**

Экспериментальные работы по исследованию угла охвата сегмента при различных оборотах ячеистого цилиндра и величинах загрузки зерносмеси в ячеистый цилиндр проводились при демонтированном выводном лотке, что позволяло визуально контролировать процесс при неизменной массе навески во время опыта. Скорость вращения ( $n$ ) ячеистого цилиндра изменяли с интервалом в 5 об/мин в диапазоне от 30 до 50 об/мин. Величину навески зерносмеси, загружаемой в ячеистый цилиндр, изменяли с интервалом 0,25 кг в диапазоне от 0,75 до 1,75 кг. По шкале отсчитывались величины углов отклонения вправо (подъем зерновок) и влево от вертикали, рисунок 4.43.

Величина загрузки в 1,75 кг для используемого блокирующего кольца с внутренним диаметром 0,22 м является предельной. Результаты исследований отражают ожидаемую закономерность - угол подъема зерна ( $\alpha_1$ ) возрастает с увеличением числа оборотов ячеистого цилиндра и его загрузки зерносмесью, таблица 4.13.



1 – ячеистый цилиндр; 2- сегмент зерносмеси

Рисунок 4.43 – Динамическое размещение сегмента зерна в ячеистом цилиндре

Таблица 4.13 – Взаимосвязь угловых параметров сегмента зерна со скоростью вращения и загрузкой ячеистого цилиндра

№ опыта	Скорость вращения (n) об/мин	Масса зерносмеси в ячеистом цилиндре, кг									
		0,75		1,0		1,25		1,5		1,75	
		$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_1$	$\alpha_2$	$\alpha_1$	$\alpha_2$
1	30	65	5	75	12	80	15	83	15	84	18
2	35	67	5	78	11	82	13	85	14	86	18
3	40	75	3	82	10	85	12	86	14	88	18
4	45	76	3	84	8	86	12	87	14	92	18
5	50	80	3	88	6	90	10	92	14	97	18

Из таблицы 4.13 видно, что величина угла  $\alpha_1$  увеличивается на 15,5-23% с ростом  $n$  в диапазоне 30-50 об/мин, а величина  $\alpha_2$  уменьшается в 1,7-2 раза при массе зерна в ячеистом цилиндре  $m_3 = 0,75-1,0$  кг и практически не изменяется с дальнейшим ростом  $m_3$  до 1,75 кг. Стабилизация  $\alpha_2$  при  $m_3 = 1,75$  кг объясняется повышением интенсивности (динамики) циркуляции зерна в сегменте с ростом числа циркулирующих слоев и угла подъема сегмента  $\alpha_1$ .

Прирост  $\alpha_1$  во всем диапазоне  $m_3$  составляет 21-29%. Причем больший прирост  $\alpha_1$  характерен для меньшей скорости вращения ячеистого цилиндра из-за снижения степени скольжения контактирующего слоя. Абсолютный рост  $\alpha_1$  с уве-

личением  $n$  обусловлен увеличением динамического воздействия ячеистого цилиндра на контактирующий слой зерна.

Поиск оптимальных режимов работы и параметров прибора производили на основе экспериментальных исследований динамики выделения примесного компонента из зерносмеси. В качестве критериев оценки процесса выделения примеси приняты: степень выделения; продолжительность процесса (в интервалах замеров, времени, циклах выделения); масса зерновок основной культуры в мерных емкостях; остаточная засоренность зерносмеси.

Степень выделения ( $C$ ) примеси определяли по формуле:

$$C = \sum_{i=1}^K m_{nb_i} / m_{nu} \times 100\%, \quad (4.24)$$

где  $m_{nb_i}$  - масса выделенных примесных частиц в  $i$ -ой мерной емкости, г;

$m_{nu}$  - исходная масса примесных частиц в ячеистом цилиндре прибора, г;

$k$  - число мерных емкостей, использованных в опыте, шт.

Число интервалов замеров равнялось числу использованных мерных емкостей. Продолжительность процесса ( $t_n$ ) определялась по формуле:

$$t_n = kt_c, \quad (4.25)$$

где  $t_c$  - продолжительность стабильного интервала времени замеров, с.

Продолжительность процесса в циклах выделения примеси ( $N_\Sigma$ ) определялась по формуле:

$$N_\Sigma = N_y \left( k - 1 + \frac{m_{ne1}}{m_{ne2}} \right) = t_c n \left( k - 1 + \frac{m_{ne1}}{m_{ne2}} \right) / 60, \quad (4.26)$$

где  $n$  - скорость вращения ячеистого цилиндра, об/мин;

$m_{ne1}, m_{ne2}$  - массы выделенной примеси в 1-ом (разгонном) и во 2-ом интервалах, ч;

$N_y = t_c n / 60$  - число циклов выделения в стабильном интервале времени работы прибора, шт.

Остаточную засоренность зерносмеси ( $Z_o$ ) определяли по формуле

$$Z_o = (m_{nu} - \sum_{i=1}^K m_{nb_i}) / m_n \times 100\%, \quad (4.27)$$

где  $m_n$  – масса (исходная) навески зерносмеси в ячеистом цилиндре прибора, г.

Исходные условия опытов были следующими: основная культура - пшеница; примесный компонент – просо; содержание зерносмеси в ячеистом цилиндре – 0,75 кг; исходная засоренность – 1%. Поиск осуществляли постепенным изменением угла установки передней кромки лотка ( $\gamma_n$ ) и скорости вращения ячеистого цилиндра ( $n$ ).

При скорости вращения ячеистого цилиндра  $n = 35$  об/мин и угле  $\gamma_n = 35^\circ$  наблюдалась достаточно высокая степень выделения примесного компонента – 95,5 %, но продолжительность выделения составляла 14 интервалов времени по 5 секунд.

Увеличение  $\gamma_n$  последовательно до 40 и  $45^\circ$  сопровождалось снижением степени выделения примесного компонента соответственно до 68,1 и 34,3%. При этом продолжительность выделения не заканчивалась за 15 интервалов времени (рисунок 4.44).

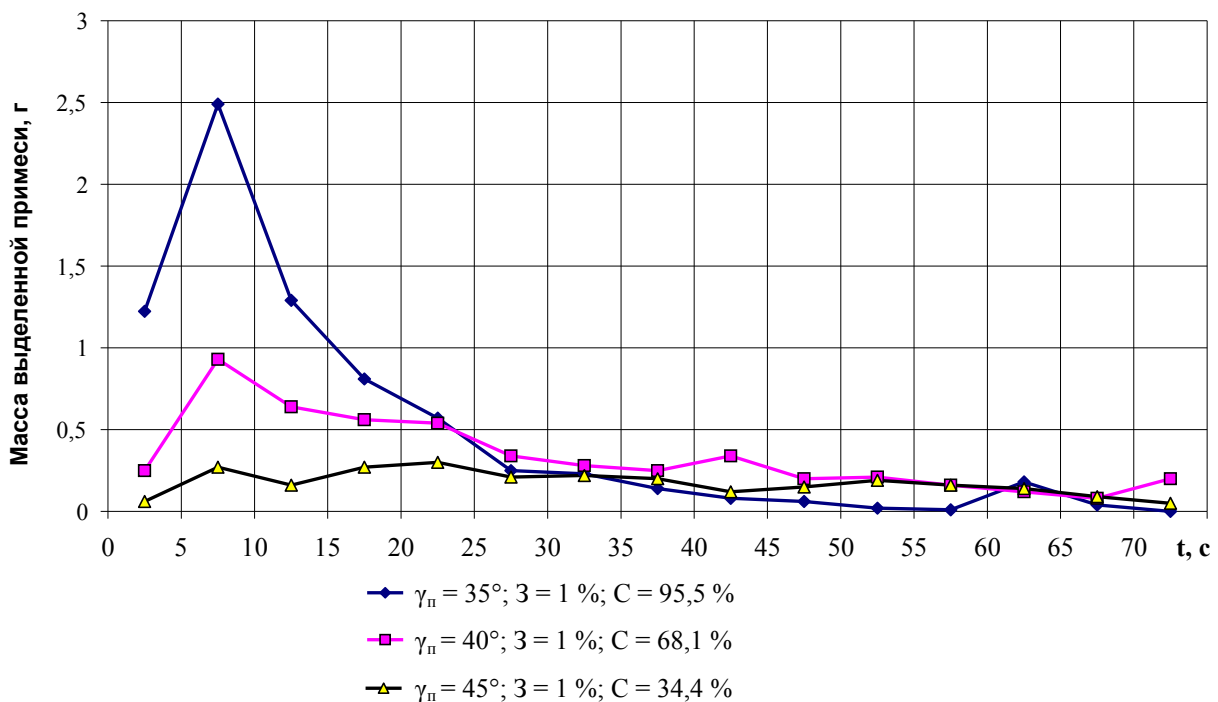


Рисунок 4.44 – Динамика выделения примесного компонента (проса) из зерносмеси на малых скоростных режимах –  $n=35$  об/мин:  $Z_p = 23$  мм;  $m_n = 0,75$  кг

Из рисунка 4.44 видно, что основная доля выделенных частиц примеси приходится на четыре интервала времени после первого (разгонного). Наиболее интенсивно процесс выделения протекает во втором интервале, по которому можно оценить влияние  $\gamma_{\text{п}}$  на интенсивность процесса.

При увеличении  $\gamma_{\text{п}}$  от  $35^{\circ}$  до  $40^{\circ}$  величина  $m_{\text{пв2}}$  снижается в 2,7 раза, при  $\gamma_{\text{п}} = 45^{\circ}$  – в 9,2 раза. Достигнутая степень выделения примеси при  $\gamma_{\text{п}} = 35^{\circ}$  достаточно высокая, но продолжительность выделения, составляющая 75 с, неприемлема.

Полученные результаты свидетельствуют о необходимости увеличения скоростного режима работы прибора.

Повышение скорости вращения ячеистого цилиндра до 40 об/мин обеспечивало степень выделения примесного компонента на уровне 97,1% при  $\gamma_{\text{п}} = 45^{\circ}$ . Однако, повышение  $\gamma_{\text{п}}$  до  $50^{\circ}$  снизило степень выделения до 66%. В этой части опытов обнаружилась взаимосвязь, которая заключается в следующем: чрезмерное увеличение угла  $\gamma_{\text{п}}$  относительно режима работ прибора ( $n$ ) приводит к снижению степени выделения примесного компонента, но сокращает количество выделенных зерновок основной культуры в мерные емкости.

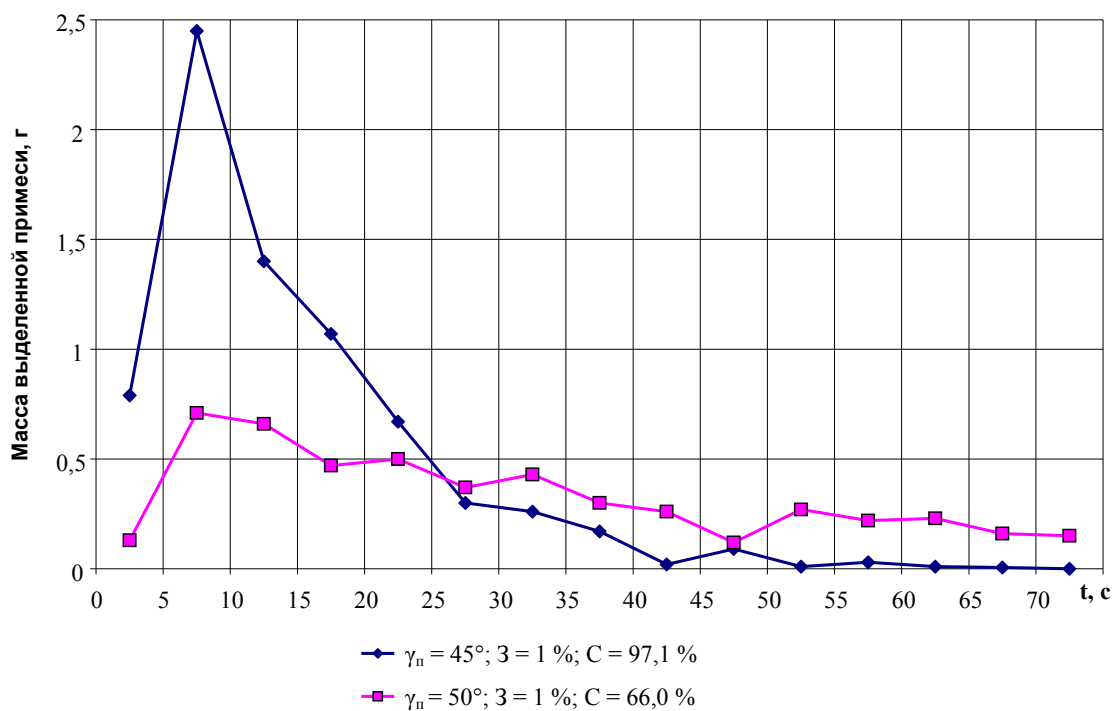


Рисунок 4.45 - Динамика выделения примесного компонента из зерносмеси при  $n = 40$  об/мин;  $Z_{\text{п}} = 23$  мм;  $m_{\text{н}} = 0,75$  кг

Из рисунка 4.45 видно, что увеличение скоростного режима до  $n = 40$  об/мин обеспечивает рост степени выделения примеси с 34,4 до 97,1% (в 2,8 раза) при  $\gamma_n = 45^\circ$ , но приводит к двойному увеличению числа зерновок основной культуры в выделенной примеси. Этот показатель является чрезвычайно важным для прибора, он определяет основной эксплуатационный показатель – трудоемкость разделения проб.

Из представленных на рисунках 4.44 и 4.45 результатов эксперимента стало ясно, что число зерновок основной культуры в мерных емкостях снижается с увеличением  $\gamma_n$ , но при равных  $n$  снижается и степень выделения примесей, и его продолжительность.

Последующее увеличение скорости вращения ячеистого цилиндра до 50-55 об/мин обеспечивало приемлемый уровень степени выделения примесных частиц даже с ростом  $\gamma_n$  в диапазоне  $55-65^\circ$ . При этом масса зерновок основной культуры выделенная вместе с примесным компонентом, сохранялась на достаточно низком уровне, отмечалась тенденция сокращения продолжительности выделения примесных частиц до 5-9 интервалов времени по 5 секунд, рисунок 4.46.

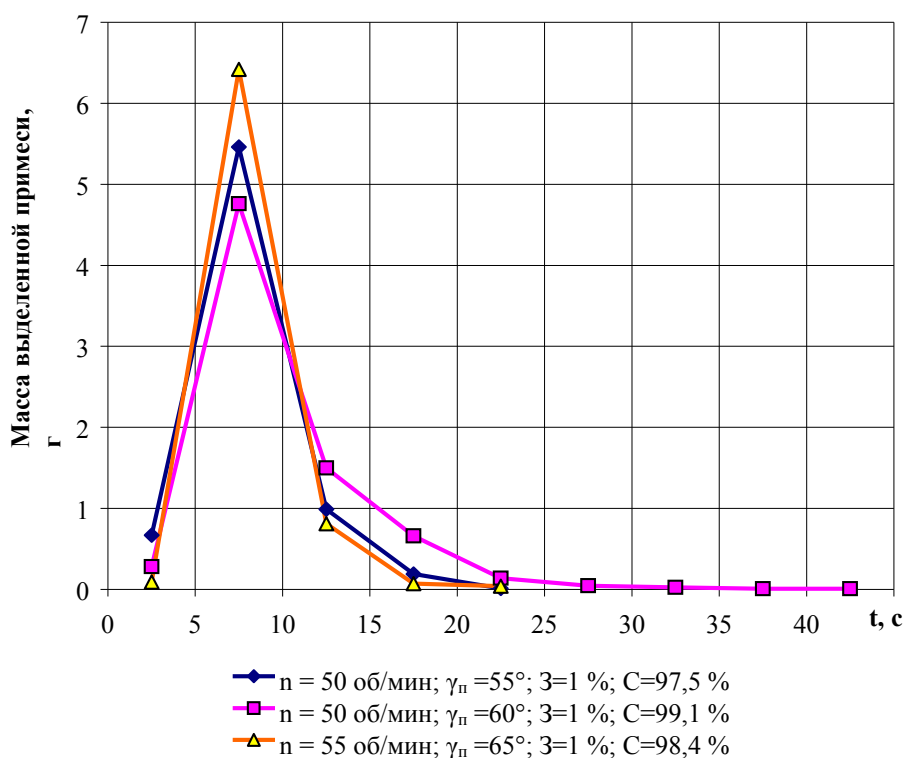


Рисунок 4.46 - Динамика выделения примесного компонента из зерносмеси при  $n = 50-55$  об/мин;  $z_p = 23$  мм;  $m_H = 0,75$  кг

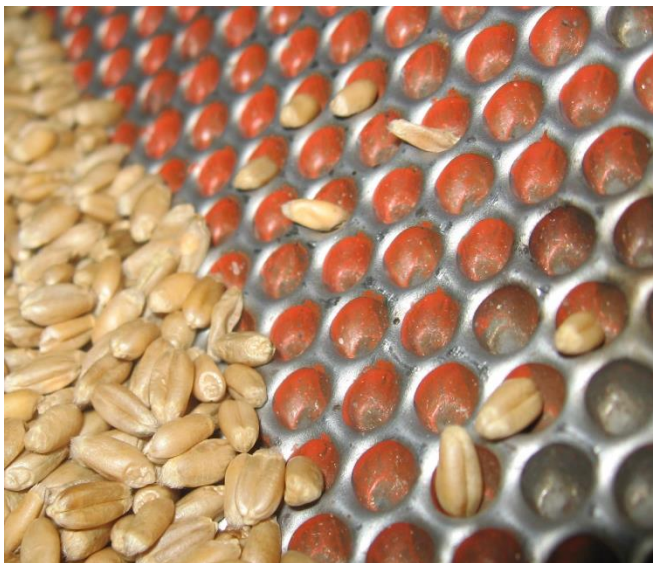


Из рисунка 4.46 видно, что время выделения примеси сократилось до 25-45 с, степень выделения примеси составила 97,5-99,1%.

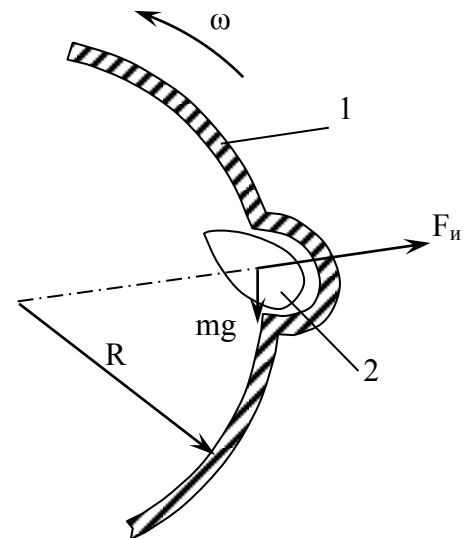
Однако, увеличение  $\gamma_{п}$  до 60-65° приводит к ухудшению отвода выделенных частиц лотком из ячеистого цилиндра. Увеличение степени выделения примеси до  $C = 99,1\%$  за счет роста  $t$  приводит к повышению содержания зерновок основной культуры в мерных емкостях в 3,7-4,8 раза.

Вероятностная ориентация зерновок основной культуры (пшеницы) продольной осью по направлению вращения ячеистого цилиндра приводит к их захвату ячейками и удержанию под действием инерционного воздействия ( $F_{и}$ ), рисунок 4.47.

Дополнительное увеличение скоростного режима и угла  $\gamma_{п}$  не давало существенного эффекта по степени выделения, продолжительности и массе выделенных в мерные емкости зерновок основной культуры.



а)



б)

1 – ячеистая поверхность; 2 – зерновка основной культуры;  
а) – захват; б) – удержание

Рисунок 4.47 – Условия захвата и удержания зерновок основной культуры ячейками кукольного цилиндра

В этой серии опытов средний радиальный зазор между верхней кромкой передней стенки лотка и ячеистой поверхностью составлял  $z = 23$  мм.

Анализ серии выполненных опытов позволил прийти к решению о сокращении зазора между рабочей кромкой лотка и ячеистой поверхностью на 10 мм за счет наращивания передней стенки, рисунок 4.48.



Рисунок 4.48 – Наращивание передней стенки приемного лотка с помощью металлической пластины

Дальнейшая стратегия поиска состояла в сохранении высокого скоростного режима – на уровне 50-55 об/мин и постепенном уменьшении угла  $\gamma_{\text{п}}$ . Эта стратегия поиска оправдала себя. Продолжительность выделения примесного компонента постепенно сократилась до 5 интервалов времени по 5 секунд, а степень выделения достигла 99,3-100%, рисунок 4.49.

Однако масса захваченных ячейми зерновок основной культуры и направленных в лоток вместе с примесным компонентом сохранялась нестабильной (16-39 зерновок). Время выделения примеси при  $\gamma_{\text{п}} = 55^\circ$  велико.

Нами было принято решение о дальнейшем снижении зазора между передней кромкой лотка и ячеистой поверхностью за счет резиновой надставки (рисунок 4.50) – на 5 мм и снижение  $\gamma_{\text{п}}$  – до  $40^\circ$ .

Необходимость наращивания передней стенки лотка за счет резиновой надставки была продиктована ожидаемым сокращением попадания в лоток зерновок основной культуры и снижением механического воздействия на них.

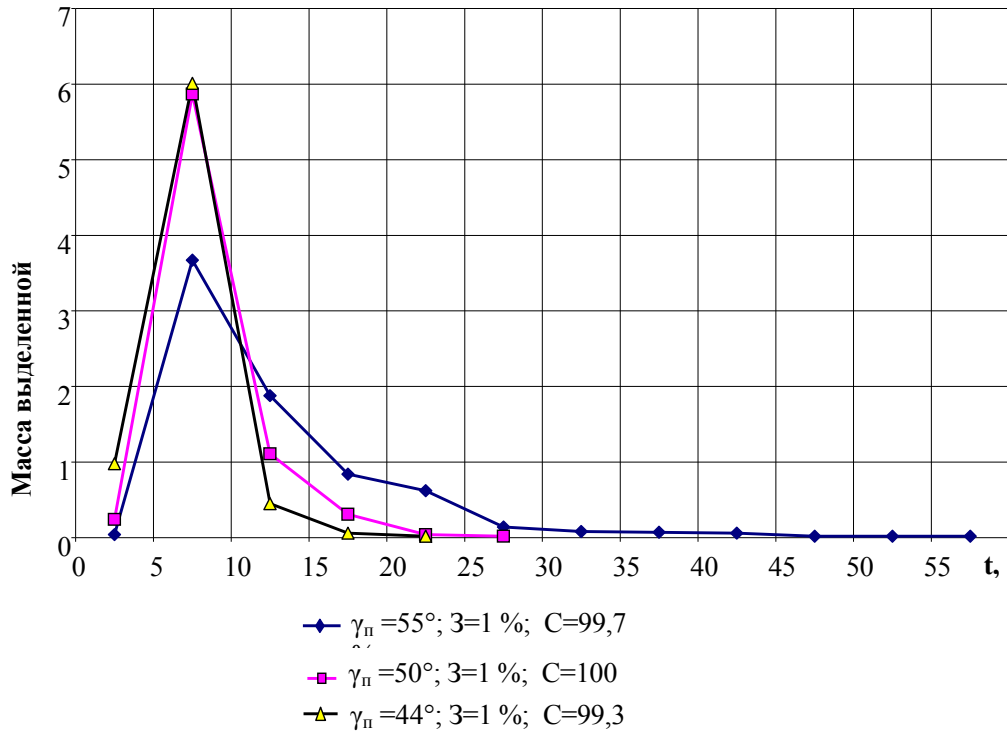


Рисунок 4.49 - Динамика выделения примесного компонента из зерносмеси при  $n = 50$  об/мин;  $3_p = 13$  мм;  $m_n = 0,75$  кг



Рисунок 4.50 – Нарращивание передней стенки приемного лотка с помощью резиновой надставки

Сокращение зерновок основной культуры в лотке по массе – очень важный показатель для прибора, он позволяет сократить общее время контроля проб зерносмесей. В результате были установлены оптимальные параметры:  $\gamma_{п} = 40^{\circ}$ ;  $n =$

50 об/мин. При этом продолжительность выделения примесного компонента составляло 4 интервала по 5 секунд, степень выделения примесного компонента достигала 100%, а выделенное число зерновок основной культуры не превышало 15 штук, рисунок 4.51.

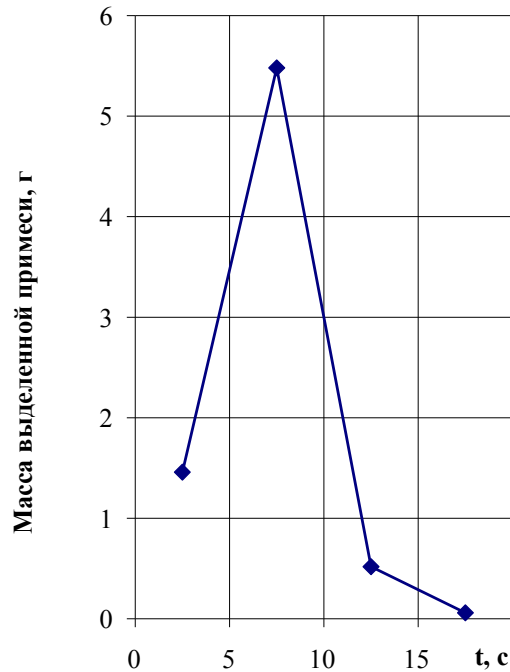


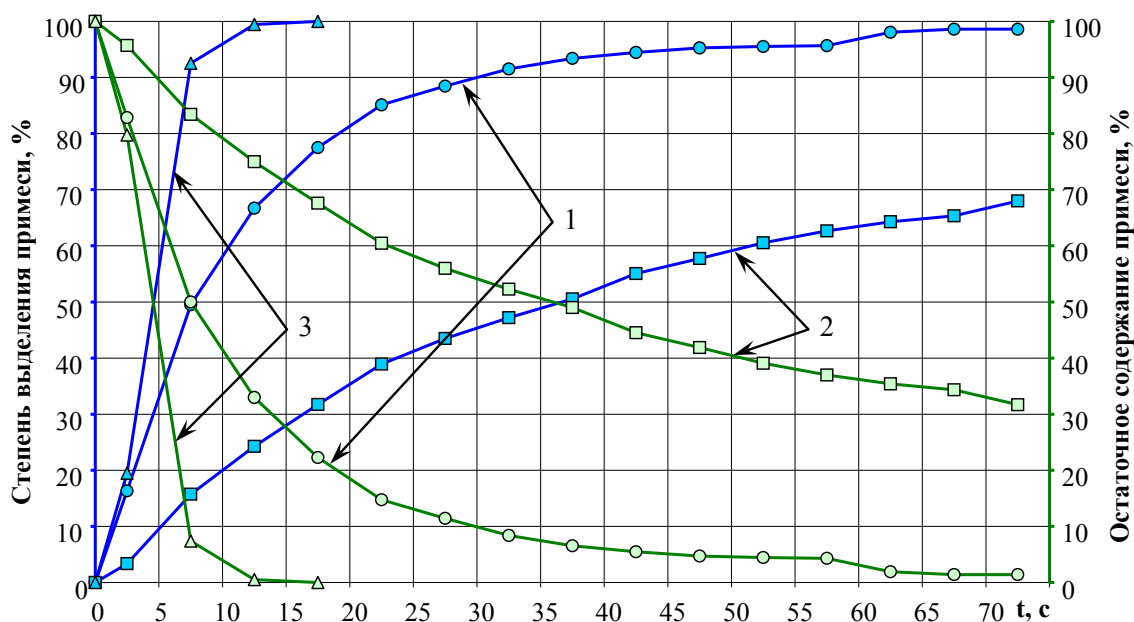
Рисунок 4.51 - Динамика выделения примесного компонента из зерносмеси при оптимальных параметрах:  $n = 50$  об/мин;  $\gamma_{\text{п}} = 40^{\circ}$ ;  $Z_{\text{р}} = 8$  мм;  $m_{\text{н}} = 0,75$  кг;  $Z = 1\%$

Сокращение радиального зазора ( $Z_{\text{р}}$ ) до 8 мм позволило предотвратить попадание в лоток зерновок основной культуры с неустойчивым их размещением в ячее, составляющих нижнюю часть факела выброса выделяемых частиц. Значимость этого эффекта превышает значимость показателя продолжительности выделения ( $t_{\text{в}}$ ) примеси в эксплуатационно-технологической оценке прибора.

Для оптимальных  $Z_{\text{р}}$ ,  $n$ , и  $\gamma_{\text{п}}$  (см. рисунок 4.51)  $t_{\text{в}}$  составляет 20 с, а отбор зерновок основной культуры из мерной емкости – 32-45 с.

Этапы поиска оптимальных значений  $Z_{\text{р}}$ ,  $\gamma_{\text{п}}$  и  $n$  в достаточно полной мере иллюстрируются показателями степени выделения ( $C$ ) и остаточным содержанием примесного компонента ( $m_{\text{ост}}$ ) в зерносмеси, рисунок 4.52:

$$m_{\text{ост}} = 100 - C. \quad (4.28)$$



1 –  $n = 35$  об/мин;  $\gamma_{\text{п}} = 35^{\circ}$ ;  $Z_{\text{р}} = 23$  мм; 2 –  $n = 35$  об/мин;  $\gamma_{\text{п}} = 40^{\circ}$ ;  $Z_{\text{р}} = 23$  мм; 3 –  $n = 50$  об/мин;  $\gamma_{\text{п}} = 40^{\circ}$ ;  $Z_{\text{р}} = 8$  мм

Рисунок 4.52 – Степень выделения и остаточное содержание примеси на этапах поиска оптимальных  $Z_{\text{р}}$ ,  $n$ , и  $\gamma_{\text{п}}$

Из рисунка 4.52 видно, что на этапах поиска оптимальных  $n$  и  $\gamma_{\text{п}}$  пройден путь по  $C$  от 68,1 до 100%, а по  $m_{\text{ост}}$  – от 31,9 до 0%. Однако наиболее важной характеристикой прибора, как средства разделения зерносмесей, является их остаточная засоренность, таблица 4.14.

Таблица 4.14 – Зависимость остаточной засоренности ( $Z_{\text{о}}$ ) от исходной ( $Z_{\text{и}}$ ) и степени выделения ( $C$ ) для навески 1 кг

№ п/п	Степень выделения примеси (C), %	Исходная засоренность ( $Z_{\text{и}}$ ), %					
		0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1	90	0,0375	0,075	0,1125	0,15	0,1875	0,225
2	91	0,0336	0,0672	0,1008	0,1344	0,168	0,2016
3	92	0,03	0,06	0,09	0,111	0,15	0,18
4	93	0,0263	0,0526	0,079	0,1052	0,1315	0,1578
5	94	0,0225	0,045	0,0675	0,09	0,1125	0,135
6	95	0,0188	0,0376	0,0564	0,0752	0,094	0,1128
7	96	0,015	0,03	0,045	0,06	0,075	0,09
8	97	0,0113	0,0226	0,0339	0,0452	0,0565	0,0678
9	98	0,0075	0,015	0,0225	0,03	0,0375	0,045
10	99	0,0038	0,0076	0,0114	0,0152	0,019	0,0228
11	100	0	0	0	0	0	0

В таблице 4.14 представлены расчетные данные остаточной засоренности ( $Z_o$ ) зерносмеси, контролируемой прибором, для широких диапазонов  $C$  и  $Z_{и}$ , которые могут быть характерны применительно к различным примесным компонентам. Величину  $Z_o$  рассчитывали по формуле:

$$Z_o = \frac{m_{ни}(1-C)}{m_n} \times 100\% = m_{ни}(1-C)/10. \quad (4.29)$$

Из таблицы 4.14 видно, что максимальная остаточная засоренность контролируемой зерносмеси составляет  $Z_o = 0,225\%$  при самой низкой степени выделения примеси  $C = 90\%$  и наивысшей исходной засоренности  $Z_{и} = 3\%$ . Эта величина ( $Z_o$ ) характеризует точность прибора и является вполне приемлемой.

С выявленными оптимальными параметрами угла установки передней кромки лотка ( $\gamma_n$ ) и скорости вращения ячеистого цилиндра ( $n$ ) нами в дальнейшем исследовалась динамика выделения примесных частиц.

#### 4.3.3.2 Результаты и анализ исследований динамики выделения проса из пшеницы

Исследования проводили на приборе для разделения зерносмесей при установленных рациональных значениях  $\gamma_n = 40^0$  и  $n = 50$  об/мин. Исходную засоренность ( $Z_{и}$ ) зерносмеси изменяли в диапазоне 1-3% с интервалом в 0,5% (5 уровней). Толщину слоя сегмента задавали массой навески ( $m_n$ ) в ячеистом цилиндре в диапазоне 0,75-1,5 кг с интервалом 0,25 кг (четыре уровня).

При минимальной исходной засоренности зерносмеси ( $Z_{и} = 1\%$ ) во всем диапазоне  $m_n$  ( $h_c$ ) степень выделения примесного компонента превышает 99%, а продолжительность выделения увеличивается пропорционально массе зерносмеси в ячеистом цилиндре, рисунок 4.53.

После стабилизации процесса в 1-ом интервале времени наступает наиболее интенсивный период выделения примесного компонента – 2-ой интервал времени опыта. Это характерно для всех видов примесных компонентов и других условий опытов.

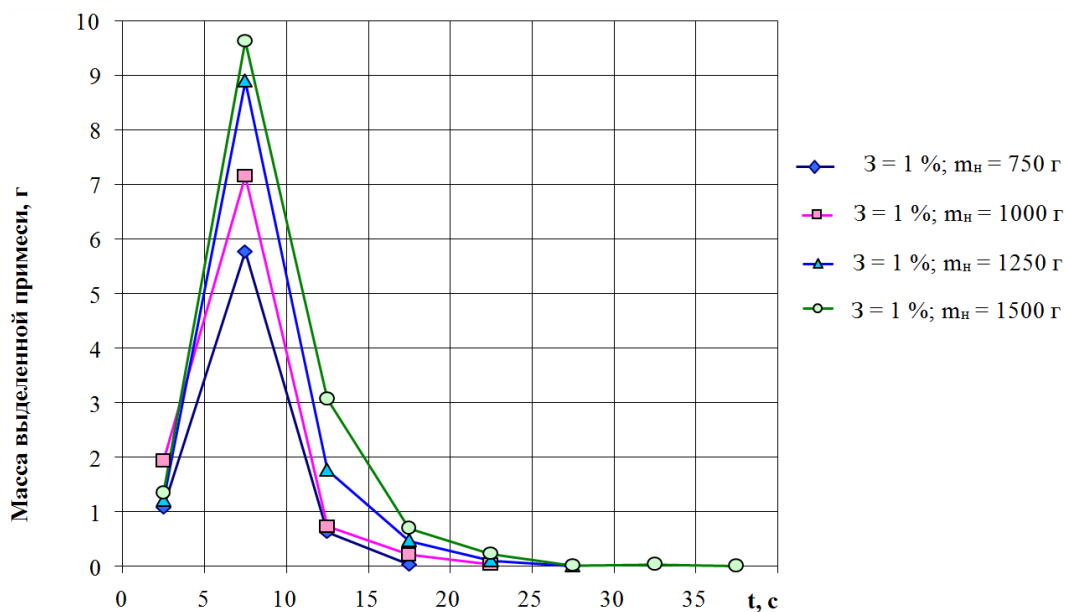


Рисунок 4.53 – Динамика выделения проса в зависимости от толщины слоя при засоренности 1 %

В этом интервале при росте  $m_n$  от 0,75 кг до 1,5 кг (в два раза) соотношение выделенных масс примеси составляет 1,68; в 3-ем – 7,67; в 4-ом – 11,7 раза, рисунок 4.54.

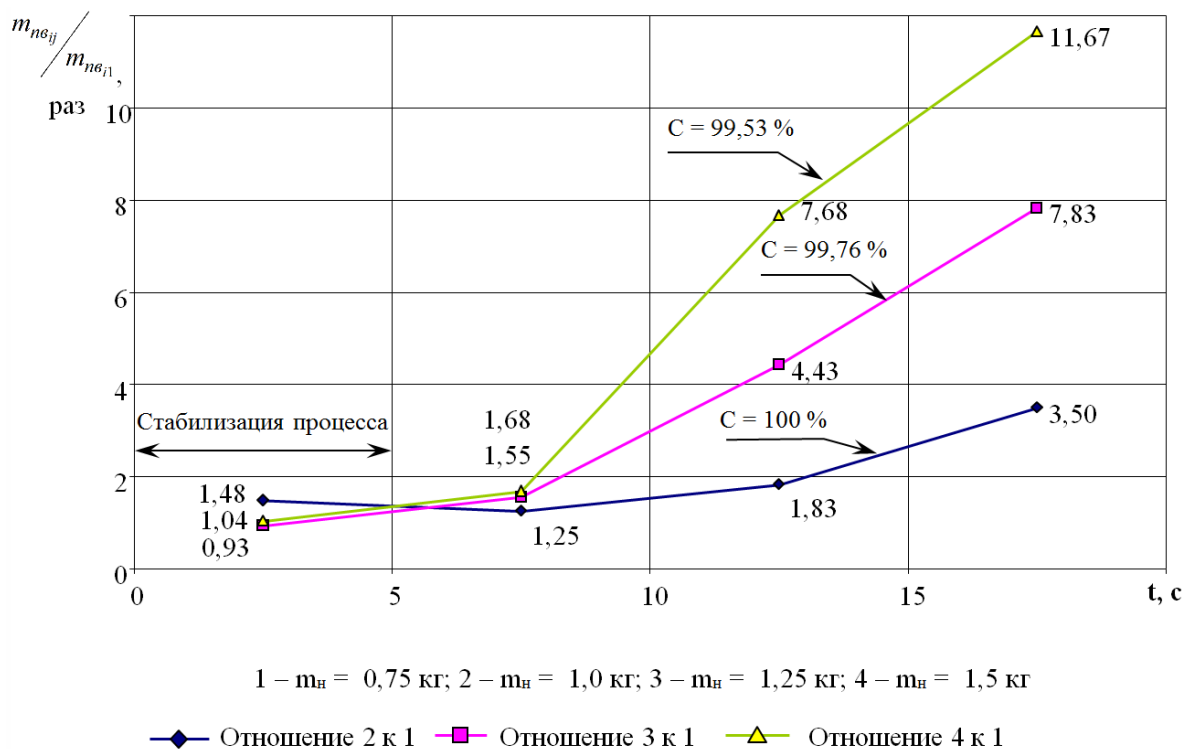


Рисунок 4.54 – Кратность соотношений масс выделенных частиц примеси в  $i$ -ом интервале времени при  $j$ -ой навеске ( $m_{n\theta_{ij}}$ ) к массе 1-ой (минимальной) навеске ( $m_{n\theta_{i1}}$ ) – эффект динамической сегрегации,  $Z_n = 1\%$

Избыточность ячей под контактирующим слоем относительно примесных частиц в нем указывает на причину эффекта – увеличение их количества в контактирующем слое за счет положительной динамической сегрегации примесного компонента в слое пшеницы, что объясняет рост кратности выделения примеси по времени.

За счет увеличения угла охвата ( $\alpha$ ) на 38,55 можно лишь частично объяснить рост кратности выделения примеси по времени при увеличении  $m_n$  от 0,7 кг до 1,5 кг. Продолжительность выделения примеси не существенно зависит от  $m_n$  при ограничении  $[C] \geq 99\%$ . Она составляет 20-25 с. При  $t = 40$  с –  $C = 100\%$ .

Последующее увеличение концентрации примесного компонента (рисунки 4.55 – 4.58) влияет на рост кратности его выделения из зерносмеси по времени с увеличением навески  $m_n$ , при котором возрастает база сегрегации - абсолютное значение  $m_{pr}$ .

Из рисунков 4.55-4.58 видно, что при увеличении исходной засоренности в 3 раза продолжительность выделения возрастает в 1,2 раза (до 6 интервалов – 30 с.).

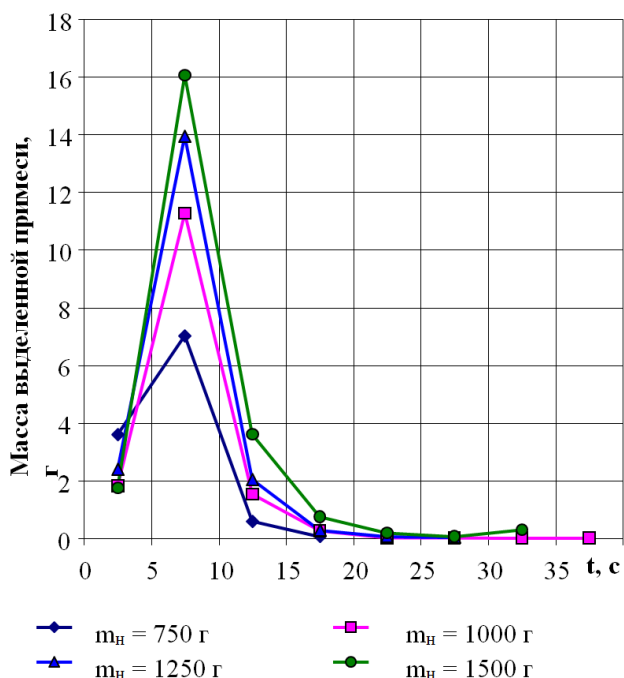


Рисунок 4.55 – Динамика выделения проса в зависимости от толщины слоя при засоренности 1,5 %

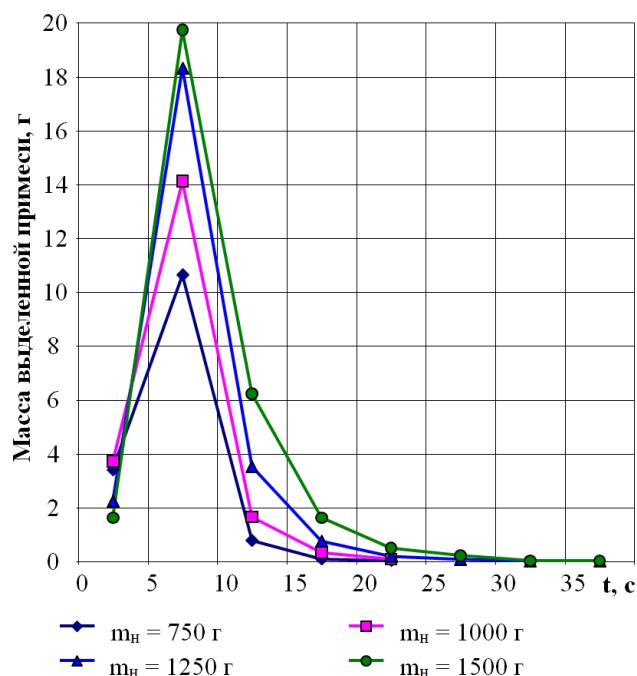


Рисунок 4.56 – Динамика выделения проса в зависимости от толщины слоя при засоренности 2 %



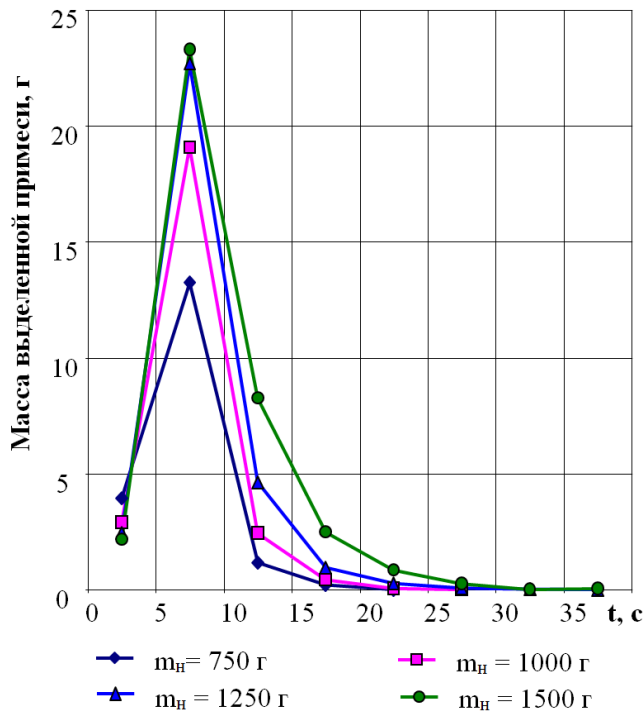


Рисунок 4.57 – Динамика выделения проса в зависимости от толщины слоя при засоренности 2,5 %

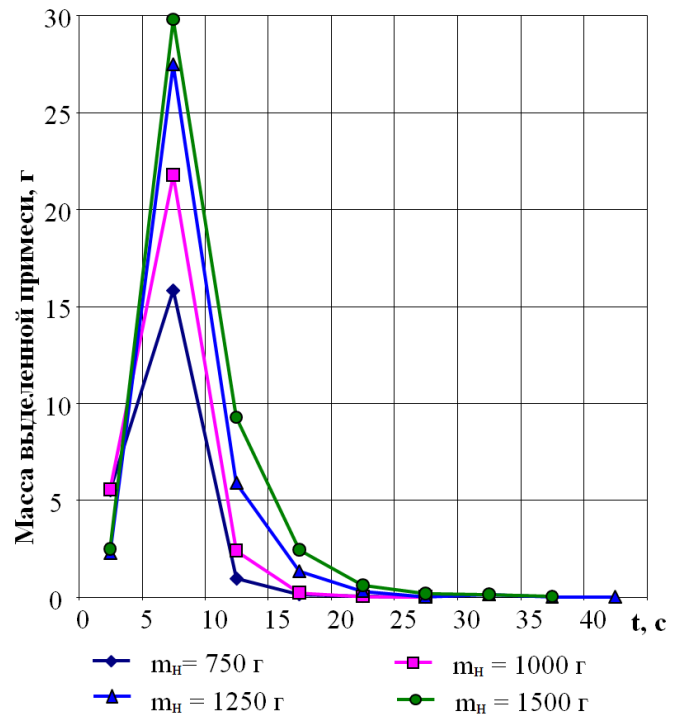


Рисунок 4.58 – Динамика выделения проса в зависимости от толщины слоя при засоренности 3 %

Это объясняется нарастающим эффектом динамической сегрегации примесного компонента с ростом  $m_{\text{п}}$  в зерносмеси. В частности, для навески 1,5 кг массы выделенных частиц во 2-ом интервале времени, который является первым после стабилизации процесса, пропорциональны исходной засоренности ( $Z_{\text{и}}$ ).

Шесть интервалов времени выделения примеси при  $n = 50$  об/мин равнозначны 22 циклам выделения, так как в первом разгонном интервале осуществляется  $\approx 1,3$  цикла. Пропуск зерносмеси через всю длину стандартного кукольного цилиндра позволяет осуществить 40-60 циклов выделения при различной величине подачи зерносмеси. Поэтому для выделения легковыделяемого примесного компонента (проса) из пшеницы даже при  $Z_{\text{и}} = 3\%$  достаточно половины рабочей длины кукольного цилиндра. Увеличение исходной засоренности до 5% увеличивает выделение до 7 интервалов времени (26,4 цикла) и не является критической для стандартного ячеистого цилиндра. При этом обеспечивается степень выделения примесных частиц  $C > 99\%$ .

Долевое исчисление выделенной примеси указывает на идентичность протекания процесса во всем диапазоне исходной засоренности зерносмеси, рисунок

4.59.

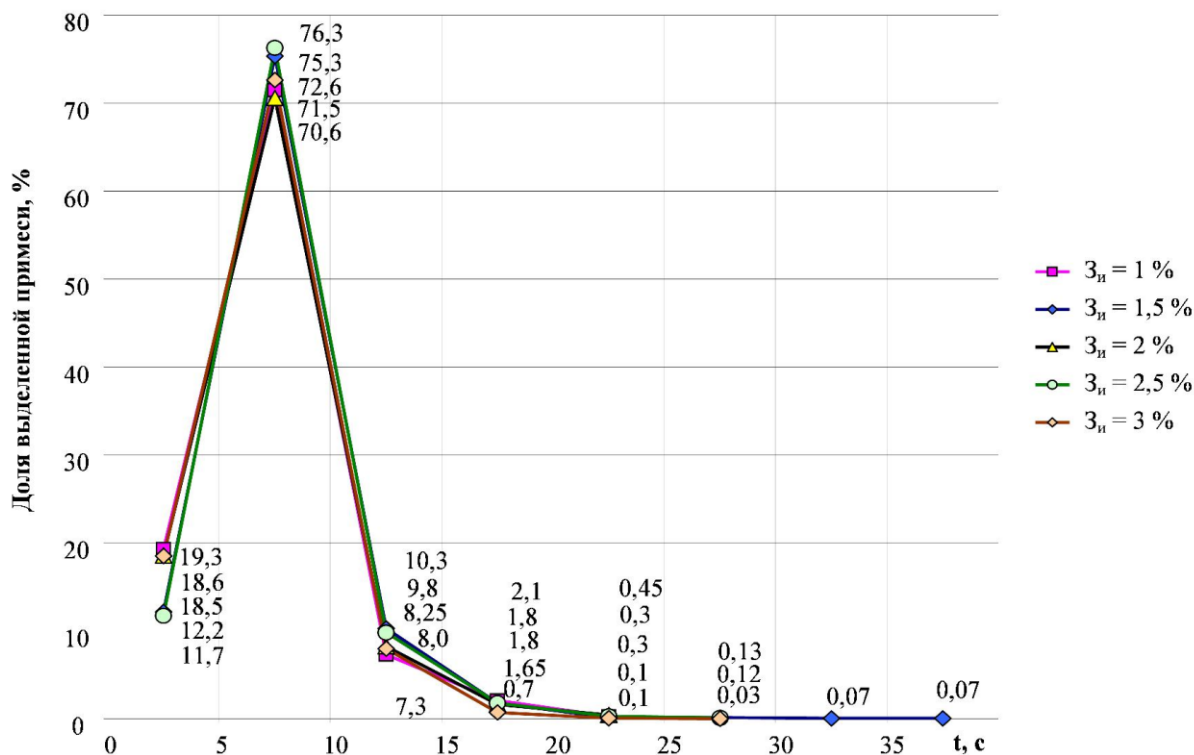


Рисунок 4.59 – Динамика выделения проса в зависимости от засоренности при массе зерносмеси 1000 г (в % от массы примеси)

Диапазоны долей выделенных частиц по интервалам времени представлены в таблице 4.15,  $Z_n = 1-3\%$ ,  $m_n = 1,0$  кг.

Таблица 4.15 – Распределение выделенных частиц примеси по интервалам времени

Доли выделенных частиц примеси в зерносмеси, %	Номера интервалов времени						
	1	2	3	4	5	6	7
	11,7 - 19,3	70,6 - 76,3	7,97 - 10,3	0,73 - 2,1	0,1 - 0,45	0,07	0,07

Сводные данные о динамике выделения проса из пшеницы в зависимости от  $Z_n$  и  $m_n$  представлены в таблице 4.16. Откуда видно, что долевое выделение примесного компонента при заданной величине  $m_n$  по циклам выделения практически не зависит от исходной засоренности ( $Z_n$ ). Оно является непрерывно убывающим по времени выделения, если принять во внимание, что в 1-ом интервале (разгонном) осуществляется 1-1,3 цикла, а в последующих – по 4,17 цикла.

Инвариантность долевого выделения ( $d$ ) примеси от  $Z_n$  при  $m_n = \text{const}$  позволяет использовать усредненные результаты в анализе взаимосвязи  $d = f(m_n)$  с

учетом эффекта динамической сегрегации примесного компонента в слое зерновок основной культуры. Анализ усредненных результатов, представленных в таблице 4.16 показывает, что в 1-ом интервале времени долевое выделение примеси убывает с ростом  $m_n$ , во 2-ом выравнивается, а в последующих нарастает многократно (см. рисунок 4.54). Очевидно, что при этом эффект динамической сегрегации компонентов зерносмеси определяется ее потенциалом – абсолютным весовым содержанием примеси в сегменте.

Выявленный нами эффект динамической сегрегации объясняет принципиальные отличия протекания процесса в кукольном цилиндре от теоретического, рисунок 4.60. В реальном процессе выделение легкоотделяемых коротких примесей происходит кратно более интенсивно. Эти примеси не лимитируют рабочую длину ячеистой поверхности.

Таблица 4.16 – Динамика выделения проса в зависимости от толщины слоя зерносмеси

№ опыта	Масса навески, г	Засоренность, %	Степень выделения (уточненная), %	Доля выделенных примесей в интервалах времени от общей массы (заданной) примеси в опыте								
				1	2	3	4	5	6	7	8	9
53	750	1	100	23,60	71,07	4,40	1,20					
54		1,5	99,8	32,00	62,40	5,33	0,53					
55		2	99,7	22,80	70,93	5,20	0,60	0,20				
56		2,5	99,7	21,12	70,61	6,29	1,17	0,11				
57		3	99,96	24,40	70,31	4,31	0,62	0,22	0,04			
37	1000	1	100	19,30	71,50	7,30	2,10	0,30				
39		1,5	100	12,13	75,13	10,27	1,80	0,13	0,13	0,07	0,07	
40		2	99,9	18,60	70,60	8,25	1,65	0,45				
41		2,5	99,8	11,72	76,32	9,80	1,80	0,28	0,12			
42		3	100	18,50	72,53	7,97	0,73	0,10	0,03			
47	1250	1	99,76	9,68	71,12	14,16	3,76	0,88	0,08			
46		1,5	100	12,75	74,35	10,93	1,55	0,37	0,21			
45		2	99,88	8,96	73,32	14,08	3,00	0,72	0,28	0,08	0,08	
44		2,5	100	7,90	72,61	14,85	3,07	0,86	0,22	0,10	0,03	
43		3	99,92	6,00	73,25	15,73	3,60	0,83	0,05	0,37	0,05	0,03
48	1500	1	100	9,00	64,13	20,47	4,67	1,53	0,13	0,27	0,07	
49		1,5	99,96	7,82	71,33	16,04	3,33	0,84	0,27	1,33		
50		2	99,8	5,43	65,80	20,73	5,43	1,63	0,73	0,10	0,07	
51		2,5	100	5,81	62,11	22,08	6,67	2,32	0,75	0,11	0,19	
52		3	100	5,53	66,20	20,60	5,40	1,36	0,42	0,29	0,09	
Средние значения для навесок:	750 г			24,78	69,06	5,11	0,83	0,18	0,04			
	1000 г			16,05	73,22	8,72	1,62	0,25	0,10	0,07	0,07	
	1250 г			9,06	72,93	13,95	3,00	0,73	0,17	0,18	0,06	0,03
	1500 г			6,72	65,91	19,98	5,10	1,54	0,46	0,42	0,10	

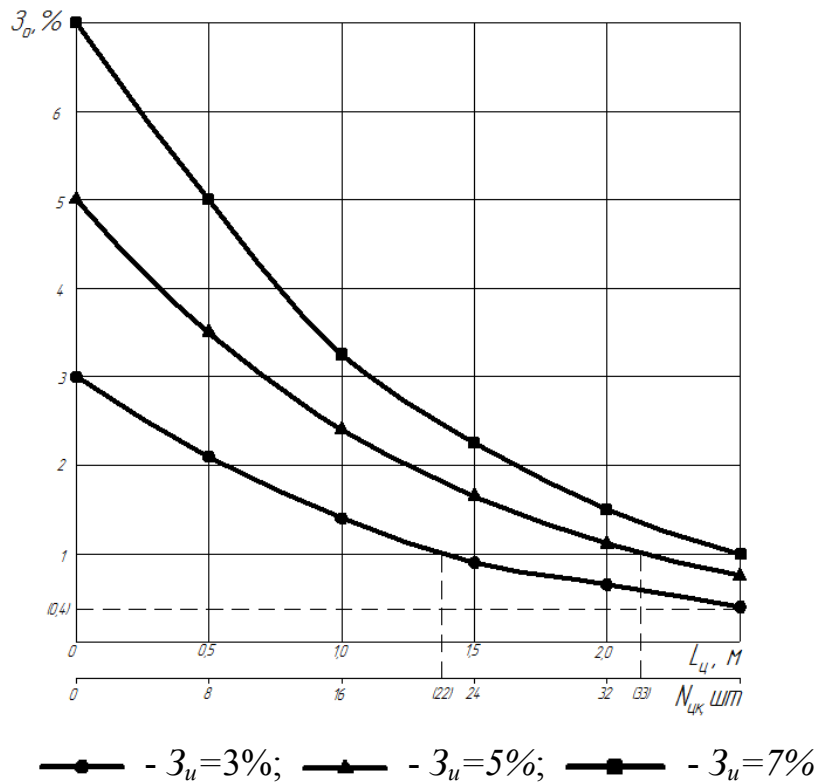


Рисунок 4.60 – Теоретическая зависимость остаточной засоренности от исходной засоренности, рабочей длины ячеистого цилиндра и числа циклов выделения –

$$Z_o = f(Z_u, L_{ц}, N_{цк}) \text{ для } r = 0,3 \text{ м}$$

Поэтому при поликомпонентной засоренности основной культуры обоснование расчетной рабочей длины ( $L_p$ ) ячеистой поверхности следует проводить согласно соотношениям:

$$\begin{cases} Z_o = (Z_u - d_l) \cdot (1 - C_T) \leq [Z_o] \\ C_T = f(L_p); L_{ф} \geq L_p \end{cases}$$

где  $d_l$  – доля легкоотделяемой примеси, %;

$C_T$  – степень выделения трудноотделяемой примеси, в долях;

$L_p, L_{ф}$  – расчетное и фактическое значения длины ячеистой поверхности, м.

Из рисунка 4.60 видно, что за 40 циклов выделения проса остаточная засоренность составляет 0,4%. В реальном процессе за счет эффекта динамической сегрегации за 22 цикла обеспечивается 99,53 %-ый уровень выделения примесного компонента, что соответствует остаточной засоренности зерносмеси  $\approx 0,02\%$  при  $Z_u = 3\%$ .

### 4.3.3.3 Результаты и анализ исследований динамики выделения семян сорго, горчицы, льна, гречишки вьюнковой, тысячелистника, стеблей осота полевого, частиц соломы и семян борщевика из пшеницы

Результаты исследований динамики выделения семян сорго и горчицы представлены на рисунках 4.61 и 4.62.

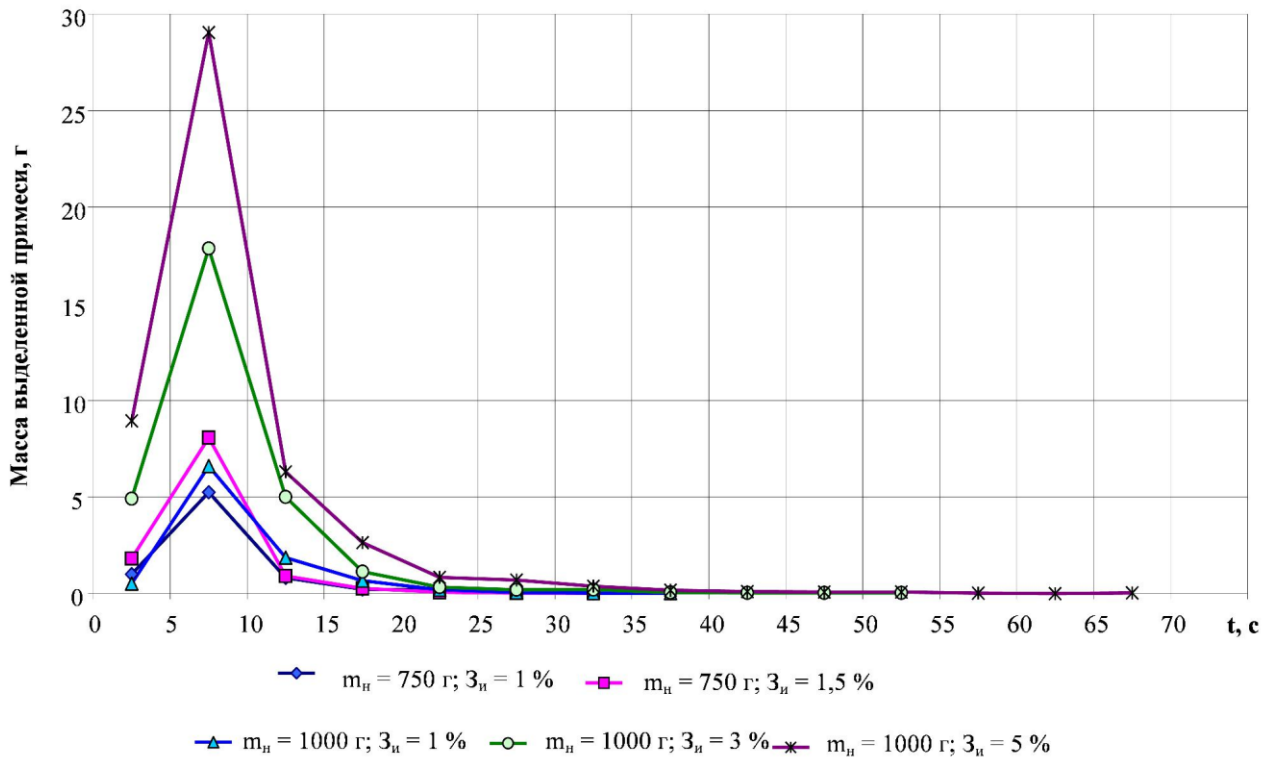


Рисунок 4.61 – Динамика выделения сорго из пшеницы

В этой серии опытов угол подъема передней кромки лотка составлял  $40^{\circ}$ , скорость вращения ячеистого цилиндра  $n = 50$  об/мин. При  $m_n = 0,75$  кг исходной засоренностью  $Z_n = 1; 1,5\%$  сорго, степень выделения  $C > 99,5\%$  достигается за 7-8 интервалов времени – 26,3-30,5 циклов выделения. Это большая продолжительность процесса в сравнении с просом в качестве примесного компонента. Очевидно, что для сорго характерен меньший эффект динамической сегрегации в слое пшеницы, чем для проса.

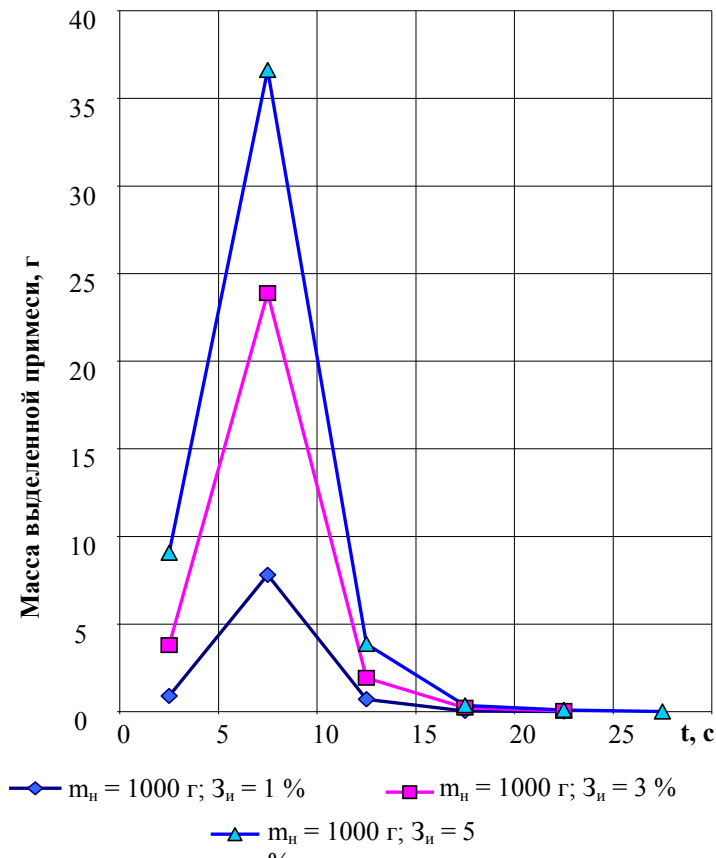


Рисунок 4.62 – Динамика выделения горчицы из пшеницы

Увеличение  $m_n$  до 1,0 кг при  $Z_n = 1\%$  не приводит к росту продолжительности выделения сорго из пшеницы и снижению степени выделения ( $C = 99,7\%$ ) за счет роста потенциала динамической сегрегации – абсолютного значения массы примеси в сегменте.

Однако дальнейший рост исходной засоренности до 3-5% увеличивает продолжительность процесса. Очевидно, что физико-механические свойства сорго (особенно размеры и угол внутреннего трения) существенно снижают эффективность процес-

са. Поэтому сорго нельзя отнести к легковыделяемым примесным компонентам, так как 43 цикла выделения зерносмеси с  $Z_n = 3\%$  превышают возможности стандартного кукольного цилиндра.

Выделение горчицы из пшеницы (рисунок 4.62) осуществляется за 5-6 интервалов времени по 5 с до  $C = 100\%$ . Это составляет 18-22 цикла. Семена горчицы также обладают высоким уровнем динамической сегрегации. Самая высокая степень выделения примесного компонента ( $C = 100\%$ ) получена при  $Z_n = 5\%$ . То есть повышение эффекта обусловлено ростом потенциала 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, рисунки 4.63 – 4.65.

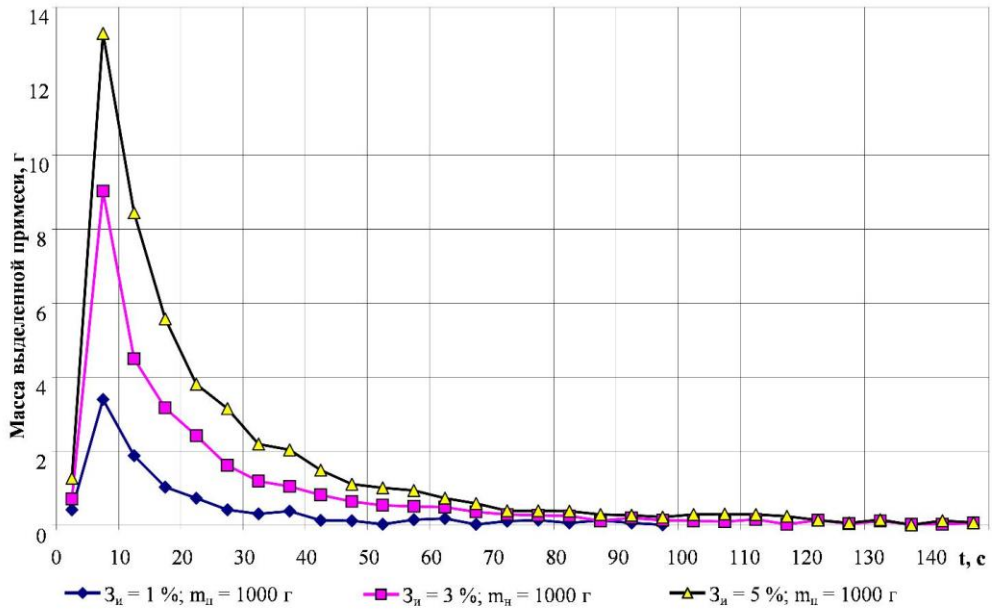


Рисунок 4.63 – Динамика разделения зерносмеси "пшеница-лён"

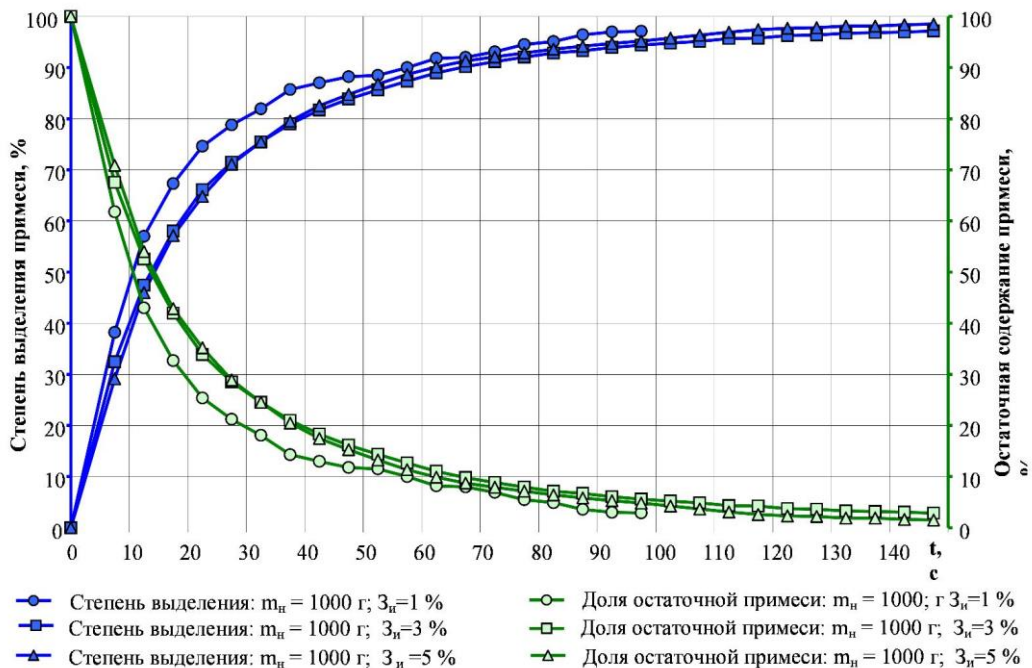


Рисунок 4.64 – Степень выделения и остаточное содержание примеси при разделении зерносмеси "пшеница-лён"

Повышение степени выделения примеси с ростом ее концентрации в зерносмеси объясняется слабой реализацией потенциала динамической сегрегации с ростом циклов выделения в сравнении с легковывделяемой примесью (просо). Этот эффект проявляется лишь в шестом и последующих интервалах времени в незначительной степени.



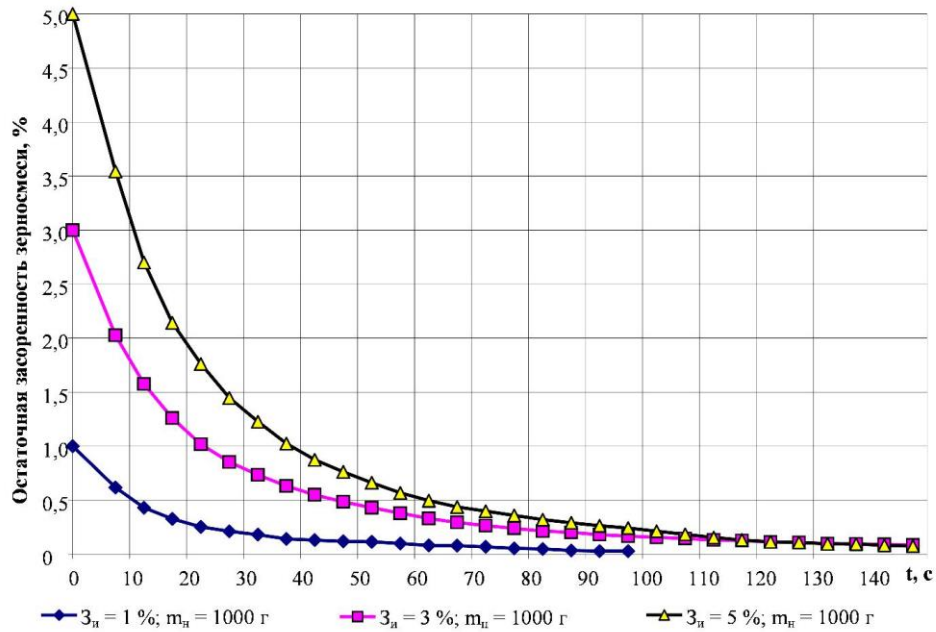


Рисунок 4.65 – Динамика очистки зерносмеси "пшеница-лен"

Заданную остаточную засоренность  $[Z_0] = 0,4\%$  стандартный кукольный цилиндр обеспечит при исходной засоренности зерносмеси семенами льна в диапазоне  $Z_{и} = 1-3\%$ . Однако, при этом степень выделения примесного компонента составит 60-86,7%. Поэтому семена льна нельзя считать легковыделяемым примесным компонентом.

Основной причиной высокой продолжительности выделения семян льна из зерносмеси является соизмеримость и даже превышение их длины (4,53 мм) над размерами ячеек. Это снижает эффект динамической сегрегации семян льна в слое основной культуры многократно, так как их захват ячейками становится значительно менее вероятным.

Свойства семян гречишки вьюнковой существенно отличаются от свойств семян льна, проса и основной культуры, но эффект динамической сегрегации высокий, рисунки 4.66-4.67.

Во всем диапазоне исходной засоренности выделение семян гречишки вьюнковой на уровне 99% и выше обеспечивается за 6 интервалов времени по 5 с (22 цикла). Поэтому ее следует отнести к легковыделяемым примесным компонентам.

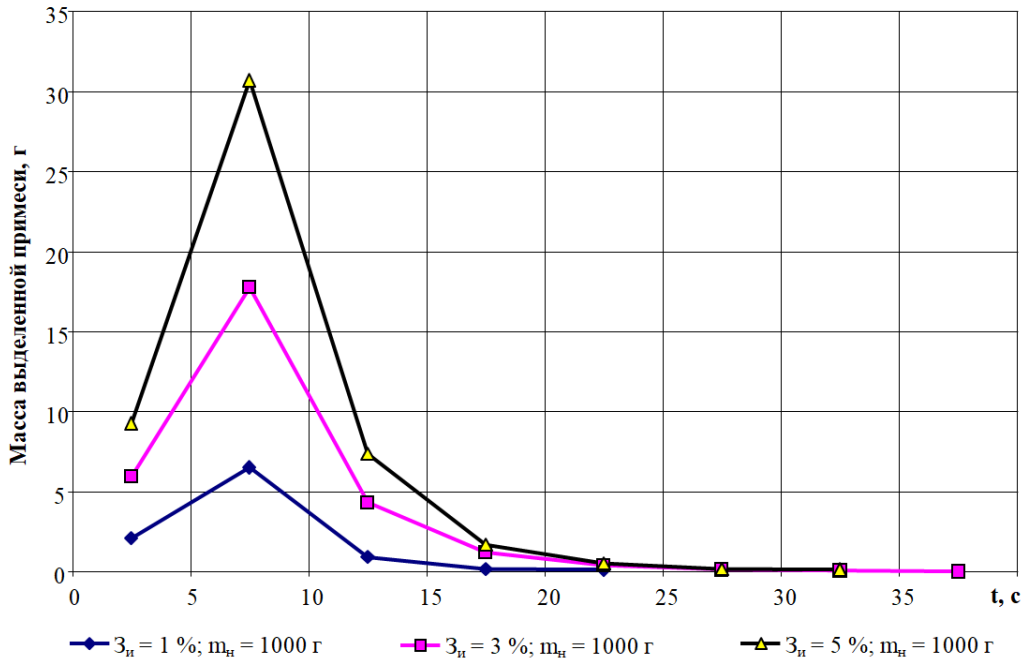


Рисунок 4.66 –Динамика разделения зерносмеси "пшеница – гречишка  
вьюнковая"

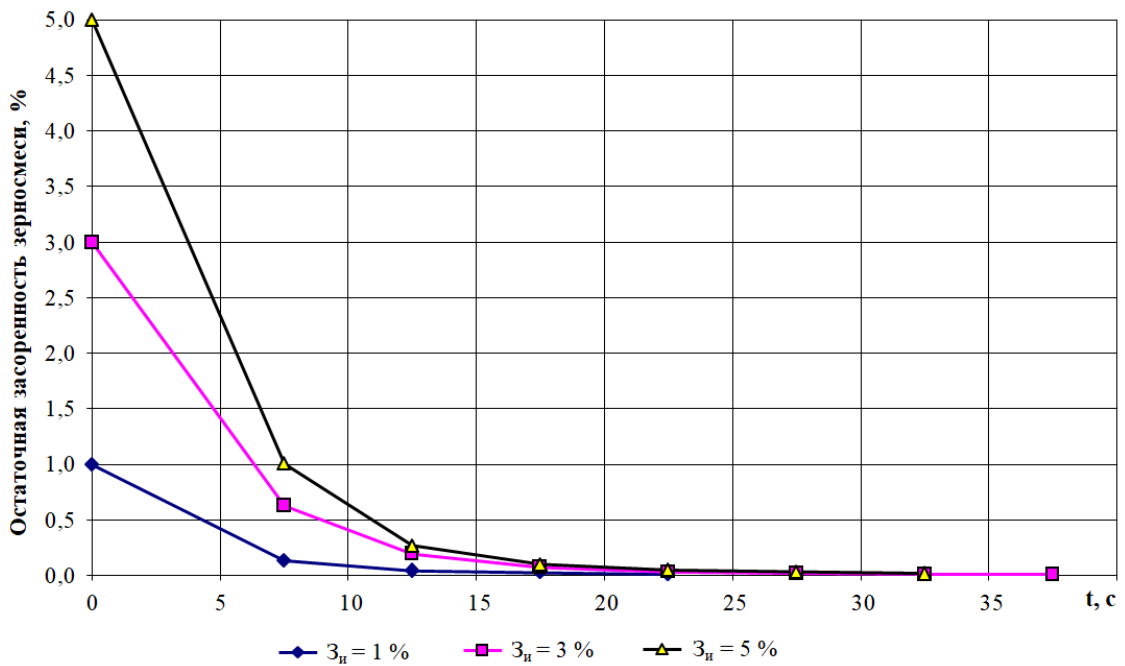


Рисунок 4.67 – Остаточная засоренность зерносмеси "пшеница-гречишка  
вьюнковая"

Достаточно высокая динамика выделения семян гречишки вьюнковой из зерносмеси сопровождается снижением вероятности захвата и выноса из сегмента в лоток зерновок основной культуры. Их масса, которая определяет уровень по-

терь пшеницы в технологическом процессе, составляет 0,7-1,1%. Это в 3,5 раза меньше, чем при выделении семян льна из пшеницы.

Короткие соломистые частицы и семена сорных растений, например борщевика, тысячелистника, являются естественными примесными компонентами в зерновом производстве и технологиях подработки зерна. Эти частицы могут содержаться в зерносмесях после решетной и аспирационной очистки зерна, так как полигоны распределения разделяющих признаков пересекаются у всех компонентов зерносмесей в большей или меньшей степени.

Включение этих компонентов в программу исследований ячеистых поверхностей предопределено стратегией выработки решений по результатам ее реализации. Стратегия исследований и последующей выработки решений основана на следующей аргументации:

- исследование поликомпонентных примесей снижает управляемость эксперимента, исключает определенность толкования их результатов и не является обоснованным с точки зрения реальности отображения условий производства при любом сочетании компонентов состава и их физико-механических свойств. Вариативность составов и их свойств обеспечена;

- раздельное исследование компонентов с исчерпывающими диапазонами их свойств и концентрации в зерносмесях позволит исключить указанные недостатки, разделить все компоненты на легковыделяемые и трудновыделяемые, лимитирующие рабочую длину кукольного цилиндра;

- на основе исследований динамики выделения примесных компонентов из основных культур по критериям степени выделения и остаточной засоренности возможно будет установить рациональные режимы работы и соотношения длин ячеистых поверхностей, обеспечивающих сбалансированность технологических процессов в овсюжном и кукольном цилиндрах по показателям качества;

Семена тысячелистника размещены в соцветьях и имеют линейные размеры 4,21x2,8x2,8 мм. Насыпная плотность в 12,4 раза меньше насыпной плотности пшеницы. Исследования проводили при  $\gamma_n = 40^\circ$  и  $n = 50$  об/мин. Исходная засоренность зерносмеси составляла 0,8%, что обусловлено реально возможным

уровнем засоренности пшеницы перед триерной ее очисткой и высокой трудоемкостью разбора проб.

Указанные физико-механические свойства семян тысячелистника предопределяли высокую продолжительность процесса их выделения из зерносмеси. В каждом опыте она составляла 150 с, что эквивалентно с учетом времени разгона ячеистого цилиндра 122 циклам выделения.

Анализ динамики выделения семян тысячелистника из зерносмеси (рисунок 4.68) указывает на противоположный вектор их сегрегации в слое основной культуры – склонность к «всплыванию».

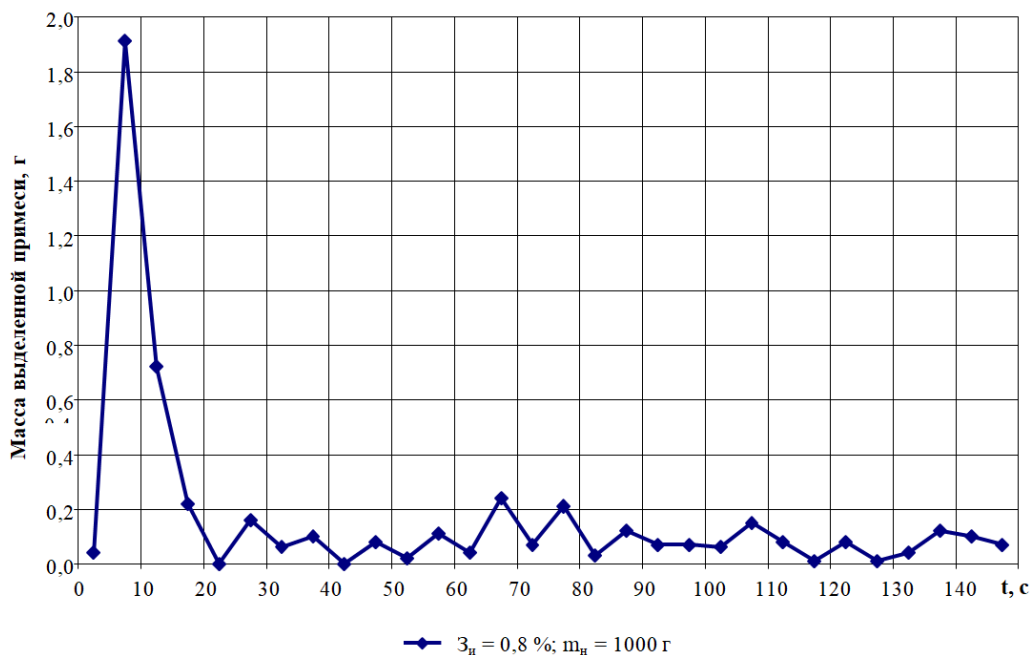


Рисунок 4.68 – Динамика разделения зерносмеси "пшеница - семена тысячелистника"

За 122 цикла степень выделения составила  $C = 62,9\%$ . Если принять во внимание низкую интенсивность выделения примесного компонента с существенной вариацией, но примерно в одном диапазоне, начиная с 5-го интервала, то средний уровень выделения за 26 интервалов составит 1,01% на интервал. Экстраполируя расчетную интенсивность выделения на последующий период, можно ожидать, что сопоставимую степень выделения  $C = 98\%$  семян тысячелистника можно обеспечить за 65 интервалов времени по 5 с (268 циклов). Для  $v = 0,05$  м/с расчет-

ная длина кукольного цилиндра, обеспечивающего сопоставимую с легковыделяемыми примесными компонентами степень выделения  $C = 98\%$  составит:

$$L_p = 0,05 \times 65 \times 5 = 16,25 \text{ м.}$$

Это в 7,2 раза больше, чем рабочая длина стандартного цилиндра, что подтверждает трудновыделяемость легких «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.

Стебли осота полевого относятся к легким примесным компонентам. Они были подготовлены нарезкой с линейными размерами 3,36x4,15x2,07 мм. Динамика выделения стеблей осота полевого из пшеницы по 122-ум циклам представлена на рисунке 4.69.

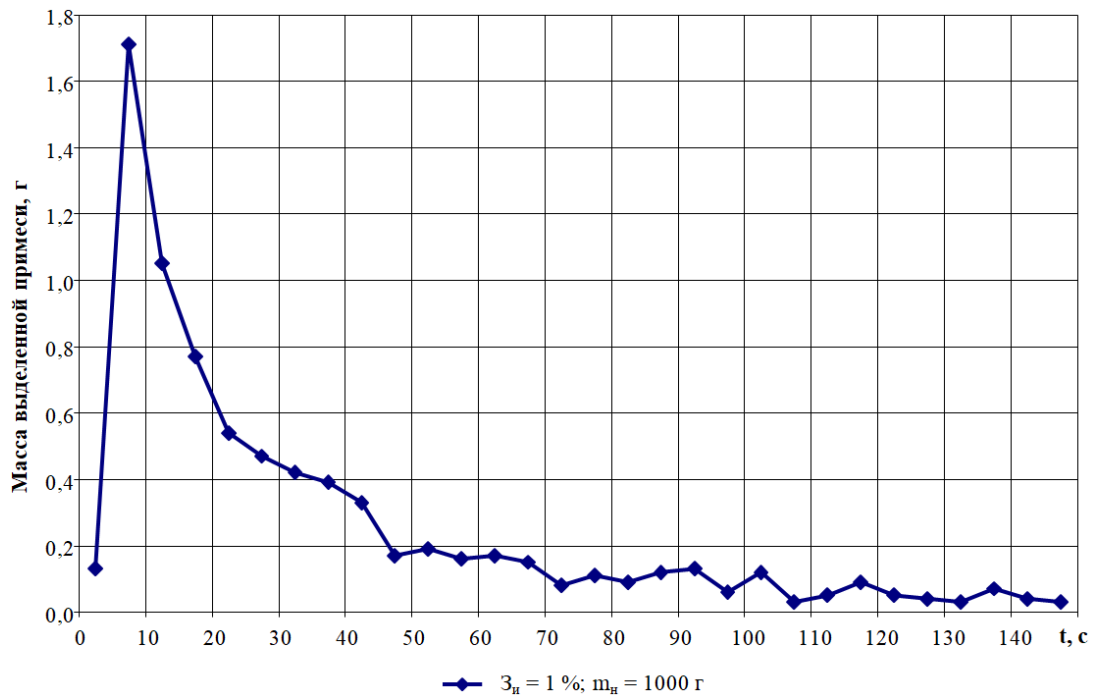


Рисунок 4.69 – Динамика разделения зерносмеси "пшеница - стебли осота"

Анализ опытных данных показывает, что процесс протекает более стабильно, чем процесс выделения семян тысячелистника. Степень выделения стеблей осота полевого за 122 цикла составляет 77,7%.

Для достижения сопоставимой степени выделения  $C = 98\%$  потребуется 72,3 интервала времени по 5 с, что эквивалентно рабочей длине кукольного ци-

линдра 18 м. Это в 8 раз превышает длину стандартного кукольного цилиндра, что подтверждает трудноотделимость примесных компонентов, представляющих собой частицы стеблей сорняков.

Специфичными особенностями нарезной соломы являются ее малая насыпная плотность и значительный угол внутреннего трения. Частицы нарезной соломы имели средние линейные размеры – 3,1x3,02x1,63 мм.

Экспериментальная динамика выделения частиц нарезной соломы из пшеницы, которая в большей степени определяется фактическим направлением вектора динамической сегрегации примесного компонента, представлена на рисунке 4.70.

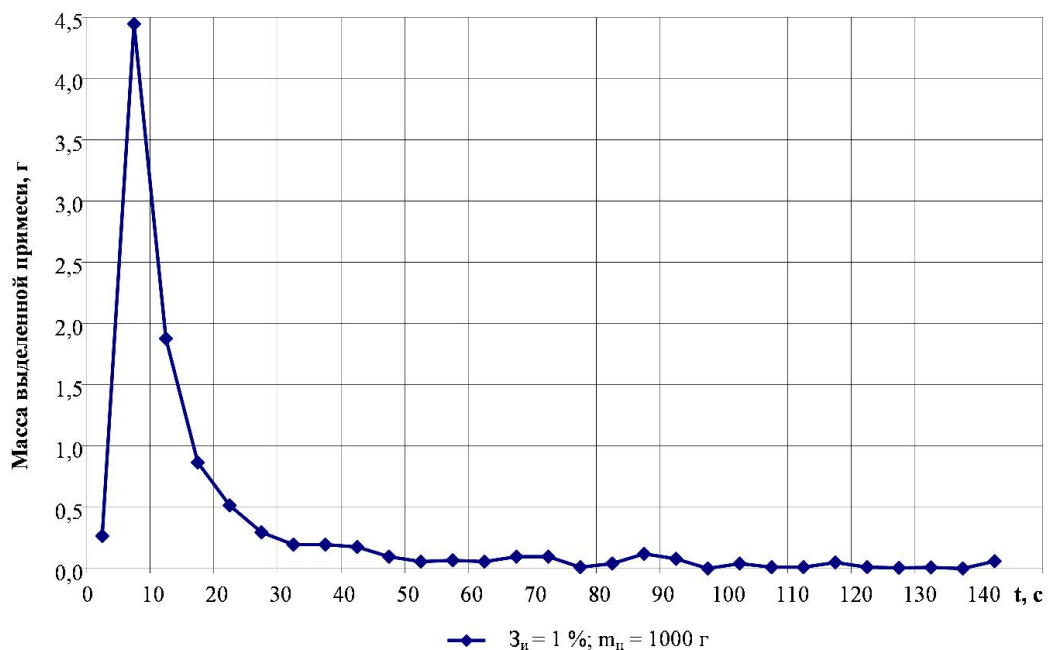


Рисунок 4.70 – Динамика выделения частиц соломы из пшеницы

Анализ представленной динамики показывает, что сопоставимый уровень степени выделения примесного компонента  $C = 97,4\%$  обеспечивается за 29 интервалов времени по 5 с. Частицы нарезной соломы к легковыделяемым примесям отнести нельзя. Продолжительность процесса в 29 интервалов времени до обеспечения  $C = 97,4\%$  соответствует 7,25 м длины ячеистой поверхности, что в 3,2 раза превышает стандартную длину триерного цилиндра.

Борщевик широко распространен в восточном полушарии. Длина семян превышает номинальный размер ячеек (4,5 мм) кукольного цилиндра, что предпо-

лагает вероятностный захват примесных частиц ячеями. Экспериментальная динамика выделения семян борщевика из пшеницы представлена на рисунке 4.71.

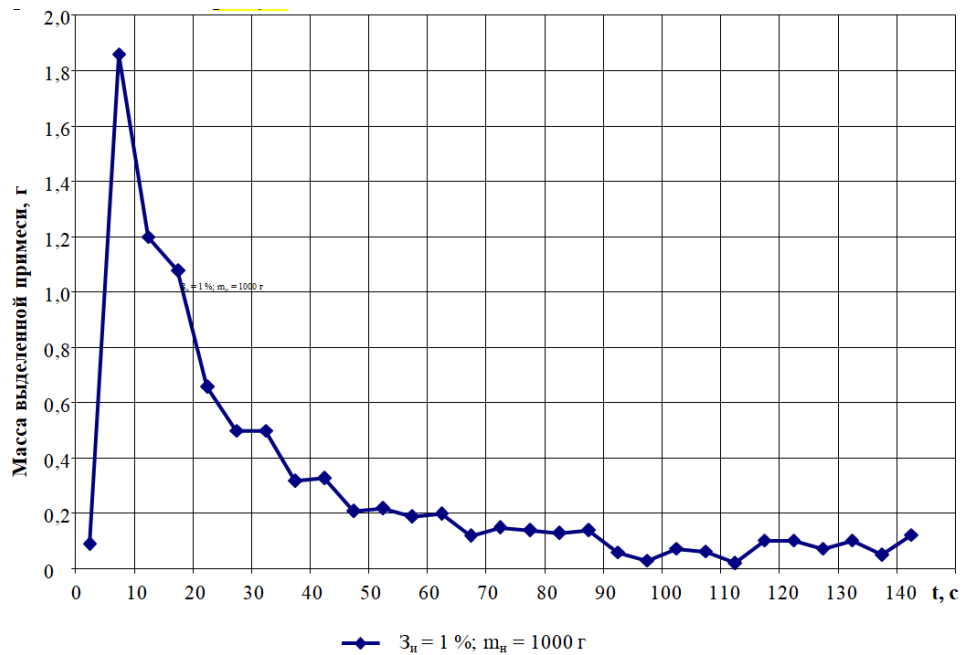


Рисунок 4.71 – Динамика выделения семян борщевика из пшеницы

Анализ динамики подтверждает ожидания трудноотделяемости исследуемого примесного компонента. За 29 интервалов времени (118 циклов выделения) выделилось лишь 84,95 примеси. Сопоставимая степень выделения  $C = 98\%$  будет достигнута за 47 интервалов времени, Эквивалентная рабочая длина ячеистого цилиндра будет 11,75 м, что в 5,2 раз превышает рабочую длину стандартного кукольного цилиндра.

#### 4.3.4 Результаты и анализ динамики выделения семян льна и щавеля из пшеницы

Исследования проводились на разработанном нами стенде с размещением ячеистого цилиндра на опорных роликах, описание конструкции и работы которого представлено в п. 3.4.3.

Семена льна и щавеля относятся к трудновыделяемым примесным компонентам. Динамика их выделения представлена на рисунках 4.72 и 4.73. Анализ динамики выделения показывает, что за 26 интервалов времени по 5 с при выделении семян льна достигнута степень выделения  $C = 77,3\%$  - выделено 30,9 г из 40

г примесного компонента в навеске  $m_n = 4$  кг с концентрацией примесного компонента  $Z_n = 1\%$ . Затем была произведена доочистка в течение 2 минут, что соответствует дополнительным 24-ем интервалам времени 5 с. За итоговые 50 интервалов времени выделено – 34,91 г или 87,3% примесного компонента.

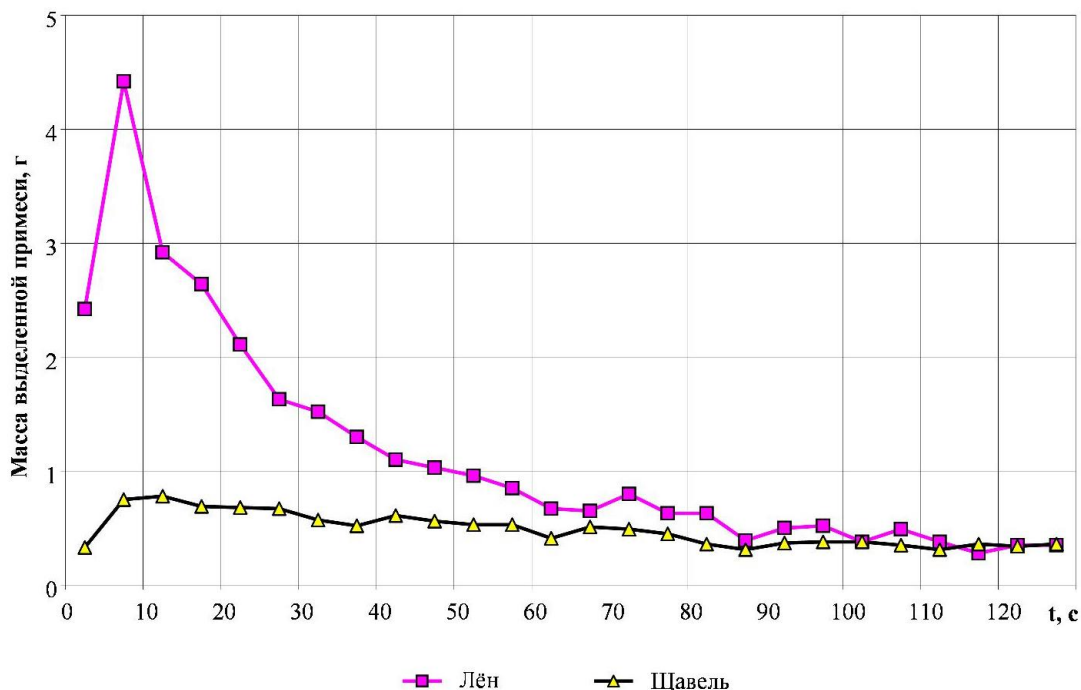


Рисунок 4.72 – Динамика выделения семян льна и щавеля из пшеницы стендом

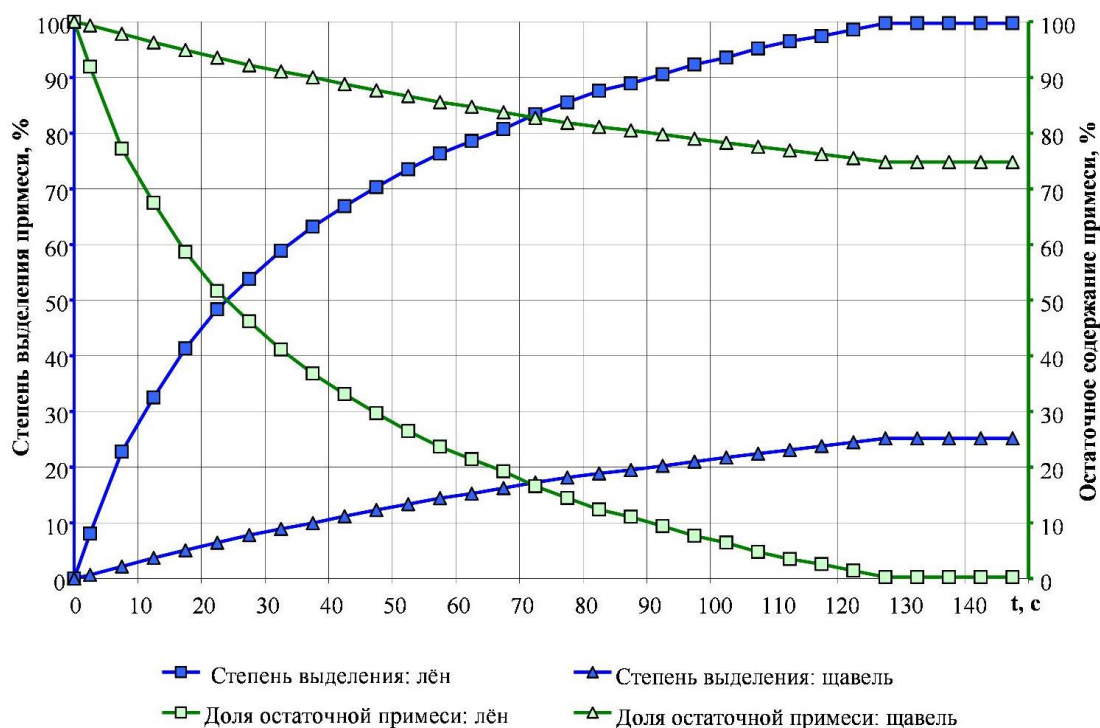


Рисунок 4.73 – Степень выделения и остаточное содержание семян льна и щавеля



Для сравнения процессов выделения примесного компонента, в частности – семян льна, на приборе и стенде необходимо обеспечить условия сопоставимости по циклам выделения. На приборе процесс продолжался 30 интервалов времени, за которое достигнута степень выделения примеси  $C = 97\%$ . На стенде за каждый (равный) интервал времени осуществляется в 1,41 раз меньше циклов выделения примеси ( $50 \text{ об/мин} / 37,5 \text{ об/мин} = 1,41$ ) из-за необходимости обеспечения равенства показателя кинематического режима. Поэтому эквивалентное число интервалов времени выделения примеси на стенде будет  $30 \times 1,41 = 42,3$  цикла. Следовательно, за дополнительные 16,3 интервала ( $42,3 - 26 = 16,3$ ) будет выделено  $0,166 \times 16,3 = 2,7$  г. Суммарно за 42,3 интервала –  $30,93 + 2,7 = 33,63$  г, что соответствует  $C = 84\%$ .

Это значительно ниже результатов процесса выделения примеси за эквивалентное число интервалов времени на приборе – на 13%. Причиной этого является более низкий технический уровень стенда в сравнении с техническим уровнем прибора, имеющего консольное размещение ячеистого цилиндра. Ячеистый цилиндр стенда размещен между опорными и удерживающими роликами, которые расположены с погрешностью относительно оси вращения ячеистого цилиндра. Фрикционный подпружиненный привод оказывает силовое воздействие на ячеистый цилиндр и поочередно выбирает зазоры между ним и роликами. Это приводит к вибрации ячеистого цилиндра. Кроме того, стандартный ячеистый цилиндр не имеет идеальной формы из-за некачественного исполнения стыкового соединения. По этой причине в большей степени изменяется момент привода (см. главу 2), что увеличивает радиальное биение ячеистого цилиндра.

Из-за вибраций ячеистого цилиндра процесс выделения примесного компонента происходит в срывном режиме. При этом уменьшается угол охвата сегмента при равных с прибором скоростных режимах, сокращается вероятность захвата примесных частиц ячеями, увеличивается вероятность «выедания» захваченных примесных частиц контактирующим слоем зерносмеси. В совокупности эти явления снижают интенсивность выделения примесного компонента из основной культуры. Так во 2-ом, самом результативном интервале времени, на стенде вы-

деляется лишь 11% примеси, что в 3 раза меньше, чем на приборе. В последующих циклах убывающая функция интенсивности выделения примесного компонента более полого размещена к координатной оси времени.

Динамика выделения семян щавеля из зерносмеси еще слабее. Максимум выделения примеси смещен в 3-ий интервал времени, в котором выделено лишь 1,95%. В пределах 26-ти интервалов времени интенсивность выделения изменяется в 2,52 раза, а в случае выделения семян льна – в 15,8 раза. Разница многократная – 6 раз. Это объясняется тем, что стационарная сегрегация этих примесных компонентов в пшенице разновекторная – «осаждение» для семян льна, «всплытие» для семян щавеля. За 26 интервалов времени степень выделения семян щавеля составила  $C = 31,5\%$ , что в 2,45 раза ниже, чем степень выделения семян льна из пшеницы за тот же период времени.

После 16-го интервала времени интенсивность выделения щавеля стабилизировалась, поэтому нами, как и в предыдущем случае была произведена доочистка зерносмеси в течение 2-х минут (24 интервала времени). За этот период выделено 6,29 г – в среднем за интервал 0,262. Это больше, чем при доочистке зерносмеси с семенами льна, так как интенсивность выделения семян щавеля из пшеницы на первом этапе протекания процесса многократно ниже. Итоговая степень выделения семян щавеля за 50 интервалов составила 47%.

Доведение степени выделения до сопоставимого с другими примесными компонентами уровня  $C = 98\%$  потребует увеличения продолжительности процесса на  $(98 - 47) / 0,262 = 195$  интервалов. Всего  $50 + 195 = 245$  интервалов. При усредненной скорости осевого смещения зернового сегмента в реальном технологическом процессе  $v = 0,05$  м/с рабочая длина ячеистого цилиндра, обеспечивающего сопоставимую степень выделения примесного компонента (семян щавеля) из пшеницы, будет  $L_p = 245 \times 5 \times 0,05 = 61,25$  м. Это превосходит стандартную рабочую длину ячеистого цилиндра в 27,2 раза.

Крайне низкий уровень выделения семян щавеля из пшеницы объясняется следующими причинами: малая насыпная плотность и высокий угол внутреннего трения не способствуют положительной сегрегации («осаждению») семян щавеля

в слое основной культуры даже в динамическом процессе; наличие у семян «хвостика» снижает вероятность их захвата ячейми; вибрации ячеистого цилиндра повышают вероятность «выедания» частиц из ячеек контактирующим слоем зерносемян и снижают угол охвата сегмента (площадь контакта).

#### 4.4 Результаты и анализ исследований процессов деления потока сыпучих материалов

##### 4.4.1 Результаты и анализ исследований процессов деления жалюзийными делителями

При исследовании процесса разделения потока зерна разработанными делителями в качестве рабочих сред использовались ячмень и пшеница, свойства которых представлены в таблице 4.17.

Таблица 4.17 – Свойства рабочих сред

Показатели	Единица измерения	Величина показателей по средам	
		Ячмень	Пшеница
Натура	кг/м <sup>3</sup>	593	724
Засоренность	%	2,1	5,24
Влажность	%	13,4	13,2
Угол естественного откоса	град.	21,5	25,6

На первом этапе исследований была проведена тарировка регулируемого шиберового загрузочного бункера, результаты которой представлены на рисунке 4.74.

Зависимость подачи  $Q$  материала из выгрузного отверстия загрузочного бункера от площади его открытия ( $S_{ш}$ ) носит линейный характер и описывается уравнениями:

- для ячменя:

$$Q_{я} = - 1,8211 + 0,1412S_{ш}, \zeta = 0,296 \text{ т/ч и } \beta = 0,998 \% \quad (4.30)$$

- для пшеницы:

$$Q_{п} = - 2,3514 + 0,1739S_{ш}, \zeta = 0,331 \text{ т/ч и } \beta = 0,998 \% \quad (4.31)$$

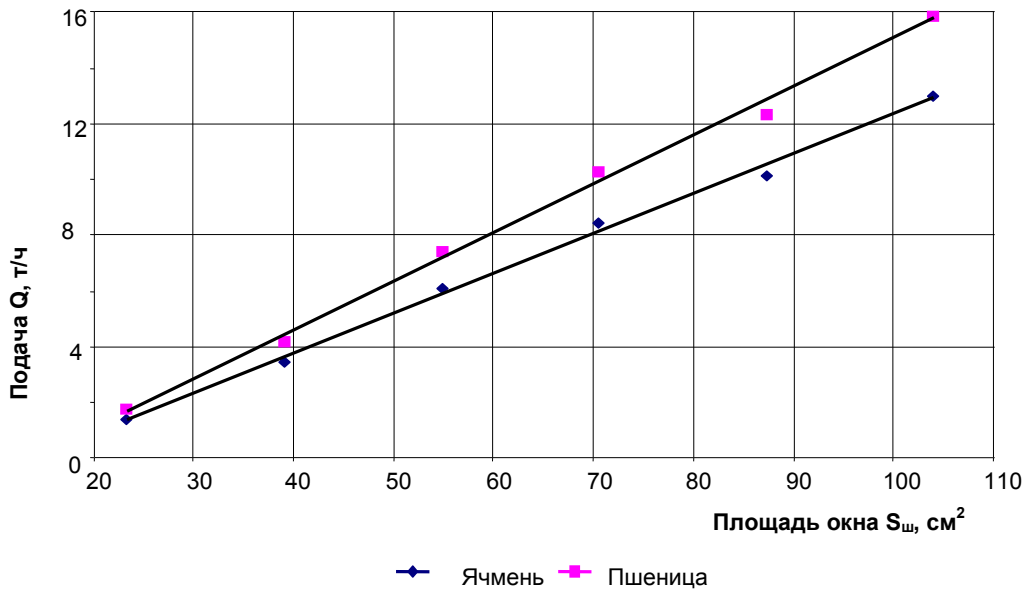


Рисунок 4.74 – Зависимость подачи материала  $Q$  от площади выгрузного отверстия загрузочного бункера

Увеличение отклонения подачи ( $\sigma = 0,296$  т/ч и  $\sigma = 0,331$  т/ч) с ее ростом связан с тем, что длительность опыта по техническим причинам уменьшалась в 4 раза. Полученные зависимости  $Q = f(S_{ш})$  использовались при исследовании новых экспериментальных делителей потока зерна.

Исследования разработанного вертикального жалюзийного делителя [124] проводили при изменении подачи ( $Q$ ) зерна в стабилизирующую емкость и высоты каналов ( $h_k$ ), измеряя расходы зерна через патрубки. Оценку качества процесса разделения потока производили по величине отклонения ( $\Delta$ ) массовых расходов отводимых потоков зерна от средней величины. Общий вид делителя представлен на рисунке 4.75. Результаты исследований представлены на рисунке 4.76.

Из рисунка 4.76, где представлены результаты исследований процесса деления потока ячменя, видно, что в диапазоне  $Q = 2-9$  т/ч отклонения массовых расходов разделенных потоков составляют 0,47-3,5%. Отклонения возрастают с уменьшением подачи. Это объясняется тем, что с уменьшением подачи ( $Q$ ) доля истечения ячменя через заполненные сечения отводящих каналов уменьшается.

К примеру: при  $Q = 9$  т/ч истечение происходит через 6 каналов и погрешность от свободного пересыпания зерна через планку в шестом канале относительно невелика; при  $Q = 6$  т/ч только через три отводящих канала происходит за-

полненное истечение ячменя, а при  $Q = 3,4$  т/ч – через два, что приводит к росту отклонений массовых расходов разделяемых потоков.



Рисунок 4.75 – Общий вид исследуемого делителя потока зерна.

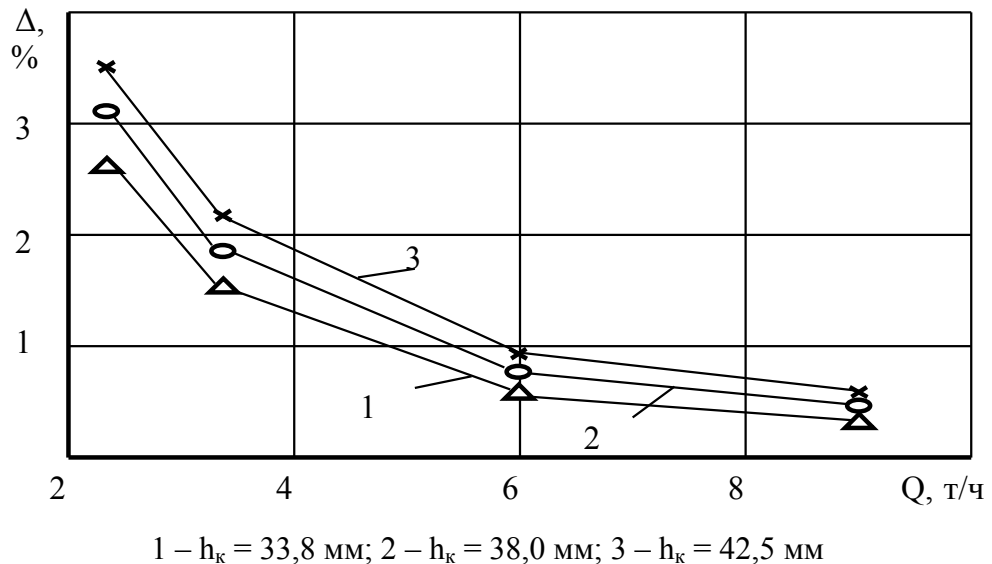


Рисунок 4.76 – Зависимость отклонений ( $\Delta$ ) массовых потоков зерна от подачи ( $Q$ )

Эксперименты подтвердили, что дальнейшее снижение подачи ( $Q$ ) приводит к резкому снижению показателя качества процесса разделения потока ячменя

– при снижении  $Q$  до 1,4 т/ч  $\Delta$  возрастает до 7,2%, хотя величина  $Q < 5$  т/ч выходит за пределы границ эффективной загрузки триерных блоков. Поэтому качество работы нового делителя потока зерна следует считать высоким. Оно сопоставимо с работой делителей с подвижной регулирующей емкостью и пружинной грузовоспринимающей системой, которые в 1,5-1,7 раза имеют большие габариты и в 3 раза большую материалоемкость.

В исследованном диапазоне высот отводящих каналов ( $h_k$ ) величина отклонений ( $\Delta$ ) массовых поток изменяется несущественно. С уменьшением  $h_k$  величина  $\Delta$  снижается, но при значительной засоренности зерна (особенно крупными примесями) возрастают риски забивания отводящих каналов.

Эксперименты, проведенные на пшенице, имеющей большую засоренность (5,24%) показали, что даже при  $Q = 9$  т/ч величина  $\Delta$  возрастает в 2,9 раза и составляет 1,37%, когда  $h_k$  составляла 33,8 мм. Поэтому величина  $h_k$  не должна быть меньше 38 мм.

В результате исследований деления потока ячменя при различных высотах отводящих каналов установлено, что зависимость расхода зерна через боковые отводящие каналы от суммарной площади ( $S_{\text{сум}} = S_{k1} \times n$ ) задействованных окон носит нелинейный характер (рисунки 4.77 – 4.79).

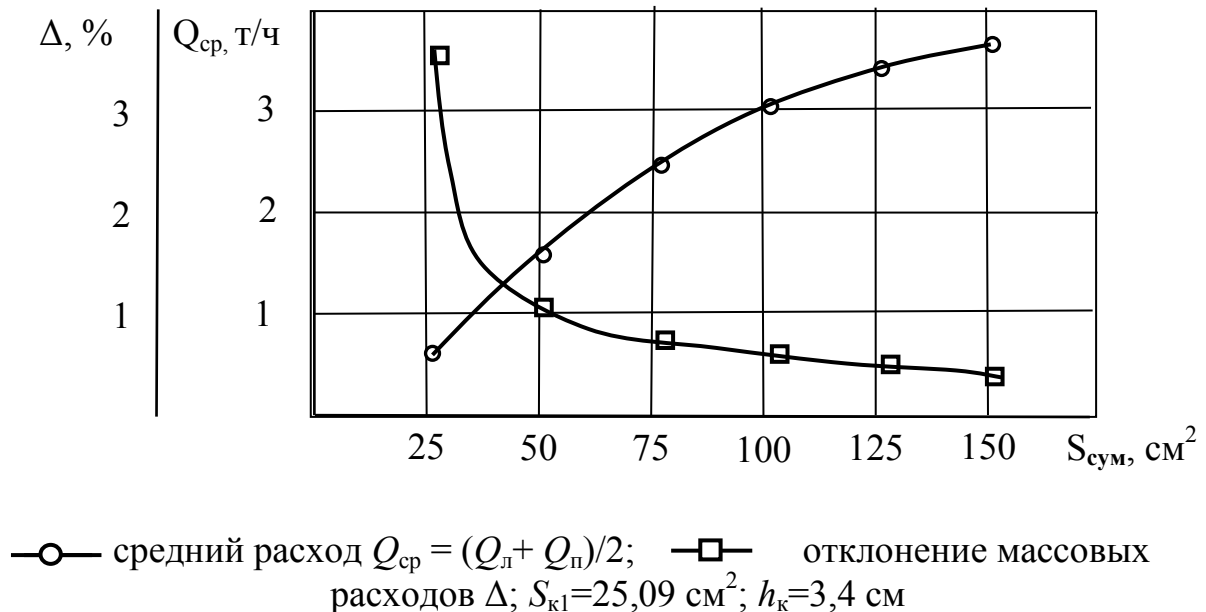


Рисунок 4.77 – Зависимость среднего расхода  $Q_{\text{ср}}$  и отклонения  $\Delta$  от суммарной площади каналов  $S_{\text{сум}}$

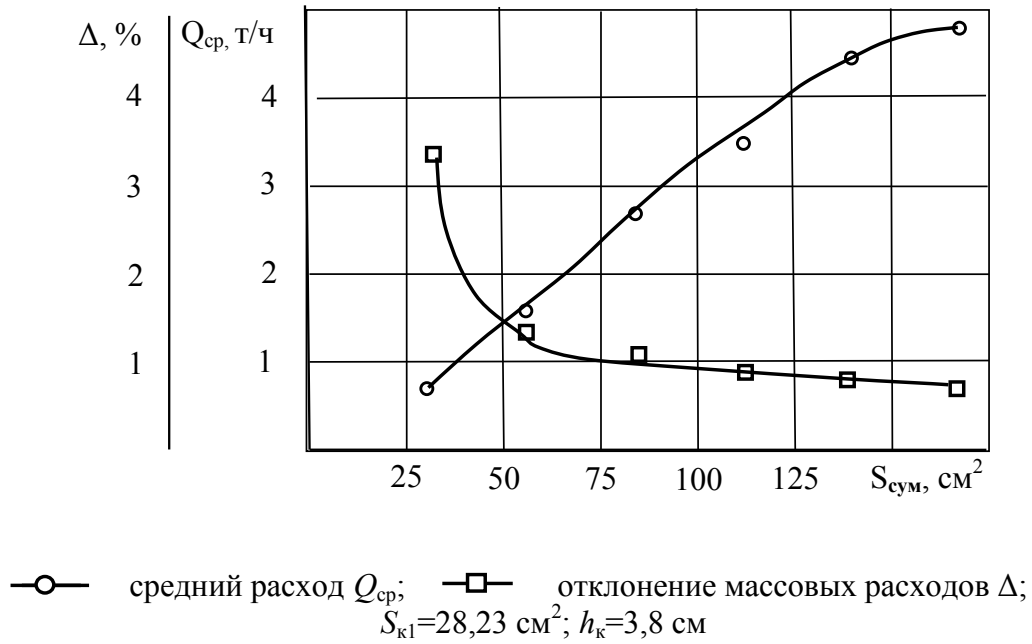


Рисунок 4.78 – Зависимость среднего расхода  $Q_{cp}$  и отклонения  $\Delta$  от суммарной площади каналов  $S_{\text{сум}}$

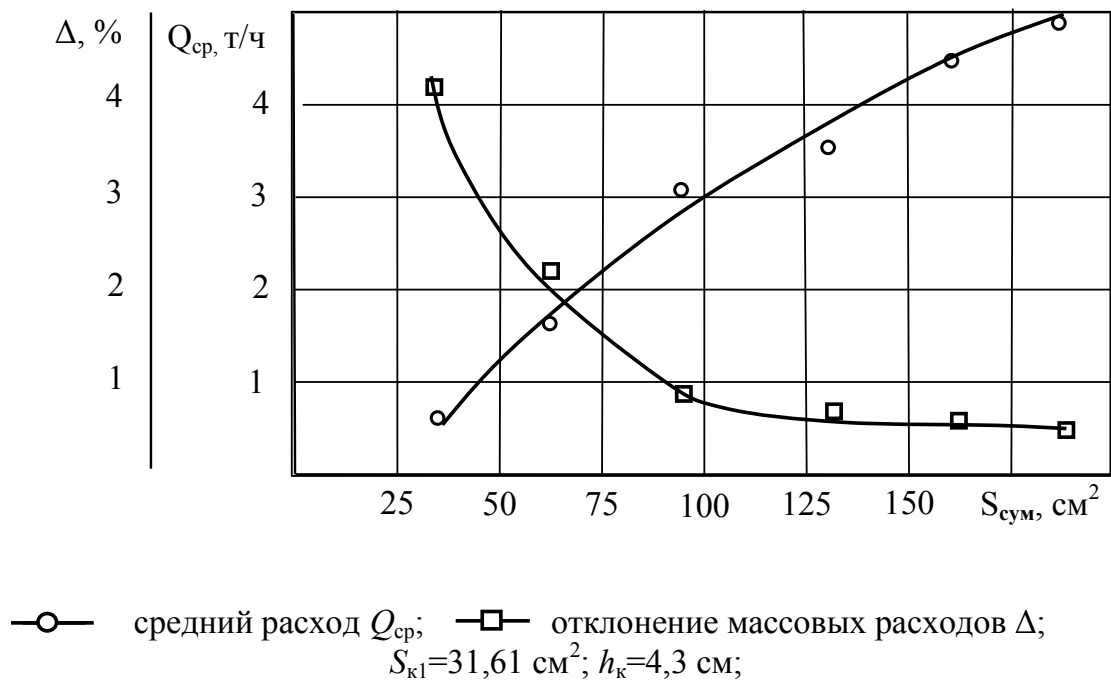


Рисунок 4.79 – Зависимость среднего расхода  $Q_{cp}$  и отклонения  $\Delta$  от суммарной площади каналов  $S_{\text{сум}}$

Это связано с тем, что при увеличении подачи сыпучего материала в емкость делителя увеличивается количество одновременно задействованных отводящих окон. При этом на материал, находящийся в нижних слоях емкости оказывает некоторое давление слой зерна, расположенного над ним. В связи с этим воз-

никает дополнительное сопротивление для истечения зерна через отводящие окна. Расход через них снижается в сравнении с верхними заполненными окнами, чем объясняется некоторое снижение интенсивности увеличения расхода материала при увеличении площади задействованных отводящих окон.

С увеличением подачи сыпучего материала в делитель увеличивается точность разделения потока (снижается отклонение ( $\Delta$ ) массовых расходов через каналы от среднего значения). Причем, чем меньше значение площади одного отводящего окна в экспериментах, тем меньше значение  $\Delta$  при сопоставимых значениях подачи материала. Особенно это заметно при наименьших значениях подачи. Решающее влияние на равномерность деления в этом случае оказывает высота ( $h_k$ ) отводящего окна. Так при значении  $h_k = 34$  мм и среднем расходе через один канал  $Q_{cp} = 1,67$  т/ч, среднее отклонение массовых расходов  $\Delta$  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,  $\Delta = 2,2$  %. Очевидно, что для обеспечения высокого качества разделения потока зерна высота отводящих окон должна быть минимальной, но исключая риски забивания окон крупными примесями.

При подаче разделяемого потока расходом более 3,542 т/ч значение среднего отклонения  $\Delta$  не превышает 2,2 % при любом из исследуемых значений  $h_k$ , что свидетельствует о высоком качестве процесса разделения потока с помощью указанного делителя.

Исследования качества работы вертикальных жалюзийных делителей с отводом разделяемых потоков через боковую стенку подтвердили их применимость в существующих зерноочистительных технологиях. Они более компактны, что позволяет производить модернизацию зерноочистительных агрегатов без изменений относительного положения основного технологического оборудования, без реконструкции каркаса и кровли агрегата.

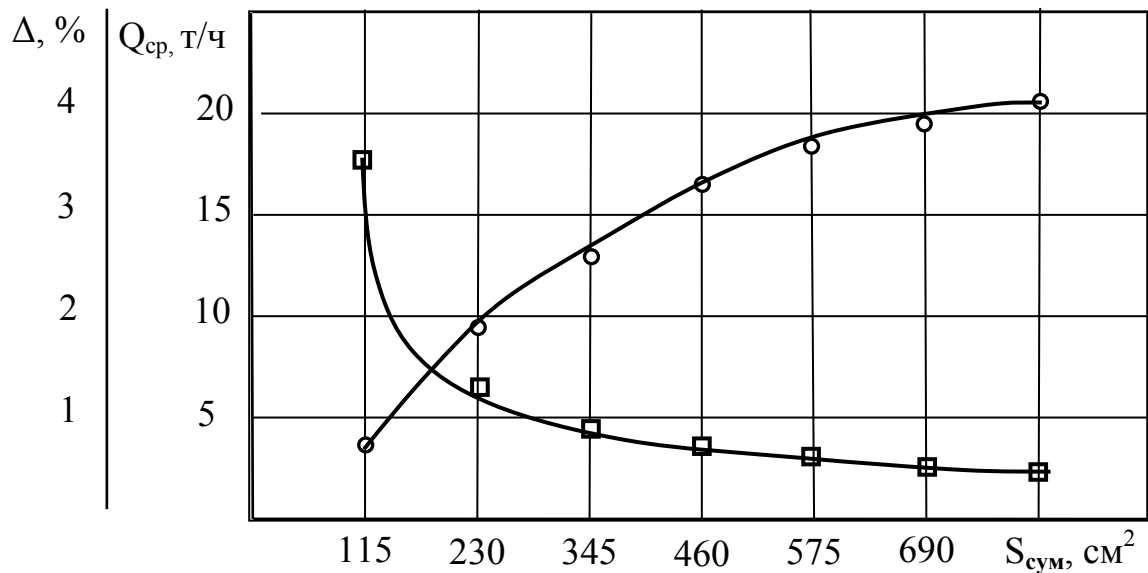
Нами был разработан и изготовлен авторегулируемый делитель потока зерна аналогичной конструкции, позволяющий делить потоки с расходом до 50 т/ч. Общий вид делителя представлен на рисунке 4.80.





Рисунок 4.80 – Общий вид делителя потока, пропускной способностью до 50 т/ч.

Исследования расходных и качественных показателей делителя на ячмене и пшенице подтвердили его высокую эффективность (рисунки 4.81 и 4.82).



—○— - средний расход  $Q_{\text{ср}}$ ; —□— - отклонение массовых расходов  $\Delta$ ;  
 $S_{\text{к1}}=115$ ;  $h_{\text{к}}=5$  см; среда – ячмень

Рисунок 4.81 – Зависимость среднего расхода ячменя  $Q_{\text{ср}}$  и отклонения  $\Delta$  от суммарной площади каналов  $S_{\text{сум}}$

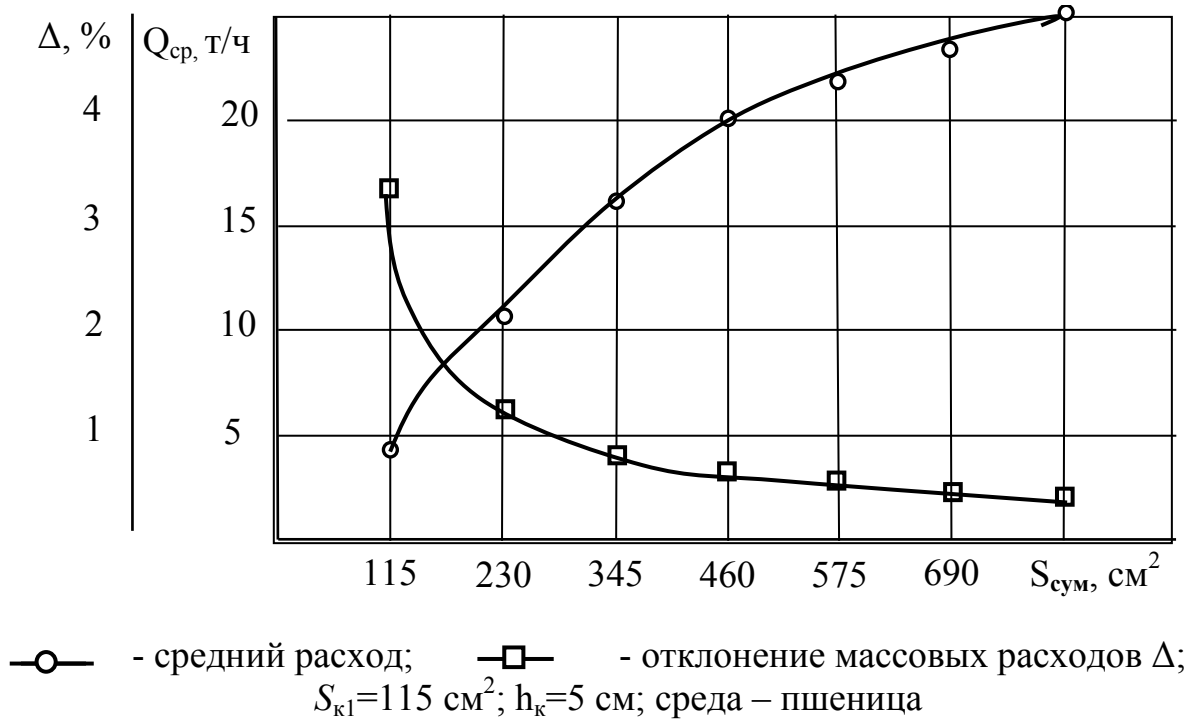


Рисунок 4.82 – Зависимость среднего расхода пшеницы  $Q_{\text{ср}}$  и отклонения  $\Delta$  от суммарной площади каналов  $S_{\text{сум}}$

В диапазоне расхода ячменя 7,66-41,8 т/ч среднее отклонение составляло 0,45-3,62 %. При расходе более 18,4 т/ч  $\Delta$  не превышает 1,31 %.

В диапазоне расхода пшеницы 9,38-51,28 т/ч среднее отклонение составляло 0,38-3,22 %. При расходе более 22,6 т/ч  $\Delta$  не превышает 1,22 %.

Делитель, производительностью 50 т/ч включен ООО «АгроТехХолдинг» (г. Воронеж) в технологические проекты зерноочистительных агрегатов для внедрения в ЦЧР.

#### 4.4.2 Результаты и анализ исследований процессов деления потока зерна делителем с грузовоспринимающей системой и шиберным отводом

Экспериментальные исследования процесса разделения потока зерна проводились с помощью экспериментального авторегулируемого делителя потока зерна с грузовоспринимающей системой и шиберным отводом разделенных потоков [133], общие виды которого представлены на рисунке 4.83.



Рисунок 4.83 – Общие виды экспериментальной установки для исследования процесса разделения потока зерна

Подробное описание экспериментальной установки и порядок проведения эксперимента приведено в п.п. 3.4.2. В качестве исследуемой среды использовалась пшеница влажностью 11,9 %.

Перед началом проведения основной серии экспериментов была выполнена тарировка расхода пшеницы из разгрузочного бункера при различных фиксированных положениях шиберов регулировки подачи материала. Размерные характеристики выгрузного окна для разных положений шиберов представлены в таблице 4.18.

Таблица 4.18 – Размерные характеристики выгрузного окна загрузочного бункера.

Положение шиберов №	Размеры прямоугольного окна		Площадь истечения, $S_{и}$ $м^2$
	Ширина, мм	Длина, мм	
1	2	3	4
1	80	29	$2,32 \times 10^{-3}$
2	80	49	$3,92 \times 10^{-3}$
3	80	68	$5,44 \times 10^{-3}$

Окончание таблицы 4.18.

1	2	3	4
4	80	89	$7,12 \times 10^{-3}$
5	80	108	$8,64 \times 10^{-3}$
6	80	130	$10,4 \times 10^{-3}$
7	80	150	$12 \times 10^{-3}$

Для определения расхода при каждом положении шибера определялась масса навески  $M_n$  зерна выгруженного за соответствующее время  $t_3$ . Результаты измерений приведены в таблице 4.19.

Таблица 4.19 – Тарировка расхода пшеницы из загрузочного бункера.

Положение шибера №	Площадь истечения $S_{и}, м^2$	Время замера $t_{зам}, с$	Масса навески $M_n, кг$	Расход $Q_i$		Средний расход $Q, кг/ч$
				кг/с	кг/ч	
1	$2,32 \times 10^{-3}$	30	17,93	0,598	2151	2120
		30	17,410	0,580	2089	
2	$3,92 \times 10^{-3}$	35	48,82	1,394	5022	5016
		35	48,72	1,392	5011	
3	$5,44 \times 10^{-3}$	20	47,26	2,363	8507	8624
		20	48,56	2,428	8741	
4	$7,12 \times 10^{-3}$	25	83,68	3,347	12050	12071
		20	67,18	3,359	12092	
5	$8,64 \times 10^{-3}$	20	90,56	4,528	16301	16197
		20	89,4	4,470	16092	
6	$10,4 \times 10^{-3}$	17	98,14	5,773	20783	20698
		17	97,34	5,726	20613	

Графически зависимость расхода пшеницы от площади выгрузного окна загрузочного бункера представлена на рисунке 4.84.

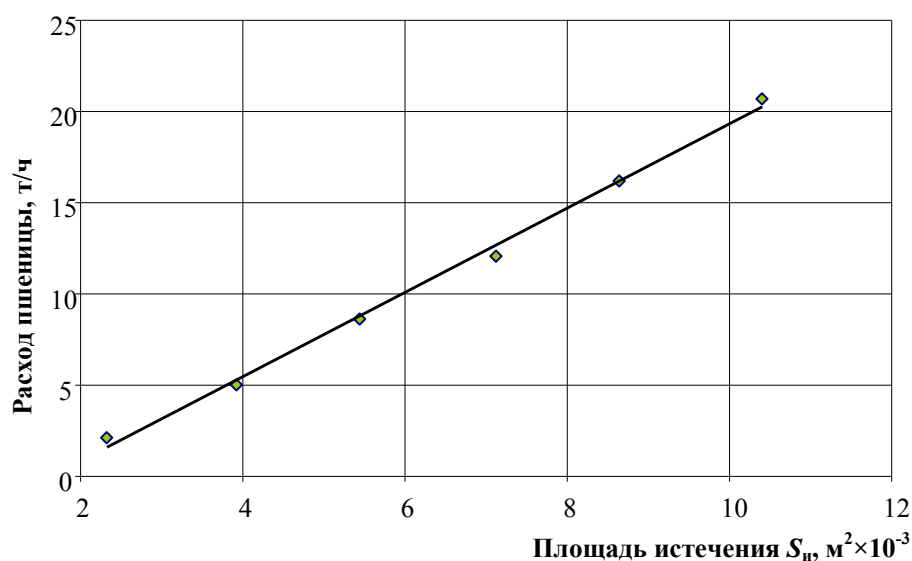


Рисунок 4.84 – Зависимость расхода пшеницы из загрузочного бункера от площади истечения

Результаты исследований качества деления потока зерна представлены на рисунке 4.85.

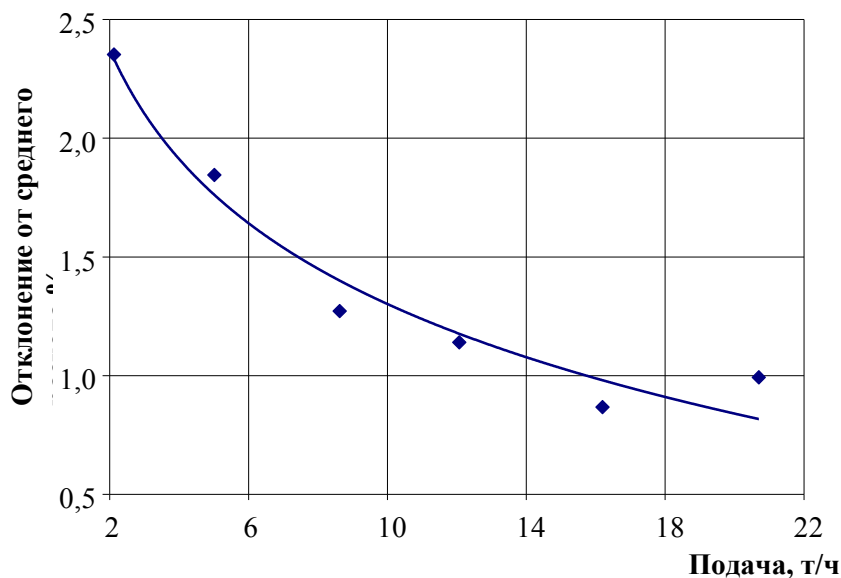


Рисунок 4.85 – Результаты исследований качества процесса разделения потока зерна

Из рисунка 4.85 видно, что в диапазоне суммарного расхода пшеницы от 2,12 до 20,7 т/ч качество разделения высокое. Отклонение от среднего расхода находится в пределах 0,87-2,35%. Причем для условий, когда подача зерна находится 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%. Это свидетельствует о высоком качестве работы нового делителя потока зерна и о возможности его включения в состав технологий.

Одной из задач разработки делителя с грузовоспринимающей системой и шиберным отводом является исключение недостатка делителей жалюзийного типа, связанного с низким качеством деления потока при его ассиметричной подаче в стабилизирующую емкость. Была проведена серия опытов при смещении падающего потока зерна относительно центра емкости на 55 мм. Величина этого смещения составляет около половины ширины одного из отводов, поэтому практически все сечение падающего потока находится в проекции одного отвода, рисунок 4.86 б.



а)



б)

Рисунок 4.86 – Варианты подачи зерна в стабилизирующую емкость делителя

Результаты исследования качественных характеристик делителя с шиберным отводом с центральной подачей материала (рисунок 4.86а) и с учетом смещения падающего потока (рисунок 4.86б) относительно центра стабилизирующей емкости представлены на рисунке 4.87.

Из рисунка 4.87 видно, что в диапазоне суммарного расхода зерна от 2,12 до 8,62 т/ч величина отклонения  $\Delta$  от среднего расхода при смещенном потоке несколько выше. Однако, даже при минимальной подаче зерна – 2,12 т/ч величина  $\Delta$  составляет 4,2 %, что допустимо. В диапазоне реальной производительности триерных блоков в составе зерноочистительных агрегатов – 10-20 т/ч явного влияния фактора смещения падающего потока не наблюдается. Величина отклонения от среднего расхода при этом не превышает 1,5%.

Кроме того нами была проведена сравнительная серия опытов по разделению смещенного на 55 мм потока зерна при свободной его выгрузке через боковую стенку неподвижной стабилизирующей емкости.

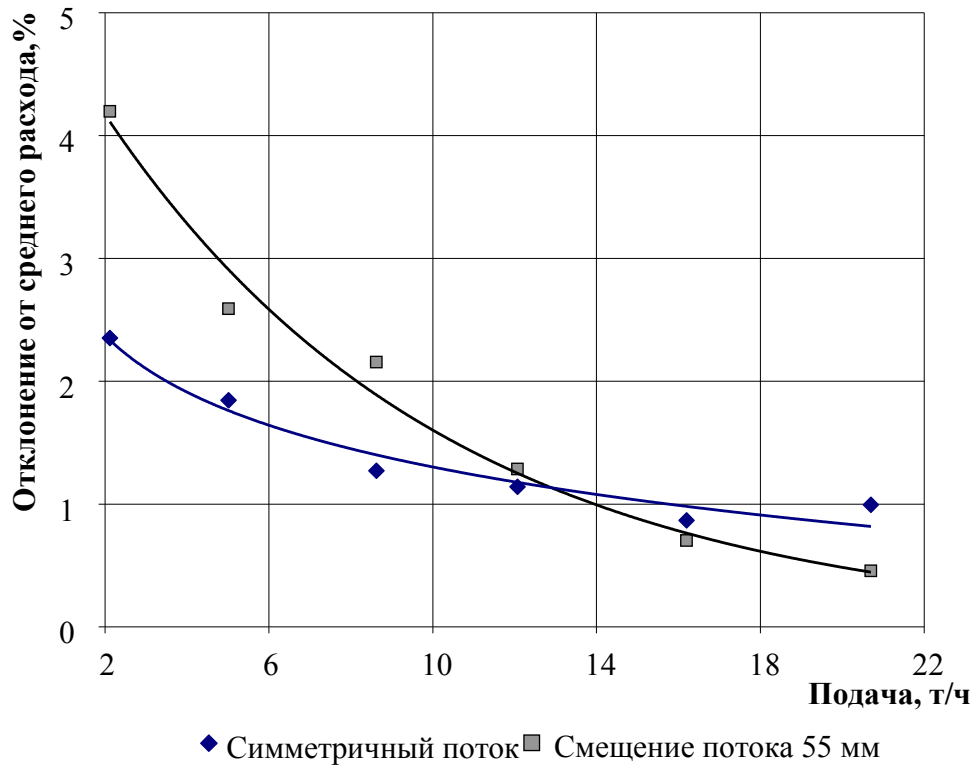


Рисунок 4.87 – Влияние смещения потока относительно центра емкости на качество процесса деления

Разделение потока на выходе зерна из емкости проводилось с помощью горизонтальной разделительной планки. При подаче зерна  $W = 2,12$  т/ч величина отклонения  $\Delta$  от среднего расхода составила 48,1 %; при подаче  $W = 5,02$  т/ч –  $\Delta = 29,55$  %; при  $W = 8,62$  т/ч –  $\Delta = 22,67$  %; при  $W = 12,07$  т/ч –  $\Delta = 14,3$  %; при  $W = 16,19$  т/ч –  $\Delta = 8,2$  %. Таким образом можно утверждать, что делитель потока зерна с шиберным отводом не имеет чувствительности к асимметрии падающего потока, что является существенным преимуществом для применения делителя в составе многоканальных зерноочистительных технологий.

#### 4.4.3 Параметры авторегулируемых делителей потока зерна с грузовоспринимающей системой

Параметры делителей потока зерна представлены в таблице 4.20. По расходным характеристикам они охватывают весь диапазон производительности применяемых в России отечественных и зарубежных технологий. В диапазоне 2-120 т/ч отклонения отводимых расходов составляет 0,5-2,5%, что соответствует

требованиям к качеству процесса. При двухпоточной триерной очистке зерна в технологиях ОАО «Воронежсельмаш» используются два вертикальных делителя в одном блоке, объединенном рамой, с расходными характеристиками до 10 т/ч каждый, что соответствует номинальной загрузке триерных блоков при очистке семенного зерна. При использовании технологии института «Новосибирскзернопроект» с 3-мя триерными приставками ПТ-600 используются 3 двухканальных делителя с расходной характеристикой до 10 т/ч каждый или один шестиканальный делитель с расходной характеристикой 20-30 т/ч.

Загрузка зерноочистительных машин типа СВУ и СВТ обеспечивается вертикальным делителем с расходной характеристикой до 120 т/ч. Аналогичный делитель используется в импортных технологиях фирм «Perry» и «Fortschritt». Дополнительно он оборудуется трехпозиционным управлением отводимых потоков в зависимости от загрузки технологических комплексов в целом.

Делители с шиберным отводом зерна проще по конструкции и обладают меньшими вертикальными габаритами, они являются универсальными. Делитель с высотой регулирующей емкости - 0,6 м, шириной шибера – 0,24 м, обеспечивает расходную характеристику до 20 т/ч и перекрывает потребности отечественных триерных технологий по расходным характеристикам.

Универсальный делитель с изменяемым соотношением отводимых потоков зерна может использоваться в специфичных условиях, когда требуется снизить загрузку одного из зерноочистительных каналов из условия обеспечения качества процесса. Возможность изменения соотношений потоков зерна является дополнительным средством управления качеством технологических процессов в зерноочистительных технологиях.

Параметры делителей, представленные в таблице 4.20, являются достаточной информационной базой для выбора средств управления массовыми потоками зерна и исходной базой для проектирования более совершенных вариантов.



Таблица 4.20 – Параметры авторегулируемых делителей потока зерна с грузовоспринимающей системой

№ п/п	Наименование параметров	Размерность	Назначение					
			Для триерных блоков ЗАВ-20 и ЗАВ-40	Для триерных приставок ПТ-600	Для решетчатых сепараторов типа СВУ и СВТ	Универсальный	Универсальный*	Для технологий фирм Perri и Fortschritt
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Тип	—	вертикальный	наклонный с рассекателем и отбрасывателем	наклонный с рассекателем и отбрасывателем	с шиберным отводом (вертикальный)	с изменяемым соотношением отводимых потоков	вертикальный
2	Число каналов (соотношение расходов)	шт	2 (1/1)	3; 6 (1/1)	2; 4 (1/1)	2 (1/1)	2 (1/1-1/2,5)	2 (1/1)
3	Габариты по днищу	м	0,2×0,4	0,4×0,85	0,4×0,85	0,35×0,35 (0,6×0,6)	0,2×0,35	0,5×0,85
4	Высота регулирующей емкости	м	0,7	0,7	0,7	0,6 (0,8)	0,6	0,5-0,8
5	Внутренний диаметр отводов	мм	94	150	150; 310	—	—	310
6	Диаметр клапанов	мм	76-84	128-130	128-130 288-290	—	—	288-290
7	Расстояние между осями отводов	мм	200	132; 204	195; 420	—	—	450
8	Суммарная жесткость возвратных пружин	Н/м	6000-8000	5000-7000	5000-7000	6000 (12000)	6000	16000
9	Диаметр вала клапанов	мм	21	33	33	—	33	33
10	Длина рычага	мм	70	70	70	—	—	100
11	Максимальный угол поворота рычага	град	90	90	90	—	39	90
12	Вариативность управления	число позиций	однопозиционный	однопозиционный	однопозиционный	однопозиционный	многопозиционный	трехпозиционный
13	Ширина шибера	мм	—	—	—	240-500	Ширина лотка 194	—
14	Подъем шибера	мм	—	—	—	0-85 (0-120)	—	—
15	Пропускная способность	т/ч	0-10	0-21	0-120	0-20 (0-60)	0-60	0-120

\* – параметры расчетные

#### 4.5 Выводы по главе

1. Экспериментальными исследованиями параметров циркулирующего внутри ячеистого цилиндра сегмента установлено, что при увеличении скорости вращения ячеистого цилиндра в диапазоне 30-45 об/мин угол охвата сегмента увеличивается на 11,6-12,2%. Больше увеличение в относительном измерении характерно для максимальной загрузки ячеистого цилиндра зерносмесью. Угол подъема верхней границы сегмента при этом составляет 108-121°. Число циркулирующих слоев в сегменте изменяется от 11,38 до 19,1 шт. Оно возрастает со снижением скорости вращения ячеистого цилиндра и увеличением его загрузки зерносмесью.

Для овсюжного цилиндра диаметром  $D = 600$  мм, длиной  $L = 0,35$  м при скорости вращения цилиндра  $n = 30-35$  об/мин минимальная масса зерна в цилиндре должна составлять  $m_{\min} = 250$  г, что соответствует удельной загрузке ячеистой поверхности 0,71 кг/м; при скорости вращения  $n = 40-45$  об/мин –  $m_{\min} = 300$  г или 0,86 кг/м.

2. Экспериментальными исследованиями процессов выделения основной культуры овсюжным триером установлено, что идентифицированная производительность в 1,17 т/ч стандартного ячеистого цилиндра обеспечивается при до  $n = 30$  об/мин и углах  $\gamma_n = 20-35^\circ$ . При этом его рабочая длина (2,2 м) используется на 64-100%. При  $\gamma_n = 40^\circ$  появляются потери сходом – 6%. Увеличение скорости до 45 об/мин сокращает время разгрузки ячеистого цилиндра в 3,3 раза. Рост загрузки до 13 кг при указанном скоростном режиме не обеспечивает существенного увеличения расходных характеристик из-за эффекта «выедания» зерновок из ячей контактирующим слоем, но увеличивает потери сходом до 77,7% при  $\gamma_n = 40^\circ$ .

3. Рост интенсивности «выедания» зерновок из ячей прекращается, когда циркулирующая масса зерносмеси в стенде составляет 3-4 кг – это 5-6 циркулирующих слоев. Увеличение скорости до 35 об/мин позволяет уравновесить эффект «выедания» приростом инерционного удержания зерновок в ячеях. При  $n =$

40 об/мин инерционный эффект начинает преобладать.

4. С изменением скоростного режима в диапазоне  $n = 30-45$  об/мин степень заполнения ячей зерновками изменяется в 5,7-38 раз. Она возрастает с увеличением скорости, при  $m_n = 7$  кг и  $n = 45$  об/мин достигает 1,93 шт./ячею. Увеличение загрузки сопровождается ростом показателя заполнения до 3,1 шт./ячею. По мере разгрузки цилиндра вероятность попадания зерновок в ячею резко падает и составляет десятые доли процента, что усложняет решение задач управления процессом.

5. Регулировка расходных характеристик углом  $\gamma_n$  обеспечивает их исключительно высокую воспроизводимость. Коэффициент вариации выделенных масс за равные промежутки времени не превышает 1-го процента. Изменение радиального зазора между верхней кромкой передней стенки выводного лотка и ячеистым цилиндром в диапазоне  $Z_p = 10-28$  мм не обеспечивает существенного изменения расходных характеристик – 7-7,5%.

6. В результате экспериментальных исследований процесса триерной очистки пшеницы от овсюга установлена закономерность содержания длинных примесей в выделенных навесках очищенного зерна от числа слоев в циркулирующем сегменте. При высоте сегмента, содержащем более 2,3-4,4 слоев величина интервальной засоренности минимальна и находится на одном уровне. В переходном интервале и далее, когда процесс протекает в условиях отсутствия полноценного многослойного циркулирующего сегмента, интервальная засоренность увеличивается многократно, что приводит к неуклонному росту остаточной засоренности общей массы выделенного зерна.

7. При увеличении исходной засоренности зерносмеси от 1% до 2% количество захваченных примесных частиц овсюжным цилиндром при наличии полноценного циркулирующего сегмента выросло в 4 раза. При увеличении засоренности до 3% их число возросло еще на 26%. Остаточная засоренность выросла в 2,33 раза при увеличении исходной засоренности от 1% до 2% и еще в 1,64 раза при увеличении исходной засоренности до 3%. При увеличении продолжительности

процесса стендовой очистки зерна от длинных примесей остаточная засоренность очищенного зерна возрастает, а расчетные потери полноценного зерна в отходы снижается.

8. Оптимальные режимы работы и параметры прибора определялись по следующим критериям: степень выделения примесного компонента  $C \rightarrow \max$ ; время процесса  $t \rightarrow \min$ ; масса зерновок основной культуры в выделенной примеси  $m_3 \rightarrow \min$ . Эти критерии однозначно коррелированы между собой, что избавляет от необходимости выработки решений на компромиссной основе. В результате получены оптимальные значения скорости цилиндра  $n = 50$  об/мин, угла подъема кромки передней стенки лотка  $\gamma_n = 40^\circ$  и зазора между ней и цилиндром  $z_p = 8$  мм.

9. Экспериментальными исследованиями процесса выделения коротких примесей ячеистыми поверхностями установлено, что легковыделяемые примесные частицы не могут лимитировать остаточную засоренность зерносмеси и продолжительность выделения. Степень их выделения на уровне 99,5-100% обеспечивается за 14-22 цикла, что эквивалентно использованию 30-58% рабочей длины стандартного кукольного цилиндра, при исходной засоренности зерносмеси 1-5%. Они сильно подвержены динамической сегрегации – после стабилизации процесса интенсивность выделения примесей возрастает в 7,6-11,7 раза. Она (интенсивность) зависит от потенциала сегрегации – массового содержания примеси в зерносмеси, что не учитывает классическая теория триеров.

10. К трудновыделяемым примесным компонентам относятся семена сорняков (тысячелистника, щавеля конского, борщевика) и частицы стеблей. Степень выделения этих примесей за 150 с, что эквивалентно очистке зерносмеси ячеистой поверхностью длиной 7,5 м, составляет 62,9-98%. Обеспечение  $C = 98\%$  потребует увеличения рабочей длины стандартного ячеистого цилиндра в 3,3-8 раз. Неизбежные потери зерновок основной культуры составляют 1-1,9%, они обусловлены вероятностным их захватом и инерционным «удержанием» в ячейках кукольного цилиндра до выброса в лоток.

## 5 ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ И РАЗРАБОТОК

Оценка экономической эффективности мероприятий по модернизации зерноочистительного агрегата проводилась на основе разработанного нами вариантного метода оценки эффективности использования технологий подработки зерна [160] (приложение Б) и ранее разработанных в ФГБНУ ВНИИТиН и одобренных ученым советом ВНИИТиН и отделением Механизации и электрификации РАСХН аналогичных методик оценки эффективности технологий [169, 161, 170]. Они основаны на сопоставлении часовых эксплуатационных затрат и результирующего технологического эффекта, который складывается из положительного и отрицательного технологических эффектов и, в отличие от общепринятых методик [50, 54], позволяют учитывать качество технологических процессов.

Рассмотрим вариант модернизации, когда в существующий зерноочистительный агрегат с наиболее распространенным в Тамбовской области составом технологического оборудования (металлоконструкция здания ЗАВ-40, загрузочная нория НПК-50, две воздушно-решетные зерноочистительные машины МЗС-25М, перевалочная нория НПК-50) дополнительно устанавливается два триерных блока ПТ-600 и три авторегулируемых делителя потока зерна жалюзийного типа. Один из делителей устанавливается после промежуточной нории для обеспечения равенства потоков, подаваемых на два триерных блока. Еще два делителя устанавливаются над каждым триерным блоком для обеспечения равенства потоков зерна, подаваемых на параллельно работающие пары ячеистых цилиндров триерного блока. Стоимость каждого делителя с учетом монтажных работ, составляет 75 тыс. руб.

Еще один авторегулируемый делитель установим после загрузочной нории для обеспечения равенства зерновых потоков, подаваемых на воздушно-решетные

машины МЗС-25М, за счет чего можно повысить их суммарную производительность на 5-7%.

После указанной модернизации зерноочистительного агрегата сельхозпредприятие может отказаться от покупки дорогостоящих семян зерновых культур (пшеницы) и получать качественный посевной материал в условиях хозяйства.

Исходные данные для расчета приведены в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Исходные данные для расчета часовых эксплуатационных затрат

Показатель	Условное обозначение	Единица измерения	Величина показателя	
			Базовый	Модернизиров.
Стоимость ЗАВ с учетом строительно-монтажных работ	$C_3$	руб.	7469000	8487000
Доля (по стоимости) приходящаяся на основное оборудование	$d_o$	%	0,48	0,54
Доля (по стоимости) приходящаяся на металлоконструкцию	$d_m$	%	0,45	0,40
Доля (по стоимости) приходящаяся на строительную часть	$d_c$	%	0,07	0,06
Амортизационный срок основного оборудования	$T_{AO}$	лет	8	8
Амортизационный срок металлоконструкции	$T_{AM}$	лет	25	25
Амортизационный срок строительной части	$T_{AC}$	лет	50	50
Годовая наработка	$H_T$	час	81,5	71,1 + 17,2
Производительность агрегата: - при очистке зерна на продовольственные цели	$W_1$	т/ч	40	42
- при очистке на семена	$W_2$	т/ч	–	16
Установленная мощность электродвигателей	$N_{дв}$	кВт	19	23,4
Тариф на электроэнергию	$T_{Э}$	руб/кВтч	9,5	9,5
Численность операторов	$n_{оп}$	чел	2	2
Часовая оплата труда операторов	$Z_{оч}$	руб/ч	200	210/240
Норматив затрат на ТО и ремонт оборудования по ГОСТ 34393-2018 [50]	$Z_{тор}$	% от цены на 100 ч работы	1,5	1,5
Календарная загрузка за сезон	$D$	дни	4	5
Коэффициент суточной загрузки по времени	$K_c$	–	0,85	0,85
Дополнительные капитальные вложения	$K_{доп}$	руб	–	1018000

Для расчетов примем среднюю площадь посевов зерновых культур 1000 га при урожайности 32,6 ц/га (средняя урожайность пшеницы по Тамбовской обл. в 2019 году). Валовой сбор при этом составит 3260 тонн зерна. Тогда годовая наработка по основному времени зерноочистительного агрегата в базовом варианте, когда все зерно подрабатывается на продовольственные цели, составит:  $H_q^b = 3260:40 = 81,5$  часа.

После модернизации ЗАВ часть зерна готовится на семена для нужд хозяйства. При норме высева семян 0,22 т/га потребуется  $M_c = 0,22 \times 1000 = 220$  тонн семян. С учетом потерь массы зерна при очистке на семена на уровне 20% для получения необходимого количества семенного материала потребуется  $220:0,8 = 275$  тонн зерна. Тогда годовая наработка зерноочистительного агрегата в модернизированном варианте будет складываться из наработки при очистке на продовольственные цели  $H_{Г(n)}$  и наработки при подготовке семян  $H_{Г(c)}$ :

$$H_{Г(n)} = \frac{3260 - 275}{42} = 71,1 \text{ час.}$$

$$H_{Г(c)} = \frac{275}{16} = 17,2 \text{ час.}$$

Суммарная годовая наработка составит:

$$H_{Г} = H_{Г(n)} + H_{Г(c)} = 71,1 + 17,2 = 88,3 \text{ часа.} \quad (5.1)$$

Календарная загрузка зерноочистительного агрегата по базовому варианту составит:

$$D = \frac{H_{Г}}{24 \cdot K_c} = \frac{81,5}{24 \cdot 0,85} = 4 \text{ дня.} \quad (5.2)$$

По варианту с модернизацией технологии подработки:

$$D = \frac{H_{Г(n)} + H_{Г(c)}}{24 \cdot K_c} = \frac{71,1 + 17,2}{24 \cdot 0,85} = 4,33 \approx 5 \text{ дней.} \quad (5.3)$$

Часовые затраты на эксплуатацию зерноочистительного агрегата определяются по формуле:

$$Z_{чэ} = Z_{от} + Z_{э} + Z_{тор} + Z_{А}, \quad (5.4)$$

где  $Z_{от}$  - часовые затраты на оплату труда по основному времени, руб/ч;

$Z_э$  - затраты на электроэнергию, руб/ч;

$Z_{тор}$  - затраты на ремонт и техническое обслуживание основного технологического оборудования, руб/ч;

$Z_A$  - амортизационные отчисления, руб/ч.

Часовые затраты на оплату труда оператора ЗАВ (из условий оплаты 5 руб/т при подработке продовольственного зерна и 15 руб/т при подработке семян) определяются по формуле:

$$Z_{от} = n_{он} \cdot Z_{оч}. \quad (5.5)$$

Для базового варианта:

$$Z_{от} = 1 \cdot 200 = 200 \text{ руб / ч.}$$

Для нового варианта при подработке зерна на продовольственные цели:

$$Z_{от(n)} = 1 \cdot 210 = 210 \text{ руб / ч,}$$

При подготовке семян:

$$Z_{от(c)} = 1 \cdot 240 = 240 \text{ руб / ч.}$$

Затраты на электроэнергию:

$$Z_э = N_{дэ} \cdot T_э \quad (5.6)$$

Для базового варианта:

$$Z_э = 19 \cdot 9,5 = 180,5 \text{ руб / ч.}$$

При подборке продовольственного зерна в модернизированном варианте:

$$Z_{э(n)} = 19 \cdot 9,5 = 180,5 \text{ руб / ч.}$$

При очистке семенного зерна:

$$Z_{э(c)} = 23,4 \cdot 9,5 = 222,3 \text{ руб / ч.}$$

Затраты на ремонт и техническое обслуживание оборудования определим по формуле:

$$Z_{тор} = C_3 d_o K_p \cdot 10^{-4}, \quad (5.7)$$



где  $C_3$  - стоимость зерноочистительного агрегата с учетом строительно-монтажных работ, руб. (по таблице 5.1);

$d_o$  - стоимостная доля, приходящаяся на основное оборудование (по таблице 5.1);

$K_p$  - норматив отчислений на ТО и ремонт от цены на 100 часов работы (для зерноочистительных агрегатов и машин  $K_p = 1,5\%$ )[50];

Для базового варианта часовые затраты на ремонт и ТО будут:

$$Z_{\text{тор}} = 7469000 \cdot 0,48 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4} = 537,8 \text{ руб / ч.}$$

Для нового варианта:

$$Z_{\text{тор(с)}} = Z_{\text{тор(н)}} = 8487000 \cdot 0,54 \cdot 1,5 \cdot 10^{-4} = 687,5 \text{ руб / ч.}$$

С учетом разницы амортизационных сроков составных частей зерноочистительного агрегата затраты на амортизацию определим по формуле:

$$Z_A = C_3 \left( \frac{d_o}{R_o} + \frac{d_m}{R_m} + \frac{d_c}{R_c} \right), \quad (5.8)$$

где  $R_o$  - амортизационный ресурс основного технологического оборудования, ч (для зерноочистительных машин  $R_o = 3600$  ч [170]);

$R_m$  - амортизационный ресурс металлоконструкций ЗАВ, ч;

$R_c$  - амортизационный ресурс строительной части ЗАВ, ч.

С учетом разницы амортизационных сроков (таблица 5.1) найдем амортизационный ресурс металлоконструкций и строительной части ЗАВ в часах основного времени работы агрегата:

$$R_m = R_o \cdot T_{Am} / T_{Ao} = 3600 \frac{25}{8} = 11250 \text{ ч.} \quad (5.9)$$

$$R_c = R_o \cdot \frac{T_{Ac}}{T_{Ao}} = 3600 \frac{50}{8} = 22500 \text{ ч.} \quad (5.10)$$

Тогда формула (5.8) примет вид:

$$Z_A = C_3 \left( \frac{d_o}{3600} + \frac{d_m}{11250} + \frac{d_c}{22500} \right). \quad (5.11)$$

Для базового варианта:

$$Z_A = 7469000 \left( \frac{0,48}{3600} + \frac{0,45}{11250} + \frac{0,07}{22500} \right) = 1317,9 \text{ руб / ч.}$$

Для нового варианта:

$$Z_A = 8487000 \left( \frac{0,54}{3600} + \frac{0,40}{11250} + \frac{0,06}{22500} \right) = 1597,4 \text{ руб / ч.}$$

Часовые эксплуатационные затраты для базового варианта подработки зерна будут:

$$Z_{чв} = 200 + 180,5 + 537,8 + 1317,9 = 2236,2 \text{ руб / ч.}$$

Часовые эксплуатационные затраты при очистке зерна на продовольственные нужды по новому варианту:

$$Z_{чэ(н)} = 210 + 180,5 + 687,5 + 1597,4 = 2675,4 \text{ руб / ч.}$$

Часовые эксплуатационные затраты при подготовке посевного материала по новому варианту:

$$Z_{чэ(с)} = 240 + 222,3 + 687,5 + 1597,4 = 2747,2 \text{ руб / ч.}$$

Оценку экономической эффективности предлагаемых мероприятий по модернизации зерноочистительного агрегата проведем путем соизмерения часовых эксплуатационных затрат и результирующего технологического эффекта.

Результирующий технологический эффект:

$$\mathcal{E}_T = \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_{T(+)} - \sum_i^k \mathcal{E}_{T(-)}, \quad (5.12)$$

где  $\mathcal{E}_{T(+)}$  - положительный технологический эффект, руб/ч;

$\mathcal{E}_{T(-)}$  - отрицательный технологический эффект, руб/ч;

$n, k$  – число положительных и отрицательных эффектов соответственно.

Исходные данные для расчета технологических эффектов.

Цена зерна пшеницы (по состоянию на 21.07.2020 г.): 5 класс – 11500 руб/т; 4 класс – 12400 руб/т; 3 класс -13500 руб/т; неклассное зерно – 10000 руб/т; фураж – 7500 руб/т. Семена озимой пшеницы категории ЭС – 21000 руб/т. Исходная засоренность зернового вороха  $Z_{исх} = 7,5\%$ , остаточная засоренность очищенного

зерна после первичной очистки (МЗС-25М) -  $z_{ocm} = 2,08\%$  (принято по результатам наших исследований эффективности использования зерноочистительных машин 2011 г.,  $z_{ocm}$  после триерной очистки 0,5%, содержание зерновой примеси 3%. Снижение влажности при пропуске через ЗАВ – 3%. Потери зерна основной культуры: при первичной очистке – 1,55% (по агротребованиям [141, 223], потери после триерной очистки – 6% (5% в фураж, 1% в отходы).

Положительный технологический эффект от получения собственных семян взамен покупных будет складываться из разницы рыночной цены и затрат на производство собственных семян:

$$\mathcal{E}_{T(+)_1} = \frac{(C_c - C_c) \cdot M_c}{H_{z(c)}}, \quad (5.13)$$

где  $C_c$  - рыночная цена семян, руб/т;

$C_c$  - затраты производства собственных семян, руб/т;

$M_c$  - масса семян, т;

$H_{z(c)}$  - годовая наработка зерноочистительного агрегата при подработке семенного материала, ч.

Затраты на производство семян можно определить по формуле:

$$C_c = C_n + z_{чэ(c)} / W_{(c)} = 10000 + \frac{2747,2}{16} = 10172 \text{ руб / т} \quad (5.14)$$

где  $C_n$  - цена неочищенного зерна (некласного), руб/т;

$z_{чэ(c)}$  - часовые эксплуатационные затраты при очистке зерна на семена на модернизированном ЗАВ, руб/т;

$W_{(c)}$  - производительность ЗАВ при очистке семян.

Тогда:

$$\mathcal{E}_{T(+)_1} = \frac{(21000 - 10172) \cdot 220}{17,2} = 138498 \text{ руб / ч.}$$

Один из отрицательных технологических эффектов связан с увеличением часовых эксплуатационных затрат продовольственной подработки зерна в новом варианте с 2236,2 руб/ч до 2675,4 руб/ч за счет увеличения затрат на заработную

плату оператора, затрат на ТО и ремонт и амортизационные отчисления. При этом за счет увеличения производительности несколько сократилось основное время работы ЗАВ, необходимое для подработки годового объема зерна продовольственного назначения по новому варианту (725 тонн): с 18,1 до 17,2 ч. Общие эксплуатационные затраты на указанный объем  $Z_3$  выросли с 40475 до 46017 рублей. Тогда величину отрицательного технологического эффекта определим:

$$\mathcal{E}_{T(-)1} = \frac{(Z_{\mathcal{E}(H)} - Z_{\mathcal{E}(B)})}{H_{z(n)}} = \frac{46017 - 40475}{71,1} = 78 \text{ руб / ч} \quad (5.15)$$

где  $Z_{\mathcal{E}(H)}, Z_{\mathcal{E}(B)}$  - суммарные эксплуатационные затраты на продовольственную подработку 725 тонн зерна по новому и базовому варианту соответственно, руб.;  $H_{z(n)}$  - годовая наработка зерноочистительного агрегата при подработке зерна продовольственного назначения (по новому варианту).

Другой отрицательный технологический эффект связан со снижением массы зернового вороха в процессе его очистки за счет фуражной фракции, отходов, подсушивания). Принимаем величину этого показателя для продовольственной очистки для нового и базового вариантов постоянной, а для триерной очистки требуется его оценка. Величину соответствующего технологического эффекта определим по формуле [160].

$$\mathcal{E}_{T(-)2} = W(1 - q_m)(C_n - d_\phi C_\phi - d_o C_o), \quad (5.16)$$

где  $W$  - производительность зерноочистительного агрегата при очистке семян, т/ч;  $q_m$  - коэффициент снижения массы зерна при пропуске через агрегат: для семенной очистки  $q = 0,8$ , %;  $C_n$  - цена неочищенного (неклассного) зерна, руб/т;  $C_\phi$  - цена фуража, руб/т;  $d_\phi$  - доля фуражного зерна по массе (складывается из зерновой примеси, потерь основной культуры после первичной очистки, части потерь после триерной очистки, около 1,5 части сорной примеси:  $d_\phi = 0,7$  (принято по результатам исследований других авторов) [170];  $d_o$  - доля неиспользуемых отходов ( $d_o = 0,3$  [170]);  $C_o$  - цена неиспользуемых отходов (не подлежат продаже, поэтому принимаем  $C_o = 0$ , руб.).

$$\mathcal{E}_{T(-)_2} = 16(1 - 0,8)(10000 - 0,7 \cdot 7500) = 15200 \text{ руб / ч.}$$

Результирующий технологический эффект определенный по формуле (5.12):

$$\mathcal{E}_T = 138498 - 78 - 15200 = 123220 \text{ руб / ч.}$$

Тогда годовой экономический эффект от реализации мероприятий по модернизации зерноочистительного агрегата составит:

$$\mathcal{E}_Г = \mathcal{E}_T \cdot H_{z(c)} = 123220 \cdot 17,2 = 2119384 \text{ руб / г.} \quad (5.17)$$

Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений на модернизацию зерноочистительной технологии:

$$T_{ок} = \frac{K_{дон}}{\mathcal{E}_Г} \cdot H_{z(c)} = T_{ок} = \frac{1018000}{2119384} = 0,48 \text{ года.} \quad (5.18)$$

Основные показатели экономической оценки модернизации зерноочистительной технологии сведены в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Показатели сравнительной экономической оценки

Наименование показателя	Условное обозначение	Единица измерения	Значение показателя	
			Базовый вариант	Новый вариант
<b>Часовые эксплуатационные затраты:</b>				
– при подработке зерна на продовольственные цели, в том числе:				
• часовые затраты на оплату труда;	$Z_{чэ(n)}$	руб/ч	2236,2	2675,4
• часовые затраты на электроэнергию;	$Z_{от(n)}$	руб/ч	200	210
• часовые затраты на ремонт и ТО оборудования;	$Z_{э(n)}$	руб/ч	180,5	180,5
• часовые затраты на амортизацию.	$Z_{ТОР(n)}$	руб/ч	537,8	687,5
	$Z_A$	руб/ч	1317,9	1597,4
– при подработке семенного материала, в том числе:				
• часовые затраты на оплату труда;	$Z_{чэ(c)}$	руб/ч	–	2747,2
• часовые затраты на электроэнергию;	$Z_{от(c)}$	руб/ч	–	240
• часовые затраты на ремонт и ТО оборудования;	$Z_{э(c)}$	руб/ч	–	222,3
• часовые затраты на амортизацию.	$Z_{ТОР(c)}$	руб/ч	–	687,5
	$Z_A$	руб/ч	–	1597,4В
• Технологический эффект	$\mathcal{E}_T$	руб/ч	–	123220
Годовой экономический эффект	$\mathcal{E}_Г$	руб/ч	–	2119384
Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений	$T_{ок}$	руб/ч	–	0,48

### **Выводы по главе**

1. Предлагаемые мероприятия по модернизации зерноочистительной технологии, включающие в состав агрегата ЗАВ 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 дает возможность применения триерной очистки семенного материала в условиях хозяйства.

2. 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 сло-



ев 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 ( $Z_n = 1-3\%$ ). 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/м<sup>3</sup>). 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/м<sup>3</sup>). 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/м<sup>3</sup>), 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 засоренности на уровне  $Z_o=0,08\%$ . При этом неизбежны технологические потери сходом на уровне 2,1-2,8%. Возможности исключения этих потерь за счет снижения загрузки связаны с риском роста  $Z_o$  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/га 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 разделе-

ния 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.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А.с. 1055410 СССР, МКИ В07В 13/00. Сепаратор зерна / Н.А. Урханов, А.А. Абидуев, Г.Р. Озонов. – № 3424785/30-15; заявл. 14.04.1982; опубл. 23.11.1983. Бюл. № 43.
2. А.с. 1340824 СССР, МПК В07В 13/02, А01F 12/44. Цилиндрический триер / И.А. Сидоров (СССР). – № 3945170130-15; заявл. 07.08.1985; опубл. 30.09.1987. Бюл. № 36.
3. А.с. 1535658 СССР, МКИ В07В 13/02. Дисковый триер / Н.А. Урханов, Д.Д. Цыренжапов. – № 4377239/29-03; заявл. 11.02.1988; опубл. 15.01.1990. Бюл. № 2.
4. А.с. 470313 СССР, МКИ В07В 13/02. Триер / Н.А. Урханов, Г.Р. Озонов. – № 1934839/28-13; заявл. 15.06.1973; опубл. 15.05.1975. Бюл. № 18.
5. А.с. 492320 СССР, МКИ В07В 13/02. Цилиндрический триер / Н.А. Урханов, Г.Р. Озонов. – № 1975684/28-13; заявл. 12.12.1973; опубл. 25.11.1975. Бюл. № 43.
6. А.с. 529853 СССР, МКИ В07В 13/02. Триер / Н.А. Урханов, Г.Р. Озонов, Л.М. Санковец. – № 2062418/13; заявл. 27.09.1974; опубл. 30.09.1976. Бюл. № 36.
7. А.с. 560652 СССР, МКИ В07В 13/02. Рабочий орган триера / Н.А. Урханов, Д.Д. Цыренжапов (СССР). – № 2197315/13; заявл. 08.12.1975; опубл. 05.06.1977. Бюл. № 21.
8. А.с. 615353 СССР, МКИ G 01 В 5/24. Прибор для определения угла естественного откоса сыпучего материала / Ю.А. Макшанцев, А.Г. Амелянц. – № 2348784/25-28; заявл. 06.04.1976; опубл. 15.07.1978. Бюл. № 12.
9. А.с. 665954 СССР, МКИ В07В 13/02. Цилиндрический триер / Н.А. Урханов, А.А. Абидуев, Г.Р. Озонов. – № 2430792/29-15; заявл. 13.12.1976; опубл. 05.06.1979. Бюл. № 21.
10. А.с. 704674 СССР, МКИ В07В 13/02. Триер / Н.А. Урханов, Г.Р. Озонов,

- А.А. Абидуев. – № 2633200/29-03; заявл. 21.06.1978; опубл. 25.12.1979. Бюл. № 47.
11. А.с. 753492 СССР, МКИ В07В 13/02. Дисковый триер / Н.А. Урханов, Г.Ф. Хансахаев, А.З. Андреев. – № 2580627/29-03; заявл. 16.02.1978; опубл. 07.08.1980. Бюл. № 29.
  12. А.с. 965210 СССР, МКИ А 01 F 25/18, 1979. Устройство для разделения сыпучего материала на два потока в самотечной трубе / Горохов В.Г., Фурин П.В., Бутто А.Л.; № 3900149/30-15; заявл. 21.05.85; опубл. 23.03.87; Бюл. №11.
  13. А.с. 980865 СССР, МКИ В07В 13/02. Рабочий орган триера / Н.А. Урханов, Д.Д. Цыренжапов, Э.А. Митыпов, В.Н. Урханов, В.И. Святошнюк (СССР). – № 3237687/29-03; заявл. 27.11.1980; опубл. 15.12.1982. Бюл. № 46.
  14. Абидуев, А.А. Очистка семян пшеницы от трудноотделимых примесей в условиях Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01 / А.А. Абидуев. – Новосибирск, 1987. – 18 с.
  15. Абидуев, А.А. Выбор размера ячеек триерных цилиндров /А.А. Абидуев // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления (Вестник ВСГТУ). – 2013. – № 4 (43). – С. 53-57.
  16. Абидуев, А.А. Интенсификация процесса сепарации семенного зерна / А.А. Абидуев. – Улан-Удэ: Изд-во БГСХА. – 2007. – 131 с.
  17. Абидуев, А.А. Исследование процесса выпадения зерна из ячеек триерных цилиндров / А.А. Абидуев // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления (Вестник ВСГТУ). – 1989. – С. 107-108.
  18. Абидуев, А.А. Обоснование методики выбора рабочих органов триеров /А.А. Абидуев // Вестник ИрГСХА. – 2012. – № 53. – С. 110-114.
  19. Абидуев, А.А. Обоснование методики выбора размера ячеек триерных цилиндров /А.А. Абидуев // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления (Вестник ВСГТУ). – 2012. – № 3

(38). – С. 57-60.

20. Абидуев, А.А. Определение положения лотка триерного цилиндра / А.А. Абидуев // Сибирского вестник сельскохозяйственной науки. – 2009. – № 5. – С. 93-98.
21. Абидуев, А.А. Повышение качества очистки семян пшеницы в условиях Забайкалья /А.А. Абидуев // Вестник ФГОУ ВПО Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячина. – 2008. – № 2. – С. 84-86.
22. Абидуев, А.А. Совершенствование подготовки семян при выделении зерновых культур в республике Бурятия / А.А. Абидуев, Сергеев Ю.А. // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2008. – № 2. – С. 247-252.
23. Авдеев, А.В. Анализ работы зерноочистительной техники на комбайновом ворохе голозерного материала / А.В. Авдеев, Е.Ц. Эрдынеева // Тракторы и сельхозмашины. - 2003.- № 9.- С.23 - 25.
24. Анашкин, А.В. Взаимосвязь параметров зернового слоя в овсюжном цилиндре с подачей зерносмеси / А.В. Анашкин / В сборнике: Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства XVIII Международная научно-практическая конференция. –2015. –С. 96-99.
25. Анашкин, А.В. Результаты экспериментальных исследований динамики выделения коротких примесей ячеистой поверхностью / А.В. Анашкин / В сборнике: Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции - новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства XVIII Международная научно-практическая конференция. –2015. –С. 92-96.
26. Анискин, В.И. Промышленное семеноводство: Справочник / В.И. Анискин, А.И. Батарчук, Б.А. Весна и др.; Под ред. И.Г. Строны. – М.: Колос. – 1980.

– 287 с.

27. Блок триерный БТМ-800-8Б. Описание. Руководство по эксплуатации. Техника-Сервис. [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://www.tese.ru/manual/btm\\_manual.pdf](http://www.tese.ru/manual/btm_manual.pdf)
28. Блоки триерные БТМ-800-8Б и БТО-800-16. Триеры цилиндрические ТК-800-8 и ТО-800-8. Руководство по эксплуатации. БТМ 00.000В РЭ. – ЗАО «Техника-Сервис». – Воронеж. – 2016. – 53 с.
29. Блох, З.Ш. Теория триера / З.Ш. Блох // Сельскохозяйственные машины. – 1935. – № 2. – С. 17-20.
30. Бодртдинов, А.З. Послеуборочная обработка зерна и семян / А.З. Бодртдинов. – Казань. – 2001. – 80с.
31. Бурков, А.И. Повышение эффективности функционирования пневмосистем зерно- и семяочистительных машин совершенствованием их технологического процесса и основных рабочих органов: дис. ... док. тех. наук: 05.20.01 / А.И. Бурков. – Киров. - 1993. – 500с.
32. Бурков, А.И. Модернизация цилиндрических триеров / А.И. Бурков, Д.В. Одинцов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2007. – № 1. – С. 15-16.
33. Бурков, А.И. Оптимизация конструктивных параметров надставки лотка овсюжного цилиндра с полимерной ячеистой поверхностью / А.И. Бурков, Д.В. Одинцов // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. – 2006. – № 8. – С. 203-206.
34. Бурков, А.И. Оптимизация частоты вращения триерных цилиндров с полимерной ячеистой поверхностью / А.И. Бурков // Техника в сельском хозяйстве. – 2008. – № 4. – С. 49-51.
35. Васильева, О.П. Повышение эффективности разделения зерновой смеси путем оптимизации параметров и режимов работы триера с переменной угловой скоростью вращения цилиндра: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01. / О.П. Васильева. – Киров, 2000. – 152 с.

36. Веденяпин, Г.В. Общая методика экспериментального исследования и обработки опытных данных / Г.В. Веденяпин. – М.: Колос. – 1973. – 199 с.
37. Викторова, Н.Н. Влияние параметров цилиндрического триера на эффективность его работы / Н.Н. Викторова, Н.М. Ивлиева, В.А. Кубышев // Труды ВНИИЗ. – Вып. 42. – 1962. – С. 245-253.
38. Викторова, Н.Н. Влияние подпорного кольца на вычерпываемость короткой фракции в триерном цилиндре / Н.Н. Викторова, В.А. Кубышев // Труды ЧИМЭСХ Челябинск, 1958. – Вып. 6.
39. Викторова, Н.Н. Влияние скорости вращения на эффективности работы триерных цилиндров (при очистке семян от длинной примеси) / Н.Н. Викторова // Труды ЧИМЭСХ. – 1965. – С. 21-22.
40. Викторова, Н.Н. Основные закономерности процесса работы цилиндрического триера / Н.Н. Викторова, Н.М. Ивлиева, В.А. Кубышев // Проблемы сепарирования зерна и сыпучих материалов // Труды ВНИИЗ. – М., 1963. – Вып. 42. – С. 255 - 265.
41. Викторова, Н.Н. Исследование процесса работы цилиндрического триера при максимальной производительности и изыскании его оптимальных параметров: автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Н.Н. Викторова. – Челябинск, 1964. – 30 с.
42. Востриков, П.С. Обоснование конструктивно-технологических параметров адаптивного делителя зернового потока: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / П.С Востриков. – Воронеж. – 2011. – 122 с.
43. Головкин, Б.Н. Декоративные растения СССР / Б.Н. Головкин. – М.: Мысль, 1986. – С. 304.
44. Гортинский, В.В. Процессы сепарирования на зерноперерабатывающих предприятиях / В.В. Гортинский, А.Б. Демский, М.А. Борискин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос. – 1980. – 304 с.
45. Горячкин, В.П. Собрание сочинений: В 3-х томах. – М.: Колос. – 1965. – Т. 1. – С. 244-253; – Т. 2. – С. 179-185.



46. ГОСТ 10840-64. Зерно. Методы определения природы. Введ. 1965-07-01. – М.: ИПК Изд-во стандартов. – 2001. – 3 с.
47. ГОСТ 13586.5-2015. Зерно. Метод определения влажности. Введ. 2016-07-01. – М.: Стандартиформ, 2016. – 16 с.
48. ГОСТ 28254-2014. Комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения объемной массы и угла естественного откоса. Введ. 2016-01-01. – М.: Стандартиформ. – 2015. – 8 с.
49. ГОСТ 30483-97. Зерно. Методы определения общего и фракционного содержания сорной и зерновой примесей; содержания мелких зерен и крупности; содержания зерен пшеницы, поврежденных клопом-черепашкой; содержания металломагнитной примеси. Введ. 1998-07-01. – М.: Изд-во стандартов. – 1998. – 21 с.
50. Гост 34399-2018 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки– Введ. 2018–12–07. – М.: Стандартиформ, 2018. – 12 с.
51. ГОСТ 52325-2005 Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия. – Введ. 2005-03-23. – М.: Стандартиформ, 2009. – 20с.
52. ГОСТ 52325-2005. Семена сельскохозяйственных растений. Сортовые и посевные качества. Общие технические условия. Введ. 2005-03-23. – М.: Стандартиформ, 2009. – 20 с.
53. ГОСТ 9353-2016. Пшеница. Технические условия. – Введ. 2018-07-01. – М.: Стандартиформ, 2016. – 12 с.
54. Гост Р 53056-2008 Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки. – Введ. 2008–12–17. – М.: Стандартиформ, 2009. – 20 с.
55. Громов, А.Г. Исследование колотоидного триера / А.Г. Громов, В.С. Бурдейный // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1973. – № 11. – С. 10-12.

56. Губанов, И.А. Иллюстрированный определитель растений средней России в 3-х томах. Т. 2: Покрытосеменные (двудольные: раздельнолепестные) / И.А. Губанов, К.В. Киселёв, В.С. Новиков, В.Н. Тихомиров. – М.: Т-во научных изданий КМК, Ин-т технологических исследований. – 2003. – 665 с.
57. Губанов, И.А. Иллюстрированный определитель растений Средней России. Т. 3: Покрытосеменные (двудольные: раздельнолепестные) / И.А. Губанов, К.В. Киселева, В.С. Новиков, В.Н. Тихомиров. – М.: Т-во научных изданий КМК, Ин-т технологических исследований. – 2004. – 520 с.
58. Доброхотов, В.Н. Семена сорных растений / В.Н. Доброхотов. – М.: Изд-во сельскохозяйственной литературы, журналов и плакатов. – 1961. – 464с.
59. Дондоков, Ю.Ж. Проблемы создания универсальных зерноочистительных машин / Ю.Ж. Дондоков // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2002. – №4. – С. 30-31.
60. Дринча, В.М. Качество зернового материала и эффективность послеуборочной обработки / В.М. Дринча, И.Г. Зубаилов // Тракторы и сельхозмашины. – 2002. – № 9.– С. 31-34.
61. Дринча, В.М. Технологические и технические решения очистки и сортирования при подготовке высококачественных семян зерновых культур: автореферат диссертации ... доктора технических наук: 05.20.01 / В.М. Дринча. – Москва. – 1997. – 52с.
62. Евдокимов, В.Ф. Исследование технологического процесса работы цилиндрического триера с осевыми колебаниями: автореферат диссертации... кандидата технических наук / В.Ф. Евдокимов – Ростов-на-Дону, 1964. – 30 с.
63. Евдокимов, В.Ф. Исследования работы цилиндрического триера с осевыми колебаниями / В.Ф. Евдокимов // Проблемы сепарирования зерна и других сыпучих материалов: Труды ВНИИЗ. – М. – 1963. – Вып. 42. – С. 265-279.
64. Евдокимов, В.Ф. Определение длины триерного цилиндра / В.Ф. Евдоки-

- мов // Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства. – 1963. – № 2. – С. 46-47.
65. Елизаров, В.П. Предприятия послеуборочной обработки и хранения зерна / В.П. Елизаров. – М.: Колос. – 1997. – 266 с.
66. Ермольев, Ю.И. Фракционные технологии очистки зерна продовольственного назначения / Ю.И. Ермольев, М.Ю. Кочкин // Вестник ДГТУ. – 2008. – Т.8. – № 3(38). – С. 52-60.
67. Жарасов, Ш.У. Повилика полевая на юго-востоке Казахстана / Ш.У. Жарасов // Защита и карантин растений. – 2009. – №1. – С. 30-32.
68. Завалишин, Ф.С. Методы исследований по механизации сельскохозяйственного производства / Ф.С. Завалишин, М.Г. Мацнев. – М.: Колос. – 1982. – 231 с.
69. Завражнов, А.И. Модернизация технологии подработки зерна путем применения авторегулируемых делителей потока сыпучих материалов / А.И. Завражнов, К.Н. Тишанинов // Научно-теоретический журнал - «Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук». – 2008. – № 3. – С.56-59.
70. Зенков, Р.Л. Механика насыпных грузов / Р.Л. Зенков. – М.: Машиностроение. – 1964. – 250 с.
71. Зюлин, А.Н. Зависимость чистоты зерна от состава исходного вороха при пневмоинерционной сепарации / А.Н. Зюлин // Механизация уборки зерновых культур: Тр. / ВАСХНИЛ. М., 1985. - С.35 – 39.
72. Иванов, А.И. Технические измерения. / А.И. Иванов. – М.: «Колос». – 1964. – 488 с.
73. Ивлиева, Н.М. Исследование влияния нагрузки цилиндра и угла его наклона к горизонту на производительность и качество работы цилиндрического триера: дис. ... канд. тех. наук: 05.20.01 / Н.М. Ивлиева. – Челябинск, 1952.
74. Ивлиева, Н.М. Кинематика движения материальной точки во вращающемся цилиндре с горизонтальной осью. О сущности работы триера (при

- очистке семя от длинных примесей) / Н.М. Ивлиева / Труды ЧИМЭСХ. – Челябинск, 1958. – Вып. 6.
75. Ивлиева, Н.М. О сущности процесса работы триера (при очистке семян от длинных примесей) / Н.М. Ивлиева // Труды ЧИМЭСХ. – 1958. – Вып.6.
76. Ивлиева, Н.М. Экспериментальное исследование процесса движения обрабатываемого материала в цилиндрическом триере / Н.М. Ивлиева // Труды ЧИМЭСХа. – 1965. – Вып.5.
77. Ивлиева, Н.М. Экспериментальное обоснование выбора параметров цилиндрических триеров / Н.М. Ивлиева // Сборник трудов [Земледельческая механика]. – М.: Машиностроение. – 1965. – С. 114-132.
78. Инструкция по обслуживанию ячеистой триерной установки типа Petkus K 553A. – 4-е издание. – ГДР. – 1976. – 23 с.
79. Казаров, К.Р. Технологии и средства механизации сушки и послеуборочной обработки зерна. Учебное пособие / К.Р. Казаров, А.П. Тарасенко, А.М. Гиевский, А.В. Чернышов. – Воронеж. – 312 с.
80. Карпенко, А.Н. Сельскохозяйственные машины / А.Н. Карпенко, В.М. Халанский. 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос. – 1983. – 495 с.
81. Кидришев, Т.К. К разработке тактики борьбы с горчаком ползучим / Т.К. Кидришев, С.Б. Друскильдинов, Д. Плужник // Защита и карантин растений. – 2008. – №1. – С. 40-41.
82. Козлов, Д.А. Интенсификация технологического процесса очистки зерна в цилиндрическом овсюжном триере: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Д.А. Козлов – Улан-Удэ, 2001. – 211 с.
83. Конопля, Н.И. Циклахена дурнишниковлистная – опасный сорняк / Н.И. Конопля, О.Н. Курдюкова, Е.А. Жердева // Защита и карантин растений. – 2014. - №12. – С. 13-14.
84. Косилов, Н.И. Модернизация поточных линий для послеуборочной обработки зерна в Челябинской области / Н.И. Косилов, Н.В. Коваленко, Д.Н. Косилов, Р.А. Саяхов // Достижения науки АПК. – № 2. – 2008. – С. 3-8.

85. Кочкин, М.Ю. Совершенствование процесса сепарации зернового материала в зерноочистительном агрегате: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / М.Ю. Кочкин – Ростов-на-Дону, 2010. – 162 с.
86. Кубышев, В.А. Технологические основы интенсификации процесса сепарации зерна: автореферат дис. ... доктора техн. наук: 05.20.01 / В.А. Кубышев – 1968. – 51 с.
87. Кузнецов, В.В. Влияние износа ячеек триера на качество очистки семян / В.В. Кузнецов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1987. – № 1. – С. 10-11.
88. Кузьмин, М.В. Триер с эластичной поверхностью / М.В. Кузьмин, М.В. Туаев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 1972. – № 8. – С. 8-10.
89. Кулаков, Е.П. Защита семеноводческих посевов зерновых колосовых и зернобобовых культур от вредителей, болезней и сорняков. / Е.П. Кулаков, А.С. Егураздова, Л.И. Исаева, Г.Д. Каверзнева. – М. 1980. – 64 с.
90. Летошнев, М.Н. Сельскохозяйственные машины, теория, расчет, проектирование и испытание / М.Н. Летошнев – М.: Л.: Сельхозгиз. – 1955. – 856с.
91. Летошнев, М.Н. О движении зерна внутри горизонтального вращающегося цилиндра / М.Н. Летошнев // Сборник научно-технических работ Ленинградского института механизации сельского хозяйства. – Сельхозгиз, 1950. – Вып. 7.
92. Летошнев, М.Н. О применимости вращающейся цилиндрической поверхности к очистке и сортированию семян / М.Н. Летошнев // Сборник научных работ ЛИМСХ. 1951. – Т.8. – С. 7-53.
93. Летошнев, М.Н. О применимости вращающейся цилиндрической поверхности к очистке и сортированию семян [окончание] / М.Н. Летошнев // Сборник научных работ ЛИМСХ. – 1953. – Т. 9. – С. 5-31.
94. Летошнев, М.Н. Очистка и сортирование семенного материала и зерноочистительные машины / М.Н. Летошнев. – Л.: Гос. институт опытной агро-

- номии, 1929. – 28 с.
95. Летошнев, М.Н. Сельскохозяйственные машины, теория, расчет, проектирование и испытание / М.Н. Летошнев. – М.: Л.: Сельхозгиз, 1955. – 856 с.
  96. Летошнев, М.Н. Теория триера / М.Н. Летошнев // Сборник научно-технических работ Ленинградского института механизации сельского хозяйства. – Л. – 1948. – Вып. IV. – С. 3-58.
  97. Листопад, Г.Е. Сельскохозяйственные и мелиоративные машины / Г.Е. Листопад. – М.: Агропромиздат. – 1986. – 687с.
  98. Лукомеец, В.М. Защита подсолнечника / В.М. Лукомеец, В.Т. Пивень, Н.М. Тишков, И.И. Шуляк // Защита и карантин растений. – 2008. – №2. – С. 78-108.
  99. Лурье, А.Б. Расчет и конструирование сельскохозяйственных машин / А.Б. Лурье. – Л.: Машиностроение, 1997. – 526 с.
  100. Майсурян, Н.А. Определитель семян и плодов сорных растений. Изд. 2-е перераб. и доп. / Н.А. Майсурян, А.И. Атабекова. – М.: Колос. – 1978. – 288 с.
  101. Максимчук, В.К. Выбор оценочных показателей состояния зерновой массы, поступающей на обработку / В.К. Максимчук, В.Н. Тесленко. / В сб.: Проектирование технологического процесса возделывания и уборки зерна. – Новосибирск: ВАСХНИЛ, Сиб. отд-ние, 1980. – С. 94-97.
  102. Мельников, С.В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов / С.В. Мельников, В.Р. Алешкин, П.М. Роцин. – Л.: Колос. – 1980. – 168 с.
  103. Мироненко, Д.Н. Исследование работы фрикционного триерного цилиндра / Д.Н. Мироненко // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2009. – № 2(21). – С. 45-48.
  104. Мироненко, Д.Н. Совершенствование процесса выделения трудновыделимых примесей с биологически неполноценных зерновок при обработке зернового вороха пшеницы: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Д.Н. Миро-

- ненко. – Воронеж, 2010. – 136 с.
105. Мяснянкин, К.В. Применение фотосепаратора для очистки гречихи / К.В. Мяснянкин, А.П. Тарасенко // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2. – № 3-4 (8-4). – С. 439-442.
  106. Одинцов, Д.В. Повышение эффективности функционирования цилиндрического триера с полимерной ячеистой поверхностью путем обоснования основных параметров и режимов работы: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Д.В. Одинцов. – Киров, 2007. – 161 с.
  107. Одинцов, Д.В. Пути совершенствования конструкции овсюжного триерного цилиндра / Д.В. Одинцов // Улучшение эксплуатационных показателей сельскохозяйственной энергетики. Межвузовский сборник научных трудов. – Киров. Вятская ГСХА. – 2005. – Вып. 5. – С. 128-132.
  108. Отчет о НИР 09.01.03.02. Разработать проект улучшенной технологии подработки зерна в хозяйствах промежуточный) / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин и др. – ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии. – Тамбов, 2012. – 113 с.
  109. Павловский, Г.Т. Исследование технологического процесса в цилиндрических триерах / Г.Т. Павловский // Сборник научных трудов ВИМ. –1952. – Т.17.
  110. Павловский, Г.Т. Основные вопросы технологии очистки семян зерновых культур: автореферат дис. ... доктора с/х наук: 538 / Г.Т. Павловский. – Растениеводство – Москва, 1969. – 69 с.
  111. Павловский, Г.Т. Экспериментальное обоснование выбора параметров цилиндрических триеров / Г.Т. Павловский // Сборник трудов по земледельческой механике. – М.: Л.: Сельхозгиз, 1952. – С. 231-248.
  112. Павловский, Г.Т. Экспериментальное обоснование выбора параметров цилиндрических триеров / Г.Т. Павловский // Сборник трудов по земледельческой механике. – М.: Л.: Сельхозгиз, 1952. – С. 231-248.

113. Пат. 2067381 Российская Федерация, МПК А 01F 12/00, МПК В 65G 53/00. Устройство для разделения потока зерна / Бедарев В.В., Володькин С.В., Елисейкин В.А., Кобяков Н.И., Сулайманов Суннатула, Шкрабак В.С. – № 5031651/51; заявл. 10.03.1992; опубл. 10.10.1996.
114. Пат. 2247360 Российская Федерация, МПК G01N 19/02. Прибор для определения коэффициента силы трения покоя / Амелянц А.Г., Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. – № 2003109087/28; заявл. 31.03.2003; опубл. 27.02.2005, Бюл. № 6.
115. Пат. 2305609 Российская Федерация, МПК В 07В 13/02 А01F 12/44. Триерный блок / Бурков А.И., Одинцов Д.В. – № 2005141697/11; заяв. 29.12.2005; опубл. 10.09.2007, Бюл. № 25.
116. Пат. 2326043 Российская Федерация, МПК В 65G 011/20, МПК В 65G 53/56. Устройство для разделения потока сыпучих материалов / Кузнецов В.В., Извеков Е.А., Востриков П.С. – № 2006143914/11; заявл. 11.12.2006; опубл. 10.06.2008, Бюл. № 16.
117. Пат. 2341954 С2, А 01 F 12/46. Устройство для разделения потока сыпучих материалов/ А.И. Завражнов, К.Н. Тишанинов. – № 2006146774; заявлено 26.12.2006; опубл. 27.12.2008, Бюл. №36.
118. Пат. 2412582 Российская Федерация, МПК А 01F 12/46. Устройство для разделения потока сыпучих материалов / Тишанинов Н.П., Ведищев С.Н., Тишанинов К.Н., Кропоткин О.Н. – № 2009118684/21, заявл. 18.05.2009, опубл. 27.02.2011, Бюл. № 6.
119. Пат. 2415070 Российская Федерация, МПК В 65G 53/56, МПК В 65G 11/20, МПК В 65G 65/00, МПК В 65G 69/00. Адаптивный делитель потока сыпучих материалов / Кузнецов В.В., Востриков П.С., Извеков Е.А. – № 2009145228/11; заявл. 07.12.2009; опубл. 27.03.2011, Бюл. № 9.
120. Пат. 2437271 Российская Федерация, МПК А 01F 12/46. Устройство для разделения потока сыпучих материалов / Тишанинов Н.П., Тишанинов К.Н. – № 2010107918/13; заявл. 03.03.2010; опубл. 27.12.2011, Бюл. № 36.



121. Пат. 2455817 Российская Федерация, МПК А 01F 12/46. Устройство для разделения потока сыпучих материалов / Тишанинов Н.П., Тишанинов К.Н. – № 2011113935/02; заявл. 08.04.2011; опубл. 20.07.2012, Бюл. № 20.
122. Пат. 2459405 Российская Федерация, МПК А 01F 12/46. Устройство для разделения потока сыпучих материалов / Тишанинов Н.П., Тишанинов К.Н. – № 2011110258/13; заявл. 17.03.2011; опубл. 27.08.2012, Бюл. № 24.
123. Пат. 2488094 Российская Федерация, МПК G01N 19/02. Прибор для определения коэффициента силы трения покоя / Тишанинов Н.П., Амелянц А.Г., Анашкин А.В., Растюшевский К.А. – № 2012107007/28; заявл. 27.02.2012; опубл. 20.07.2013, Бюл. № 20.
124. Пат. 2490863 Российская Федерация, МПК А 01F 12/46. Устройство для разделения потока сыпучих материалов / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н., Растюшевский К.А. – № 2012113182/13; заявл. 04.04.2012; опубл. 27.08.2013, Бюл. № 24.
125. Пат. 2492940 Российская Федерация, МПК В 07В 13/02. Стенд для испытаний ячеистых поверхностей / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Амелянц А.Г., Тишанинов М.А., Растюшевский К.А. – № 2012112301/03; заявл. 29.03.2012; опубл. 20.09.2013, Бюл. № 26.
126. Пат. 2492941 Российская Федерация, МПК В07В 13/02. Стенд для испытаний ячеистых поверхностей / Тишанинов Н.П., Амелянц А.Г., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н., Растюшевский К.А. – № 2012113207/03; заявл. 04.04.2012; опубл. 20.09.2013, Бюл. № 26.
127. Пат. 2511615 Российская Федерация, МПК G01N 19/02. 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.
128. Пат. 2540352 Российская Федерация, МПК А 01F 12/60. Устройство для разделения потока сыпучих материалов / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. – № 2013120622/13; заявл. 06.05.2013; опубл. 20.11.2014, Бюл. № 32; опубл.

10.02.2015, Бюл. № 4.

129. Пат. 2557600 Российская Федерация, МПК G01В 3/28. Прибор для изменения 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.
130. Пат. 2564872 Российская Федерация, МПК МПК В 07 В 13/02, В 07 В 1/00, В 02 В 1/00. Триер / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н. – № 2014124260/13; заявл. 16.06.2014; опубл. 10.10.2015, Бюл. № 28.
131. Пат. 2564883 Российская Федерация, МПК В 07 В 13/02, В 07 В 1/00, В 02 В 1/00. Триер / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н. – № 2014132318/13; заявл. 05.08.2014; опубл. 10.10.2015, Бюл. № 28.
132. Пат. 2567154 Российская Федерация, МПК В 07 В 13/02. Триер / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В., Тишанинов К.Н. – № 2014142305/13; заявл. 20.10.2014; опубл. 10.11.2015, Бюл. № 31.
133. Пат. 2578102 Российская Федерация, МПК А01F 12/46. Устройство для разделения потока сыпучих материалов / Анашкин А.В. – № 2015111871/13; заявл. 01.04.2015; опубл. 20.03.2016, Бюл. № 8.
134. Пат. 2616201 Российская Федерация, МПК В07В 13/02. Стенд для испытаний ячеистых поверхностей / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. – № 2016108182; заявл. 09.03.2016; опубл. 13.04.2017, Бюл. № 11.
135. Пат. 2647526 Российская Федерация, МПК В07В 13/02. Прибор для выделения примесей из зерносмесей / Тишанинов Н.П., Анашкин А.В. – № 2017114302; заявл. 24.04.2017; опубл. 16.03.2018, Бюл. № 8.
136. Пат. 28453, МКИ В07В 13/02. Ячейка триера / Урханов Н.А., Урханов В.Н., Озонов Г.Р., Бугжеев А.С. – № 2002121347/20; заявл. 07.08.2002; опубл. 27.03.2003. Бюл. № 9.
137. Пат. № 2326043 Устройство для разделения потока сыпучего материала / Кузнецов В.В., Извеков Е.А. Востриков П.С. – № 2006143914/11; заявл.

11.12.2006, опубл. 10.06.2008, Бюл. № 16.

138. Полетаев, С.В. Применение, устройство и расчет триеров / С.В. Полетаев // Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин / Труды ВНИИ с/х машиностроения. – М.: Л.: Сельхозиздат. – 1936. – Т. 3. – С. 587-627.
139. Полетаев, С.В. Триеры / С.В. Полетаев. – М. – Л.: Госкомиздат. – 1932. – 95 с.
140. Приставка триерная ПТ-600. Руководство по эксплуатации. ОЗТ 00.000РЭ. – ОАО «Воронежсельмаш». – 2004. – 42 с.
141. Промышленное семеноводство. Справочник / Под ред. Строны И.Г. – М.: Колос. – 1980. – 287 с.
142. Прохоров, А.М. Большой энциклопедический словарь / А.М. Прохоров. – М: Научное издательство – Большая Российская энциклопедия: СПб – Норинт, 1997. – 1456 с.: ил.
143. Пугачев, А.Н. Потерям зерна – надежный заслон. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос. – 1981. – 159 с.
144. Разработать метод оценки эффективности использования зерноочистительных агрегатов, новые устройства управления массовыми потоками зерна в зерноочистительных технологиях и руководство по реконструкции, модернизации и эффективному использованию зерноочистительных агрегатов. / Отчет о НИР. – ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии. – Тамбов. – 2011. – 75 с.
145. Рассадин, А.А. Движение материальной точки по вращающимся фрикционным ячеистым поверхностям / А.А. Рассадин // Сборник научных трудов ВИМ. – 1964. – Т. 34. – С. 69-93.
146. Рассадин, А.А. Математические модели процесса разделения сыпучих зерновых смесей триером с продолговатыми ячейками / А.А. Рассадин // Сборник научных трудов ВИМ. – М., 1987. – Т. 115. – С.77-83.

147. Рассадин, А.А. Кинетика сепарирования сыпучих зерновых смесей на плоских, цилиндрических решетках и триерах / А.А. Рассадин // Сборник научных трудов. – М.: ВИМ, 1987. – Т. 115.– С. 63-76.
148. Румянцев, В.И. Земледелие с основами почвоведения / В.И. Румянцев, З.Ф. Коптева, Н.Н. Сурков. – М.: Колос. – 1979. – 367 с.
149. Сепараторы триерные серии СТ. Руководство по эксплуатации Воронежсельмаш. [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://vselmash.ru/newsite/zo/stacionarnie2/Seporatory+ST/>
150. Сидоров, И.А. Разработка и обоснование параметров цилиндрического триера с принудительным удалением фракций из ячеек: дис... канд. техн. наук: 05.20.01 / И.А. Сидоров.– Белгород, 1997. – 142 с.
151. Соколов, А.Я. Технологическое оборудование предприятий по хранению и переработке зерна / А.Я. Соколов. – изд. 4-е доп. и перераб. – М.: Колос, 1975. – 495 с.
152. Сорокин, Н.Н. Совершенствование процесса послеуборочной подготовки семян пшеницы: дис. ... канд. с/х наук: 05.20.01 / Н.Н. Сорокин.– Воронеж, 2016. – 160 с.
153. Сорокин, Н.Н. Состав поступаемого на послеуборочную обработку зернового вороха и распределение его компонентов по размерам / Н.Н. Сорокин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2014. – Т. 2. – № 3-4 (8-4). – С. 472-476.
154. Степанов, В.Н. Основы агрономии / В.Н. Степанов, А.Н. Киселев, Н.Н. Третьяков. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос. – 1977. – 351 с.
155. Степанов, В.Н. О западании частиц в ячейки цилиндрического триера / В.Н. Степанов // Научные труды Омского ордена Ленина с/х института имени С.М. Кирова. – 1973.
156. Тарасенко А.П. Современные машины для послеуборочной обработки зерна и семян. – М.: Колос. – 2008. – 232 с.
157. Тарасенко, А.П. Качественные показатели работы зерноочистительного аг-

- регата ЗАВ-40 / А.П. Тарасенко, В.И. Орбинский, А.М. Гиевский // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – №4. – 2010. – С. 43-45.
158. Терсков, Г.Д. Движение зерен по вращающемуся цилиндру / Г.Д. Терсков // Сельскохозяйственные машины. – 1938. – № 8-9.
159. Терсков, Г.Д. Основные закономерности процесса прохождения семян в отверстия решет в ячейки триеров / Г.Д. Терсков // Труды ЧИМЭСХа. – 1969. – Вып. 36.
160. Тишанинов, Н.П. Вариантный метод оценки эффективности использования технологий подработки зерна / Н.П. Тишанинов, В.А. Ветров, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2013. – № 1. – С. 24-30.
161. Тишанинов, Н.П. Методика оценки эффективности использования линий по переработке гречихи в малых объемах / Н.П. Тишанинов, А.Г. Амелянц, С.Н. Ульянов. – М.: Россельхозакадемия. – 1998. – 52 с.
162. Тишанинов, Н.П. 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.
163. Тишанинов, Н.П. 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.
164. Тишанинов, Н.П. Исследование параметров зернового сегмента в овсюжном триерном цилиндре / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2019. – № 2 (38). – С. 23-29.
165. Тишанинов, Н.П. Модернизация триерного блока / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Сельский механизатор. – 2015. – № 11. – С. 14-15.
166. Тишанинов, Н.П. Стенд для выделения длинных примесей из зерносмесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2018. – № 4 (34). – С. 12-24.
167. Тишанинов, Н.П. Управление расходными характеристиками триера поло-

- жением выводного лотка // Наука в центральной России. – 2018. – № 2 (32). – С. 28-34
168. Пат. 2520341 Российская Федерация, МПК А01F 12/44. 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.
169. Тишанинов, Н.П. Частные методики исследований по использованию зерноочистительных агрегатов / Н.П. Тишанинов, В.А. Ветров. – Тамбов. – 1996. – 32 с.
170. Тишанинов, К.Н. Совершенствование процесса разделения потоков зерна в зерноочистительных технологиях: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Тишанинов К.Н. – Мичуринск-наукоград РФ. – 2010. – 187 с.
171. Тишанинов, Н.П. Анализ способов управления качеством триерной очистки зерносмесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2017. – № 4 (28). – С. 88 – 94.
172. Тишанинов, Н.П. Взаимосвязь производительности триера с режимами работы / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2018. – № 3 (33). – С. 12-20.
173. Тишанинов, Н.П. Делители потока зерна / Н.П. Тишанинов, К.Н. Тишанинов // Сельский механизатор. – 2010. – № 6. – С. 8.
174. Тишанинов, Н.П. 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. – Тамбов, изд-во Першина Р.В. – С. 127-131.
175. Тишанинов, Н.П. Исследования наклонного делителя потока зерна с боковыми отводящими каналами / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.Н. Тишанинов, А.Г. Амелянц, К.А. Растюшевский // Повышение эффективности

- использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: сб. науч. докладов XVI Международной научно-практической конференции. – Тамбов: ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии. – 2011. – С. 114-117.
176. Тишанинов, Н.П. Качество работы вертикального делителя потока зерна / Н.П. Тишанинов, А.Г. Амелянц, А.В. Анашкин, К.А. Растюшевский / Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства: сб. науч. докладов XVI Международный научно-практической конференции. – Изд-во Першина Р.В. – Тамбов. – 2011. – С. 111-113.
177. Тишанинов, Н.П. Классификация и анализ перспектив создания делителей потока сыпучих материалов / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2013. – № 5. – С. 75-83.
178. Тишанинов, Н.П. Методика оценки эффективности использования линий по переработке гречихи в малых объемах / Н.П. Тишанинов, А.Г. Амелянц, С.Н. Ульянов. – М.: Россельхозакадемия. – 1998. – 53 с.
179. Тишанинов, Н.П. Многоканальные делители потока зерна / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Сельский механизатор. – № 8. – 2015. – С. 40.
180. Тишанинов, Н.П. 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.
181. Тишанинов, Н.П. Новые делители потока сыпучих материалов / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, К.Н. Тишанинов // Наука в центральной России. – 2013. – № 1. – С. 30-36.
182. Тишанинов, Н.П. 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.
183. Тишанинов, Н.П. 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.
184. Тишанинов, Н.П. Обоснование оптимальных параметров и режимов работы прибора для разделения зерносмесей по длине частиц / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, Х.Д.Д. Альшинайиин // Наука в центральной России. – 2017. – № 1 (25). – С. 10-19.
185. Тишанинов, Н.П. Обоснование параметров жалюзийных делителей потока зерна / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2015. – № 5 (17). – С. 70-78.
186. Тишанинов, Н.П. 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.
186. Тишанинов, Н.П. 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.
187. Тишанинов, Н.П. Обоснование параметров стенда циклического действия для исследований ячеистых поверхностей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, Х.Д.Д. Альшинайиин // Наука в центральной России. – 2016. – № 4 (22). – С. 90-98.
188. Тишанинов, Н.П. Обоснование режимов работы и параметров прибора для отсева проб зерносмесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин, Х.Д.Д. Альшинайиин // Наука в центральной России. – 2016. – № 3 (21). – С. 74-80.
189. Тишанинов, Н.П. Повышение технологических возможностей кукольного цилиндра триерного блока / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2015. – № 1 (13). – С. 58-65.



190. Тишанинов, Н.П. Реальный уровень использования зерноочистительных агрегатов и пути повышения эффективности / Н.П. Тишанинов, В.А. Ветров. – Тамбов: ВИИТиН. – 1997. – 34 с.
191. Тишанинов, Н.П. Результаты исследований процесса триерной сепарации зерносмесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2013. – № 6. – С. 37-45.
192. Тишанинов, Н.П. Теоретические предпосылки поиска резервов управления процессами триерной очистки зерносмесей / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2014. – № 6. – С. 28-38.
193. Тишанинов, Н.П. 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.
194. Тишанинов, Н.П. 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.
195. Тишанинов, Н.П. Управление расходными характеристиками триера положением выводного лотка / Н.П. Тишанинов, А.В. Анашкин // Наука в центральной России. – 2018. – № 2 (32). – С. 28 – 34.
196. Трибель, С.А. Защита кукурузы / С.А. Трибель, А.А. Стригун, С.В. Ретьмак, О.Н. Гаманова. – Приложение к журналу «Защита и карантин растений». – 2014. – №4. – С. 91 (23).
197. Трисвянский, Л.А. Хранение зерна / Л.А. Трисвянский. – М.: Колос. – 1966. – 434 с.
198. Трубилин, Е.И. Механизация послеуборочной обработки зерна и семян / Е.И. Трубилин, Н.Ф. Федоренко, А.И. Тлишев. – Краснодар. – 2009. – 96с.
199. Туаев, М.В. Теория и синтез триерных машин с гибкими рабочими органами: дис. ... доктора техн. наук: 05.20.01 / Туаев М.В. – Москва, 1995. – 430 с.
200. Урханов, Н.А. Исследование процессов западания и выпадения зерен на

- цилиндрических триерах / Н.А. Урханов // Сборник научных трудов ВИМ. – М., 1967. – Т. 43. – С. 175-184.
201. Урханов, Н.А. Исследование работы ячеистых поверхностей триера / Н.А. Урханов // Проблемы сепарирования зерна и пр. сыпучих материалов: Материалы II Всесоюзной научно-технической конференции. ВНИИЗ, 1974. – № 78. – С. 194-197.
202. Урханов, Н.А. Об интенсификации процесса разделения семян цилиндрическими триерами / Н.А. Урханов // Сборник научных трудов ВИМ. – М., 1969. – Т. 48. – С. 227-238.
203. Урханов, Н.А. Возможности улучшения процесса разделения семян в цилиндрических триерах / Н.А. Урханов // Механизация с/х производства / Материалы II научной конференции молодых ученых Московской обл. – М., 1969. – С. 56-61.
204. Урханов, Н.А. Возможность повышение производительности цилиндрического триера / Н.А. Урханов, А.А. Абидуев. // Индустриальные технологии и средства с/х. производства: сборник научных трудов, ВАСХНИЛ, Сиб. отд-ние. – Новосибирск, 1981. – С. 69-74.
205. Урханов, Н.А. Интенсификация послеуборочной обработки и очистки зерна от примесей по длине / Н.А. Урханов – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 1999. 319 с.
206. Урханов, Н.А. Интенсификация процессов очистки зерна от коротких и длинных примесей / Н.А. Урханов // Вопросы совершенствования технологических процессов в пищевой промышленности: сборник научных статей. – Улан-Удэ, 1987. – С. 133-137.
207. Урханов, Н.А. Интенсификация технологического процесса очистки зерна от примесей по их длине: дис. ... доктора техн. наук: 05.20.01 / Урханов Н.А. – Улан-Удэ, 1998. – 472 с.
208. Урханов, Н.А. Использование закономерностей движения зерна для совершенствования конструкции и повышения производительности ячеистых

- сепараторов / Н.А. Урханов // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления (Вестник ВСГТУ). – 2009. – № 1. – С. 31-36.
209. Урханов, Н.А. Исследование движения зерна в сепараторах и повышение эффективности их работы / Н.А. Урханов // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления (Вестник ВСГТУ). – 2005. – № 2. – С. 12-20.
210. Урханов, Н.А. Исследование технологического процесса работы цилиндрического триера с целью повышения производительности и качества разделения смеси: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.01 / Урханов Н.А. – 1968. – 130 с.
211. Урханов, Н.А. Исследование условия западания зерна в ячейку цилиндрического триера / Н.А. Урханов, В.Н. Урханов, С.П. Бужгеев // Сборник научных трудов / Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления (ВСГТУ). – Улан-Удэ, 1996. – С. 97-103.
212. Урханов, Н.А. К методике исследования ячеек триера / Н.А. Урханов // Материалы IX научной конференции / ВСТИ. – Улан-Удэ, 1971. – С. 48-50.
213. Урханов, Н.А. О коэффициенте использования ячеистой поверхности триера / Н.А. Урханов // Материалы I научной конференции молодых ученых / ВСТИ. – Улан-Удэ, 1969. – С. 82-88.
214. Урханов, Н.А. О новой форме ячеек цилиндрического триера / Н.А. Урханов // Тракторы и сельхозмашины. – 1972. – № 4. – С. 27-28.
215. Урханов, Н.А. О результатах НИР, разработки и применения технологии и средств обработки зерна в Забайкалье / Н.А. Урханов, А.А. Абидуев, А.С. Бужгеев // Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления (Вестник ВСГТУ). – 2017. – № 2 (65). – С. 59-63.
216. Урханов, Н.А. Об ориентации зерен на движущихся поверхностях рабочих органов сельскохозяйственных машин / Н.А. Урханов // Сборник научных трудов ВИМ. – М., 1967. – Т. 43. – С. 169-175.

217. Урханов, Н.А. Определение момента начала движения зерна из ячейки цилиндрического триера / Н.А. Урханов, В.Ю. Анохин, А.М. Воробьев. – Улан-Удэ, 1978. – С. 78-81.
218. Урханов, Н.А. Повышение производительности цилиндрического триера / Н.А. Урханов // Мукомольно-элеваторная промышленность. – 1969. – № 10. – С. 20-22.
219. Урханов, Н.А. Повышение эффективности очистки зерна от трудноотделимых примесей / Н.А. Урханов // ЦНИИТЭИ / Минзаг СССР – М., 1981. – 34 с.
220. Урханов, Н.А. Повышение эффективности работы цилиндрического триера / Н.А. Урханов // ЦНИИТЭИ / Минзаг СССР – М., 1970. – 22 с.
221. Урханов, Н.А. Рациональная форма ячейки триера / Н.А. Урханов // Механизация и электрификация соц. сельского хозяйства. – 1970. – № 12. – С. 41-42.
222. Урханов, Н.А. Технология очистки зерна и основы расчета рабочих органов зерноочистительных машин: Учебное пособие / Н.А. Урханов.– Иркутск – Улан-Удэ, 1984. – 167 с.
223. Федоренко, В.Ф. Зерноочистка – состояние и перспективы / В.Ф. Федоренко, Е.П. Ревякин. – М.: ФГНУ Росинформагротех. – 2006. – 204 с.
224. Халанский, В.М. Сельскохозяйственные машины / В.М. Халанский, И.В. Горбачёв. – М.: Колосс. – 2003. – 623 с.
225. Хлудеев, В.С. Атлас сорняков, засоряющих посевы зерновых культур. Токсичные и вредные семена / В.С. Хлудеев // – Днепропетровск. – 2009. – 29 с.
226. Ячеистый триер Petkus К 236А, К 236 А01, К 236 А04. Инструкция по эксплуатации. – 4-е издание. – ГДР, Берлин. – 1987. – 51 с.
227. Eisenschmidt, G. Verluststrategie neu überdenken / G. Eisenschmidt // Bauern Blatt. – 2007. – Nr. 29. – P. 22-24.
228. <http://mppnik.ru/publ/750-triery-zarubezhnogo-proizvodstva.html>

229. <https://rosselhocenter.com/index.php/otdel-semenovodstva-47/12224-semenovodstvo-tambovskoj-oblasti-podgotovka-k-posevnoj-kampanii-2018-goda>
230. Scherer, R. Mechanische Eigenschaften von Körnerfrüchten / R. Scherer // Grundland Landtechnik. 1978. – Bd. 28. – № 1. – P. 6-12.
231. Schulze, D. Vergleich des Fließverhaltens leicht fließender Schüttgüter / D. Schulze. // Schüttgut. – 1996. – № 3. – P. 347-356.

## Приложение А

Таблица А.1 – Серийно выпускаемые триерные блоки

№ п/п	Производитель	Марка	Технические характеристики										K= $\omega^2 R/g$	Число цилиндров
			Пр-ть W, т/ч	Масса, кг	Уст. Мощ- ность, кВт	Габариты			Диаметр цилин- дра, мм	Длина цилин- дра, мм	Частота вра- щения, с <sup>-1</sup>			
						Д, мм	Ш, мм	В, мм			об/ми н	с <sup>-1</sup>		
<b>Российские</b>														
1	Техника – Сервис (г. Воронеж)	БТМ-800-8	7 - 8	1025	3	3210	1125	2490	800	2300	≤ 40	4,19	0,72	2
2		БТО-800-16	14-16	1056	3	4212	1125	2730	800	2300	≤ 40	4,19	0,72	4 (2)
3		ТК-800-8	7 - 8	506	1,5	3065	1125	1364	800	≤ 2300	≤ 40	4,19	0,72	1
4		ТО-800-8	7 - 8	508	1,5	3065	1125	1364	800	≤ 2300	≤ 40	4,19	0,72	1
5	ПАО «Мельинвест» (г. Ниж. Новгород)	Р1-ББТ-700-8	8	1500	3 (1,5x2)	4955	980	2565	700	3040	38	3,98	0,57	2
6		Р1-ББТ-700-16	16	2500	6	4955	1945	2565	700	3040	38	3,98	0,57	4
7		Р1-ББК-700-8	8	750	1,5	4280	980	1365	700	3040	38	3,98	0,57	1
8		Р1-ББО-700-8	8	750	1,5	4280	980	1365	700	3040	38	3,98	0,57	1
9	ГСКБ «Зерноочист- ка» (г. Воронеж)	БТЦ-700	6	1970	1,5x2+ 0,75	3840	973	2535	700	3040	38	3,98	0,57	2
10		ТЦК-700	6,5	775	1,5	3786	973	1410	700	3040	38	3,98	0,57	1
11		ТЦО-700	6	775	1,5	3786	973	1410	700	3040	38	3,98	0,57	1
12	ООО «Воронежсель- маш»	СТ-8	8	1400	6,2	3400	1100	2600	800	—	—	—	0,61	2
13		СТ-12	12,5	1800	6,2	4000	1100	2600	800	—	—	—	0,61	2
14		ПТ-600	8	900	2,2	3130	1650	2100	600	2250	42,5	4,45	0,61	4
15	«Промконструктор» Семилуки (Воронеж. обл)	ЗАВ-10.90.000А	8	900	2,2	3130	1650	2100	600	2250	30; 35; 39; 45		0,61	4
16	«Элеватормельмаш» (г. Саратов)	ТБЦ-6-1	5	1300	2x1,5	3990	973	2495	630	3200	38	3,98	0,51	2
17		ТО-6	5	650	1,5	3840	930	1380	630	3200	38	3,98	0,51	1
18		ТК-6	5	650	1,5	3840	930	1380	630	3200	38	3,98	0,51	1
19	НПП «СатурнАгро» (Омская обл.)	Триерный блок Т-8	8	—	—	—	—	—	—	> 3,1 м	—	—	—	2

Продолжение таблицы А.1

№ п/п	Производитель	Марка	Технические характеристики										К= $\omega^2 R/g$	Число цилин- дров
			Пр-ть W, т/ч	Масса, кг	Уст. Мощ- ность, кВт	Габариты			Диаметр цилин- дра, мм	Длина цилин- дра, мм	Частота вра- щения,			
						Д, мм	Ш, мм	В, мм			об/ми н	с <sup>-1</sup>		
<b>Зарубежные</b>														
20	«Cimbria» (Австрия)	HSR 1010 R HSR 1010 L	1	210	0,37	1690	650	626	400	1000	54	5,66	0,65	1
21		HSR 2010 R HSR 2010 L	2	290	0,55	2690	650	626	400	1000	54	5,66	0,65	1
22		HSR 3010 R HSR 3010 L	3	460	0,7	2321	856	868	600	1500	45	4,71	0,68	1
23		HSR 4010 R HSR 4010 L	4	510	0,7	2821	856	868	600	2000	45	4,71	0,68	1
24		HSR 5010 R HSR 5010 L	5	560	1,1	3555	856	868	600	2500	45	4,71	0,68	1
25		HSR 6010 R HSR 6010 L	6	600	1,5	3855	856	868	600	3000	45	4,71	0,68	1
26		HSR 8010 R HSR 8010 L	8	690	2,2	3018	1205	1238	900	2000	38	3,98	0,73	1
27		HSR 10010 R HSR 10010 L	10	750	3	3518	1205	1238	900	2500	38	3,98	0,73	1
28		HSR 12010 R HSR 12010 L	12	810	3	4018	1205	1238	900	3000	38	3,98	0,73	1
29		HSR 16010 R HSR 16010 L	16	930	4	5032	1205	1238	900	4000	38	3,98	0,73	1
30		«Cimbria» (Австрия)	HSR 1020 R-L	1	420	2x0,37	1816	650	1244	400	1000	54	5,66	0,65
31	HSR 2010 R-L		2	580	2x0,55	2816	650	1244	400	2000	54	5,66	0,65	2
32	HSR 3020 R-L		3	920	2x0,75	2465	856	1728	600	1500	45	4,71	0,68	2
33	HSR 4020 R-L		4	1020	2x0,75	3965	856	1728	600	2000	45	4,71	0,68	2
34	HSR 5020 R-L		5	1120	2x1,1	3533	856	1728	600	2500	45	4,71	0,68	2

Продолжение таблицы А.1

№ п/п	Производитель	Марка	Технические характеристики										К= $\omega^2 R/g$	Число цилиндров
			Пр-ть W, т/ч	Масса, кг	Уст. Мощность, кВт	Габариты			Диаметр цилиндра, мм	Длина цилиндра, мм	Частота вращения,			
						Д, мм	Ш, мм	В, мм			об/мин	с <sup>-1</sup>		
35	«Cimbria» (Австрия)	HSR 6020 R-L	6	1200	2x1,5	4033	856	1728	600	3000	45	4,71	0,68	2
36		HSR 8020 R-L	8	1380	2x2,2	3215	1205	2468	900	2000	38	3,98	0,73	2
37		HSR 10020 R-L	10	1500	2x3	3715	1205	2468	900	2500	38	3,98	0,73	2
38		HSR 12020 R-L	12	1620	2x3	4215	1205	2468	900	3000	38	3,98	0,73	2
39		HSR 16020 R-L	16	1860	2x4	5250	1205	2468	900	4000	38	3,98	0,73	2
40	PETKUS (Германия)	ZK 61 ZL 61	3	600	1,1	1845	830	1270	600	1500	41	4,29	0,56	1
41		ZK 62 ZL 62	5	660	1,5	3544	850	1225	600	2500	41	4,29	0,56	1
42		ZK 73 ZL 73	8	770	2,2	4056	950	1325	700	3000	38	3,98	0,57	1
43		ZK 93 ZL 93	12	930	4,0	4105	1150	1545	900	3000	34	3,56	0,58	1
44	PETKUS	* ZA 61 (T 613)	3	1200	2x1,1	2550	830	2160	600	1500	41	4,29	0,56	2
45		* ZA 62 (T 623)	5	1300	2x1,5	3570	830	2160	600	2500	41	4,29	0,56	2
46		* ZA 73 (T 733)	8	1440	2x2,0	4149	950	2160	700	3000	38	3,98	0,57	2
47		* ZA 93 (T 933)	12	1950	2x4,0	4227	1150	2600	900	3000	33	3,46	0,55	2
48	PETKUS	K 553 A	0,15-0,35	1200	1,1	2800	1660	2820	—	—	33	—	—	6
49	PETKUS	K 236 A	11	1980	3	3587	1103	2310	800	2650	36 38	3,76 3,98	0,58 0,65	2
50		K 236 A 01	1,5	1980	3	3587	1103	2310	800	2650	36 38	3,76 3,98	0,58 0,65	2



Продолжение таблицы А.1

№ п/п	Производитель	Марка	Технические характеристики										К= $\omega^2 R/g$	Число цилиндров
			Пр-ть W, т/ч	Масса, кг	Уст. Мощность, кВт	Габариты			Диаметр цилиндра, мм	Длина цилиндра, мм	Частота вращения,			
						Д, мм	Ш, мм	В, мм			об/мин	с <sup>-1</sup>		
51	PETKUS	ZR 73	20	2900	—	4149	950	4940	700	3000	—	—	—	3+1
52		ZR 93	25	3900	—	4227	1150	5821	900	3000	—	—	—	3+1
53	PETKUS	TA – 615	3	1200	2x1,1	2550	830	2060	600	1500	41	4,29	0,56	2
54		TA – 625	5	1300	2x1,5	3570	830	2060	600	2500	41	4,29	0,56	2
55		TA – 730	8	1440	2x2,2	4090	960	2060	700	3000	38	3,98	0,57	2
56		TA – 930	12	1950	2x4,0	4135	1150	2550	900	3000	33	3,46	0,55	2
57	AKY Technology (Турция)	LABOR TRI - 0020	0,3	—	0,37	750	100	500	300	1000	—	—	—	1
58		TRI – 0020 200x63	1	—	0,37	2600	1200	2540	630	2000	—	—	—	2
59		TRI – 0020 240x90	2	—	0,55	3000	1240	2600	900	2400	—	—	—	2
60		TRI – 0020 300x63	3	—	1,1	3600	1240	2540	630	3000	—	—	—	2
61		TRI – 0020 300x90	4	—	1,1	3600	1240	2600	900	3000	—	—	—	2
62	ОАО «Борисовский завод» «Металлист» (Беларусь)	БТ – 7/12	6-8	1600	2x2,2	3845	900	2500	—	—	—	—	—	2
63	JUBUS Дилер «Зерноинжиниринг»	T-JS-7/1	8	850	1x1,5	—	—	—	750	3000	—	—	—	1
64		T-JS-7/2	8	1600	2x1,5	—	—	—	750	3000	—	—	—	2
65		T-JS-7/3	10	2450	3x1,5	—	—	—	750	3000	—	—	—	3
66		T-JS-9/1	12	1100	1x2,2	—	—	—	900	3000	—	—	—	1
67		T-JS-9/2	12	2100	2x2,2	—	—	—	900	3000	—	—	—	2
68		T-JS-9/3	15	3150	3x2,2	—	—	—	900	3000	—	—	—	3

## Продолжение таблицы А.1

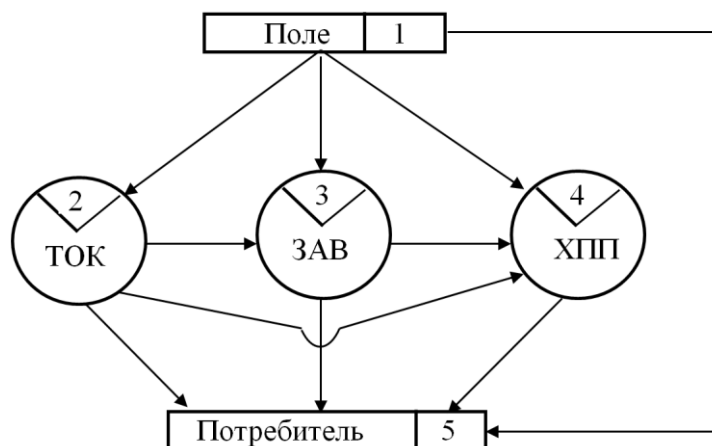
№ п/п	Производитель	Марка	Технические характеристики										К= $\omega^2 R/g$	Число цилин- дров
			Пр-ть W, т/ч	Масса, кг	Уст. Мощ- ность, кВт	Габариты			Диаметр цилин- дра, мм	Длина цилин- дра, мм	Частота вра- щения,			
						Д, мм	Ш, мм	В, мм			об/ми н	с <sup>-1</sup>		
69	DAMAS (Дания)	НОТУР 520	5(4)	500	1,5	—	—	—	500	1980	—	—	—	—
70		НОТУР 730	10(8)	1500	2,2	—	—	—	700	2910	—	—	—	—
71		НОТУР 930	15(12)	1600	2,2	—	—	—	930	2910	—	—	—	—
72		НОТУР 940	20(15)	2000	3,0	—	—	—	930	3910	—	—	—	—

## Приложение Б

### Вариантный метод оценки эффективности использования технологий подработки зерна

В процессе подработки зернового вороха возможны различные варианты организации работ в зависимости от состояния зернового вороха, технической оснащенности хозяйств и состояния оборудования, а также услуг элеваторов (ХПП). Однако существующие методические основы для решения этих задач не обладают достаточной универсальностью.

Возможные варианты организации подработки зерна в системе «поле – потребитель» представлены на рисунке Б.1, а их краткая характеристика в таблице Б.1.



1 - 1 → 5; 2 - 1 → 4 → 5; 3 - 1 → 2 → 5; 4 - 1 → 3 → 5; 5 - 1 → 2 → 3 → 5

Рисунок Б.1- Варианты организации подработки зерна в системе «поле – потребитель»

Весь убранный урожай может быть подработан и реализован по одному или нескольким вариантам. Выбор варианта организации работ или их комбинации осуществляется из условия:

$$P_B < \sum_{\varphi=1}^m P_{\varphi} \rightarrow \max, \quad (\text{Б.1})$$

где  $P_{\varphi}$  – прибыль в  $\varphi$ -ом варианте (потоке) зерна, руб;

$m$  – число вариантов;

$P_B$  – прибыль в базовом варианте при реализации всего убранного зерна ( $M_{3y}$ ) без подработки, руб.

Таблица Б.1- Характеристика вариантов организации работ в процессе подработки зерна

№ п/п	Промежуточные звенья	Краткая характеристика
1	Без подработки (1→5)	Зерно с поля (базисных кондиций)
2	1→ 4 → 5	2.1 Зерно с поля (базисных кондиций), а услуги ХПП - только по его хранению. 2.2 Собственные (ЗАВ) выведены из строя или не подготовлены к работе (полные услуги ХПП).
3	1→ 2 → 5	Подрабатывается сравнительно чистое зерно (засоренность до 5%, влажность до 18%) путем перелопачивания или активного вентилирования.
4	1→ 3 → 5	Подрабатывается зерно с влажностью до 18% и засоренностью свыше 5%.
5	1→ 2 → 3→ 5	Подрабатывается зерно влажностью свыше 18% и засоренностью свыше 5%.
6	1→ 2 → 3→ 4 → 5	То же, что и в вариантах 3, 4 и 5, а услуги ХПП – только по хранению зерна.

Если условие (Б.1) выполняется, то сравниваемая комбинация вариантов организации подработки зернового вороха экономически целесообразна.

При оценке альтернатив послеуборочной обработки зерна, выборе средств механизации или варианта модернизации ЗАВ необходимо учитывать суммарные потери зерна:

$$q = q_{mp} + q_{ex} + q_w + q_m, \quad (\text{Б.2})$$

где  $q_{mp}, q_{ex}, q_w, q_m$  - соответственно потери зерна при транспортировке с учетом перевалки, временном хранении в ожидании обработки, в результате усушки и очистки, в долях.

Транспортные потери с учетом погрузочно-разгрузочных работ определяются по формуле:

$$q_{mp} = 10^{-3} (\alpha_{mp} \bar{R}_c + \alpha_n n) M_{zmp} / \bar{Q}_{mp}^2, \quad (\text{Б.3})$$

где  $\alpha_{mp}$  – потери массы зерна при транспортировке на расстояние в один километр, кг/км;

$\bar{R}_c$  – среднее расстояние перевозок, км;

$\alpha_n$  - потери массы зерна при одной погрузке (разгрузке), кг;

$n$  – кратность перевалки;

$M_{зпр}$  – объем перевозок, т;

$\bar{Q}_{мп}$  – средняя грузоподъемность транспортных средств, т.

По данным экспертных оценок  $\alpha_{мп}=10$  кг /км,  $\alpha_n=50$  кг, минимальная кратность перевалки, как правило, равна 2.

Потери зерна при временном хранении с учетом изменения его качества определяются по формуле:

$$q_{ex} = (q_t + q_n) \cdot \left( 1 + \sum_{\varphi=1}^l \omega_{\varphi} K_{\varphi} \right) \quad (\text{Б.4})$$

при конечных показателях качества зерна  $\varphi = \varphi_y (1 + \gamma_{\varphi})$ ,

где  $q_t, q_n$  - соответственно удельные потери в зависимости от продолжительности хранения и вида внешнего воздействия на зерно, в долях;

$\omega_{\varphi}$  – весомость  $\varphi$ -го показателя качества (по влажности  $\omega_{\varphi}=1$ , по всхожести  $\omega_{\varphi}=1,35$ );

$\varphi_y$  - величина  $\varphi$ -го показателя качества при уборке. %;

$K_{\varphi}, \gamma_{\varphi}$  – коэффициенты пропорциональности согласно таблицы Б.2.

Таблица Б.2 - Характеристики внешнего воздействия на зерно

Показатель	Вид внешнего воздействия		
	Перелопачивание	Активное вентилирование	Без внешнего воздействия
$q_n$	0,05	0,03	0,02
$K_{\varphi}$			
по влажности	-0,05	-0,092	0,079
по всхожести	0,007	-0,001	0,004
$\gamma_{\varphi}$			
по влажности	-0,15	-0,18	0,27
по всхожести	-0,018	0,012	-0,015

Значения показателей таблицы 2.2 установлены расчетно-эмпирическим путем на основе данных исследований Максимчука В. К. и Трисвянского Л.А.. При этом учитывались качественные и количественные показатели процесса подработки зерна на току в конкретных условиях производства.

Потери зерна в ожидании обработки определяются по эмпирическому уравнению:

$$q_t = 1,4 \cdot 10^{-4} \gamma \Delta T (j + e^{0,014\tau}), \quad (\text{Б.5})$$

при повышении температуры зерна в результате самосогревания

$$\Delta T = 2,24\bar{W} + 0,46\bar{C} - 40,3,$$

где  $t$  – промежуток времени хранения от 0 до 50 ч;

$j=0, 1, 2 \dots$  - кратность хранения;

$\gamma$  – коэффициент, учитывающий увеличение потерь зерна в результате поедания грызунами и птицами (согласно экспертных оценок равен 5);

$\bar{W}, \bar{C}$  - соответственно средневзвешенные значения влажности и засоренности зернового вороха органическими примесями, %.

Если продолжительность временного хранения зерна не превышает величины согласно таблицы Б.3, то потери зерна ( $q_{\text{вх}}$ ) незначительны и ими можно пренебречь.

Таблица Б.3 - Продолжительность безопасного времени хранения зерна, сутки

Влажность зерна, %	Температура зерна, °С			
	25	18	15	10
25	1	5	6	10
24	1,5	6	8	12
22	3	10	13	22
20	6	15	20	40
18	11	24	35	72
17	13	30	45	91

При многократном превышении безопасного времени хранения начинается неконтролируемый процесс плесневения и порчи зерна в результате самосогревания, который может привести к потере всей не подработанной массы зерна.

Влажное и засоренное зерно должно подвергаться предварительной очистке и сушке с последующим доведением до требуемого качества в зависимости от безопасного времени хранения. Это позволит производителю зерна подрабатывать и реализовывать продукцию в удобное для него время. Сухое и чистое зерно выгоднее реализовывать прямо от комбайнов.

Величину потерь в результате усушки определяют соотношением:

$$q_w = \Delta W / W_0, \quad (\text{Б.6})$$

а величину потерь в результате пропуска через оборудование ЗАВ:

$$q_m = \Delta M_3 / M_{30}, \quad (\text{Б.7})$$

где  $\Delta W$ ,  $\Delta M_3$  – соответственно изменение влажности и массы зернового вороха в процессе подработки, % и т;

$W_0$ ,  $M_{30}$  – влажность и масса исходного зернового вороха, % и т.

Суммарные затраты на подработку зерна с учетом услуг элеваторов определяются по формуле:

$$Z_\Sigma = Z_{mp} + Z_A + Z_T + Z_Y, \quad (\text{Б.8})$$

где  $Z_{mp}$ ,  $Z_A$ ,  $Z_T$  – затраты соответственно на эксплуатацию транспортных средств, зерноочистительных агрегатов, оборудования токов, руб;

$Z_Y$  – затраты на услуги элеваторов, руб.

Затраты на привлечение транспортных средств при подработке зерна рассчитывают по формуле:

$$Z_{mp} = M_{zmp} (2\eta R_c q_m \Pi_m k_M / \bar{Q}_{mp} + k_\partial T_\epsilon), \quad (\text{Б.9})$$

где  $\eta$  – коэффициент криволинейности дорог;

$\Pi_m$  – цена топлива, руб/л;

$q_m$  – удельный расход топлива, л/км;

$k_M$  – коэффициент, учитывающий стоимость израсходованных масел;

$T_\epsilon$  – оплата труда водителей за одну тонну перевезенного зерна, руб/т;

$k_\partial$  – коэффициент, учитывающий различные виды доплат.

Составляющие затраты на эксплуатацию ЗАВ следующие:

- затраты на амортизацию с учетом разницы в амортизационных сроках составных частей ЗАВ:

$$Z_A = C_A (d_o / T_{Ao} + d_m / T_{Am} + d_c / T_{Ac}) / 100, \quad (\text{Б.10})$$

где  $C_A$  – балансовая стоимость ЗАВ, руб;

$d_o$ ,  $d_m$ ,  $d_c$  – доли стоимости, приходящиеся соответственно на основное оборудование, металлоконструкции и строительную часть;

$T_{Ao}$ ,  $T_{Am}$ ,  $T_{Ac}$  – соответственно амортизационные сроки основного оборудования, металлоконструкций и строительной части, лет.

- затраты на техническое обслуживание и ремонт:

$$Z_{mor} = 0,06C_A d_o \quad (\text{Б.11})$$

- затраты на электроэнергию:

$$Z_э = NT_э H_э, \quad (\text{Б.12})$$

где  $N$  – потребляемая мощность, кВт;

$T_э$  – тариф на электроэнергию, руб/кВт·ч;

$H_э$  – годовая наработка, ч.

- затраты на оплату труда обслуживающего персонала

$$Z_{om} = n_{on} T_o H_э \quad (\text{Б.13})$$

$n_{on}$  – численность обслуживающего персонала,

$T_o$  – часовая оплата труда, руб/ч.

- затраты на эксплуатацию площадок открытых токов и зернопогрузчиков ( $Z_T$ ) аналогичны по своей структуре затратам ( $Z_A$ ), а их составляющие определяют по формулам (Б.10–Б.13).

Если в процессе подработки зерна хозяйства прибегают к услугам элеваторов, то они несут дополнительные затраты:

$$Z_о = M_{зэ} \left( P_{nm} + P_{om} + P_{xp} T_x + \sum_{\varphi=1}^{\ell} \Delta_{\varphi} P_{\varphi} \right), \quad (\text{Б.14})$$

где  $M_{зэ}$  – масса зерна, подрабатываемого на элеваторах, т;

$P_{nm}$ ,  $P_{om}$ ,  $P_{xp}$  – соответственно расценки услуг элеваторов на приемку, отгрузку и хранение зерна, руб/т;

$T_x$  – продолжительность хранения, мес.;

$P_{\varphi}$  – расценки услуг элеваторов на изменение  $\varphi$ -го показателя качества зерна, руб/т/%.

Оценку эффективности использования зерноочистительных агрегатов по прямому назначению целесообразно проводить путем соизмерения технологических эффектов и текущих эксплуатационных затрат в единицу времени основной работы.



При обработке нескольких культур условие эффективности использования зерноочистительных агрегатов можно описать следующей математической моделью:

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_{Ti} \times t_i \geq \mathcal{Z}_{\text{чэ}}; \\ \sum_{i=1}^n t_i = T, \end{cases} \quad (\text{Б.15})$$

где  $\mathcal{E}_{Ti}$  – результирующий технологический эффект при подработке  $i$ -ой культуры за один час основной работы агрегата, руб/час;

$\mathcal{Z}_{\text{чэ}}$  – постоянная в расчете на год часть годовых эксплуатационных затрат, руб/год;

$n$  – общее число обработанных культур;

$t_i$  – продолжительность использования агрегата на очистке  $i$ -ой культуры, в часах основной работы;

$T$  – продолжительность использования агрегата в оцениваемом сезоне, в часах основной работы.

Величина результирующего технологического эффекта будет:

$$\mathcal{E}_{Ti} = \sum_{j=1}^k \mathcal{E}_{T(+j)} - \sum_{j=1}^l \mathcal{E}_{T(-j)}, \quad (\text{Б.16})$$

где  $\mathcal{E}_{m(+j)}$  – положительный технологический эффект  $j$ -го вида при подработке  $i$ -ой культуры, руб/ч;

$\mathcal{E}_{m(-j)}$  – отрицательный технологический эффект  $j$ -го вида при подработке  $i$ -ой культуры, руб/ч;

$k, l$  – соответственно число положительных и отрицательных технологических эффектов.

Сумма положительных технологических эффектов:

$$\sum_{i=1}^n \mathcal{E}_{T(+i)} = W_{Aq_m} \Pi_3 \sum_{i=1}^n \Delta_{\xi} \alpha_{\xi}^{+} \mathcal{E}_{TB}. \quad (\text{Б.17})$$

Сумма отрицательных технологических эффектов:

$$\sum_{j=1}^m \mathcal{E}_{T(-)j} = W_A(1-q_m)(C_n - d_\phi C_\phi - d_0 C_0) K_{сд}, \quad (\text{Б.18})$$

где  $W_A$  – производительность агрегата, т/ч;

$q_m$  – коэффициент снижения массы при очистке;

$\Delta_\xi$  – разница  $\xi$ -ых показателей качества, %, г/л;

$\alpha_\xi$  – коэффициент перевода  $\xi$ -ых показателей качества в надбавки;

$C_з, C_n, C_\phi, C_0$  – цены очищенного и неочищенного зерна, фуража и отходов, руб/т;

$d_\phi, d_0$  – доли по массе фуражного зерна и отходов;

$\mathcal{E}_{ТВ}$  – технологический эффект от увеличения выхода товарного зерна, руб/ч;

$K_{сд}$  – коэффициент снижения доли отходов и фуража.

Критерии оценки эффективности использования зерноочистительных агрегатов на очистке любой из  $i$  –ых культур:

- Условие окупаемости  $\mathcal{E}_m - \mathcal{Z}_{мч} > 0$ ;
- Кратность окупаемости капитальных вложений  $K_\phi = (\mathcal{E}_m - \mathcal{Z}_{мч})/K_{вч}$ ;
- Часовая прибыль  $P_\phi = (\mathcal{E}_m - \mathcal{Z}_{чэ})$ ;
- Граница эффективности по наработке  $H_2 = K_{вг} / (\mathcal{E}_m - \mathcal{Z}_{мч})$ ,

где  $\mathcal{Z}_{мч}, \mathcal{Z}_{чэ}$  – текущие и интегральные эксплуатационные затраты, руб/ч;

$K_{вч}, K_{вг}$  – часовые и годовые капитальные вложения, руб/ч (руб/год);

$H_2$  – годовая наработка, час.

Величина интегральных эксплуатационных затрат ( $\mathcal{Z}_{чэ}$ ):

$$\mathcal{Z}_{чэ} = \mathcal{Z}_{ом} + \mathcal{Z}_э + \mathcal{Z}_{мор} + \mathcal{Z}_A, \quad (\text{Б.19})$$

Величина часовых эксплуатационных затрат ( $\mathcal{Z}_{мч}$ ):

$$\mathcal{Z}_{мч} = \mathcal{Z}_{ом} + \mathcal{Z}_э + \mathcal{Z}_{мор}, \quad (\text{Б.20})$$

где  $\mathcal{Z}_{ом}$  – затраты на оплату труда приходящиеся на 1 час работы;

$\mathcal{Z}_э$  – затраты на электроэнергию, руб/ч;

$Z_{\text{мор}}$  – часовые затраты на техническое обслуживание и ремонт оборудования, руб/ч;

$Z_A$  – амортизационные отчисления приходящиеся на 1 час эксплуатации агрегата по основному времени, руб/ч.

Предложенный метод адаптирован к многообразию вариантов технологий подработки зерна. Состав критериев метода позволяет решать весь комплекс задач, стоящих перед производителем:

- выбор новой технологии осуществляется по интегральному критерию;
- сравнение часового результирующего технологического эффекта и текущих эксплуатационных затрат является основой оперативного управления производственными процессами подработки зерна;
- сопоставление технологических эффектов определяет направления модернизации существующих технологий.

## Приложение В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,  
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(19) **RU**<sup>(11)</sup> **2 247 360**<sup>(13)</sup> **C2**  
(51) МПК<sup>7</sup> **G 01 N 19/02**

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: 2003109087/28, 31.03.2003

(24) Дата начала действия патента: 31.03.2003

(43) Дата публикации заявки: 27.09.2004

(45) Опубликовано: 27.02.2005 Бюл. № 6

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: ЗЕНКОВ Р.Л. Механика насыпных грузов.  
- М.: Машиностроение, 1964, с.39-47. SU 998924,  
23.02.1983. SU 920476, 15.04.1982. SU 855442,  
17.08.1981. SU 1415156 A1, 07.08.1988.

Адрес для переписки:  
392022, г.Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28, ГНУ  
ВИИТиН

(72) Автор(ы):

Амельянц А.Г. (RU),  
Тишанинов М.А. (RU),  
Анашкин А.В. (RU)

(73) Патентообладатель(ли):

Государственное научное учреждение  
Всероссийский научно-исследовательский и  
проектно-технологический институт по  
использованию техники и нефтепродуктов в  
сельском хозяйстве (ГНУ ВИИТиН) (RU)

## (54) ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА СИЛЫ ТРЕНИЯ ПОКОЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительным приборам. Сущность: прибор содержит платформу, шарнирно закрепленную на станине, со шкалой, коробку без днища, заполненную вязкопластичным материалом, тяговое устройство, опорный контур с возможностью его регулирования по высоте

посредством прокладок и направляющих, размещенных на плите. В слое материала размещены частицы, коробка без днища связана с платформой амортизирующим звеном с ограничительным поводком. Технический результат изобретения заключается в повышении точности измерения и воспроизводимости опытов. 2 ил.

RU 2 247 360 C2

RU 2 247 360 C2

## Продолжение приложения В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 488 094** <sup>(13)</sup> **C1**(51) МПК  
*G01N 19/02* (2006.01)

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012107007/28, 27.02.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
27.02.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.02.2012

(45) Опубликовано: 20.07.2013 Бюл. № 20

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2247360 C2, 27.02.2005. RU 2254564 C1,  
20.06.2005. SU 1430819 A1, 15.10.1988. JP  
2009222574 A, 01.10.2009.

Адрес для переписки:

392022, г.Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28,  
ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии, Н.П.  
Тишанинову

(72) Автор(ы):

Тишанинов Николай Петрович (RU),  
Амельянец Аркадий Григорьевич (RU),  
Анашкин Александр Витальевич (RU),  
Растюшевский Константин  
Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное научное учреждение  
Всероссийский научно-исследовательский  
институт использования техники и  
нефтепродуктов Российской академии  
сельскохозяйственных наук (ГНУ  
ВНИИТиН Россельхозакадемии) (RU)

## (54) ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА СИЛЫ ТРЕНИЯ ПОКОЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительным приборам. Прибор содержит платформу, шарнирно закрепленную на станине, шкалу и тяговое устройство. На платформе закреплена пластина из исследуемого материала с продольными пазами полукруглой формы

радиусом (R), большим максимального размера ( $r_{max}$ ) кривизны контура поперечного сечения частиц исследуемого сыпучего материала, но с меньшим диаметром (2R) их длины (1). Технический результат: снижение трудоемкости измерений. 3 ил.

RU 2 4 8 8 0 9 4 C 1

RU 2 4 8 8 0 9 4 C 1

## Продолжение приложения В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 490 863** (13) **C1**(51) МПК  
A01F 12/46 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012113182/13, 04.04.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
04.04.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 04.04.2012

(45) Опубликовано: 27.08.2013 Бюл. № 24

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2341954 C2, 27.12.2008. RU 2412582  
C2, 27.02.2011. RU 2437271 C2, 27.12.2011. RU  
2067381 C1, 10.10.1996. US 3762525 A,  
02.10.1973.

Адрес для переписки:

392022, г.Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28,  
(ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии), Н.П.  
Тишанинову

(72) Автор(ы):

Тишанинов Николай Петрович (RU),  
Анашкин Александр Витальевич (RU),  
Тишанинов Константин Николаевич (RU),  
Растюшевский Константин  
Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное научное учреждение  
Всероссийский научно-исследовательский  
институт использования техники и  
нефтепродуктов Российской академии  
сельскохозяйственных наук (ГНУ  
ВНИИТиН Россельхозакадемии) (RU)

RU 2 4 9 0 8 6 3 C 1

## (54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ПОТОКА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскому хозяйству. Устройство для разделения потока сыпучих материалов содержит приемную горловину, стабилизирующую емкость и корпус. На боковой стенке стабилизирующей емкости выполнены отводящие каналы в виде щелей. Отводящие каналы соединены с полостью корпуса, разделенного вертикальной перегородкой. К корпусу прикреплены патрубки. Приемная горловина прикреплена

планками к стабилизирующей емкости и имеет круглое сечение в верхней ее части и овальное - в нижней ее части. В верхней части приемная горловина обрамлена присоединительным фланцем. Нижнее овальное сечение приемной горловины расположено большей осью симметрии перпендикулярно боковой стенке стабилизирующей емкости. Устройство обеспечивает качественное разделение потока сыпучих материалов. 3 ил.

RU 2 4 9 0 8 6 3 C 1

## Продолжение приложения В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ(19) **RU** (11) **2 492 940** (13) **C1**(51) МПК  
*B07B 13/02* (2006.01)

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012112301/03, 29.03.2012

(24) Дата начала отчета срока действия патента:  
29.03.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 29.03.2012

(45) Опубликовано: 20.09.2013 Бюл. № 26

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2275242 C2, 27.04.2006. SU 627796 A,  
15.10.1978. SU 44578 A, 05.10.1974. SU 1438861  
A1, 23.11.1988. SU 994060 A, 07.02.1983. RU  
2236913 C1, 27.09.2004. BY 12640 C1,  
30.12.2009. GB 1289400 A, 20.09.1972.

Адрес для переписки:

392022, г.Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28,  
ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии, Н.П.  
Тишанинову

(72) Автор(ы):

Тишанинов Николай Петрович (RU),  
Анашкин Александр Витальевич (RU),  
Амельянц Аркадий Григорьевич (RU),  
Тишанинов Максим Анатольевич (RU),  
Растюшевский Константин  
Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное научное учреждение  
Всероссийский научно-исследовательский  
институт использования техники и  
нефтепродуктов Российской академии  
сельскохозяйственных наук (ГНУ  
ВНИИТиН Россельхозакадемии) (RU)

## (54) СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ЯЧЕЙСТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

(57) Реферат:

Изобретение относится к испытательной  
технике, а именно к устройствам для  
испытаний ячеистых поверхностей на качество  
разделения зерновых смесей. Стенд для  
испытаний ячеистых поверхностей включает  
привод, раму, ячеистую поверхность,  
выводящий шнек, питающий бункер сзаслонкой, отвод. Стенд снабжен ленточным  
транспортёром и полым коробом,  
разделенным на равные части перегородками  
со сходящимися к низу стенками для подачи  
примесей в приемную горловину отвода.  
Технический результат - повышение точности  
измерений. 4 ил.

RU 2 4 9 2 9 4 0 C 1

RU 2 4 9 2 9 4 0 C 1

## Продолжение приложения В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 492 941** (13) **C1**(51) МПК  
*B07B 13/02* (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012113207/03, 04.04.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
04.04.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 04.04.2012

(45) Опубликовано: 20.09.2013 Бюл. № 26

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2305609 C1, 10.09.2007. SU 954119 A,  
30.08.1982. SU 1438861 A1, 23.11.1988. SU  
994060 A, 07.02.1983. SU 535116 A, 15.11.1976.  
RU 2182046 C2, 10.05.2002. GB 1289400 A,  
20.09.1972.

Адрес для переписки:

392022, г.Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28,  
ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии, Н.П.  
Тишанинову

(72) Автор(ы):

Тишанинов Николай Петрович (RU),  
Амельянец Аркадий Григорьевич (RU),  
Анашкин Александр Витальевич (RU),  
Тишанинов Константин Николаевич (RU),  
Растюшевский Константин  
Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное научное учреждение  
Всероссийский научно-исследовательский  
институт использования техники и  
нефтепродуктов Российской академии  
сельскохозяйственных наук (ГНУ  
ВНИИТиН Россельхозакадемии) (RU)

## (54) СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ЯЧЕИСТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

(57) Реферат:

Изобретение относится к испытательной  
технике, а именно к устройствам для  
испытаний ячеистых поверхностей на качество  
разделения зерновых смесей. Стенд для  
испытаний ячеистых поверхностей включает  
раму, ячеистую поверхность, привод,  
загрузочный лоток и желоб, выполненный в  
виде разомкнутого цилиндра с возможностью  
осевого перемещения по опорным валикам,вертикального и горизонтального  
перемещения относительно ячеистой  
поверхности в вертикальной плоскости.  
Внутри желоба на валу с поворотным рычагом  
размещена стенка с прикрепленными к ней  
сегментными перегородками,  
перпендикулярными оси желоба. Технический  
результат - повышение точности измерений, 4  
ил.

RU 2 492 941 C1

RU 2 492 941 C1



## Продолжение приложения В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 511 615** (13) **C1**(51) МПК  
G01N 19/02 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012145369/28, 24.10.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
24.10.2012

Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 24.10.2012

(45) Опубликовано: 10.04.2014 Бюл. № 10

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: Зенков Р.Л. Механика насыпных  
грузов. - М.: Машиностроение, стр. 39-  
47, 1964. RU 2247360 C2 27.02.2005. SU 359578  
A1 03.12.1972. JP 2009222574 A 01.10.2009

Адрес для переписки:  
392022, г.Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28, (ГНУ  
ВНИИТиН Россельхозакадемии), Н.П.  
Тишанинову

(72) Автор(ы):  
Тишанинов Николай Петрович (RU),  
Анашкин Александр Витальевич (RU),  
Амельянец Аркадий Григорьевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):  
Государственное научное учреждение  
Всероссийский научно-исследовательский  
институт использования техники и  
нефтепродуктов Российской академии  
сельскохозяйственных наук (ГНУ  
ВНИИТиН Россельхозакадемии) (RU)

## (54) ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА СИЛЫ ТРЕНИЯ ПОКОЯ

(57) Реферат:

Изобретение относится к измерительным приборам. Прибор для определения коэффициента силы трения покоя содержит опорную платформу 1. Также прибор содержит коробку без днища 2, грузовую чашку 3, шнур 4,

блок 5 и нажимную платформу 6 с грузами 7. При этом коробка без днища 2 снабжена винтовыми опорами 8. Техническим результатом является повышение точности измерения коэффициента силы трения покоя. 2 ил.

RU 2 511 615 C1

RU 2 511 615 C1

## Продолжение приложения В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 520 341** <sup>(13)</sup> **C1**  
 (51) МПК  
*A01F 12/44* (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012145368/13, 24.10.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
24.10.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 24.10.2012

(45) Опубликовано: 20.06.2014 Бюл. № 17

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2459405 C1, 27.08.2012. RU  
2387490 C1, 27.04.2010. SU 1837999 A3,  
30.08.1993. RU 2341954 C2, 27.12.2008. JP  
2006246783 A, 21.09.2006

Адрес для переписки:

392022, г. Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28, ГНУ  
ВНИИТиН Россельхозакадемии, Н.П.  
Тишанинову

(72) Автор(ы):

Тишанинов Николай Петрович (RU),  
Анашкин Александр Витальевич (RU),  
Тишанинов Константин Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное научное учреждение  
Всероссийский научно-исследовательский  
институт использования техники и  
нефтепродуктов Российской академии  
сельскохозяйственных наук (ГНУ  
ВНИИТиН Россельхозакадемии) (RU)

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ПОТОКА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области сельского хозяйства и может применяться в устройствах для очистки зерна. Устройство разделения потока сыпучих материалов содержит стабилизирующую емкость, отводящие каналы, планки, корпус и патрубки. Патрубки присоединены к корпусу. Корпус имеет вертикальную перегородку. Планки

смещены относительно друг друга по горизонтали и расположены в виде восходящего каскада в направлении потока сыпучего материала. Обеспечивается повышение расходных характеристик устройства. Уменьшаются габариты и материалоемкость устройства. Расширяется область применения. 3 ил.

RU 2 5 2 0 3 4 1 C 1

RU 2 5 2 0 3 4 1 C 1

## Продолжение приложения В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 525 728** (13) **C1**(51) МПК  
A01F 12/46 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013109996/13, 05.03.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
05.03.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 05.03.2013

(45) Опубликовано: 20.08.2014 Бюл. № 23

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2412582 C2, 27.02.2011. SU 977302  
A, 30.11.1982. SU 1106767 A, 07.08.1984. RU  
110183 U1, 10.11.2011. US 3827578 A, 06.08.1974

Адрес для переписки:

392022, г.Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28, ГНУ  
ВНИИТиН Россельхозакадемии, Тишанинову  
Н.П.

(72) Автор(ы):

Тишанинов Николай Петрович (RU),  
Анашкин Александр Витальевич (RU),  
Тишанинов Константин Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Государственное научное учреждение  
Всероссийский научно-исследовательский  
институт использования техники и  
нефтепродуктов Российской академии  
сельскохозяйственных наук (ГНУ  
ВНИИТиН Россельхозакадемии) (RU)

(54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ПОТОКА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

(57) Реферат:

Изобретение относится к области сельского хозяйства и может быть применено при очистке зерна. Устройство для разделения потока сыпучих материалов содержит стабилизирующую емкость, отводящий канал, лотки и пружину. Один лоток жестко соединен с вертикально перемещаемым штоком. На штоке размещены упорная шайба и пружина. В исходном положении лоток

контактирует с торцевой стенкой отводящего канала. Второй лоток шарнирно соединен с первым. Второй лоток в исходном положении контактирует с ограничительной стенкой горизонтально перемещаемого шибера. Лотки соединены с возможностью фиксации в различных положениях относительно штока. Обеспечивается расширение области применения. 3 ил.

RU 2 525 728 C1

RU 2 525 728 C1

## Продолжение приложения В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 540 352** <sup>(13)</sup> **C2**  
 (51) МПК  
*A01F 12/60* (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013120622/13, 06.05.2013  
 (24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 06.05.2013  
 Приоритет(ы):  
 (22) Дата подачи заявки: 06.05.2013  
 (43) Дата публикации заявки: 20.11.2014 Бюл. № 32  
 (45) Опубликовано: 10.02.2015 Бюл. № 4  
 (56) Список документов, цитированных в отчете о  
 поиске: JPH 04338269 A, 25.11.1992. SU 463603  
 A1, 15.03.1975. RU 2023640 C1, 30.11.1994. SU  
 138781 A1, 30.11.1960

Адрес для переписки:  
 392022, г.Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28, ГНУ  
 ВНИИТиН Россельхозакадемии, Тишанинову  
 Н.П.

(72) Автор(ы):  
 Тишанинов Николай Петрович (RU),  
 Анашкин Александр Витальевич (RU)  
 (73) Патентообладатель(и):  
 Государственное научное учреждение  
 Всероссийский научно-исследовательский  
 институт использования техники и  
 нефтепродуктов Российской академии  
 сельскохозяйственных наук (ГНУ  
 ВНИИТиН Россельхозакадемии) (RU)

## (54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ПОТОКА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

(57) Реферат:  
 Изобретение относится к сельскому хозяйству.  
 Устройство содержит стабилизирующую емкость  
 с отводами. Стабилизирующая емкость снабжена  
 лотком. Лоток прикреплен к боковой стенке на  
 высоте от ее днища, меньшей высоты  
 сводаобразующего слоя  $h < h_{СВ}$  с уклоном к  
 горизонту, превышающим угол естественного

откоса сыпучего материала и соединенным с  
 материалопроводом обратной сыпи. Отводы  
 снабжены регулирующими шиберами с  
 обратными контрольными шкалами на них.  
 Обеспечивается повышение качества разделения  
 потока сыпучих материалов, упрощение  
 конструкции и расширение области применения  
 устройства. 4 ил.

RU 2 540 352 C 2

RU 2 540 352 C 2

## Продолжение приложения В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 549 284** (13) **C2**(51) МПК  
A01F 12/46 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013114867/13, 02.04.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
02.04.2013

Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 02.04.2013

(43) Дата публикации заявки: 10.10.2014 Бюл. № 28

(45) Опубликовано: 27.04.2015 Бюл. № 12

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2437271 C2, 27.12.2011. SU 869658  
A1, 07.10.1981. RU 2459405 C1, 27.08.2012. US  
3827578 A, 06.08.1974

Адрес для переписки:  
392022, г.Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28, ГНУ  
ВНИИТиН Россельхозакадемии, Тишанинову  
Н.П.

(72) Автор(ы):  
Тишанинов Николай Петрович (RU),  
Анашкин Александр Витальевич (RU),  
Тишанинов Константин Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):  
Государственное научное учреждение  
Всероссийский научно-исследовательский  
институт использования техники и  
нефтепродуктов Российской академии  
сельскохозяйственных наук (ГНУ  
ВНИИТиН Россельхозакадемии) (RU)

## (54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ПОТОКА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

(57) Реферат:  
Изобретение относится к сельскому хозяйству  
и может быть использовано для разделения  
потока сыпучих материалов. Устройство  
содержит подвижную стабилизирующую емкость  
с отводами, клапан, рычаги, тяги, пружины, раму.  
Емкость перемещается по направляющим. Днище  
подвижной емкости выполнено цилиндрическим,

а отводы - в форме прямоугольных окон в нем,  
перекрываемых клапаном. Клапан концентрично  
расположен относительно днища емкости и  
шарнирно закреплен на ее боковых стенках.  
Обеспечивается упрощение конструкции,  
повышение качества процесса разделения потока  
сыпучих материалов. 2 ил.

RU 2 549 284 C 2

RU 2 549 284 C 2

## Продолжение приложения В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** (11) **2 557 600** (13) **C1**  
 (51) МПК  
*G01B 3/28* (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014116696/28, 24.04.2014  
 (24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 24.04.2014  
 Приоритет(ы):  
 (22) Дата подачи заявки: 24.04.2014  
 (45) Опубликовано: 27.07.2015 Бюл. № 21  
 (56) Список документов, цитированных в отчете о  
 поиске: SU 1670325 A1, 15.08.1991 . SU 397740  
 A1, 17.09.1973 . SU 1516739 A1, 23.10.1989.  
 Иванов А.И. Технические измерения. - М.:  
 Колос.: 1970, с. 80-82  
 Адрес для переписки:  
 392022, г.Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28, ГНУ  
 ВНИИТиН Россельхозакадемии, Зауле А.Н.

(72) Автор(ы):  
 Тишанинов Николай Петрович (RU),  
 Анашкин Александр Витальевич (RU)  
 (73) Патентообладатель(и):  
 Государственное научное учреждение  
 Всероссийский научно-исследовательский  
 институт использования техники и  
 нефтепродуктов Российской академии  
 сельскохозяйственных наук (ГНУ  
 ВНИИТиН Россельхозакадемии) (RU)

## (54) ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ТОЛЩИНЫ СЛОЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЕМКОСТЯХ

(57) Реферат:  
 Изобретение относится к измерительной технике и может быть использовано для контроля качества технологических процессов в сельском хозяйстве. Прибор для измерения толщины слоя сыпучих материалов в технологических емкостях содержит штангу 1, траверсу 2 с тарельчатой опорой 3 и опорной шайбой 4, кронштейн 5, стойку 6 с вертикальной шкалой 7, рейку 8 с горизонтальной шкалой 9, съемным

ограничителем 10 и рукояткой 11, подпружиненный зажим 12, размещенный на штоке 13 с упорной шайбой 14, пружину 15, кронштейны 16 с отверстиями 17, тягу 18, поворотный кронштейн 19 с лапкой 20. Технический результат - расширение области применения средств контроля глубины сыпучих материалов. 3 ил.

RU 2 557 600 C 1

RU 2 557 600 C 1

## Продолжение приложения В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU**<sup>(11)</sup> **2 564 872**<sup>(13)</sup> **C1**

(51) МПК  
*B07B 13/02* (2006.01)  
*B02B 1/00* (2006.01)  
*B07B 1/00* (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014124260/13, 16.06.2014  
 (24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 16.06.2014  
 Приоритет(ы):  
 (22) Дата подачи заявки: 16.06.2014  
 (45) Опубликовано: 10.10.2015 Бюл. № 28  
 (56) Список документов, цитированных в отчете о  
 поиске: SU 8260 А, 30.03.1929. SU 60792 А,  
 01.01.1942. JP 2009-66470 А, 02.04.2009. RU  
 2277014 С2, 27.05.2006. JP 4-284855 А, 09.10.1992  
 Адрес для переписки:  
 392022, г.Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28, (ГНУ  
 ВНИИТиН Россельхозакадемии), Зазуле А.Н.

(72) Автор(ы):  
 Тишанинов Николай Петрович (RU),  
 Анашкин Александр Витальевич (RU),  
 Тишанинов Константин Николаевич (RU)  
 (73) Патентообладатель(и):  
 Государственное научное учреждение  
 Всероссийский научно-исследовательский  
 институт использования техники и  
 нефтепродуктов Российской академии  
 сельскохозяйственных наук (ГНУ  
 ВНИИТиН Россельхозакадемии) (RU)

(54) ТРИЕР  
 (57) Реферат:  
 Изобретение относится к сельскому хозяйству  
 и может быть использовано для разделения  
 зерносмесей по длине. Триер содержит  
 загрузочное устройство, овсюжный и кукольный  
 ячеистые цилиндры, выводящий лоток со  
 стенками различной высоты, в днище которого  
 при его входе в кукольный ячеистый цилиндр  
 выполнено окно, шнек, привод. Кукольный  
 ячеистый цилиндр смещен в осевом направлении  
 относительно овсюжного ячеистого цилиндра.  
 Радиус R кукольного ячеистого цилиндра больше,

чем радиус r овсюжного ячеистого цилиндра.  
 Стенки выводящего лотка, размещенные в  
 овсюжном и кукольном ячеистых цилиндрах, по  
 высоте пропорциональны их радиусам -  $h/N=r/R$ .  
 Приводные валы ячеистых цилиндров соединены  
 цепным контуром с передаточным отношением,  
 равным  $\sqrt{R/r}$ . Триер характеризуется  
 простотой конструкции и обеспечивает  
 повышение качества технологического процесса.  
 2 ил.

RU 2 5 6 4 8 7 2 C 1

RU 2 5 6 4 8 7 2 C 1

## Продолжение приложения В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 564 883** <sup>(13)</sup> **C1**

(51) МПК  
**B07B 13/02** (2006.01)  
**B02B 1/00** (2006.01)  
**B07B 1/00** (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014132318/13, 05.08.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
05.08.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 05.08.2014

(45) Опубликовано: 10.10.2015 Бюл. № 28

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: SU 264048 А, 14.07.1970. SU 29690 А,  
31.03.1933. SU 704673 А, 25.12.1979. JP 2009-  
066470 А, 02.04.2009. RU 138337 U1, 10.03.2014

Адрес для переписки:

392022, г. Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28, ГНУ  
ВНИИТиН Россельхозакадемии, Зазуля А.Н.

(72) Автор(ы):

Тишанинов Николай Петрович (RU),  
 Анашкин Александр Витальевич (RU),  
 Тишанинов Константин Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

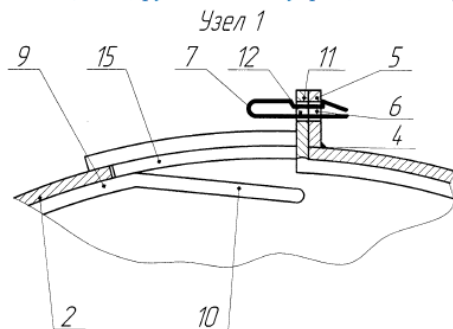
Государственное научное учреждение  
 Всероссийский научно-исследовательский  
 институт использования техники и  
 нефтепродуктов Российской академии  
 сельскохозяйственных наук (ГНУ  
 ВНИИТиН Россельхозакадемии) (RU)

(54) ТРИЕР

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскому хозяйству и может быть использовано для разделения зерносмесей по длине. Триер содержит ячеистый цилиндр 2 с продольным пазом, желоб с выводным шнеком, питатель, привод, раму, сменную упругую вставку 9, заглушку 15, опорную обечайку. Вставка 9 имеет с одного конца направляющий отгиб 10, а с другого -

присоединительный отгиб 11. Присоединительный отгиб 11 выполнен с прорезями 12 для пружинных фиксаторов 7. Опорная обечайка присоединена к входному торцу ячеистого цилиндра 2. К кромке 4 продольного паза прикреплена планка 5 с ответными прорезями 6 для пружинных фиксаторов 7. Изобретение обеспечивает упрощение конструкции. 3 ил.



Фиг. 3



## Продолжение приложения В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** <sup>(11)</sup> **2 567 154** <sup>(13)</sup> **C1**(51) МПК  
B07B 13/02 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014142305/13, 20.10.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
20.10.2014

Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 20.10.2014

(45) Опубликовано: 10.11.2015 Бюл. № 31

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: SU 1743651 A1, 30.06.1992 SU 1178506  
A1, 15.09.1985RU 2277014 C2, 27.05.2006SU  
1792752 A1, 07.02.1993US 4785761 A, 22.11.1988

Адрес для переписки:  
392022, г.Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28,  
ФГБНУ ВНИИТиН, Зазуле А.Н.

(72) Автор(ы):  
Тишанинов Николай Петрович (RU),  
Анашкин Александр Витальевич (RU),  
Тишанинов Константин Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):  
Федеральное государственное бюджетное  
научное учреждение Всероссийский научно-  
исследовательский институт использования  
техники и нефтепродуктов (ФГБНУ  
ВНИИТиН) (RU)

(54) ТРИЕР

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскому хозяйству и может быть использовано для разделения зерносмесей по длине частиц. Триер содержит ячеистый цилиндр, желоб с выводным шнеком, привод и раму. Желоб имеет сменную крышку с продольной планкой, охватывающей желоб. На

переднем и заднем концах сменной крышки закреплены вертикальные стенки. На продольной планке расположен фиксатор. Использование сменной крышки на желобе триера расширяет возможности его использования. 2 ил.

RU 2 567 154 C1

RU 2 567 154 C1

## Продолжение приложения В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 578 102**<sup>(13)</sup> **C1**(51) МПК  
A01F 12/46 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2015111871/13, 01.04.2015

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
01.04.2015

Приоритет(ы):  
(22) Дата подачи заявки: 01.04.2015

(45) Опубликовано: 20.03.2016 Бюл. № 8

(56) Список документов, цитированных в отчете о  
поиске: RU 2341954 C2, 27.12.2008. RU 2412582  
C2, 27.02.2011. RU 2525728 C1, 20.08.2014. US  
3762525 A, 02.10.1973.

Адрес для переписки:  
392022, г. Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28,  
ФГБНУ ВНИИТиН, Зазуле А.Н.

(72) Автор(ы):  
Анашкин Александр Витальевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):  
Федеральное государственное бюджетное  
научное учреждение "Всероссийский научно-  
исследовательский институт использования  
техники и нефтепродуктов в сельском  
хозяйстве" (ФГБНУ ВНИИТиН) (RU)

## (54) УСТРОЙСТВО ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ПОТОКА СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

(57) Реферат:  
Изобретение относится к сельскому хозяйству.  
Устройство для разделения потока сыпучих  
материалов содержит подвижную  
стабилизирующую емкость, пружины, отводы и  
раму. Подвижная стабилизирующая емкость  
имеет верхние и нижние ползушки и установлена  
с возможностью перемещения по направляющим  
под действием веса сыпучего материала и пружин.  
Перемещение стабилизирующей емкости

ограничено верхними и нижними ограничителями.  
Подвижная стабилизирующая емкость сопряжена  
с закрепленной на раме неподвижной шиберной  
стенкой, перекрывающей сопряженный с  
отводами прямоугольный боковой отводящий  
канал. Устройство для разделения потока  
сыпучих материалов обеспечивает повышение  
качества разделения сыпучих материалов. 3 ил.

RU 2 578 102 C 1

RU 2 578 102 C 1

## Продолжение приложения В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **2 616 201** <sup>(13)</sup> **C1**(51) МПК  
B07B 13/02 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016108182, 09.03.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
09.03.2016Дата регистрации:  
13.04.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 09.03.2016

(45) Опубликовано: 13.04.2017 Бюл. № 11

Адрес для переписки:

392022, г. Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28,  
ФГБНУ ВНИИТиН, Зазуле А.Н.

(72) Автор(ы):

Тишанинов Николай Петрович (RU),  
Анашкин Александр Витальевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
научное учреждение "Всероссийский  
научно-исследовательский институт  
использования техники и нефтепродуктов в  
сельском хозяйстве" (ФГБНУ ВНИИТиН)  
(RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете

о поиске: RU 2492941 C1, 20.09.2013. SU  
1666229 A1, 30.07.1991. SU 1438861 A1,  
23.11.1988. SU 1710149 A1, 07.02.1992. RU  
2492940 C1, 20.09.2013. RU 2275242 C2,  
27.04.2006. GB 1289400 A, 20.09.1972.

## (54) СТЕНД ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ЯЧЕИСТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

(57) Реферат:

Изобретение относится к испытательной технике, а именно к устройствам для испытания ячеистой поверхности на качество разделения зерновых смесей. Стенд для испытаний ячеистых поверхностей включает ячеистый цилиндр, желоб, раму, питатель, приводной и опорные ролики, установленные на раме, горизонтальную платформу. Желоб выполнен с наклонным днищем, снабжен передней и задней

вертикальными стенками, к которым присоединены хвостовики по оси ячеистого цилиндра с фиксаторами. Рама шарнирно соединена с горизонтальной платформой с возможностью поворота в вертикальной плоскости. Технический результат – повышение эффективности и снижение трудоемкости процесса разделения проб зерносмеси. 2 ил.

RU 2 616 201 C 1

RU 2 616 201 C 1

## Продолжение приложения В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** (11) **2 647 526**<sup>(13)</sup> **C1**  
 (51) МПК  
*B07B 13/02* (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*B07B 13/02 (2006.01); A01F 12/44 (2006.01)*

(21)(22) Заявка: 2017114302, 24.04.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 24.04.2017

Дата регистрации:  
 16.03.2018

Приоритет(ы):  
 (22) Дата подачи заявки: 24.04.2017

(45) Опубликовано: 16.03.2018 Бюл. № 8

Адрес для переписки:  
 392022, г. Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28,  
 ФГБНУ ВНИИТиН, Зазуле А.Н.

(72) Автор(ы):  
 Тишанинов Николай Петрович (RU),  
 Анашкин Александр Витальевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):  
 Федеральное государственное бюджетное  
 научное учреждение "Всероссийский  
 научно-исследовательский институт  
 использования техники и нефтепродуктов в  
 сельском хозяйстве" (ФГБНУ ВНИИТиН)  
 (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
 о поиске: ТИШАНИНОВ Н.П. и др.  
 "Обоснование режимов работы и  
 параметров прибора для рассева проб  
 зерносмесей", "Наука в центральной России",  
 N3 (21), 2016, с. 74-80. RU 2492940 C1,  
 20.09.2013. SU 1489856 A1, 30.06.1989. SU  
 1710149 A1, 07.02.1992. RU 116373 U1,  
 27.05.2012. SU 1666229 A1, 30.07.1991. GB  
 1289400 A, 20.09.1972.

## (54) ПРИБОР ДЛЯ ВЫДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ ИЗ ЗЕРНОСМЕСЕЙ

(57) Реферат:

Изобретение относится к средствам контроля качества технологических процессов в сельском хозяйстве, а именно к средствам контроля засоренности зерна. Прибор для выделения примесей из зерносмесей включает ячеистый цилиндр с торцевыми фланцами, блокирующее кольцо, выводной лоток, раму с вертикальной стойкой, привод, горизонтальную платформу. Блокирующее кольцо снабжено цилиндрической

обечайкой, контактирующей с внутренней поверхностью ячеистого цилиндра. Вертикальная стойка выполнена пирамидальной формы, а поднимаемый конец рамы соединен с горизонтальной платформой гибким элементом. Технический результат - повышение качества и снижение трудоемкости выделения примесей из зерносмесей. 2 ил.

RU 2 647 526 C1

RU 2 647 526 C1

## Продолжение приложения В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** (11) **2 706 163**<sup>(13)</sup> **C1**  
 (51) МПК  
*A01F 12/46* (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*A01F 12/44 (2019.05)*

(21)(22) Заявка: 2019112704, 25.04.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 25.04.2019

Дата регистрации:  
 14.11.2019

Приоритет(ы):  
 (22) Дата подачи заявки: 25.04.2019

(45) Опубликовано: 14.11.2019 Бюл. № 32

Адрес для переписки:  
 392022, г. Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28,  
 ФГБНУ ВНИТиН, Острикову В.В.

(72) Автор(ы):

Тишанинов Николай Петрович (RU),  
 Анашкин Александр Витальевич (RU),  
 Тишанинов Константин Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
 научное учреждение "Всероссийский  
 научно-исследовательский институт  
 использования техники и нефтепродуктов в  
 сельском хозяйстве" (ФГБНУ ВНИИТиН)  
 (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
 о поиске: RU 2520341 C1, 20.06.2014. RU  
 2578102 C1, 20.03.2016. RU 2645321 C1,  
 20.02.2018. EA 29053 B1, 28.02.2018.

(54) Устройство для разделения потока сыпучих материалов

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскому хозяйству, а именно к устройствам для очистки зерна, и предназначено для разделения потока сыпучих материалов. Устройство содержит стабилизирующую емкость, разделенные планками отводящие каналы, корпус, патрубки. Планки размещены в горизонтальной плоскости

с равным шагом на одном уровне с днищем стабилизирующей емкости. Патрубки установлены симметрично относительно корпуса. Использование изобретения позволит повысить расходные характеристики устройства для разделения потока сыпучих материалов. 3 ил.

RU 2 706 163 C1

RU 2 706 163 C1

## Продолжение приложения В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



(19) **RU** (11) **2 714 713**<sup>(13)</sup> **C1**  
 (51) МПК  
*A01F 12/46* (2006.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
 ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*A01F 12/46 (2019.08)*

(21)(22) Заявка: 2019116402, 28.05.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
 28.05.2019

Дата регистрации:  
 19.02.2020

Приоритет(ы):  
 (22) Дата подачи заявки: 28.05.2019

(45) Опубликовано: 19.02.2020 Бюл. № 5

Адрес для переписки:  
 392022, г. Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28,  
 ФГБНУ ВНИИТиН, Острикову В.В.

(72) Автор(ы):  
 Тишанинов Константин Николаевич (RU),  
 Анашкин Александр Витальевич (RU),  
 Тишанинов Николай Петрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):  
 Федеральное государственное бюджетное  
 научное учреждение "Всероссийский  
 научно-исследовательский институт  
 использования техники и нефтепродуктов в  
 сельском хозяйстве" (ФГБНУ ВНИИТиН)  
 (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
 о поиске: RU 2490863 C1, 27.08.2013. RU  
 2341954 C2, 27.12.2008. RU 2578102 C1,  
 20.03.2016. RU 2455817 C1, 20.07.2012. US  
 3762525 A1, 02.10.1973.

(54) Устройство для разделения потока сыпучих материалов

(57) Реферат:

Изобретение относится к сельскому хозяйству. Устройство для разделения потока сыпучих материалов содержит корпус, боковую стенку, отводящие каналы, вертикальную перегородку и выходные каналы. Корпус выполнен в виде тройника зернопровода, присоединенного сверху и снизу к трубам зернопровода. Стабилизирующая емкость образована частью

трубы зернопровода с прилегающей к ней боковой стенкой устройства. Патрубки образуют выходные каналы тройника вместе с вертикальной перегородкой. Изобретение позволяет упростить конструкцию устройства и его монтаж в состав технологической линии для послеборочной очистки зерна. 2 ил.

RU 2 7 1 4 7 1 3 C 1

RU 2 7 1 4 7 1 3 C 1

## Продолжение приложения В

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) **RU** (11) **138 337**<sup>(13)</sup> **U1**(51) МПК  
B07B 13/16 (2006.01)ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ТИТУЛЬНЫЙ ЛИСТ ОПИСАНИЯ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2012125935/03, 21.06.2012

(24) Дата начала отчета срока действия патента:  
21.06.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 21.06.2012

(45) Опубликовано: 10.03.2014 Бюл. № 7

Адрес для переписки:

392022, г.Тамбов, пер. Ново-Рубежный, 28 (ГНУ  
ВНИИТиН Россельхозакадемии), Н.П.  
Тишанинову

(72) Автор(ы):

Тишанинов Николай Петрович (RU),  
Анашкин Александр Витальевич (RU)

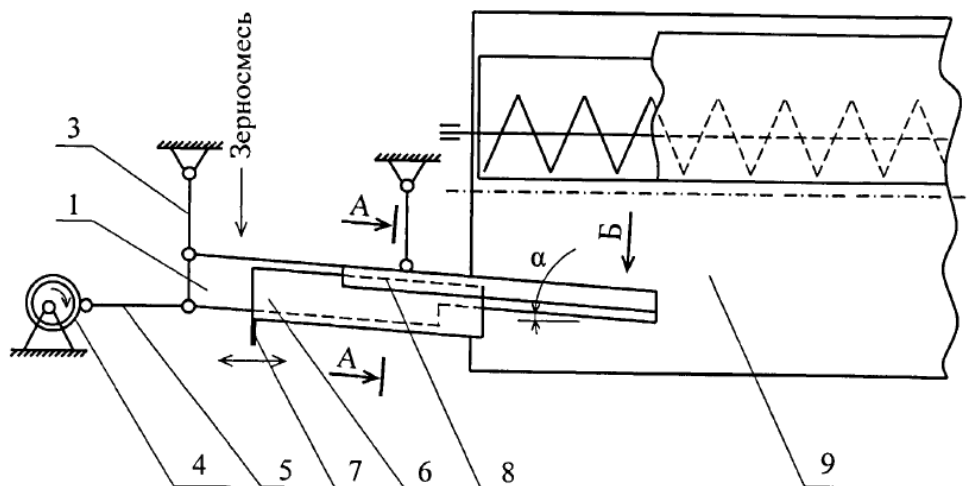
(73) Патентообладатель(и):

Государственное научное учреждение  
Всероссийский научно-исследовательский  
институт использования техники и  
нефтепродуктов Российской академии  
сельскохозяйственных наук (ГНУ  
ВНИИТиН Россельхозакадемии) (RU)

## (54) ПИТАТЕЛЬ ДЛЯ ТРИЕРОВ

(57) Формула полезной модели

Питатель для триеров, содержащий кожух с выпускной щелью, регулирующий элемент, отличающийся тем, что кожух снабжен эксцентриковым виброприводом, шарнирно соединенным с ним тягой, а регулирующий элемент выполнен в виде шибера, перемещаемого по направляющим вдоль кожуха.



RU 138337 U1

RU 138337 U1

## Приложение Г

«Утверждаю»

Генеральный директор  
ООО «АгроТехХолдинг»  
(г. Воронеж)



Мочалова Н.С.

« 12 » сентября 2012 г.

«Утверждаю»

Директор ГНУ ВНИИТиН  
Россельхозакадемии  
(г. Тамбов)



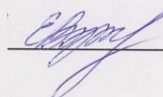
Зазуля А.Н.

« 12 » сентября 2012 г.

## Акт внедрения

Мы, нижеподписавшиеся, составили настоящий акт в том, что разработанный и изготовленный ГНУ ВНИИТиН Россельхозакадемии двухканальный вертикальный делитель потока зерна (задание 09.01.03.02, патент РФ №2459405) с расходной характеристикой до 50 т\ч включительно, передан в ООО «АгроТехХолдинг», г. Воронеж) и включен в технологический проект зерноочистительного агрегата для внедрения в зерносеющих хозяйствах Центрально-Черноземного региона.

Руководитель проекта

 Воробьева Е.А.

Генеральный директор  
ООО «Агроэффект»  
(ГНУ ВНИИТиН  
Россельхозакадемии)



Тишанинов Н.П.




## Продолжение приложения Г

**АКТ****об использовании результатов исследований лаборатории  
«Управления качеством технологических процессов в сельском  
хозяйстве» ФГБНУ ВНИИТиН**

Мы, нижеподписавшиеся, составили настоящий акт в том, что ОАО «Голицыно» использует при подработке произведенного зерна результаты исследований процесса разделения зерносмесей ячеистой поверхностью, в результате чего снижены остаточная засоренность зерна и его потери в отходы.

Генеральный директор

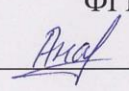
ОАО «Голицыно»

  
\_\_\_\_\_ Рамазанов А.Г.

03.12.2014 г.

Зав. лабораторией № 5

ФГБНУ ВНИИТиН

  
\_\_\_\_\_ Анашкин А.В.

## Продолжение приложения Г

«Утверждаю»

Директор ФГБНУ ВНИИТиН

А.Н. Зазуля

« 24 » март 2017 г.

## АКТ ВНЕДРЕНИЯ

Мы, нижеподписавшиеся составили настоящий акт в том, что разработанный ФГБНУ ВНИИТиН прибор «ТИАН -1» для рассева проб зерносмесей внедрен в ООО «Бетагран Рамонь». Приемочными испытаниями установлено: степень выделения основных примесных компонентов составляет 98...100%; остаточная засоренность зерносмеси не превышает 0,02%; достоверность оценки засоренности зерносмеси повышается в 1,5...2 раза за счет увеличения массы пробы; продолжительность выделения примесных компонентов по оперативному времени составляет 10...60 с.

Генеральный директор  
ООО «Бетагран Рамонь», к.т.н.



С.Г. Калиниченко

И.о. заведующего лабораторией № 5  
ФГБНУ ВНИИТиН, к.т.н.

А.В. Анашкин

## Продолжение приложения Г

«Утверждаю»

*председатель Колхоз -  
Глебенной завод им. Ленина  
Нестеров В. Г.*



« 08 » 2020 г

## АКТ

внедрения и использования интеллектуальной собственности

Мы, ниже подписавшиеся составили настоящий акт в том, что разработанные в ФГБНУ ВНИИТиН «Рекомендации по модернизации и эффективному использованию зерноочистительных агрегатов», включающие новые технические (патенты РФ № 2341954, № 2437271, № 2412582, № 2459405, № 2490863, № 2520341, № 2706163, № 2647526), технологические и методические решения внедрены и используются в Колхоз -  
Племенной завод им. Ленина

Представители ФГБНУ ВНИИТиН:

Зав. лабораторией №5,

д.т.н., профессор

Н.П. Тишанинов

Вед. научный сотрудник,

к.т.н.

А.В. Анашкин

Представитель хозяйства:

  
(подпись)


  
(Ф.И.О.)

## Продолжение приложения Г

«Утверждаю»

*Чел. директор**ООО „Линия связи“**Михайлов А.Б.*«*12*» *08* 2020 г

## АКТ

внедрения и использования интеллектуальной собственности

Мы, ниже подписавшиеся составили настоящий акт в том, что разработанные в ФГБНУ ВНИИТиН «Рекомендации по модернизации и эффективному использованию зерноочистительных агрегатов», включающие новые технические (патенты РФ № 2341954, № 2437271, № 2412582, № 2459405, № 2490863, № 2520341, № 2706163, № 2647526), технологические и методические решения внедрены и используются в \_\_\_\_\_

*ООО „Линия связи“*

Представители ФГБНУ ВНИИТиН:

Зав. лабораторией №5,

д.т.н., профессор

Н.П. Тишанинов

Вед. научный сотрудник,

к.т.н.

А.В. Анашкин

Представитель хозяйства:

  
 (подпись)
*Михайлов А.Б.*

(Ф.И.О.)

## Продолжение приложения Г

«Утверждаю»

*И. А. Дурманов*  
 \_\_\_\_\_  
 ФГУП ПЗ «Орловский»  
 \_\_\_\_\_  
 «Орловский» №  
 \_\_\_\_\_  
 «18» 08 2020 г



## АКТ

внедрения и использования интеллектуальной собственности

Мы, ниже подписавшиеся составили настоящий акт в том, что разработанные в ФГБНУ ВНИИТиН «Рекомендации по модернизации и эффективному использованию зерноочистительных агрегатов», включающие новые технические (патенты РФ № 2341954, № 2437271, № 2412582, № 2459405, № 2490863, № 2520341, № 2706163, № 2647526), технологические и методические решения внедрены и используются в \_\_\_\_\_

ФГУП ПЗ «Орловский»

Представители ФГБНУ ВНИИТиН:

Зав. лабораторией №5,

д.т.н., профессор



Н.П. Тишанинов

Вед. научный сотрудник,

к.т.н.



А.В. Анашкин

Представитель хозяйства:

  
 (подпись)

Маркизов ВМ  
 (Ф.И.О.)

## Продолжение приложения Г

«Утверждаю»

ООО «Нива»Рек. директорСизов Александр Валерьевич«Нива» 08 2020 г

## АКТ

внедрения и использования интеллектуальной собственности

Мы, ниже подписавшиеся составили настоящий акт в том, что разработанные в ФГБНУ ВНИИТиН «Рекомендации по модернизации и эффективному использованию зерноочистительных агрегатов», включающие новые технические (патенты РФ № 2341954, № 2437271, № 2412582, № 2459405, № 2490863, № 2520341, № 2706163, № 2647526), технологические и методические решения внедрены и используются в ООО «Нива»

Представители ФГБНУ ВНИИТиН:

Зав. лабораторией №5,

д.т.н., профессор

Н.П. Тишанинов

Вед. научный сотрудник,

к.т.н.

А.В. Анашкин

Представитель хозяйства:

  
(подпись)

(Ф.И.О.)

## Продолжение приложения Г

«Утверждаю»  
 Генеральный директор  
 ООО «Пригородный»  
 Медведев Н.П.  
 08 2020 г



## АКТ

внедрения и использования интеллектуальной собственности

Мы, ниже подписавшиеся составили настоящий акт в том, что разработанные в ФГБНУ ВНИИТиН «Рекомендации по модернизации и эффективному использованию зерноочистительных агрегатов», включающие новые технические (патенты РФ № 2341954, № 2437271, № 2412582, № 2459405, № 2490863, № 2520341, № 2706163, № 2647526), технологические и методические решения внедрены и используются в Племенной  
заводе «Пригородный»

Представители ФГБНУ ВНИИТиН:

Зав. лабораторией №5,

д.т.н., профессор



Н.П. Тишанинов

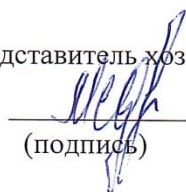
Вед. научный сотрудник,

к.т.н.



А.В. Анашкин

Представитель хозяйства:

  
 (подпись)

Медведев Н.П.  
 (Ф.И.О.)

## Продолжение приложения Г

«Утверждаю»

*И. В. Козлов В.В.*  
 Генеральный директор



«Сатинское»

09

2020 г

## АКТ

## внедрения и использования интеллектуальной собственности

Мы, ниже подписавшиеся составили настоящий акт в том, что разработанные в ФГБНУ ВНИИТИН «Рекомендации по модернизации и эффективному использованию зерноочистительных агрегатов», включающие новые технические (патенты РФ № 2341954, № 2437271, № 2412582, № 2459405, № 2490863, № 2520341, № 2706163, № 2647526), технологические и методические решения внедрены и используются в

ОАО «Сатинское»

Представители ФГБНУ ВНИИТИН:

Зав. лабораторией №5,

д.т.н., профессор

Н.П. Тишанинов

Вед. научный сотрудник,

к.т.н.

А.В. Анашкин

Представитель хозяйства:

(подпись)

(Ф.И.О.)





## Продолжение приложения Г



## АКТ

## внедрения и использования интеллектуальной собственности

Мы, ниже подписавшиеся составили настоящий акт в том, что разработанные в ФГБНУ ВНИИТиН «Рекомендации по модернизации и эффективному использованию зерноочистительных агрегатов», включающие новые технические (патенты РФ № 2341954, № 2437271, № 2412582, № 2459405, № 2490863, № 2520341, № 2706163, № 2647526), технологические и методические решения внедрены и используются в

ООО «Агро Гард - Тамбов»

Представители ФГБНУ ВНИИТиН:

Зав. лабораторией №5,

д.т.н., профессор

Н.П. Тишанинов

Вед. научный сотрудник,

к.т.н.

А.В. Анашкин

Представитель хозяйства:

(подпись)

(Ф.И.О.)

